



Application of Plasma Technology in Food Processing

Ash Albayrak^{1,a,*}, Gülden Başyigit Kılıç^{2,b}

¹Agriculture, Livestock and Food Research and Application Center, Burdur Mehmet Akif Ersoy University, 15030 Burdur, Turkey

²Department of Food Engineering, Faculty of Engineering-Architecture, Mehmet Akif Ersoy University, 15030 Burdur, Turkey

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 22/11/2019 Accepted : 09/11/2020</p> <p>Keywords: Antimicrobial effect Food Nonthermal technology Plasma Sterilization</p>	<p>Consumer demands for raw or unprocessed foods increased due to consumers' awareness of the importance of a healthy life. However, searching alternative techniques instead of heat treatment is an important issue for the industry in order to enhance the microbiological quality. Non-thermal techniques are encouraged because of their effectiveness on the preservation of natural aroma, flavor and microbiological quality without causing any change in the structure of the product. Plasma technology is one of these alternative techniques. Plasma technology, known as the fourth state of matter, is known as the partial ionization of positive and negative ions, free radicals, charged particles and molecules in electron and photon form. Plasma is usually forms or formed by electric or electrical discharge or by a strong radiation effect. Plasma is classified according to its temperature, thermal equilibrium, and pressure. Cold plasma technique is used in foods for contaminated surfaces and cleaning of medical instruments. In this review, plasma technology applied to foods and their effects are presented.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8(11): 2300-2306, 2020

Gıda İşlemede Plazma Teknolojisinin Uygulanması[#]

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p>[#]Bu çalışma Aslı Albayrak'ın 29.05.2019 tarihinde sunulan doktora seminerinden hazırlanmıştır.</p> <p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 22/11/2019 Kabul : 09/11/2020</p> <p>Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal etki Gıda Isıl olmayan teknolojiler Plazma Sterilizasyon</p>	<p>Sağlıklı yaşama verilen önemin her geçen gün artmasıyla birlikte tüketicilerin çiğ ya da işlenmemiş gıdalara talebi artmaktadır. Ancak mikrobiyolojik kalitenin kontrol altına alınması amacıyla ısı işlemin dışında alternatif tekniklerin arayışı ön plana çıkmaktadır. Isıl olmayan tekniklerin doğal aroma ve lezzeti koruması, mikrobiyolojik kaliteyi kontrol altına alırken ürünün yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmaması gibi faktörler bu alternatif tekniklere teşvik etmektedir. Plazma teknolojisi bu alternatif tekniklerden biridir. Maddenin dördüncü hali olarak bilinen plazma teknolojisi, pozitif ve negatif iyonların, serbest radikallerin, elektron ve foton formdaki yüklenmiş partiküllerin ve molekülleri içeren gazın, kısmen iyonize edilmesi olarak bilinmektedir. Plazma genellikle elektrik veya elektriksel boşaltım ya da kuvvetli bir radyasyon etkisi ile oluşur ya da oluşturulur. Plazmalar sıcaklıklarına, ısı dengesi durumlarına ve basınçlarına göre sınıflandırılmaktadır. Gıdalarda, kontamine olmuş yüzeylerde, tıbbi aletlerin temizlenmesinde soğuk plazma tekniği kullanılmaktadır. Bu derlemede gıdalar üzerinde uygulanan plazma teknolojisi ve etkileri hakkında bilgi verilmiştir.</p>

^a aalbayrak@mehmetakif.edu.tr

^{ID} <https://orcid.org/0000-0002-1636-148X>

^b gklic@mehmetakif.edu.tr

^{ID} <https://orcid.org/0000-0003-1211-0568>



Giriş

Gıda endüstrisinde son yıllarda ısı işlem uygulanmadan kullanılabilir alternatif teknikler araştırılmaktadır (Chizoba Ekezie ve ark., 2017). Sağlıklı yaşam tarzı tüketicilerin çiğ ya da işlenmemiş gıda talebini artırmaktadır. Ancak mikrobiyolojik kalitenin sağlanamaması gıda kaynaklı hastalıklara neden olmaktadır. Bu duruma önlem olarak ise alternatif sterilizasyon teknikleri arayışı ön plana çıkmaktadır. Isıl olmayan tekniklerin doğal aroma ve lezzeti koruması, mikrobiyal güvenilirliği artırması, kaliteyi iyileştirmesi ve ısı işlemde meydana gelen kayıpların olmaması bu alternatif yöntemlere ilgiyi arttırmaktadır. Bu alternatif yeni nesil yöntemlerden biri de plazma teknolojisidir (Zhou ve ark., 2008; Kim ve ark., 2009).

Plazma teknolojisi; son yıllarda gıdalarda uygulanan ısı olmayan tekniklerden biridir (Güleç, 2012). Aslında polimerlerin yapıştırılması ve iyileştirilmesi için geliştirilmiş bir teknik olmasına rağmen birçok elektronik alanda da kullanılmaktadır. Plazma iyonize gazın, ısı olmayan sterilizasyon teknolojisinde kullanımı olarak bilinmektedir (Fernandez ve ark., 2013). Plazmanın prensibi pozitif ve negatif iyonların, serbest radikallerin, elektron ve foton formdaki yüklenmiş partiküllerin ve molekülleri içeren gazın, kısmen iyonize edilmesi olarak bilinmektedir. Plazma teknolojisi ile bakteriyel hücreler ile etkileşim sağlanabilmekte, spor ve virüslerin de bulunduğu mikroorganizma grupları inaktive edilebilmektedir (Misra ve ark., 2011).

Özellikle mikroorganizma inaktivasyonu için kullanılan plazma teknolojisi; çevre açısından güvenilir olması, tehlikeli ya da toksik maddeler içermemesi, prosesinin temiz ve tekrarlanabilir olması, gıdanın yapısında ve duyuşal özelliklerinde değişikliğe sebep olmaması, çok ince ve homojen kalınlıkta kaplama yapması sebepleriyle avantajlı sayılmaktadır (Yang ve ark., 2009, Kayar ve Yıldız, 2011). Bunların yanı sıra tesis kurulum maliyetinin yüksek olması, güvenlik önlemleri, prosese özel ekipman ihtiyaçları, eğitilmiş personel ihtiyacı gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Yun ve ark., 2010, Kruk ve ark., 2010).

Plazma Teknolojisinin Temel Yapısı ve Özellikleri

Plazma 1928 yılında Amerikalı fizikçi Irving Langmuir tarafından keşfedilmiştir (Fernández ve ark., 2012). Plazmada sürekli hareket eden birbirleriyle etkileşen yüklü serbest elektronlar bulunmaktadır. Plazmanın oluşturulması esnasında enerji kazanan bu serbest elektronlar ile ortamdaki diğer atomlar ve moleküller arasında çarpışma yoluyla enerji transferi gerçekleşmektedir. Farklı çeşitlerin birbirleriyle reaksiyona girmesi sonucunda ortamda çok sayıda yeni moleküller, atomlar, radikaller, iyonlar meydana gelmektedir (Lee ve ark., 2011).

Plazma, gaz fazında elektriksel çalışmaktadır. Doğal koşullarda yüksek ısıyla oluşurken, laboratuvar koşullarında elektriksel boşaltım ile oluşturulmaktadır. Plazma, gaz fazının iki elektronu arasındaki elektriksel alanında ya da sabit doğru akımlı veya yüksek akımlı alanlarında üretilir (Surowsky ve ark., 2013; Thirumdas ve ark., 2014). Elektriksel alan veya elektriksel boşaltım etkisiyle oluşan ya da oluşturulan plazma nötral bir maddedir. Bu nötral

maddeye uygulanacak herhangi bir uyarıcı durum elektronları pozitif ve negatif yüklü bölgelere ayırmaktadır. Elektronların ve pozitif yüklü iyonların plazma içine dağılımı bölgelere ayrılmış şekilde olmaktadır. Bu ayırım sonucunda pozitif bölgeden negatif bölgeye yönelen bir elektrik alanı oluşur (Özkendir ve Ufuktepe, 2000). Aslında plazma iyonlaşmış gaz olarak tanımlanmaktadır. İyonlaşma derecesi %100 olabileceği gibi, çok düşük bir değer olan %4'te olabilir (Bogaerts, ve ark., 2002; Lieberman ve Lichtenberg, 2005; Shishoo, 2007). Bu durum plazmaların termodinamik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Isıl plazmaların iyonlaşma derecesi daha yüksek iken ısı olmayan plazmalarda bu durum daha düşüktür (Rauscher ve ark., 2011; Bozkurt, 2014).

Plazma fazına; termal elektrik, manyetik alan, radyo veya mikrodalga frekanslar, elektronların kinetik enerjisini artırarak gaz formunda plazma oluşumuna neden olur. Bu ürünler iyon, elektron, radikal ve ultraviyole (UV) aralığı dahil olmak üzere çeşitli dalga boylarını da içermektedirler. Elektriksel deşarjlar düşük sıcaklıkta bu işlemleri ucuz, ısıya duyarlı ve pratik olarak gerçekleştirirler (Surowsky ve ark., 2013; Thirumdas ve ark., 2014). Plazma iyi bir iletken özelliğe sahip olmasının yanı sıra elektrik ve manyetik alan ile etkileşmektedir. Yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuna sahip olan plazmanın kimyasal reaksiyonları da oldukça hızlı gerçekleşmektedir (Yangılar ve Oğuzhan, 2013).

Plazma Sistemlerinin Termodinamik Özellikleri ve Çalışma Basınçlarına Göre Sınıflandırılması

Maddenin plazma hali, bir buluş değildir, evrendeki birçok madde plazma fazında bulunmaktadır (Kutlu, 2008). Güneş, yıldızlar, kuyruklu yıldızların kuyruğu, şimşek gibi enerji yoğunluğunun bir şekli olarak karşımıza çıkmaktadır. 8000°K üzerinde maddenin katı, sıvı hali yoktur, 10000°K'i geçen sıcaklıklarda ise tüm atomik ve moleküler parçalar iyonlaşarak ayrılmaktadır (Harsha, 2006). Plazmalar, sıcaklıklarına, ısı dengelerine ve basınçlarına göre sınıflandırılmaktadır. Plazma çeşitleri sıcaklıklarına göre yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık plazmaları, ısı dengelerine göre bölgesel ısı dengede olan ve ısı dengede olmayan plazmalar, basınçlarına göre yüksek basınç plazmaları ve düşük basınç plazmaları olmak üzere alt kategorilere ayrılırlar (Bogaerts ve ark., 2002; Lieberman ve Lichtenberg, 2005).

Sıcaklıklarına Göre Plazmalar

Yüksek Sıcaklık Plazmaları (Isıl Dengede Olan Plazmalar)

Gaz sıcaklığı 10^6 °K üzerindeki plazma türüdür. Bu sıcaklıkta plazma ısı dengede olup, molekül ya da atomlarının yüklü/yüksüz tüm parçacıkları ve elektron sıcaklıkları eşit ve sıcaklıkları oldukça yüksektir. İyonlaşma düzeyi %100 olan bu gazlar, gerçek plazma ya da denge plazma olarak adlandırılmaktadır. Yıldızlar, nükleer patlamalar ve kontrollü füzyon reaksiyonları bu gruba dahil olmaktadır (Roth, 2001; Bogaerts ve ark., 2002; Lieberman ve Lichtenberg, 2005). Sıcak plazma tekniği çok yüksek enerji seviyelerine çıkıldığı için, sadece sıcaklığa dayanıklı (metaller, metal oksitler gibi inorganik vb.) türverlerinde kullanılmaktadır (Friedrich, 2011).

Düşük Sıcaklık Plazmaları

Bu plazmalar gaz sıcaklıkları 10^6 °K olan plazmalardır. Bunlarda sıcaklıklarına göre iki alt gruba ayrılmaktadır (Li ve ark., 1997).

Sıcak Plazmalar (Bölgesel Denge Olan Plazmalar)

Gaz sıcaklıkları 10^4 düzeyinde olan plazmalardır. Şimşek, elektriksel ark ve diğer yüksek güç boşaltımları bu gruba örnek verilmektedir. Sıcak plazmaları oluşturmak için 4000 – 20000°K gibi sıcaklık düzeyi gerekmektedir. Fakat laboratuvar koşullarında plazmalarda meydana gelen radyan enerji kaybı nedeniyle plazmada dengeye tamamen ulaşılmamaktadır. Bu nedenle kısmi olarak elde edilen bölgesel termodinamik durumuna 'sıcak plazma' denir. Sıcak plazmalar genellikle materyale ısı vermek amacıyla kullanılmakta olup, materyali eritebilecek hatta buharlaştıracak kadar güce sahip plazmalardır. Bu nedenle endüstriyel olarak kaynak yapımı, kesme zorluğu bulunan materyallerin kesilmesinde plazma tekniği kullanılmaktadır (Lieberman ve Lichtenberg, 2005; Graham, 2007).

Soğuk Plazmalar (Isıl Denge Olan Plazmalar)

Sıcaklıkları genellikle 1000 °K'den düşük olan plazmalardır. Sıcak plazmalara oranla daha düşük enerji içeren gazlarla çalışılmaktadır. Bu gazlara vakum altında ve oda sıcaklığında elektrik akımı ya da elektromanyetik radyasyon uygulanması sonucu oluşan işlem soğuk plazma (SP) olarak adlandırılmaktadır (Fernandez ve Thompson, 2012).

SP'de gazın sıcaklığı $300-400$ °K olup molekül, iyon ve elektronlar ısı denge de değildir. Denge de olmayan bu durumda elektron sıcaklığı 10^4-10^5 °K olup, iyon sıcaklığının oda sıcaklığına yakın olması nedeniyle SP olarak adlandırılmaktadır. Pratikte 10 Tor (10 mbar) basınç ve $1-5$ eV elektron enerjisindeki ısı transfer şartlarından (flarlarda) gerçekleştirilmektedir (Niemira, 2012).

SP'ler kontamine olmuş yüzeylerin dekontaminasyonu, yüzey işlenmesi, tıbbi aletlerin sterilizasyonu, gıda güvenilirliğinin sağlanması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Soğuk plazma tekniğinin bakteri inaktivasyonu üzerinde etkili olabileceği ilk kez 1996 yılında Laroussi tarafından çalışılmıştır (Driks ve ark., 2012; Patil ve ark., 2014). O yıllarda sadece düşük basınç altında oluşturulan plazma kullanılırken daha sonraki yıllarda plazma fiziği ve mühendislik alanındaki gelişmelerle birlikte uygulamalı bilim dallarındaki etkileşimleri de göz önüne alınarak atmosferik koşullarda SP oluşturma çalışmaları başlamıştır (Mısra ve ark., 2015).

Lacombe ve ark. (2015), tekniğin canlı dokular üzerinde herhangi bir zarara neden olmadan ve tekrar kontaminasyona fırsat vermeden su, hava, gıda ve medikal malzemelerin yüzey dezenfeksiyonunda uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

SP'ler çalışılan ortam basıncına göre düşük basınçta ve atmosferik basınçta elde edilen plazmalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Düşük basınçta elde edilen plazmaların çalışma prensibi mikrodalgaların çalışma prensibine benzemektedir. Diğer plazma yöntemi ise radyo frekansı ile çalışan SP sistemleridir. Periyodik aralıklarla hızlı elektriksel uyarılar kullanarak ve sistemdeki gazları değişik voltajlarda ve güçte çalıştırarak iyonlaşma meydana getirmektedir (Niemira, 2012).

SP uygulanmasında sıcaklığın düşük olması ile enerji maliyeti diğer plazma türlerine göre daha az olmaktadır. Bu durum gıda sanayinde tercih edilmesine neden olmaktadır. İndirek ve direk olmak üzere iki uygulama şekli bulunmaktadır. Direk uygulamada gıda örneklerine toplu olarak uygulanır. Gıda işleme bandına yerleştirilen entegre edilmiş, bir sistem ile uygulama gerçekleştirilmektedir (Toyokawa ve ark., 2016). İndirek uygulama ise örnek plazmadan uzağa yerleştirilir, örnek sadece reaktiflere maruz bırakılır. Bu uygulama 'afterglow' olarak bilinmektedir. Ambalajlı gıdalara yıkama, sis, sprey şeklinde uygulanan bu teknik ambalajlanan gıda ürünleri ve ambalajlama sonrasında oluşabilecek kontaminasyonların inaktivasyonu için kullanılmaktadır. Ayrıca plazma uygulamasının gıdanın bileşenleri ile etkileşimde bulunmasına rağmen, gıdanın içine nüfuz etmediği, sadece gıdanın yüzeyinde değişikliklere neden olduğu belirtilmektedir (Shen ve ark., 2016; Schnabel ve ark., 2016).

Vakum altında ve oda sıcaklığında oluşturulan SP, insan sağlığı için risk oluşturabilecek materyalleri, bakterileri temizlemede ekonomik, çevresel zararı olmayan güvenilir bir metottur. Genellikle gıdalarda kullanılan soğuk plazma yöntemleri içerisinde Vakumlu ultraviyole (VUV) yüzeyde bulunan kontaminasyon unsurlarının organik bileşenleri üzerinde etkili olmaktadır. Bu durum molekül ağırlığı yüksek olan kontaminantların yüzeyden koparak ayrılmasını sağlamaktadır (Donegan ve ark., 2013). İkinci aşama temizlenmesinde ise plazmada oluşturulan oksijen türleri (O_2^+ , O_2^- , O_3 , O , O^+ , O^- , iyonize ozon, kararlı şekilde uyarılmış oksijen ve serbest elektronlar) etkili olmaktadır. Bu türler organik kontaminantlarla H_2O , CO_2 , CO formunda olan daha düşük molekül ağırlıklı hidrokarbonlar ile reaksiyona girmektedir. İşlem sonunda oluşan yüzey steril kabul edilmektedir. Plazma oluşturulurken aktif hale getirilen atomlar ve iyonların organik kontaminantları parçalarken kumlanmaya neden olabilecekleri bildirilmiştir (Pankaj ve ark., 2014).

SP prosesi ile yapılan dekontaminasyon işleminde az miktarda da olsa zararlı gazlar meydana gelmektedir. Bunlar CO_2 , içerisinde eser miktarda karbon monoksit bulunan su buharı ve diğer hidrokarbonlardır. Ancak plazma prosesinin bir yılda meydana getirdiği zararlı gaz miktarının, bir otomobilin egzozundan 10 dakikada çıkan gaz miktarına eşit olduğu bildirilmektedir (Prsyazhnyi ve ark., 2012).

Soğuk Plazmanın Gıdalarda Kullanılmasının Avantaj ve Dezavantajları

Sistemin avantajları; düşük sıcaklıklarda az enerji ile iyi bir sterilizasyon sağlanması, düşük maliyetli olması, gıdanın fiziksel ve duyuusal özelliklerine zarar vermemesi, ambalaj yapısını bozması, toksik atık oluşturmaması, çevre dostu olması, polimer esaslı maddelerin etkileşimine karşı gıdayı koruması, yüzeylere yapışan mikroorganizmaları kısa sürede inhibe etmesi, yüzeyde korozyona sebep olmaması, yüzeylerde gözeneksiz, ince bir film tabakası oluşturması, atmosferik basınçta sürekli çalışabilir olması ve kimyasal ya da su içermemesi, çalışır durumda iken kendini temizleyebilmesi, plastik şişe, kapak, ambalajlanmış gıda gibi son ürünlerde kalıntı

bırakmadan hızlı sterilizasyona olanak sağlamasıdır (Kumar ve ark., 2011; Sanghini ve ark., 2011; Niemira, 2012; Pankaj ve ark., 2014; Yüksel ve Karagözlü, 2017).

Sistemin dezavantajları ise; sistemin mekanizmasının tam anlaşılmağı olması, tesis ilk kurulurken cihaz maliyetinin yüksek olması, özel ekipman ve eğitimli personele ihtiyaç duyulması, bazı enzimlerin (lizozim, peroksidaz, polifenol oksidaz) sistem üzerinde inaktive edici etki yaratması olarak belirtilmektedir (Kruk ve ark., 2010; Yun ve ark., 2010, Takai ve ark., 2012).

Plazma Teknolojisinin Gıda Endüstrisinde Uygulanabilirliği

Son yıllarda sağlıklı yaşam tarzı ve tüketici talebi doğrultusunda daha fazla gıda çeşitliliği ile taze ürün tüketimindeki artış alternatif teknolojilerin gıda sanayinde uygulanabilirliğine yönelmektedir (Thirumdas ve ark., 2014). Ancak bu artış taze ya da az işlenmiş gıdalarda gıda kaynaklı hastalık salgınlarının artması riskini de birlikte getirmektedir. Gıdaların çiğ, ısıtılmış işlem görmeden ya da herhangi bir işlem uygulanmadan tüketilmesi mikrobiyal kontaminasyonun başlıca kaynağıdır. Bu durumun engellenmesinin de güvenli ve kaliteli gıda temininde mevcut teknolojilerin yeterli olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca gıdanın bileşenlerinde uygulanan prosesler sırasında meydana gelen değişikliklerin minimum düzeye indirilmek istenmesi, mikrobiyal yükün devlet düzenlemeleri ile sınırlandırılmış olması, yüksek kaliteli ve uzun raf ömürlü gıda talebi ısıtılmış işlem dışında farklı uygulamaların araştırılmasına neden olmuştur (Fernandez ve ark., 2013; Ahmad Mir ve ark., 2016).

Gıda endüstrisinde plazma türleri arasında SP tekniği kullanılmaktadır. Kullanılan SP gıda endüstrisi için güçlü ve avantajlı yeni bir teknolojidir. Bu teknoloji sporlu mikroorganizmalar, bozulmaya neden olan/patojenik mikroorganizmalar dahil olmak üzere yarı nötr plazma sistemi içerisinde toplam bakteri yüküne yetecek düzeyde reaktif oksijen (ROS) türlerini içermektedir. Bu durum da gıdalarda dekontaminasyon açısından sistemin en büyük avantajıdır (Butscher ve ark., 2016; Sohbatzadeh ve ark., 2016; Choi ve ark., 2017; Jung ve ark., 2017; Min ve ark., 2017).

SP sistemleri daha çok vejetatif Gram negatif ve Gram pozitif bakteriler, mayalar, küfler, virüsler ve endosporların dekontaminasyonunda daha etkin kullanılmaktadır (Mısra ve ark., 2011; Rod ve ark., 2012). SP uygulanan yöntem ve bakteri türüne göre etki şekli farklılık göstermektedir. Vejetatif hücrelerin sporlara göre, Gram negatif bakterilerin ise Gram pozitiflere göre daha duyarlı olduğu saptanmıştır (Baysal ve İçer, 2012).

Bakteriler, enerji kaynağı olarak UV ışınlarının (280-320 nm) kullanılması sonucu DNA yıkımı, genetik materyalde oluşan hasar sonrasında ara yüzeylerde oluşan kopma sonucu atomik bileşiklerin uçurulması, oksijen atomlarının yavaş yavaş kopması sonucu gazı dönüşebilen bileşiklerin yüzeyden kopması sonucu atomik yüzeyde aşınma olmak üzere 3 mekanizma ile inhibe edilmektedir (Moisan ve ark., 2001).

SP tekniği plastik şişe, kapak, film gibi ambalaj materyallerinin de sterilizasyonunda kullanılmaktadır. Bu ambalaj materyallerinde herhangi bir korozyona neden

olmadan, kendi özelliklerine zarar vermeden bu işlemi gerçekleştirmektedir (Muranyi ve ark., 2007).

Plazma işlemi mikrobiyal hücre etkisi plazma iyonları ve hücre etkileşimlerine bağlı olarak değişmektedir. Plazmanın yapısında bulunan reaktifler mikrobiyal hücrelerin dış yüzeyinde doğrudan oksidatif etki yaratmaktadır. Plazmanın etkisi organizmanın yapısında bulunan su miktarına bağlıdır. Plazmanın nemli organizmalarda kuru organizmalara oranla daha aktif etki gösterdiği tespit edilmiştir. Genel kabul edilen yargı ise plazma organizmaların DNA'sına zarar vermektedir. Yapılan araştırmalara göre plazma DNA'nın çevresinde ROS oluşumu ile hücre çekirdeğini etkilemektedir. ROS ise plazma prosedüründe bulunan hidroksil radikalleri, hidrojen peroksit ve süperoksit anyonuna karşı ilgi duymaktadır. Bu nedenle organizmaya plazma uygulanmasıyla mikrobiyal hücrelerde malondialdehit (MDA) oluşmaktadır. DNA'nın yapısı da oluşan MDA ile hasar görmektedir (Dobrynin ve ark., 2009; Thirumdas ve ark., 2014).

Süt günlük diyetle kolaylıkla alınabilen, doğal besleyici bir gıdadır. Ancak sütteki en büyük sıkıntı patojenik bakterilerin kontamine olması ve tüketilmesi durumunda ciddi sağlık problemlerine neden olmasıdır (Tiozzo ve ark., 2011; Todd ve Notermans, 2011). Bu nedenle sütün çiğ tüketilmemesi için pastörizasyon, yüksek sıcaklıkta ısıtılmış işlem gibi termal işlemler uygulanmaktadır. Ancak bu uygulamalar sütün fizikokimyasal yapısında değişikliklere neden olmaktadır. Sütün kompleks bir yapısının olması nedeniyle birçok yeni tekniğe elverişli olmadığı yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir (Segat ve ark., 2015). Plazma teknolojisi ise süt endüstrisinde yeni bir teknolojisidir. Düşük sıcaklıklarda uygulanabilmesi ve uygulama esnasında sıcaklığın artmaması gibi faktörler, süt endüstrisinde kullanılabilirliği ihtimalini artırmaktadır (Korachi ve ark., 2015).

Yong ve ark. (2009), SP tekniğinin dilimlenmiş peynire kontamine edilmiş *Listeria monocytogenes* üzerine etkilerini incelemiştir. Örneklere 75, 100, 125 ve 150 W giriş gücündeki plazma 60, 90 ve 120 saniye uygulanmıştır. Mikrobiyal yük giriş gücü ve plazmaya maruz kalma gücüyle orantılı olarak artmaktadır. Yapılan araştırmada 120 saniyeden sonra 75, 100 ve 125 W giriş gücündeki plazma uygulanmasıyla 1,70; 2,78 ve 5,82 log bakteri yükünde azalma görüldüğü tespit edilmiştir.

Gürol ve ark. (2012) farklı yağ oranları içeren çiğ sütlerde düşük sıcaklıkta uygulanan plazma teknolojisinin *Escherichia coli* inhibisyonunu araştırmışlardır. Yapılan çalışmada tam yağlı, yarım yağlı ve yağsız sütlerde bulunan *E. coli* düzeyinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Farklı zaman dilimlerinde uygulanan plazma tekniğinin toplam *E. coli* düzeyinde %54 oranında azalmanın olduğu saptanmıştır. Ayrıca tekniğin çiğ sütün renk, pH gibi parametrelerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür.

Et ve et ürünleri üzerinde yapılan çalışmalarda da plazmanın bakteri ve virüslerde etkili olduğu tespit edilmiştir. Kim ve ark. (2013) argon gazı kullanarak radyofrekansı ile çalıştırılan atmosferik basınç plazma yöntemi kullanarak tavuk jambonları üzerinde *Campylobacter jejuni* inaktivasyonunu incelemiştir. Yapılan 6 dakikalık uygulamada 3 log, 10 dakikalık uygulamada 1,5 log KOB/cm² kadar bakteri yükünde azalma meydana

geldiği tespit edilmiştir. Ulbin-Figlewicz ve ark. (2015) SP tekniğinin et yüzeyindeki mikroorganizmaların inaktive edilmesi, etin kalitesi ve pH değeri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Helyum, argon ve nitrojen gazları kullanılarak 5 ve 10 dakikalık uygulamalarla psikrotrof, toplam bakteri, maya-küf sayısı plak yöntemi kullanılarak analiz etmişlerdir. Helyum ve argon kullanılarak 10 dakika plazma uygulanması sonunda psikrotrof bakteri sayıları ve toplam bakteri sayısında sırasıyla, 3 log KOB/cm² ve 2 log KOB/cm² azalma görüldüğü tespit edilmiştir. Nitrojen uygulamasında bu bakteri türlerinde bir etkileşim olmadığı gözlenirken, maya-küf miktarında 10 dakikalık işlemten sonra 1 log KOB/cm² azaldığı belirlenmiştir. SP tekniğinin etin kalitesi, rengi ve pH değerlerinde herhangi olumsuz bir etki meydana getirmediği tespit edilmiştir.

Yapılan bir başka çalışmada ise; tavuk etlerine ve derisine kontamine edilen *Listeria innocua*'nın SP tekniği ile sterilizasyonu araştırılmıştır. Çeşitli zaman frekanslarında uygulanan plazma tekniğinin 3 log'luk düşüşler sağladığı belirlenmiştir. Araştırmacılar SP tekniğinin *L. innocua*'nın sterilizasyonun yanında gıdalarda ticari uygulamalarda tekniğin geliştirilmesi gerektiğini tavsiye etmektedir (Noriega ve ark., 2011).

Sert kabuklu ve depolanan meyvelerde en önemli sıkıntılardan biri olan fungusların meydana getirdiği değişikliklerdir. Fungusların inhibe edilmesi üzerine yapılan çalışmalarda fındık örnekleri kükürt heksaflorür (SF₆) ve hava gazının etkisi araştırılmıştır. Düşük basınçlı soğuk plazma tekniği kullanılarak (DBSP) *Aspergillus parasiticus*'un antifungal etkisi incelenmiştir. Hava gazı ile yapılan sterilizasyonda 5 dakika uygulama sonunda 1 log'luk azalma görülürken, 5 dakika daha uygulanması ve sıcaklık optimizasyonu yapıldığında 1 log daha düşüş görüldüğü tespit edilmiştir. Ancak SF₆ gazı kullanıldığında yaklaşık 5 log'luk etkin bir düşüş görülmüştür (Başaran ve ark., 2008).

Taze meyvelerde yapılan çalışmalarda ise elma yüzeyine kontamine edilen *E. coli* O157:H7 ve *Salmonella stanley*'nin sterilizasyonu denenmiştir. Sıcak fırınlarda 2 saat 8 °C' de kurutulan elmalar, 1, 2 ve 3 dakika boyunca çeşitli oranlarda (10, 20, 30, 40 L/dk.) akışlarda SP tekniğiyle sterilize edilmişlerdir. *Salmonella stanley* sayısında tüm kombinasyonlarda azalmaların görüldüğü, 3 dakikadan sonra bakteri yükünün 2,9 log KOB/ml'den 3,7 log KOB/ml'ye kadar azaldığı belirlenmiştir. *E. coli* O157:H7 içinde benzer düşüşlerin görüldüğü, 40L/dk'dan sonra bakteri yükünün 3,4-3,6 log KOB/ml olduğu tespit edilmiştir (Niemira ve Sites, 2008).

Tohumların erken çimlenebilmesi üzerine yapılan çalışmalarda plazma teknolojisinin etkili olduğu tespit edilmiştir (Fridman, 2008). Plazma tekniği uygulanırken aktif partiküllerinden doğrudan hücre içerisine penetre olmasının çimlenmeyi hızlandırdığı ortaya atılmıştır. Aktif partiküllerin yüzeyde meydana getirdiği değişikliklerin oksijen ve nem geçişini etkilediği bununda tohumundan embriyoya kadar etkileşim göstererek çimlenmeyi hızlandırabileceği şeklinde açıklanmaktadır (Sera ve ark., 2012). Hücrelerin plazma ile etkileşimi sonucunda DNA materyalinde meydana gelen hasar ve hücre duvarı yıkılmasıyla doğal büyüme faktörlerinde stimülasyona neden olduğu şeklinde açıklanmaktadır (Thirumdas ve ark., 2015).

Yapılan bir çalışmada baklagil ve buğday tohumları üzerine *Aspergillus* spp. ve *Penicillium* spp. mikroorganizmaları kontamine edilmiştir. Daha sonra sülfür hegzan florüd ve hava gazını kullanarak düşük basınçlı soğuk plazma yöntemi uygulanmıştır (Selçuk ve ark., 2008). Yapılan sterilizasyon uygulaması sonucunda örneklerde 3 log'luk bir azalmanın görüldüğü tespit edilmiştir (Yangılar ve Oğuzhan, 2013).

Sonuç

Tüketicilerin sağlıklı gıdaları tercih etmesi, tüketim bilincinin geliştirmesi gibi faktörler nedeniyle çiğ ya da ısı işlem görmemiş gıdalara talepler artmaktadır. Ancak mikrobiyal kaliteyi iyileştirebilmek, gıdada oluşabilecek fiziksel, kimyasal, duyuşsal değişikliklerin önüne geçebilmek için plazma teknolojisi araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda gıdanın raf ömrünü uzatarak, daha kaliteli ürünlerin tüketime sunulmasında etkili olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Plazma teknolojisi ile farklı besin grupları üzerinde hem kalite açısından hem de mikrobiyal aktivite açısından olumlu sonuçlara ulaşıldığı tespit edilmiştir. Ancak plazma teknolojisinin karmaşık teorisinin ve ilk yatırım maliyetinin yüksek oluşunun göz önüne alınması gerekmektedir. Bunun yanı sıra tekniğin değişik ürün gruplarında denenebilmesi için yöntem geliştirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- Basaran P, Basaran-Akgul N, Öksüz L. 2008. Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment. *Food Microbiology*, 25: 626-632.
- Bogaerts A, Neyts E, Gijbels R, van der Mullen J. 2002. Gas discharge plasmas and their applications. *Spectrochimica Acta Part B*, 57: 609-658.
- Baysal T, İçer F. 2012. Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler. Nobel Akademik Araştırmalar Yayınevi, Ankara.
- Bozkurt D. 2014. Soğuk Plazma Uygulamasının Vitaminler Ve Polifenol Oksidaz (Pfo) Enzimi Aktivitesi Üzerine Etkisi. Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye.
- Butscher D, Zimmermann D, Schuppler M, Rudolf von Rohr P. 2016. Plasma inactivation of bacterial endospores on wheat grains and polymeric model substrates in a dielectric barrier discharge. *Food Control*, 60: 636-645.
- Chizoba Ekezie FG, Sun DW, Cheng JH. 2017. Review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. *Trends in Food Science & Technology*, 69: 46-58.
- Choi S, Puligundla P, Mok C. 2017. Effect of corona discharge plasma on microbial decontamination of dried squid shreds including physico-chemical and sensory evaluation. *LWT - Food Science and Technology*, 75: 323-328.
- Dobrynin D, Kalghatgi S, Fridman G, Wu A, Podolsky E, Barbee K, Brooks A, Friedman G and Fridman A. 2009. Toxicity of low temperature plasma treatment of living tissue Drexel IEEE Graduate Forum, Technical Poster Symposium (Philadelphia, USA).
- Donegan, Mick & Milosavljevic, Vladimir & Dowling, Denis. 2013. Activation of PET Using an RF Atmospheric Plasma System. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 33. 941. <http://dx.doi.org/10.1007/s11090-013-9474-4>.
- Driks BP, Dobrynin D, Fridman G, Mukhin Y, Fridman A, Quinlan JJ. 2012. Treatment of raw poultry with nonthermal dielectric barrier discharge plasma to Reduce *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica*. *Journal of Food Protection*, 7: 22-28.

- Fernández A, Thompson A. 2012. The inactivation of *Salmonella* by cold atmospheric plasma treatment. *Food Research International*, 45: 678-684.
- Fernández A, Shearer N, Wilson DR, Thompson A. 2012. Effect of microbial loading on the efficiency of cold atmospheric gas plasma inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *The International Journal of Food Microbiology*, 152: 175-180.
- Fernández 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.
- Fridman A. 2008. *Plasma chemistry*. Cambridge Univ Press, New York.
- Friedrich J. 2011. Mechanisms of plasma polymerization – Reviewed from a chemical point of view. *Plasma Processes & Polymers*, 8: 783-802.
- Graham WG. 2007. The physics and chemistry of plasmas for processing textile. The physics and chemistry of plasmas for processing textile and other materials. In R. Shishoo, (Ed.). *Plasma technologies for textiles*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. pp: (3-24).
- Güleç HA. 2012. Gıda Endüstrisinde Isıl Olmayan Plazma Teknolojileri. *Gıda*, 37 (5): 295-302.
- Guro C, Ekinci FY, Aslan N, Korachi M. 2012. Low temperature plasma for decontamination of *E. coli* in milk. *International Journal of Food Microbiology*, 157: 1-5.
- Harsha, KSS. 2006. *Principles of vapor deposition of thin films*. Oxford: Elsevier Ltd. ISBN: 9780080446998.
- Jung S, Lee J, Lim Y, Choe W, Yong HI, Jo C. 2017. Direct infusion of nitrite into meat batter by atmospheric pressure plasma treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39: 113-118.
- Kayar G, Yıldız H. 2011. Gıda sanayinde soğuk plazma tekniği uygulamaları. 7. Gıda Mühendisliği Kongresi Ankara Türkiye, 24-26 Kasım 2011, pp: 44.
- Kim Y, Kim KJ, Lee Y. 2009. Surface analysis of flourine-containing thin films fabricated by various plasma polymerization methods. *Surface and Coatings Technology*, 203:-3135.
- Kim Y, Kim J, Lee E and Cho E. 2013. Inactivation of *Campylobacter jejuni* using radio frequency atmospheric pressure plasma on agar plates 85 and chicken hams. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 33(3): 327-324.
- Korachi M, Ozen F, Aslan N, Vannini L, Guerzoni ME, Gottardi D, Ekinci FY. 2015. Biochemical changes to milk following treatment by a novel, cold atmospheric plasma system. *International Dairy Journal*, 42: 64-69.
- Kruk ZA, Yun H, Rutley DL, Lee EJ, Kim YJ, Jo C. 2010. The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast file. *Food Control*, 22: 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.06.003>
- Kutlu B. 2008. *Plazma Teknolojisi Kullanılarak Çeşitli Doğal Ve Sentetik Liflerin Buruşmazlık ve Güç Tutuşurluk Özelliklerinin Geliştirilmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir .
- Kumar V, Pulpytel J, Giudetti G, Rauscher H, Rossi F, Arefi-Khonsari F. 2011. Amphiphilic copolymer coatings via plasma polymerisation process: switching and anti-biofouling characteristics. *Plasma Processes and Polymers*, 8: 373-385.
- Lacombe A, Niemira BA, Gurtler J B, Fan X, Sites J, Boyd G, Chen H. 2015. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. *Food Microbiology*, 46: 479-484.
- Lee HJ, Jung H, Choe W, Ham JS, Lee JH, Jo C. 2011. Inactivation of *Listeria monocytogenes* on agar and processed meat surfaces by atmospheric pressure plasma jets. *Food Microbiology*, 28: 1468-1471.
- Li R, Ye L, Mai YW. 1997. Application of plasma technologies in fibre-reinforced polymer composites: A review of recent developments. *Compositespart A*, 28A: 73-86.
- Lieberman MA, Lichtenberg AJ. 2005. *Plasma discharges and materials processing* (2nd ed.). In: New Jersey: John Wiley & Sons, (Eds.), *Lightning of the future: Dielectric barrier discharge lamps*. (n.d.). Retrieved August 15, 2008 from <http://www.bsu.edu/ccn/media/powerpoint/ChrisSollars.ppt>
- Moisan M, Barbeau J, Moreau S, Pelletier J, Tabrizian M, Yahia LH. 2001. Low-temperature sterilization using gas plasmas. A review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms. *International Journal of Pharmacy*, 226: 1-21.
- Min SC, Roh SH, Niemira BA, Boyd G, Sites JE, Uknalis J. 2017. Inpackage inhibition of *E. coli* O157:H7 on bulk Romaine lettuce using cold plasma. *Food Microbiology*, 65: 106.
- Mir SA, Shah MA, Mir MM. 2016. Understanding the role of plasma technology in food industry. *Food and Bioprocess Technology*, 9: 734-750.
- Misra NN, Tiwari BK, Rahavarao KSMS, Cullen P. 2011. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. *Food Engineering Reviews*, Volume 3, Numbers 3-4: 159-170.
- Misra, NN, Kaur S, Tiwar, BK, Kaur A, Singh N, Cullen PJ. 2015. Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. *Food Hydrocolloids*, 44: 115-121.
- Muranyi P, Wunderlich J, Heise M. 2007. Sterilization efficiency of a cascaded dielectric barrier discharge. *Journal of Applied Microbiology*, 103: 1535-1544.
- Noriega E, Shama G, Laca A, Díaz M, Kong MG. 2011. Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with *Listeria innocua*. *Food Microbiology*, 28: 1293-1300.
- Niemira BA, Sites J. 2008. Cold plasma inactivates *Salmonella stanley* and *Escherichia coli* O157:H7 inoculated on golden delicious apples. *Journal of Food Protection*, 71(7) :1357-1365.
- Niemira BA. 2012. Cold plasma decontamination of foods. *Annual Reviews of Food Science and Technology*, 3: 125-142.
- Pankaj SK, Bueno-Ferrer C, Misra NN, Milosavljevic V, O'Donnell C, Bourke P. 2014. Applications of cold plasma technology in food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 35: 5-17.
- Patil ST, Moiseev NN, Misra PJ, Cullen JP, Mosnier KM, Keener P, Bourke M. 2014. Influence of high voltage atmospheric cold plasma process parameters and role of relative humidity on inactivation of *Bacillus atrophaeus* spores inside a sealed package. *Journal of Hospital Infection*, 88: 162-169.
- Przyaszyni V, Zaporozhenko V, Kersten H, Černák M. 2012. Influence of humidity on atmospheric pressure air plasma treatment of aluminium surfaces. *Applied Surface Science*, 258: 5467-5471.
- Rauscher H, Perucca, M., Buyle, G. 2011. *Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces*, ISBN: 978-3-527-32654-9.
- Rod SK, Hansen F, Leipold F, Knochel S. 2012. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat-meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiology*, 30: 233-238.
- Roth RJ. 2001. *Industrial plasma engineering: Volume: Applications to nonthermal plasma processing*. London: IOP Publishing Ltd.
- Özkendir OM, Ufuktepe Y. 2000. Lazer-plazma etkileşme mekanizmalarının incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1): 102-112.
- Sanghini S, Paulussen S, Terryn H. 2011. Atmospheric pressure plasma technology: a straightforward deposition of antibacterial coatings. *Plasma Processes and Polymers*, 8: 59-69.

- Schnabel U, Niquet R, Schmidt C, Stachowiak J, Schlüte O, Andrasch M, Ehlbeck J. 2016. Antimicrobial efficiency of non-thermal atmospheric pressure plasma processed water (PPW) against agricultural relevant bacteria suspensions. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 2: 212–224.
- Segat A, Misra NN, Cullen PJ, Innocente N. 2015. Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of whey protein isolate model solution. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29: 247–254.
- Sera B, Gajdova I, Černák M, Gavril B, Eugen H, Kovacic D, Kriha V, Sláma J, Sery M, Spatenka P. 2012. How various plasma sources may affect seed germination and growth. *Proceedings of the International Conference on Optimisation of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM*. 1365-1370. DOI: 10.1109/OPTIM.2012.6231880.
- Selcuk M, Oksuz L, Basaran P. 2008. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. *Bioresource Technology*, 99: 5104-5109.
- Shen J, Tian Y, Li Y, Ma R, Zhang Q, Zhang J, Fang J. 2016. Bactericidal effects against *S. aureus* and physicochemical properties of plasma activated water stored at different temperatures. *Scientific Reports*, 6: 28505.
- Shishoo, R. 2007. Plasma technologies for textiles. In: Cambridge: Woodhead Publishing Limited (Ed.).
- Sohbatzadeh F, Mirzanejhad S, Shokri H, Nikpour M. 2016. Inactivation of *Aspergillus flavus* spores in a sealed package by cold plasma streamers. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 10(2): 99-106.
- Surowsky B, Fischer A, Schlueter, Knorr D. 2013. Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19: 146–152.
- Takai E, Kitano K, Kuwabara J, Shiraki K. 2012. Protein inactivation by low temperature atmospheric pressure plasma in aqueous solution. *Plasma Processes and Polymers*, 9: 77-82.
- Thirumdas R, Sarangapani C, Annapure US. 2014. Cold plasma: a novel non-thermal technology for food processing. *Food Biophysics*, 1: 1–11.
- Tiozzo B, Mari S, Magaudda P, Arzenton V, Capozza, D, Neresini, F, Ravarotto L. 2011. Development and evaluation of a risk communication campaign on salmonellosis. *Food Control*, 22: 109–117.
- Todd ECD, Notermans S. 2011. Surveillance of listeriosis and its causative pathogen, *Listeria monocytogenes*. *Food Control*, 22: 1484–1490.
- Toyokawa, Yoichi & Yagyu, Yoshihito & Misawa, Tatsuya & Sakudo, Akikazu. 2016. A new roller conveyer system of non-thermal gas plasma as a potential control measure of plant pathogenic bacteria in primary food production. *Food Control*. 72. 10.1016/j.foodcont.2016.07.031.
- Ulbin-Figlewicz N, Brychey E, Jarmoluk A. 2015. Effect of low-pressure cold plasma on surface microflora of meat and quality attributes. *The Journal of Food Science and Technology*., 52(2): 1228–1232.
- Yang L, Chen J, Gao J. 2009. Low temperature argon plasma sterilization effect on *Pseudomonas aeruginosa* and its mechanisms. *Journal of Electrostatics*, 67:646-651.
- Yangılar F, Oğuzhan P. 2013. Plazma Teknolojilerinin Gıda Endüstrisinde Kullanımı. *Gıda*, 38(3): 183-189.
- Yong H, Kim H, Park S, Alahakoon A, Kim K, Choe W, JoC. 2015. Evaluation of pathogen inactivation on sliced cheese induced by encapsulated atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma. *Food Microbiology*, 46: 46-50.
- Yun H, Kim B, Jung S, Kruk ZA, Kim DB, Wonho C, Cheorun J. 2010. Inactivation of *Listeria monocytogenes* inoculated on disposable plastic tray, aluminum foil, and paper cup by atmospheric pressure plasma. *Food Control*, 21: 1182–1186.
- Yüksel-Yanğış Ç, Karagözlü N. 2017. Soğuk atmosferik plazma teknolojisi ve gıdalarda kullanımı. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(2): 81-86.
- Zhou C, Wang Z, Liang Y, Yao J. 2008. Study on the control of pore sizes of membranes using chemical methods Part II. Optimization factors for preparation of membranes. *Desalination*, 225: 123-138.