



Soğuk Plazma Uygulamasının Gıda Bileşenleri Üzerine Etkileri^A

Ömer Şerif AYDIN^{1*}, Pınar MANARGA BİRLİK², Yasemin ŞAHAN³

Öz: Isıl işlemlerin gıdaların duyuşal özelliklerinde sebep olabildiğı değişim, protein denatürasyonu, vitamin kaybı gibi olumsuz etkiler ve tüketici beklentileri çalışmalarını ultrases, ışınlama, yüksek hidrostatik basınç, vurgulu elektrik alan, ohmik ısıtma, mikrofiltrasyon, gibi ısıl olmayan teknolojilere yönlendirmektedir. Söz konusu teknolojiler içerisinde bulunan soğuk plazma uygulamaları düşük maliyet, kısa işlem süresi ve gıda güvenliği açısından son yıllarda önem kazanmaktadır. Ancak arzu edilen ürün kalitesine ulaşabilmek için soğuk plazma uygulamasının, gıda bileşenleri ile etkileşimleri ve bu etkileşimlerin sonuçlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada gıdalardaki soğuk plazma uygulamalarının, protein, lipid, karbonhidrat ve biyoaktif bileşenler gibi gıda bileşenleri üzerine etkileri derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoaktif bileşen, karbonhidrat, lipid, protein, soğuk plazma.

Effects of Cold Plasma Application on Food Components

Abstract: Negative effects such as changes in sensory properties, protein denaturation, loss of vitamins and consumer expectations that heat treatments can cause in foods lead studies to non-thermal technologies such as ultrasound, irradiation, high hydrostatic pressure, pulsed electric field, ohmic heating, microfiltration. In recent

^A Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.

^{1*} **Sorumlu yazar/Corresponding Author:** ¹ Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bursa, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, omerserif.aydin@tarimorman.gov.tr, [OrcID 0000-0002-9749-5972](https://orcid.org/0000-0002-9749-5972)

² Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bursa, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, pınar.manargabirlik@tarimorman.gov.tr, [OrcID 0000-0001-8902-1796](https://orcid.org/0000-0001-8902-1796)

³ Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, yasemins@uludag.edu.tr, [OrcID 0000-0003-3457-251X](https://orcid.org/0000-0003-3457-251X)

years, cold plasma applications, among these technologies, have gained importance in terms of cost, short processing time and food safety. However, in order to achieve the desired product quality, it is necessary to know the cold plasma application interactions with food components. Therefore, this review were explore the effects of cold plasma applications in food components such as protein, lipid, carbohydrate and bioactive components.

Keywords: Bioactive ingredient, carbohydrate, lipid, protein, cold plasma.

Giriş

Isıl işlemlerin gıdalarda sebep olabildiği enzimatik olmayan esmerleşme, protein denatürasyonu, duyuşal özelliklerin değişimi, vitamin kaybı gibi olumsuz etkiler ve tüketicilerin besin içeriği yüksek gıda beklentileri araştırmacıları ısıl olmayan teknolojilere yönlendirmektedir. Işınlama, ultrases, vurgulu elektrik alan, yüksek hidrostatik basınç ve soğuk plazma gibi teknikler oda sıcaklığında mikroorganizmalara ve gıda bulaşanlarına karşı etkili olan, gıdaların raf ömrünü uzatan ve ısının gıdalar üzerindeki olumsuz etkilerini elemine edip güvenliğini sağlayan teknolojilerdir (Asl ve ark., 2022; Kopuk ve ark., 2022). Bu teknolojiler içerisinde soğuk plazma; düşük işlem sıcaklığı, kısa işlem süresi ve çok sayıda reaktif türlerin etkili olması gibi avantajlarıyla kullanım alanı genişlemekte ve ısıl işlemden kaçınarak gıdaların işlenmesine olanak sağlamaktadır (Şen, 2015). Gıdalarda soğuk plazma uygulamalarına yönelik araştırmalar, fiziksel, kimyasal ve fizyolojik etkiler, gıdanın fonksiyonel özelliklerinin değiştirilmesi, mikrobiyal yükün azaltılması, kimyasal bulaşanların dekompozisyonu, proteinlerin ve yağların manipölasyonu üzerine yoğunlaşmaktadır (Saremnezhad ve ark., 2021).

Plazma; elektronlar, iyonlar, radikaller, aktif türler, uyarılmış atomlar ve moleküller içeren iyonize gaz karışımıdır (Hosseini ve ark., 2018). Plazma, termal ve düşük sıcaklık plazması olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Misra ve ark., 2019). Termal plazma durumunda, ısıtılmış gazın iyonizasyonundan sonra (~10.000 K) tüm iyonlar, elektronlar ve kimyasal türler arasında termodinamik denge oluşmakta ancak yüksek sıcaklık ve basınç gıda işleme için uygun olmamaktadır. Düşük sıcaklıktaki plazma ise yarı denge (100-150°C) ve dengede olmayan (<60°C) plazma olarak ayrılmaktadır (Barbosa-Cánovas ve ark., 2022). Yarı denge plazmada ortamdaki gaz molekülleri ve elektronlar arasında termodinamik bir denge mevcuttur (Kopuk ve ark., 2022). Dengede olmayan plazmada ise uygulanan enerji sonucu gaz parçacıkları, atomlar ve elektronlar arasında elastik bir çarpışma meydana gelmekte, bu durum da yüksüz parçacıkların ve nötr iyonların hızlı soğumasına neden olacak şekilde kinetik enerjinin diğer parçacıklara geçişine yol açmakta fakat elektronlar soğumamaktadır. Termodinamik olarak denge halinde olmayan bu plazma, atmosferik basınçlı soğuk plazma olarak adlandırılmaktadır (Pohl ve ark., 2022). Bu plazmada hava, oksijen, azot, argon ve helyum gibi soy gazlar veya çeşitli gazların kabul edilebilir bir oranda kombinasyonu kullanılabilir (Barbhuiya ve ark., 2021). Ancak pratik uygulamalarda uygun maliyetli plazma, atmosferik havadan üretilmektedir. Ortam havası oksijen ve nitrojen açısından zengin olduğundan, üretilen plazma ağırlıklı olarak reaktif oksijen (ROS) ve azot türleri (RNS) gibi aktif elementlerle doludur. Atmosferik hava plazmasında en yaygın olarak bulunan reaktif karışım O,

*OH, O₂, O₃, O₂⁻, HO₂, H₂O₂, N, N₂⁻, NO, NO₂, NO₃ ve N₂O'dir. Ek olarak, plazma nemle temas ettiğinde H₂O₂, NO₂, NO₃ ve O₃ gibi reaktif türler üretilir; bu türler uzun ömürlü reaktif türler olarak belirtilmektedir (Dharini ve ark., 2023).

Mikrodalga boşalım, dielektrik bariyer boşalım (DBD), atmosferik basınçlı plazma jetleri (APPJ), ısıtılı boşalım, korona boşalım, kayma ark boşalım ve radyo frekanslı boşalım gibi farklı soğuk plazma üretim teknikleri bulunmaktadır (Mandal ve ark., 2018; Bangar ve ark., 2022). Söz konusu tekniklerin özellikleri Çizelge 1'de belirtilmiştir.

Çizelge 1. Farklı Plazma Üretim Tekniklerinin Özellikleri

Plazma Üretim Şekli	Özellikleri	Kaynak
DBD	-Atmosferik basınçta veya yüksek basınçlarda çalışabilir -Farklı gazlarla çalışılabilir. -Geniş alanlara uygulanabilir -Değişik elektrot geometrileriyle tasarlanabilir. -Homojen bir boşalım sağlanabilir. -Ateşleme voltajının yüksek (>10 kV) olması nedeniyle belirli önlemler ve önemli izolasyonlar gereklidir.	(Phan ve ark., 2017;Kandemir ve ark., 2021)
Korona Boşalım	-Karmaşık ekipmanlara ihtiyaç duymaz. -Uygulama maliyeti düşüktür. -Homojen olmayan uygulama mevcuttur. -Küçük yüzey alanlarına uygulanabilir	(Saremnezhad ve ark., 2021;Kopuk ve ark., 2022)
Plazma jetleri	-Uygulama kolaylığı mevcuttur. -Küçük plazma boyutlarıyla tasarlanabilir. -Dar boşluklara nüfuz edebilir. -Yüksek sıcaklıklar numuneye zarar verebilir.	(Phan ve ark., 2017; Kandemir ve ark. 2021; Asl ve ark., 2022)
Kayma ark boşalım	-Operasyonel olarak esnekler. -Hassas bir güç kaynağı sistemi ile stabil bir çalışma imkanı vardır. -Farklı gazlarla düşük sıcaklıklarda plazma üretim olanağı sağlar.	(Chizoba Ekezie ve ark., 2017; Kopuk ve ark., 2022)
Isıtılı boşalım	-Yüksek hacimde ve düşük sıcaklıkta plazma üretimi sağlanır. -Yüksek maliyet ve uzun işlem süresi gibi dezavantajları bulunmaktadır.	(Şen, 2015; Saremnezhad ve ark., 2021)
Radyofrekans boşalım	-Hz-MHz frekans aralığında uygulanabilir. -Hassas koşullarda çalışılmalıdır.	(Bozkurt, 2014; Kandemir ve ark., 2021)
Mikrodalga boşalım	-Elektrotsuz kurulum ve hava ortamında ateşleme gibi avantajları vardır. -Geniş alanları dekontamine edebilir. -Yüksek sıcaklıklar numuneye zarar verebilir.	(Phan ve ark., 2017; Bangar ve ark., 2022)

Soğuk Plazma Uygulamasını Etkileyen Faktörler

Soğuk plazma uygulamasını etkileyen faktörler; oluşan reaktif türlerin çeşidi ve konsantrasyonu, işlem için kullanılan gaz veya gazlar, uygulama şekli, kullanılan plazma cihazı ve cihaz koşulları, işlem süresi, gıdanın fiziksel durumu, ortamın ve gıdanın nemi, gıdanın yüzey yapısı ve bileşimi olarak sıralanabilmektedir (Chizoba Ekezie ve ark., 2017; Saremnezhad ve ark., 2021).

Reaktif türlerin çeşidi, etki mekanizmaları ve ömürleri gıda üzerinde etkilidir. Reaktif mono oksijen türleri ve serbest hidrojen iyonlarının, kısa yarı ömürleri ve uçuculukları nedeniyle plazma kaynağının uygulama yapılacak alana daha yakın olması gerekmektedir. Reaktif türlerden hidrojen peroksitin yarı ömrünün daha fazla olması sebebiyle penetrasyon derinliği daha fazladır (Surowsky ve ark., 2016; Warne ve ark., 2021). Voltaj ve frekans gibi işlem faktörleri, plazmanın etkinliğini ve reaktif türlerin konsantrasyonunu etkilemektedir (De Castro ve ark., 2020; Sharafodin ve Soltanizadeh, 2022). İşlem süresinin uzatılması, reaktif türlerin gıda bileşenlerine etki süresini arttırarak, yeni bileşikler oluşmasına sebep olmakta veya bozunma reaksiyonlarına katılım için yeterli zamana sahip olmasını sağlamaktadır (Saremnezhad ve ark., 2021). Bu parametrelerin gıda makromoleküllerinin modifikasyonu üzerindeki etkileri ürüne özgüdür (Kopuk ve ark., 2022). Akış hızı, deşarjın çalışmasını, reaktif türlerin gıdaya etki etme süresini ve reaktif türlerin kütle transfer sürecini etkileyebilmektedir. Akış hızını arttırarak, reaktif türlerin çarpışma ve reaksiyon olasılıkları arttırılabilesine rağmen, yüksek akış hızı reaktif türlerin gıdayla etkileşim süresini azaltmaktadır (Zhang ve ark., 2017). Sütte yapılan bir çalışmada uzun işlem süresi, yüksek gerilim ve yüksek akış hızının daha yüksek viskoziteye yol açtığı belirtilmiştir (Wu ve ark., 2020).

Gaz akış hızı, gıdaların pH değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Artan akış hızı sayesinde asidojenik moleküllerin su ile reaksiyona girmesi sonucunda daha fazla nitrik asit veren ürünler oluşmakta ve gıdanın pH'sı düşmektedir (Sruthi ve ark., 2022). Ayrıca, daha düşük pH'larda daha yüksek redoks potansiyeli ve iletkenlik üretilmekte ve daha fazla reaktif tür oluşumu sağlanmaktadır. Bu durum özellikle antimikrobiyal potansiyeli yükseltmektedir (Pan ve ark., 2019). Plazma ortamında nemin varlığı, farklı potansiyellere sahip farklı reaktif türlerin (hidrojen peroksit, süperoksit anyonları, perhidroksil radikalleri ve diğer ROS) oluşumuna yol açabilmektedir (Saremnezhad ve ark., 2021). Nispeten yüksek su buharı içeriğine sahip havada, elektronlar ve su molekülleri negatif iyonlar oluşturmaktadır. Negatif iyonlar, elektrik alanında düşük bir hıza sahiptir, bu da iyonlaşma olasılığını azaltmaktadır. Düşük su buharı konsantrasyonlarında bozulma voltajı daha düşüktür (Laroque ve ark., 2022).

Gıdanın fiziksel durumu, gözenekli olup olmaması, yüzey yapısı reaktif türlerin penetrasyonunu etkilemektedir. Peynir gibi gözenekli yapıda olan katı bir gıdada reaktif türler penetre olduğu kadar etkin olmaktadır. Süt gibi sıvı gıdada ise tüm bileşenler plazma ile temas halinde olup, penetrasyon derinliğinin önemi daha azdır (Coutinho ve ark., 2018). Çözeltilerde, plazma türlerinin çözelti bileşenleriyle etkileşimi, protein inaktivasyonunu daha da tetikleyen ikincil reaktif türleri teşvik edebilmektedir. Kuru gıdalarda ise üst tabaka, plazma türlerinin geçişine karşı bir bariyer görevi görmektedir (Sruthi ve ark., 2022).

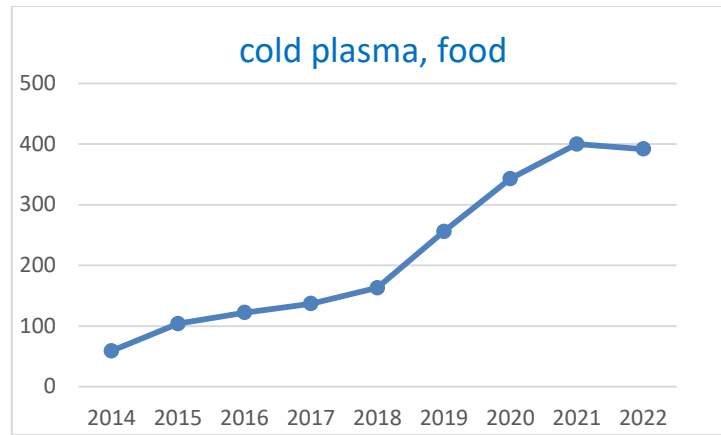
Reaktif türler, gıdaya doğrudan veya dolaylı olarak ayrıca su gibi plazma ile aktive edilmiş çözeltiler (PAS) vasıtasıyla iletilebilmektedir (Xu ve ark., 2016; Warne ve ark., 2021). Doğrudan maruz kalma yönteminde, plazma kaynağı ile gıda arasına bir mesafe konarak gıda plazma boşalmasına maruz bırakılır, bu şekilde reaktif türlerin gıdaya etkileşimi en üst düzeydedir, ancak gözenekler nedeniyle karmaşık yüzeylerde homojen muamele elde etmek zordur (Şen, 2015; Kopuk ve ark., 2022). Dolaylı plazmalarda, plazma gıdadan ayrı bir haznede üretilir ve nitrik oksit veya ozon gibi uzun ömürlü reaktif türler gıda ile temas halindedir. Bu yöntemde, kısa ömürlü nötr reaktif türler gıdaya ulaşmamaktadır. Bu işlemle gıdaya iletilen ısı miktarı azalmaktadır ayrıca

yüklü parçacıklar gıdaya ulaşmadan önce yeniden birleştikleri için işlemden bir rolü olmamaktadır (Coutinho ve ark., 2018). Yalnızca uzun ömürlü türler gıdayla etkileşime girebilir ve bu şekilde doğrudan maruz kalmanın sebep olabileceği zararlardan kaçınılabılır (Sarangapani ve ark., 2018). PAS, daha yeni bir işleme yöntemi olup, potansiyel bir yıkama dezenfektanı olarak büyük ilgi görmektedir. Bu yöntemle, dekontaminasyonun yanı sıra, tohum çimlenmesi, bitki büyümesi ile et kütleme gibi alanlarda çalışmalar da yapılmaktadır (Zhao ve ark., 2020).

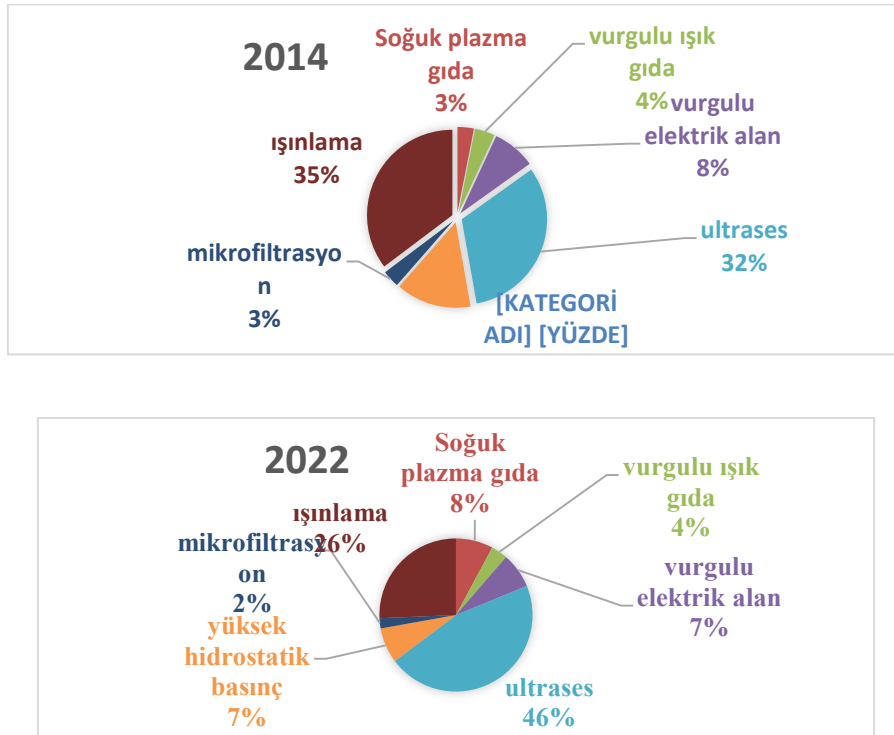
Soğuk Plazmanın Gıdalarda Kullanım Alanları

Soğuk plazma, başlangıçta polimerlerin baskı ve yapışma özelliklerini iyileştirmek, malzemelerin yüzey enerjisini arttırmak için kullanılmış olmasına rağmen, günümüzde tekstil, gözlük, kâğıt ve diğer ürünleri işlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıda alanında ise, daha çok gıda ürünlerinin ve ambalaj malzemelerinin yüzeylerinin mikrobiyal dekontaminasyonu için kullanılmaktadır (Kim ve ark., 2015; Chizoba Ekezie ve ark., 2017). Ayrıca, tohum çimlenme performansının artırılması, zirai kimyasal kalıntıların ve toksinlerin giderimi, atık su arıtımı, gıda bileşenlerinin işlevsel modifikasyonu ve gıda dehidrasyonu gibi pek çok farklı alanda kullanım olanakları araştırılmaktadır (Chizoba Ekezie ve ark., 2017)

Herhangi bir kimyasal kullanmadan, mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive etmesi, toksinleri ve pestisitleri degrade etmesi nedeniyle yeşil teknik olarak kabul edilen soğuk plazmanın; güçlü sterilizasyon etkisi, gerek ekipman olarak gerekse enerji tüketimi olarak maliyetinin düşük olması, lokal uygulama olanağı tanınması, gıdaların fiziksel ve duyuşal özellikleri üzerine etkisinin sınırlı olması, ambalaj yapısına olumsuz etkisinin olmaması ve toksik atık bırakmaması gibi pek çok avantajı bulunmaktadır (Yangıç Yüksel ve Karagözlü, 2017; Asl ve ark., 2022). Soğuk plazmanın belirtilen avantajları ve geniş kullanım alanı araştırmacıların dikkatini çekmekte ve bu konudaki araştırmalar artan bir seyir izlemektedir. 2014-2022 yılları arasında “cold plasma ve food” anahtar kelimeleri kullanılarak “Web of science” sitesinde yapılan tarama sonuçları Şekil 1’de verilmiştir. Ayrıca, termal olmayan uygulamalar arasında da kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. 2014-2022 yılları arası Web of science sitesinden ‘cold plasma, food’ anahtar kelimesi kullanılarak bulunan akademik yayın sayısı



Şekil 2. Bazı termal olmayan teknolojilerin 2014-2022 yıllarında Web of science'da yayımlanan makale oranları

Soğuk Plazmanın Gıda Bileşenlerine Etkisi

Proteinlere Etkisi

Soğuk plazmanın protein ile ilgili modifikasyonları genel olarak üç başlıkta toplanabilmektedir (Segat ve ark., 2015; Dharini ve ark., 2023).

1. Parçalanma: Protein yan zincirlerin oksidasyonu, reaktif türler tarafından gerçekleştirilebilir, ayrıca UV radyasyonu peptid zincirini parçalayabilir. Bunun sonucunda fonksiyonel özelliklerde iyileştirme görülmektedir.

2. Çapraz bağlama: Sülfhidril grupların oksidasyonu, disülfid bağları oluşturmak üzere çapraz bağlanmaya yardımcı olan karboniller üretir. Bu olay hidrofobik grupları ortaya çıkarmakta ve böylece emülsifiye edici özellikleri artırmaktadır.

3. Konformasyonel değişiklikler: α -Helix ve β -tabakaları proteinlerin ikincil yapısının ana bileşenleridir ve oksidasyon nedeniyle değişirler. Bu da gıdalarda zararlı enzimlerin aktivitesini ve alerjeniteyi azaltmaktadır.

Proteinler besleyici özelliklerinin yanında ara yüzey aktiviteleri, tekstür, çözünürlük, termal stabilite gibi teknolojik özellikleri açısından da önemli gıda bileşenleridir. Aminoasitlerin çeşidi ve dizilimi bu özellikleri etkileyen en önemli faktördür (Mollakhalili-Meybodi ve ark., 2021). Soğuk plazma uygulaması sonucu oluşan

reaktif oksijen türleri ve reaktif azot türleri ile aminoasitler arasındaki etkileşim, proteinlerin yapısının değişmesi dolayısıyla çözünürlük, emülsifiye etme ve köpürme özellikleri gibi fonksiyonel özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır.

Yapılan bir çalışmada aminoasitlerin sulu çözeltilerine soğuk plazma uygulanması (Düşük frekanslı plazma jet, helyum gaz akış hızı 2.0 L dk.⁻¹, 1 ml 1.0 mM⁻¹ amino asit çözeltisi, uygulama mesafesi 20 mm) sonucunda aminoasitlerde bozunma gözlemlendiği belirtilmiştir. Bozunmanın sebebinin pH kaynaklı bir kimyasal parçalanma olmadığı ve soğuk plazma ile oluşan reaktif türlerin etkili olduğu bildirilmiştir. Tirozin, fenilalanin ve triptofandaki aromatik halkaların hidroksilasyonu ve nitrasyonunun gerçekleştiği; sisteinde tiyol gruplarının sülfonasyon ve disülfid bağı oluşumunun gözlemlendiği; metioninin sülfoksidasyonu; histidin ve prolinde beş üyeli halkaların açıldığı ve amidasyonun gerçekleştiği ifade edilmiştir (Takai ve ark., 2014).

Kükürt içeren ve aromatik aminoasitlerin reaktif oksijen türlerine karşı daha hassas olduğu saptanmıştır. Sistein ve metionin özellikle OH⁻ ve ¹O₂ ne duyarlı oldukları rapor edilmiştir. Sistein ve metionin içindeki tiyol gruplarının ROS tarafından oksidasyonu, disülfid bağlarının oluşumuna yol açtığı ve bunları sırasıyla sistein ve metionin sülfoksite dönüştürdüğü belirlenmiştir (Surowsky ve ark., 2016). Aminoasitlerin oksidasyonunun bir göstergesi olan karbonil içeriğinin plazma işleminden sonra arttığı da rapor edilmiştir (Bozkurt, 2014; Mehr ve Koocheki, 2020).

Reaktif türler için birincil hedef kükürt içeren ve aromatik olan aminoasitlerdir. Bunları sırayla beş üyeli halka aminoasitler ve basit karbon zincirli aminoasitler takip etmektedir. Ayrıca, reaktif plazma türlerine maruz kalmak ile (i)kükürt içeren karbon zincirli aminoasitler hızla okside olup sülfonatlanabilmekte (ii) OH ile benzen halkası arasındaki bağlantının kopması nedeniyle aromatik amino asitlerin benzen halkası kolayca hidroksile olup nitratlanabilmekte, (iii)n-NH-C=O bağı parçalanıp beş üyeli halkanın kolayca açılabilmesi sağlanmakta, (iv) karbon zincirli amino asitlerin okside olması ve böylece doymamış bağların oluşması nedeniyle çeşitli ürünler oluşabilmektedir (Zhou ve ark., 2016).

Kısa ve uzun taneli pirinç ununun aminoasit profiline soğuk plazmanın etkisinin araştırıldığı çalışmada; treonin, glutamik asit, fenilalanin, asparagin, histidin, prolin, izolösin, amino butirik asit, serin ve triptofan artarken aspartik asit, arginin ve glutaminin azaldığı, yani aromatik aminoasitler artarken, asidik ve bazik aminoasitlerin azaldığı belirtilmiştir. Sistein, metionin ve lizin oranı kısa taneli pirinçlere oranla uzun taneli pirinçlerde daha fazla bulunmuştur. Bu değişikliklerin soğuk plazma işlemi (DBD plazma, 250g örnek, % 45 bağıl nem, voltaj 60-70 k, 5-10 dakika süre) sırasında ozon oluşumuna bağlı olduğu ifade edilmiştir (Pal ve ark., 2016). Soğuk plazmada bulunan reaktif türlerin, peptid bağlarını kırabileceği, aminoasit yan zincirlerini oksitleyebileceği, proteinler içinde çapraz bağlar oluşturabileceği ve molekül içi ve moleküller arası disülfid bağlarının oluşumuna sebep olabileceği bildirilmiştir (Mollakhalili-Meybodi ve ark., 2022). Proteinlerin uzamsal yapısı onların fonksiyonel ve biyolojik özelliklerini belirlediğinden, soğuk plazma ile oluşan reaktif türler ve aminoasitler arasındaki etkileşim ile proteinlerin uzamsal yapısı ve dolayısıyla fonksiyonel özellikleri değişebilmektedir. Protein çeşidinde plazma türü, reaktif gaz, çalışma koşulları, numune hacmi ve aminoasit bileşimine bağlı olarak yapısal değişiklikler gerçekleşebilmektedir (Kopuk ve ark., 2022). Diğer taraftan düşük basınçlı soğuk plazma uygulanmasının, kontrol numunesiyle kıyaslandığında çiğ sütün protein içeriğini

değiştirmediyini belirten veya soğuk plazma uygulamasıyla yağsız süt tozunun aminoasit profilinde önemli bir değişiklik olmadığını belirten çalışmalar da mevcuttur (Chen ve ark., 2019; Manoharan ve ark., 2021).

Proteinlerin yapısının değişmesi; çözünürlük, emülsifiye etme ve köpürme özellikleri gibi fonksiyonel özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır. Çizelge 2’de gıdalara uygulanan soğuk plazma işlemi sonucunda proteinlerde gerçekleşen değişiklikler gösterilmiştir.

Çizelge 2. Soğuk plazma işleminin proteinler üzerine etkisi

Örnek	Soğuk plazma türü	İşlem koşulları	Oluşan değişiklikler	Kaynak
<i>Pisum sativum</i> ‘Salamanca’ unu	SBDB: Yarı direkt bariyer boşalım	4.75 g örnek, 12 mm mesafe, 10 dak süre, 3.0 kHz 8.8 kVPP, sinüsoidal voltaj	-Proteinlerin çözünürlükleri % 191’e yükselmiş -Su ve yağ bağlama kapasitelerinin sırasıyla % 113 ve % 116’ya yükselmiş	(Bubler ve ark., 2015)
Sert, yumuşak buğday unları	DBD plazma	250g örnek, %45 nisbi nem, 60-70 kV voltaj, 5-10 dakika süre	-Hamur mukavemetinde ve optimum karıştırma süresinde gelişme -Uygulanan voltaj ve sürenin artmasıyla elastikiyet ve vizkozite artış -Hem güçlü hem de zayıf buğday ununun β -sheets yapısında azalma, α -helislerde ve β -turns yapısında artış	(Misra ve ark., 2015)
Peynir altı suyu proteini izolatu	Atmosferik soğuk plazma	30 ml örnek, 70 kV voltaj 1, 5, 10, 15, 30 ve 60 dakika süre, ortam havası	-Serbest sülfhidril gruplarının kaybıyla karbonil içeriği ve yüzey hidrofobikliğinde artış -Proteinler arasındaki açılma ve ağ oluşumu nedeniyle protein esnekliğinde artış ve böylece köpürme ve emülsifiye edici özelliklerinde gelişme -Uygulamanın 30-60 dakikaya uzatılması köpük oluşumunu olumsuz etkileyen protein agregatlarının oluşumuna sebep olmuş fakat proteinin stabilitesini arttırmış	(Segat ve ark., 2015)
Buğday unu			-Proteinlerin moleküler ağırlığı ve çözünürlüğü değişerek gluten ağı ve su bağlama kapasitelerinde ve hamur mukavetinde değişiklik	(Bahrami ve ark., 2016)
Sığır akciğer proteini	DBD plazma	80 kV voltaj, 15 dakika süre	-Sığır akciğer proteinlerinin çözünürlüğünde önemli ölçüde azalma, yağ tutma kapasitesinde önemli bir artış	(Pérez-Andrés ve ark., 2019)
<i>Argentinus ilex</i> protein konsantresi	Atmosferik plazmanın	60 kV; 15, 60, 120, 180, 240 ve 300 s	-Karbonil içeriğinde önemli bir artış -sülfidril grubu içeriğinde azalma, -Doku profili analizi, renk özellikleri ve su tutma kapasitesinde önemli bir artış -Yüksek derecede protein agregasyonu	(Nyaisaba ve ark., 2019)
Buğday tanesi ve buğday unu	DBD Plazma	5 g örnek, 5-30 dakika süre, 80 kV	-Buğday ununun hidrasyon özelliklerinde artış -Su tutma kapasitesinde, hamur kıvamında ve viskozitelerinde artış -Protein yapısında değişiklik yok	(Chaple ve ark., 2020)
Soya protein izolatları	Atmosferik soğuk plazma	80-100-120 Hz 1-10 dakika	-80 ve 120 Hz’de protein çözünürlüğünde artış -100 Hz’de 5 dakika içinde bir azalma ve ardından 10 dakikada bir artış -120 Hz ve 2 dk. Da en yüksek protein	(Zhang ve ark., 2020)

			çözünürlüğü ve % 282'ye kadar artış -Emülsifiye etme özelliği kontrol ile karşılaştırıldığında % 56 - % 168 artış -Köpürme özellikleri % 60 - % 194 artış -120 Hz, 5 dak IgE bağlayıcı seviyesi kontrole göre % 75'e kadar düşmüş -80 Hz de emülsifiye etme özelliklerinde iyileşme -Reaktif oksijen türlerinin neden olduğu oksidasyon proteinlerin ikincil ve üçüncül yapısında değişimlere sebep olmuştur.	
Yağsız süt	Atmosferik basınç soğuk plazma	1, 2, 3, 4 ve 5 dak 0.9 mol N ₂ ve 0.1 mol O ₂ mol başına besleme gazı	-Önemli derecede pH'ı düşüşü, -Titre edilebilir asitlikte artış -Süre uzadıkça partikül büyüklüğünde artış yani protein agregasyonu -5. dak sonunda daha fazla esmerleşme	(Sharma ve Singh, 2020)
Bezelye proteini	DBD plazma	3500 Hz, 10 µs, 10 dakika, 0-30 kV, 0-1 A	- 70 °C ile 90 °C arasında jel oluşumu (kontrol 95 °C üzerinde) -Protein açılması ve fibril agregatlarının oluşması ile denatürasyon sıcaklığında düşme	(Zhang, Huang ve ark., 2021)
Soya protein izolatu	DBD plazma	0, 5, 10, 15 dk, 16, 18, 20 kV	-Emülsifiye edici özellikler, çözünürlük, su tutma kapasitesi ve köpürme aktivitesinde artış - En yüksek değerler 18 kv'da 15 dak -Sürenin uzatılmasıyla serbest ve reaktif sülfhidril ve serbest karbonil içeriğinde artış -Voltaj 18 ve 20 kV'a yükseltildiğinde molekül içi hidrojen bağlarının oluşumu ve protein agregatları üretiminde artış	(Sharafodin ve Soltanzadeh, 2022)
Bezelye proteini	Atmosferik soğuk plazma		-pH 2'de reaktif türlerin protein denatürasyonu ve disülfid bağı çözünür agregatların oluşumu -Jelleşme ve emülsifikasyonda önemli bir artış -Reaktif türlerden O ₃ ve OH proteinin yüzey hidrofobikliğinde ve β-sheet içeriğinde önemli bir artış oluşturmuş -H ₂ O ₂ proteinin beyazlığını arttırırken, protein yapısı ve işlevselliği üzerindeki etkisinin en düşük düzeyde oluşmuş	(Bu ve ark., 2022)
Koyun sütü	DBD plazma	Ortam havası, 40 W giriş gücü 30, 180 ve 300 saniye	-Mikrobiyal inaktivasyonun pastörize edilen sütte benzer -Daha küçük kazein misel boyutları -pH ve a* değeri uygulama süresi arttıkça biraz düşüş -Dondurularak kurutulmuş sütte nem miktarında azalma -300 saniye işlem gören sütte daha düzgün bir mikroyapı ve daha iyi protein dağılımı	(Wang ve ark., 2022)
Soya ve bezelye protein preparatı	Plazma jet	Hava akış hızı 1 L dk ⁻¹ . mesafe 13 cm	-Preparatların aktive edilmiş çözeltileri yoluyla nitrit ilavesinin sosilerin raf ömrünü uzattığı -Bitkisel protein preparatlarının orjininin, üründe farklı kalıntı nitrit seviyelerine yol açtığı	(Marcinkowska-Lesiak ve ark., 2022)

Lipidlere Etkisi

Serbest radikaller, özellikle doymamış yağ asitlerini çift bağlardan okside etmekte ve lipitlerin kalitesini düşürmekte ve toksik aldehytler üretmektedir (Dharini ve ark., 2023). Doymamış yağ asitlerinde bulunan, C=C bağına etki etmek için gereken enerji C-H bağına etki etmek için gereken enerjiden daha düşüktür. Bu nedenle OH, ¹O₂ gibi reaktif oksijen türleri için öncelikli hedeflerdir. Yağ asidi içindeki çift bağ sayısı arttıkça reaktif oksijen türlerinin saldırılarına daha açık hale gelmektedir. Oksidasyona eşlik eden peroksit radikalleri C-H bağlarının kırılmasına sebep olmaktadır. Oluşan hidroperoksitler çeşitli reaksiyonları başlatabilir veya kısa zincirli yağ asitleri, aldehytler ve hidroksi asitler keto asitlerin oluşmasına yol açarlar. Lipit peroksidasyonunun gıdaların duyuşal özellikleri üzerine etkisi de oldukça fazladır (Surowsky ve ark., 2016; Gavahian ve ark., 2018).

Lipitlerin muhtemelen yüzeye yakın olmasından dolayı hücre membranlarındaki en savunmasız makromoleküller olduğu düşünülmektedir. Membran lipitlerinin değişimi makromoleküllerin sızmasına neden olmaktadır (Coutinho ve ark., 2018). ROS'un lipitlerle etkileşimi sonucunda doymamış yağların çift bağları parçalanabilmekte ve yağ asidi radikalleri oluşabilmektedir. Hidroperoksitler, lipit dekompozisyonu veya eter ya da peroksit köprüleriyle yağ asidi zincirlerine bağlanma gibi farklı reaksiyonlar başlatabilmektedir. Aldehytler off-flavor oluşturarak duyuşal kaliteyi etkileyebilmekte ve yeni karbonil grupları oluşabilmektedir. DBD ile oluşan ozon ile doymamış yağların reaksiyonu, stabil olmayan başlangıç ozonit bileşiklerinin oluşumuna yol açmaktadır. Plazma işlemi reaktif türlerin oluşumuna sebebiyet verdiği için lipit oksidasyonunu hızlandırmaktadır (Saremnezhad ve ark., 2021).

Balık yağına uygulanan soğuk plazma işlemi sonucunda (DBD plazma jet, Ar/ 0.6% O₂) 2-propenal, -2-pental, heptanal, 1-penten-3-one gibi oksidasyon ürünleri olduğu bildirilmiştir (Vandamme ve ark., 2015).

Bir başka soğuk plazma uygulaması (hava, 15-20 V, 60-120 s) lipitlerin ve glikolipitlerin konsantrasyonunda değişime neden olmamakla birlikte serbest yağ asidi ve fosfolipid içeriğinde değişime neden olmuştur. İşlem süresi ve uygulama voltajının artmasıyla n-hekzan ve hidroperoksitlerin arttığı, esansiyel bir yağ asidi olan linoleik asitte 20 V ve 120s işlem sonrasında % 100'lük bir azalma olduğu bildirilmiştir (Bahrami ve ark., 2016).

Trans yağ içermeyen soya fasulyesi yağının hidrojenasyonu amacıyla gerçekleştirilen soğuk plazma (HVCAP, 10 L dk⁻¹. akış hızı, 90 kV, % 5 hidrojen / % 95 azot veya % 100 H) işlemi sonucunda iyot değerinde 130.9'dan 91.9'a düşüş, doymuş yağ asitlerinde % 12, tekli doymamış yağ asitlerinde % 4.6 artış, doymamış yağ asitlerinde % 16.2 azalış gerçekleşmiştir. İşlemlerle birlikte linolenik ve linoleik asidin önemli derecede azaldığı; oleik, stearik ve palmitik asidin ise önemli derecede arttığı bildirilmiştir. İşlem sonucunda trans yağ tespit edilmemiştir (Yepez ve Keener, 2016).

Benzer bir başka çalışma sonrasında (DBD, % 15 H₂: % 85 He) iyot değerinde 60.89'dan 48.39'a düşüş gerçekleştiği bildirilmiştir. Trans yağ oranı % 1.44 olup bu değer iyot değerindeki % düşüş başına sadece % 0.07'lik trans yağ üretim anlamına gelmektedir ve geleneksel yöntemden yaklaşık 6.12 kat daha düşüktür. Serbest asitlik değeri ise 12-20 saatlik işlemde sonra % 43'e düşmüştür. Bu durum plazma ile hidrojenasyonunun yağ veya margarinin raf ömrünün uzatılmasına yardımcı olabileceğini göstermektedir (Puprasit ve ark., 2020).

15g örnek, % 40 bağıl nem, 60- 80 kV, 3- 30 dk. işlem koşullarıyla et ve süt ürünlerine DBD uygulamasında, reaktif türlerin doymamış yağ asitlerinin çift bağlarına bağlandığı, uygulanan voltaj ve işlem süresinin artmasıyla çift bağların azaldığı, süt ürünlerinin et ürünlerine kıyasla oksidasyona eğiliminin daha fazla olduğu, doymamış yağ asidi oranının azaldığı, ozon ve hidroksil radikallerinin en aktif radikaller olduğu ve işleme birlikte doymuş aldehitler, karboksilik asitler veya diğer ikincil oksidasyon ürünleri gibi yeni karbonil bileşiklerinin oluştuğu bildirilmiştir (Sarangapani ve ark., 2017a).

Kaju ile gerçekleştirilen bir başka (Işıklı boşalım, 80 W- 50 kHz) uygulama sonrasında palmitik asit oranı % 0.09, stearik asit oranı % 1.5, oleik asit oranı % 0.62 artmış, linoleik asit oranında ise % 1.66 azalma gerçekleşmiştir (Alves Filho ve ark., 2019).

Queso fresco peynirine uygulanan HVCAP işlemi (10g örnek, % 65 O₂, % 30 CO₂, % 5 N₂ gaz kompozisyonu, 1 L dk⁻¹, 5 dk, 60- 80-100 kV, 60 Hz) sonrasında lipit oksidasyonu minimal düzeyde gerçekleşmiş, en düşük uygulama voltajında (60kV) en yüksek malondialdehit miktarı tespit edilmiştir (Wan ve ark., 2021).

Karbonhidratlara Etkisi

Karbonhidratlar da reaktif türlere karşı hassastırlar. Karbonhidratlarla ilgili değişiklikler genel olarak aşağıda özetlenmiştir (Dharini ve ark., 2023).

1. Depolimerizasyon: Plazma işlemi, hidrojen ayrılması nedeniyle C-OH bağımlı çözmektedir. Bunun sonucunda, çözünürlüğü ve su tutma kapasitesini artırmaktadır.
2. Çapraz bağlama: Oksitlenmiş nişastalar birbirleriyle veya lipitlerle çapraz bağlanmaktadır. Bu durum gıda kalitesini düşürmekte ve nişasta granülleri ile hamurlarını stabilize etmektedir.
3. Aşındırma: Polimer yüzeyine iyonların bombardımanı erozyona neden olmaktadır. Çimlenme verimini arttıran ve pişirme süresini kısaltan bir süreç olarak değerlendirilmektedir.
4. Fonksiyonel grupların eklenmesi: Plazma işlemi, polimer yüzeyine -COOH ve O-asetil esterler gibi polar fonksiyonel gruplar eklemektedir. Bunun sonucunda, polimerlerin hidrofilik doğasında artış gerçekleşmekte, tohum çimlenmesi gelişmekte ve su emilimi artmaktadır.

Portakal suyuna doğrudan ve dolaylı olarak uygulanan plazma işlemi (DBD, 70 kV, ortam havası, 20 ml örnek, 15-30-45-60 s) sonucunda her iki işlemin de oligosakkaritleri kısmi olarak parçaladığı ancak prebiyotik bir gıda olarak sınıflandırılmak için yeterli miktarda oligosakkarit bulunduğu bildirilmiştir. İşlem süresi uzadıkça yüksek polimerizasyon dereceli (DP) oligosakkaritlerin azaldığı, yüksek DP polisakkaritlerin bozunmasından dolayı sükröz ve DP3 olan oligosakkaritlerin arttığı bildirilmiştir. Söz konusu bozunmada ozonun etkili olduğu ve dolaylı işlemin daha etkili olduğu belirtilmiştir (Almeida ve ark., 2015).

Bir başka çalışmada soğuk plazma (DBD, 30-60 dk., 12.5 kHz, 15 kV) uygulamasının kavunun çözünen katı madde içeriğinde anlamlı bir fark yaratmadığı rapor edilmiştir (Tappi ve ark., 2016). Benzer sonuç domates

suyunda da (Kayma ark boşalım, 50 mL örnek, 50 Hz, 3.8 kV, 40 W, azot, 440 L h⁻¹ akış hızı, 0.6 s) elde edilmiştir (Starek ve ark., 2020). Kolza tohumlarına uygulanan soğuk plazma işlemi sonrasında (Korona boşalım plazma jet, 20 kV, 1.5 A, 58 kHz) kolza tohumlarının indirgen şeker içeriklerinde bir değişiklik olmadığı da bildirilmiştir (Puligundla ve ark., 2017).

2021 yılında yapılan bir başka çalışmada ise süte uygulanan soğuk plazma işlemi (DBD, 2 kV, 57 Ma, ortam havası, 3 ml dk⁻¹. akış hızı) sonucunda laktoz içeriğinin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir. Bunun nedeninin ise sütte oluşan OH radikalının laktoz ile etkileşimine bağlanabileceği belirtilmiştir (Manoharan ve ark., 2021).

Soğuk plazmanın karbonhidrlara etkisine yönelik çalışmalar çoğunlukla nişastanın modifikasyonu üzerine yoğunlaşmıştır. Soğuk plazma uygulaması sonucu oluşan reaktif türler ile karbonil, karboksil ve hidroksil grupları gibi oksijen içeren nişasta polimerleri arasındaki kimyasal reaksiyonlar, pürüzsüz hidrofobik yüzeyleri pürüzlü hidrofilik yüzeylere dönüştürerek nişastanın fonksiyonel özelliklerinin değişimine neden olmaktadır (Barbhuiya ve ark., 2021). Uygulanan voltaj, plazma gazı ve işlem süresi gibi faktörler nişasta modifikasyonun belirleyicisidirler. Nişasta moleküler zincirlerinin aktif plazma reaktif türleri tarafından depolimerizasyonu nedeniyle nişastanın ortalama molekül ağırlığı azalmaktadır. Jelatinleşme sıcaklığındaki azalma, işlemden sonra kristallikte azalmaya bağlanmaktadır. Plazma türlerinin neden olduğu depolimerizasyon, aşındırma ve çapraz bağlanma nişastanın modifikasyonuna neden olmaktadır (Thirumdas ve ark., 2017). Depolimerizasyon, çapraz bağ oluşumu, hidrofilik yapının değişimi ve yeni fonksiyonel grupların oluşmasıyla nişastanın şişme kapasitesi, termal karakteristiği, yapışma özelliği, çözünürlüğü, vizkozite ve sindirilebilirliğini değiştirmektedir (Saremnezhad ve ark., 2021).

Soğuk plazmanın (RF plazma, 5g örnek, ortam havası, 0.15 mbar çalışma basıncı, 30- 40-50 W, 5-10-15 dk.) beluga (siyah) mercimeğinin yüzey özelliklerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, pişirme süresinin, plazma gücü ve işlem süresine bağlı olarak 30.25 dakikadan 20.45 dakikaya düştüğü; bunun sebebinin reaktif türlerin, dıştaki lifli kepek tabakasını açıp suyun nüfusunu kolaylaştırması olduğu ayrıca nişastanın depolimerizasyonunun, siyah mercimeğin yüzey bütünlüğünün bozulmasının ve suyun çekirdek açıklıklarından nüfuz etmesinin de pişirme süresinde azalmaya yardımcı olduğu bildirilmiştir. Ayrıca sertlikte 22.50'den 12.36 N'ye bir düşüş gerçekleşmiştir. Yazarlar soğuk plazma uygulamasının, yüzey aşındırma ve yüzeyin hidrofilizasyonu ile sonuçlandığını, sertlikteki azalma ve yapışkanlıktaki artışın, karbonhidrat fraksiyonunun depolimerizasyonundan, nişastanın veya düşük moleküler ağırlıklı yüzey parçacıklarının süzülmesinden, nişastanın jelatinizasyonunun ve akışkanlığının artmasından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca soğuk plazma uygulanmış örneklerdeki su absorpsiyonu artışının, suya yüksek afinite sergileyen dekstrin, maltoz, glukoz vb. gibi basit şekerlerin oluşumundan kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Saranganpani ve ark., 2017b).

Yüksek metoksilli pektinin modifikasyonu için uygulanan soğuk plazma işlemi sonucunda ise (Işıklı boşalım, 0-3-7-15 dk., 0.12 Torr basınç, 0.2 g örnek, 12-18 KHz, 20 W) viskozite ve jel oluşumu 7 dakika içinde artıp sonra sabit kalmış, esterleşme derecesi düşmüş, molekül ağırlığı azalmış, hidrojen bağlarının oluşumundan dolayı kristallikte artış gerçekleşmiştir (Momeni ve ark., 2018).

Çemen tohumuna soğuk plazma (HVACP, 30 dk., 80 kV, hava) uygulanması ile yüzeyde belirgin yapısal değişim gerçekleşmiş ve ekstraksiyon çözeltisinin pH'ı düşürerek, galaktomannan ekstraksiyon verimi, ıslatılmış

tohumlardan % 122, kuru tohumlardan % 67 oranında fazla gerçekleşmiştir. İşlem sonrası elde edilen galaktomannanın daha yüksek su bağlama kapasitesine, şişme indisine, viskoziteye ve ayrıca daha düşük erime entalpisine sahip olduğu, aşındırma nedeniyle galaktomannanın yüzey morfolojisinin değiştiği ancak moleküler ve kristal yapıda önemli bir değişiklik olmadığı bildirilmiştir (Rashid ve ark., 2020).

Soğuk plazmanın (DBD, 15g örnek, 43.5 kHz, hava, CO₂, He, Ar, 30 kV, 20-30 dk.) tapyoka nişastasına uygulanması sonucunda ise nişastanın viskozitesinde kontrol örneğine kıyasla önemli ölçüde artış tespit edilmiştir. Ayrıca plazma işlemi sırasında nişasta molekülleri arasında oluşan çapraz bağlanma reaksiyonları nedeniyle reolojik özelliklerde değişim gerçekleşmiş, işlem süresi ve besleme gazının nişastanın reolojik özellikleri üzerine önemli etkileri olduğu bildirilmiştir (Zhang, Zhang ve ark., 2021).

Patates nişatasında, reaktif türlerin aşındırmaya neden olarak küçük çatlaklara ve gözeneklere yol açtığı; işlem süresi uzadıkça (DBD, 3g örnek, 50 V, 3-6-9 dk.) nişasta hidrolizi, bulanıklık, sinerezis ve jelatinleşme sıcaklıklarının önce artıp, sonra azaldığı buna karşılık çözünürlük, şişme gücü ve su absorpsiyonunun önemli ölçüde arttığı bildirilmiştir. Nişasta jellerinin retrogradasyon eğiliminde bir azalma olduğu ayrıca, amiloz moleküllerinin film oluşumu sırasında çatlaklardan kolayca dışarı aktığı, bunun da film oluşturan sıvının çözünürlüğünü ve viskozitesini arttırdığı ve plazma ile modifiye edilmiş patates nişastası bazlı filmlerin yüzeyinin düzleştiği bildirilmiştir (Guo ve ark., 2022).

Biyoaktif Bileşenlere Etkisi

Polifenoller, antosiyaninler, karatenoidler ve vitaminler önemli bazı biyoaktif bileşiklerdir. Soğuk plazmanın biyoaktif bileşenlere etkisi büyük ölçüde işlem gazına, plazma kaynağına, giriş gücüne, işlem süresine, mesafeye ve gıda matrisine bağlıdır (Barbosa-Cánovas ve ark., 2022). Plazma nedeniyle oluşan enerji yüklü elektronlar oksijen moleküllerini ayrıştırmakta, oksijen atomları oksijen molekülleri ile birleşerek ozon meydana gelmekte ve ozon ile diğer reaktif türlerin oluşması nedeniyle fenolik bileşiklerde azalma meydana gelmektedir (Sruthi ve ark., 2022).

Portakal suyuna, kiviye, cevizde uygulanan soğuk plazma işlemleri sonrasında antioksidan aktivitede önemli bir değişiklik gerçekleşmemiştir (Almeida ve ark., 2015; Ramazzina ve ark., 2015; Amini ve Ghoranneviss, 2016). Bu durum ozonun yeterli düzeyde etki etmemesi, dokuların yapısı ve depolama koşulları gibi sebeplerle ilişkilendirilmiştir. Diğer taraftan 60 saniyelik plazma uygulamasıyla, başlangıçtaki fenolik içeriğin % 76'sının korunduğu rapor edilmiştir (Almeida ve ark., 2015). Fenolik bileşiklerin ozon saldırısına hassas olduğu ve önemli değişikliklerin 60 saniyelik işlem sırasında meydana geldiği bildirilmiştir. Flavonoidler, fenolik asitlerden çok daha hızlı bozunmaktadır (Muhammad ve ark., 2018).

Mandalinaya uygulanan soğuk plazma işlemi (Atmosferik plazma, azot, 900 W, 10 dak, 0.7 kPa ve 1000 mL dk⁻¹) sonucunda meyve kısmındaki fenolik içerik değişiminin önemsiz olduğu ancak kabuktaki fenolik içeriğin önemli derecede arttığı bildirilmiştir. Bu artışın nedeninin soğuk plazma uygulaması ile oluşan UV'den kaynaklanabileceği, UV'nin, fenolik ve polifenolik biyosentezini teşvik ederek, içeriğini artırabileceği

bildirilmiştir. Fakat bu artış 4°C deki depolama sırasında korunamamış, 25 °C de 3 gün süreyle korunabilmiştir. Kabuğun kalın olmasından dolayı reaktiflerin geçişinin sınırlı olması antioksidan kapasitenin meyve kısmında değişmemesine, kabuk kısmında artmasına sebep olduğu düşünülmüştür. Diğer taraftan soğuk plazma uygulaması sonrasında askorbik asit konsantrasyonundaki önemsiz değişikliklerin, uygulanan enerji seviyesi ile açıklanabileceği ancak daha büyük olasılıkla mandalinalarda kalın kabuğun varlığına dayandırılabilceği belirtilmiştir (Won ve ark., 2017).

Yaban mersininde plazma işlemi (HVDBD, 1.5 dk., 60.60 kV) ile toplam fenolik içeriği (TPC) ve toplam flavonoid içeriğinde (TFC) ilk 1 dakikadaki artıştan sonra azalma gerçekleşmiş, askorbik asit içeriğinde ise azalma olmuştur. TPC ve TFC içeriğindeki artış, fenolik bileşiklerin sentezindeki anahtar enzimlerden biri olan fenilalanin amonyak liyazının aktivasyonunun artması ile ilişkilendirilmiştir. Hidroksil radikalleri, peroksit radikalleri ve ozonun fenolik bileşiklerle doğrudan reaksiyona girmiş olabileceği ayrıca hücre duvarı polisakkaritlerinin depolimerizasyonu ve çözünmesi ile fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunun artmış olabileceği düşünülmüştür. İşlem süresi arttıkça TPC ve TFC'deki azalmanın fenolik bileşikler tarafından, oluşan reaktif türlerin temizlenmesi ile polifenolik yapıdaki heterosiklik yapının bölünmesi ve oligomerizasyon nedeniyle olabileceği belirtilmiştir. Yazarlar gerek işlem süresinin gerekse uygulanan voltajların askorbik asit içeriği üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu, askorbik asidin ozon tarafından bozunmasının doğrudan reaksiyonla veya Criegee mekanizmasının, tekli oksijen ile ozonid veya serbest radikal mekanizması oluşturmaya bağlı olduğunu belirtmişlerdir (Sarangapani ve ark., 2017c).

Soğuk plazma uygulanan (DBD, 15 kHz, 5-10-20-30 dk.) kuarsetinin degradasyonu sonucunda oluşan (\pm)-alfitoninin kuarsetinden daha fazla anti-diyabetik ve antioksidan özellikler sergilediği bildirilmiştir (Kim ve ark., 2017).

Seriguela suyuna soğuk plazma uygulanması (Işıltılı boşalım, dolaylı uygulama, N gazı, 80 W, 50 kHz) sonrası C vitamininde önemli bir değişiklik olmamış, pigmentlerde, toplam fenolik maddede, antioksidan içeriğinde ve B vitaminlerinde artış gerçekleşmiştir. Polifenol oksidaz aktivitesinde % 20 azalma olmuştur. Bu durum işlem yoğunluğu ve süresinin artmasıyla meyve pulpundan bioaktif bileşiklerin ekstraksiyonunun kolaylaşması ile ilişkilendirilmiştir (Paixão ve ark., 2019).

Acerola suyuna uygulanan soğuk plazma işlemi sonucunda (Işıltılı boşalım, 10-20 mL dk⁻¹ akış hızı, 5-15 dk., N gazı, 40 ml örnek) A vitamini ve karotenoid içeriğinde artış gerçekleşmiş (10 mL dk⁻¹ ve 10 dk.) bunun nedeninin RNS'lerinin hücre zarındaki lipoprotein bağlarını kırması ile A vitamini ve karotenoidlerin serbest hale geçmeleri olduğu belirtilmiştir. İşlem koşulları yoğunlaştıkça oluşan RNS'lerle reaksiyona girmeleri nedeniyle fenolik içeriğin % 30 oranında azaldığı, buna karşın antioksidan kapasitenin çok değişmediği ifade edilmiştir. Bu durumun toplam fenolik içeriğinde azalmaya karşılık, toplam karotenoidlerdeki artıştan kaynaklandığı bildirilmiştir (Fernandes ve ark., 2019).

Yaban mersini suyuna uygulanan soğuk plazma (Atmosferik soğuk plazma, Argon- oksijen karışımları, 11 kV, 1000 Hz, 2-4-6 dk.) işlemi sonucunda fenolik içeriğin ısı işlem uygulamasına kıyasla önemli ölçüde fazla olduğu, bu durumun oluşan reaktif türlerin hücre zarına bağlı halde bulunan fenolik maddeleri serbest hale geçirmiş olmasından kaynaklanabileceği rapor edilmiştir. Kısa işlem sürelerinde antosiyanin ve C vitamini

içeriğinin korunabildiği, ayrıca oksijen konsantrasyonunun artmasıyla antioksidan kapasitenin arttığı bildirilmiştir. Antosiyaninlerin oksijen konsantrasyonunun artmasıyla ilk başta arttığı, daha sonra azaldığı bu duruma argon iyonlarının bitki hücrelerinde parçalanmaya neden olmasıyla antosiyanin salınmasında artışın daha sonra ROS'ların oksidasyon etkisinin gerçekleşmesiyle azalmasından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Hou ve ark., 2019).

Farklı frekanslarda soğuk plazma uygulanan (24 kV, 40 ml örnek, 15 dk., 200- 420- 583- 698- 960 Hz) camu camu suyunda, yüksek frekanslar yüksek miktarda ozon ve serbest radikal oluşumuna sebep olmuştur. Serbest radikaller antosiyaninin moleküler yapısındaki pirilyum halkaları ile etkileşime girerek glikozillenmiş kalkonlar oluşturduğu, bu kalkonların da parçalanarak fenolik asitlere ve aldehitlere dönüştüğü bildirilmiştir (De Castro ve ark., 2020).

Soğuk plazma uygulamasının, polifenolik bileşikler oksidasyon, nitrasyon ve polimerizasyon yoluyla değiştirdiği bildirilmiştir. Soğuk plazma işleminden sonra pirokateşol çözeltisinin antioksidan kapasitesinin değişmediği bunun sebebinin ise bir taraftan reaksiyon ürünlerinin çözünür hale gelmesiyle antioksidan kapasitenin artması diğer taraftan oluşan bileşiklerin antioksidan kapasiteyi azaltması sonucunda iki unsurun birbirini nötralize etmesi olabileceği bildirilmiştir (Buşler ve ark., 2020).

Domates suyuna uygulanan soğuk plazma işlemi (Kayma ark boşalım, 50 ml örnek, 50 Hz, 3.8 kV, 40 W, azot, 440 L h⁻¹ akış hızı, 0.600 s) sonucunda C vitamini kaybının % 5 olduğu, sebebinin serbest radikaller ve ozonun etkileşimiyle desteklenen oksidasyon reaksiyonları olabileceği belirtilmiştir. Diğer taraftan soğuk plazma uygulaması depolama ile birlikte karotenoid seviyesinde artışa sebep olmuştur (Starek ve ark., 2020).

Lotus yaprağı tozuna uygulanan soğuk plazma işlemi sonucunda flavonoid içeriğinde önemli bir artış, fenolik içerikte ise hafif bir artış tespit edilmiştir. Antioksidan kapasite de bu sebeple artmıştır (Dakshayani ve ark., 2021).

Soğuk plazmanın (DBD, 96 L h⁻¹ helyum akış hızı, 1.8 L h⁻¹ oksijen/azot gazı karışımı akış hızı) şaraptaki fenolik bileşikler üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; üç aylık depolamaya tabi tutulan şaraplarda toplam fenolik bileşik içeriğinde bir azalma gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, helyum/azot gazı ile 5 dakika soğuk plazma uygulanması sonucunda kontrol örneğine kıyasla fenolik bileşikler sadece % 2.85 oranında azaltmıştır. Ayrıca, potasyum metabisülfid ilavesiyle (100 mg L⁻¹) korunan örnekler göre, fenolik bileşik içeriği % 3.1 daha yüksek olarak saptanmıştır. Soğuk plazma (10 dakika, helyum/azot) uygulanan şaraplarda protokateşik asit içeriği dört kata kadar artmıştır. Şaraplarda en yüksek bozunma antosiyanin içeriğinde gözlenmiştir. Helyum /oksijen gazı karışımı, fenolik bileşiklerde oksijen ve nitrojen karışımına kıyasla daha yüksek derecede azalmaya sebep olmuştur. İşlem süresinin artmasıyla kayıplarda artmıştır (Niedzwiedz ve ark., 2022).

Atmosferik soğuk plazma (DBD, 4.8-6.9 kV, 35,155 sn) uygulanan muz dilimlerinde TPC ve TFC içeriğinin arttığı ve bu artışın antioksidan kapasiteyi % 50'den fazla artırdığı saptanmıştır. Optimum şartların 46 s ve 6.9 kV voltajda elde edildiği, ayrıca vitamin B6 içeriğinin de daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Antioksidan kapasite artışının polifenollerin oksidasyonuna neden olan PPO ve POD enzimlerinin aktivitesinde azalmayla olabileceği

ifade edilmiştir. B6 vitaminindeki artışın ise hücre duvarlarının tahrip olması ve hücre içeriğinin dışarı çıkması kaynaklı olabileceği bildirilmiştir (Pour ve ark., 2022).

Sonuç

Isıl teknolojilerin gıdalarda sebep olduğu çeşitli olumsuz etkiler sebebiyle ısı olmayan teknolojilere yönelim söz konusudur. Soğuk plazma bu teknolojilerden biri olup gıda sanayine uygulanabilirliği konusunda araştırmalar artarak devam etmektedir. Isıl olmayan teknolojilerin sağladığı düşük maliyet, kolaylık, çevresel kirliliğe sebep olmaması ve kalite yönünden avantajlar yanında sağlık açısından olumsuz etkilere sebep olmaması kullanılabilirliğini arttırabilecektir. Bu amaçla gıda alanında uygulanabilirliğinin artırılması için araştırmaların artırılması ve özellikle gıda bileşenleri ile etkilerinin dahi iyi anlaşılması gerekmektedir.

Teşekkür Bilgi Notu

Yapılan bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir. Makale, araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır. Bu makaleyi hazırlayan yazarlar, araştırmaya eşit oranda katkı sağlamıştır ve yazarlar arasında her hangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Almeida, F. D. L., Cavalcante, R. S., Cullen, P. J., Frias, J. M., Bourke, P., Fernandes, F. A. N. and Rodrigues, S. 2015. Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 32: 127–135.
- Alves Filho, E. G., Silva, L. M. A., Oiram Filho, F., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., Gallão, M. I., Mattison, C.P. and de Brito, E. S. 2019. Cold plasma processing effect on cashew nuts composition and allergenicity. *Food Research International*, 125: 108621.
- Amini, M. and Ghoranneviss, M. 2016. Effects of cold plasma treatment on antioxidants activity, phenolic contents and shelf life of fresh and dried walnut (*Juglans regia* L.) cultivars during storage. *LWT, Food Science and Technology*, 73: 178–184.
- Asl, J.P., Rajulapati, V., Gavahian, M., Kapusta, I., Putnik, P., Mousavi Khaneghah, A. and Marszałek, K. 2022. Non-thermal plasma technique for preservation of fresh foods: A review. *Food Control*, 134: 108560.
- Bahrami, N., Bayliss, D., Chope, G., Penson, S., Pehinec, T. and Fisk, I. D. 2016. Cold plasma: A new technology to modify wheat flour functionality. *Food Chemistry*, 202: 247–253.

- Bangar P. S., Trif M, Ozogul F, Kumar M, Chaudhary V, Vukic M, Tomar M. and Changan S. 2022. Recent developments in cold plasma-based enzyme activity (browning, cell wall degradation, and antioxidant) in fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2): 1958-1978.
- Barbhuiya, R. I., Singha, P. and Singh, S. K. 2021. A comprehensive review on impact of non-thermal processing on the structural changes of food components. *Food Research International*, 149: 110647.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Donsì, F., Yildiz, S., Candoğan, K., Pokhrel, P.R. and Guaddarrama-Lezama, A.Y. 2022. Nonthermal processing technologies for stabilization and enhancement of bioactive compounds in foods. *Food Engineering Review*, 14(1): 63–99.
- Bozkurt, D. 2014. Soğuk plazma uygulamasının vitaminler ve polifenol oksidaz (PFO) enzimi aktivitesini üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Bu, F., Nayak, G., Bruggeman, P., Annor, G. and Ismail, B.P. 2022. Impact of plasma reactive species on the structure and functionality of pea protein isolate. *Food Chemistry*, 371: 131135.
- Bußler, S., Steins, V., Ehlbeck, J. and Schlüter, O. 2015. Impact of thermal treatment versus cold atmospheric plasma processing on the techno-functional protein properties from *Pisum sativum* “Salamanca.” *Journal of Food Engineering*, 167: 166–174.
- Bußler, S., Rawel, H. M. and Schlüter, O. 2020. Impact of plasma processed air (PPA) on phenolic model systems: Suggested mechanisms and relevance for food applications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 64: 102432.
- Chaple, S., Sarangapani, C., Jones, J., Carey, E., Causeret, L., Genson, A., Duffy, B. and Bourke, P. 2020. Effect of atmospheric cold plasma on the functional properties of whole wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and wheat flour. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66: 102529.
- Chen, D., Peng, P., Zhou, N., Cheng, Y., Min, M., Ma, Y., Mao, Q., Chen, P., Chen, C. and Ruan, R. 2019. Evaluation of *Cronobacter sakazakii* inactivation and physicochemical property changes of non-fat dry milk powder by cold atmospheric plasma. *Food Chemistry*, 290: 270–276.
- Chizoba Ekezie, F.-G., Sun, D.-W. and 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.
- Coutinho, N.M., Silveira, M.R., Rocha, R.S., Moraes, J., Ferreira, M.V.S., Pimentel, T.C., Freitas, M.Q., Silva, M.C., Raices, R.S.L., Ranadheera, C.S., Borges, F.O., Mathias, S.P., Fernandes, F.A.N., Rodrigues, S. and Cruz, A.G. 2018. Cold plasma processing of milk and dairy products. *Trends in Food Science and Technology*, 74: 56-68.
- Dakshayani, R., Paul, A. and Mahendran, R. 2021. Cold plasma-induced effects on bioactive constituents and antioxidant potential of lotus petal powder. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 49(2): 507-512.
- De Castro, D. R. G., Mar, J. M., da Silva, L. S., da Silva, K. A., Sanches, E. A., de Araújo Bezerra, J., Rodrigues, S., Fernandes, F.A.N. and Campelo, P. H. 2020. Dielectric barrier atmospheric cold plasma

- applied on camu-camu juice processing: Effect of the excitation frequency. *Food Research International*, 131: 109044.
- Dharini, M., Jaspin, S. and Mahendran R. 2023. Cold plasma reactive species: Generation, properties, and interaction with food biomolecules. *Food Chemistry*, 405: 134746.
- Fernandes, F. A. N., Santos, V. O. and Rodrigues, S. 2019. Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice. *Food Research International*, 115: 16-22.
- Gavahian, M., Chu, Y.H., Mousavi Khaneghah, A., Barba, F. J. and Misra, N. N. 2018. A critical analysis of the cold plasma induced lipid oxidation in foods. *Trends in Food Science and Technology*, 77: 32–41.
- Guo, Z., Gou, Q., Yang, L., Yu, Q., Li, and Han, L. 2022. Dielectric barrier discharge plasma: A green method to change structure of potato starch and improve physicochemical properties of potato starch films. *Food Chemistry*, 370: 130992.
- Hosseini, S.I., Farrokhi, N., Shokri, K., Khani, M.R. and Shokri, B. 2018. Cold low pressure O₂ plasma treatment of *Crocus sativus*: an efficient way to eliminate toxicogenic fungi with minor effect on molecular and cellular properties of saffron. *Food Chemistry*, 257: 310-315.
- Hou, Y., Wang, R., Gan, Z., Shao, T., Zhang, X., He, M. and Sun, A. 2019. Effect of cold plasma on blueberry juice quality. *Food Chemistry*, 290: 79–86.
- Kandemir, H., Aydın-Kandemir, F., Güler, B. ve Gurel, A. 2021. Soğuk plazma teknolojisi ve tarımdaki çeşitli uygulama alanları. *Bursa Uludag Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 35(1): 217-245.
- Kim, H. J., Jayasena, D. D., Yong, H. I., Alahakoon, A. U., Park, S., Park, J., Choe, W. and Jo, C. 2015. Effect of atmospheric pressure plasma jet on the foodborne pathogens attached to commercial food containers. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12): 8410–8415.
- Kim, T. H., Lee, J., Kim, H.-J. and Jo, C. 2017. Plasma-induced degradation of quercetin associated with the enhancement of biological activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(32): 6929–6935.
- Kopuk, B., Güneş, R. and Palabiyik, I. 2022. Cold plasma modification of food macromolecules and effects on related products. *Food Chemistry*, 382: 132356.
- Laroque, D. A., Seo, S. T., Valencia, G. A., Laurindo, J. B. and Carciofi, B. A. M. 2022. Cold plasma in food processing: Design, mechanisms, and application. *Journal of Food Engineering*, 312: 110748.
- Manoharan, D., Stephen, J. and Radhakrishnan, M. 2021. Study on low-pressure plasma system for continuous decontamination of milk and its quality evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(2): e15138.
- Mandal, R., Singh, A. and Singh, A.P. 2018. Recent developments in cold plasma decontamination technology in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 80: 93-103.
- Marcinkowska-Lesiak, M., Wojtasik-Kalinowska, I., Onopiuk, A., Stelmasiak, A., Wierzbicka, A. and Póltorak, A. 2022. Application of atmospheric pressure cold plasma activated plant protein preparations solutions as an alternative curing method for pork sausages. *Meat Science*, 187: 108751.

- Mehr, H. M. and Koocheki, A. 2020. Effect of atmospheric cold plasma on structure, interfacial and emulsifying properties of Grass pea (*Lathyrus sativus L.*) protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 106: 105899.
- Misra, N. N., Kaur, S., Tiwari, B. K., Kaur, A., Singh, N. and Cullen, P. J. 2015. Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 44: 115–121.
- Misra, N. N., Yadav, B., Roopesh, M. S. and Jo, C. 2019. Cold plasma for effective fungal and mycotoxin control in foods: Mechanisms, inactivation effects, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(1): 106-120.
- Mollakhalili-Meybodi, N., Yousefi, M., Nematollahi, A. and Khorshidian, N. 2021. Effect of atmospheric cold plasma treatment on technological and nutrition functionality of protein in foods. *European Food Research and Technology*, 247(7): 1579–1594.
- Mollakhalili-Meybodi, N., Nejati, R., Sayadi, M. and Nematollahi, A. 2022. Novel nonthermal food processing practices: Their influences on nutritional and technological characteristics of cereal proteins. *Food Science and Nutrition*, 10(6): 1725– 1744.
- Momeni, M., Tabibiazar, M., Khorram, S., Zakerhamidi, M., Mohammadifar, M., Valizadeh, H. and Ghorbani, M. 2018. Pectin modification assisted by nitrogen glow discharge plasma. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120: 2572-2578.
- Muhammad, A. I., Liao, X., Cullen, P. J., Liu, D., Xiang, Q., Wang, J., Chen, S., Ye, X. and Ding, T. 2018. Effects of nonthermal plasma technology on functional food components. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(5): 1379-1394.
- Niedźwiedz, I., Płotka-Wasyłka, J., Kapusta, I., Simeonov, V., Stój, A., Waśko, A., Pawlat, J. and Polak-Berecka, M. 2022. The impact of cold plasma on the phenolic composition and biogenic amine content of red wine. *Food Chemistry*, 381: 132257.
- Nyaisaba, B. M., Miao, W., Hatab, S., Siloam, A., Chen, M. and Deng, S. 2019. Effects of cold atmospheric plasma on squid proteases and gel properties of protein concentrate from squid (*Argentinus illex*) mantle. *Food Chemistry*, 291: 68-76.
- Paixão, L. M. N., Fonteles, T. V., Oliveira, V. S., Fernandes, F. A. N. and Rodrigues, S. 2019. Cold plasma effects on functional compounds of siriguela juice. *Food and Bioprocess Technology*, 12(1): 110-121.
- Pal, P., Kaur, P., Singh, N., Kaur, A.P., Misra, N.N., Tiwari, B.K., Cullen, P.J. and Viridi, A.S. 2016. Effect of nonthermal plasma on physico-chemical, amino acid composition, pasting and protein characteristics of short and long grain rice flour. *Food Research International*, 81: 50-57.
- Pan, Y., Cheng, J.h. and Sun, D. W. 2019. Cold plasma-mediated treatments for shelf life extension of fresh produce: A review of recent research developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5): 1312–1326.

- Pérez-Andrés, J. M., Álvarez, C., Cullen, P. J. and Tiwari, B. K. 2019. Effect of cold plasma on the techno-functional properties of animal protein food ingredients. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 58: 102205.
- Phan, K. T. K., Phan, H. T., Brennan, C. S. and Phimolsiripol, Y. 2017. Nonthermal plasma for pesticide and microbial elimination on fruits and vegetables: An overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(10): 2127–2137.
- Pohl, P., A. Dzimitrowicz., P. Cyganowski. and P. Jamróz. 2022. Do we need cold plasma treated fruit and vegetable juices? A case study of positive and negative changes occurred in these daily beverages. *Food Chemistry*, 375: 131831.
- Pour, A.K., Khorram, S., Ehsani, A., Ostadrahimi, A. and Ghasempour, Z. 2022. Atmospheric cold plasma effect on quality attributes of banana slices: Its potential use in blanching process. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 76: 102945.
- Puligundla, P., Kim, J.W. and Mok, C. 2017. Effect of corona discharge plasma jet treatment on decontamination and sprouting of rapeseed (*Brassica napus* L.) seeds. *Food Control*, 71: 376–382.
- Puprasit, K., Wongsawaeng, D., Ngaosuwan, K., Kiatkittipong, W. and Assabumrungrat, S. 2020. Non-thermal dielectric barrier discharge plasma hydrogenation for production of margarine with low trans-fatty acid formation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66: 102511.
- Ramazina, I., Berardinelli, A., Rizzi, F., Tappi, S., Ragni, L., Sacchetti, G. and Rocculi, P. 2015. Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107: 55–65.
- Rashid, F., Bao, Y., Ahmed, Z. and Huang, J.Y. 2020. Effect of high voltage atmospheric cold plasma on extraction of fenugreek galactomannan and its physicochemical properties. *Food Research International*, 138: 109776.
- Sarangapani, C., Ryan Keogh, D., Dunne, J., Bourke, P. and Cullen, P. J. 2017a. Characterisation of cold plasma treated beef and dairy lipids using spectroscopic and chromatographic methods. *Food Chemistry*, 235: 324–333.
- Sarangapani, C., Yamuna Devi, R., Thirumdas, R., Trimukhe, A. M., Deshmukh, R. R. and Annapure, U. S. 2017b. Physico-chemical properties of low-pressure plasma treated black gram. *LWT - Food Science and Technology*, 79: 102–110.
- Sarangapani, C., O'Toole, G., Cullen, P. J. and Bourke, P. 2017c. Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 44: 235–241.
- Sarangapani, C., Patange, A., Bourke, P., Keener, K. and Cullen, P. J. 2018. Recent advances in the application of cold plasma technology in foods. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9(1): 609–629.

- Saremnezhad, S., Soltani, M., Faraji, A. and Hayaloglu, A. A. 2021. Chemical changes of food constituents during cold plasma processing: A review. *Food Research International*, 147: 110552.
- Segat, A., Misra, N. N., Cullen, P. J. and Innocente, N. 2015. Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of whey protein isolate model solution. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29: 247–254.
- Sharafodin, H. and Soltanizadeh, N. 2022. Potential application of DBD plasma technique for modifying structural and physicochemical properties of soy protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 122: 107077.
- Sharma, S. and Singh, R.K. 2020. Cold plasma treatment of dairy proteins in relation to functionality enhancement. *Trends in Food Science and Technology*, 102: 30-36.
- Sruthi, N. U., Josna, K., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Gavahian, M. and Mousavi Khaneghah, A. 2022. Impacts of cold plasma treatment on physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory attributes of food: A comprehensive review. *Food Chemistry*, 368: 130809.
- Starek, A., Sagan, A., Andrejko, D., Chudzik, B., Kobus, Z., Kwiatkowski, M., Terebun, P. and Pawlat, J. 2020. Possibility to extend the shelf life of NFC tomato juice using cold atmospheric pressure plasma. *Scientific Reports*, 10: 20959.
- Surowsky, B., Bußler, S. and Schlüter, O. K. 2016. Cold plasma interactions with food constituents in liquid and solid food matrices. *Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications*, 7: 179–203.
- Şen, Y. 2015. Atmosferik basınç plazma uygulamasının gıdaların dekontaminasyonu ve detoksifikasyonu amacıyla kullanımı. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Takai, E., Kitamura, T., Kuwabara, J., Ikawa, S., Yoshizawa, S., Shiraki, K., Kawasaki, H., Arakawa, R. and Kitano, K. 2014. Chemical modification of amino acids by atmospheric-pressure cold plasma in aqueous solution. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 47(28): 285403.
- Tappi, S., Gozzi, G., Vannini, L., Berardinelli, A., Romani, S., Ragni, L. and Rocculi, P. 2016. Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33: 225–233.
- Thirumdas, R., Kadam, D. and Annapure, U. S. 2017. Cold Plasma: an Alternative Technology for the Starch Modification. *Food Biophysics*, 12(1): 129–139.
- Vandamme, J., Nikiforov, A., Dujardin, K., Leys, C., De Cooman, L. and Van Durme, J. 2015. Critical evaluation of non-thermal plasma as an innovative accelerated lipid oxidation technique in fish oil. *Food Research International*, 72: 115–125.
- Wan, Z., Misra, N. N., Li, G. and Keener, K. M. 2021. High voltage atmospheric cold plasma treatment of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* K-12 on Queso Fresco (fresh cheese). *LWT*, 146: 111406.
- Wang, S., Liu, Y., Zhang, Y., Lü, X., Zhao, L., Song, Y., Zhang, L., Jiang, H., Zhang, J. and Ge, W. 2022. Processing sheep milk by cold plasma technology: Impacts on the microbial inactivation, physicochemical characteristics, and protein structure. *LWT*, 153: 112573.

- Warne, G. R., Williams, P. M., Pho, H. Q., Tran, N. N., Hessel, V. and Fisk, I. D. 2021. Impact of cold plasma on the biomolecules and organoleptic properties of foods: A review. *Journal of Food Science*, 86(9): 3762–3777.
- Web of science 2023, a8f59890210bb2a36cc265c34c80a801c14e01d5.vetisonline.com/wos/woscc/basic-search, (Erişim Tarihi: 12.01.2023)
- Won, M. Y., Lee, S. J. and Min, S. C. 2017. Mandarin preservation by microwave-powered cold plasma treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39: 25–32.
- Wu, X., Luo, Y., Zhao, F., M, S. M. and Mu, G. 2020. Influence of dielectric barrier discharge cold plasma on physicochemical property of milk for sterilization. *Plasma Processes and Polymers*, 18: 201900219.
- Xu, Y., Tian, Y., Ma, R., Liu, Q. and Zhang, J. 2016. Effect of plasma activated water on the postharvest quality of button mushrooms, *Agaricus bisporus*. *Food Chemistry*, 197: 436–444.
- Yangıç Yüksel, Ç. ve Karagözlü, N. 2017. Soğuk atmosferik plazma teknolojisi ve gıdalarda kullanımı. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(2): 81-86.
- Yepez, X. V. and Keener, K. M. 2016. High-voltage Atmospheric Cold Plasma (HVACP) hydrogenation of soybean oil without trans-fatty acids. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38: 169–174.
- Zhang, H., Ma, D., Qiu, R., Tang, Y. and Du, C. 2017. Non-thermal plasma technology for organic contaminated soil remediation: A review. *Chemical Engineering Journal*, 313: 157–170.
- Zhang, Q., Cheng, Z., Zhang, J., Nasiru, M. M., Wang, Y. and Fu, L. 2020. Atmospheric cold plasma treatment of soybean protein isolate: insights into the structural, physicochemical, and allergenic characteristics. *Journal of Food Science*, 86(1): 68–77.
- Zhang, S., Huang, W., Feizollahi, E., Roopesh, M. S. and Chen, L. 2021. Improvement of pea protein gelation at reduced temperature by atmospheric cold plasma and the gelling mechanism study. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 67: 102567.
- Zhang, K., Zhang, Z., Zhao, M., Milosavljevic, V., Cullen, P.J., Scally, L., Sun, Da-W. and Tiwari, B. 2021. Low-pressure plasma modification of the rheological properties of tapioca starch. *Food Hydrocolloids*, 125: 107380.
- Zhao, Y., Patange, A., Sun, D.W. and Tiwari, B. 2020. Plasma-activated water: Physicochemical properties, microbial inactivation mechanisms, factors influencing antimicrobial effectiveness, and applications in the food industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6): 3951–3979.
- Zhou, R., Zhou, R., Zhuang, J., Zong, Z., Zhang, X., Liu, D., Bazaka, K. and Ostrikov, K. 2016. Interaction of atmospheric-pressure air microplasmas with amino acids as fundamental processes in aqueous solution. *PLOS ONE*, 11(5): e0155584.