

## PLAZMA TEKNOLOJİLERİNİN GIDA ENDÜSTRİSİNDE KULLANIMI

Filiz Yangılar\*, Pınar Oğuzhan

Ardahan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Ardahan

Geliş tarihi / *Received*: 18.12.2012

Düzeltilerek Geliş tarihi / *Received in revised form*: 12.02.2013

Kabul tarihi / *Accepted*: 30.03.2013

### Özet

Mikrobiyel inaktivasyon gıdanın güvenliğini ve tazeliğini muhafaza etmeye yönelik bir uygulama olarak gıda koruma yöntemleri içinde yer almaktadır. Gıdaların mikrobiyolojik güvenliğini sağlamak için pastörizasyon, sterilizasyon, kurutma ve koyulaştırma gibi ısı işlemleri kullanılmaktadır. Ancak, gıdalarda meydana gelen aşırı ısınma; aroma, lezzet, vitamin kaybı ve tekstürel yapıda bozukluğa neden olmaktadır. Gıda kalitesini bozmadan gıdalardaki mikroorganizmaları önleme ve azaltma amacıyla soğuk sterilizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemle ürünler ortam sıcaklığında işlem görmekte ve böylece hem bahsedilen kayıplar minimum düzeye inmekte hem de taze ve doğallıkları korunabilmektedir. Soğuk plazma tekniğinin diğer inaktivasyon yöntemlerine göre alternatif uygulama olarak ortaya çıkması; daha az enerji tüketimi, ürünün duyu özelliklerini olumsuz etkilememesi ve güçlü bir sterilizasyon sağlaması gibi avantajlardan kaynaklanmaktadır. Bu derlemede, soğuk plazma tekniğinin mekanizması, genel özellikleri, kullanım alanları ve bu konu üzerinde yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sterilizasyon, soğuk plazma, plazma-yüzey etkileşimi, yüzeyden kopma, gıda ambalajlama

## THE USE OF PLASMA TECHNOLOGIES IN FOOD INDUSTRY

### Abstract

Microbial inactivation modelling is located as an application of food preservation methods for preserved food safety and freshness. Thermal processes used for microbiological safety such as pasteurization, sterilization, drying and condensation are widespread. But, due to overheating in foods are caused loss of flavour, aroma, vitamin and textural structure in foods. Cold sterilization methods have been developed for the purpose of prevention and reduction of microorganisms in foods without spoilage the quality of the food. With this method, products are traded on at ambient temperature and thus both mentioned losses are minimized and freshness and naturalness of products can be preserved. Cold plasma technique was emerged as an alternative to according to other the methods of inactivation due to advantages such as less power consumption, adversely affect the organoleptic characteristics of the product and providing a strong sterilization. In this review, the mechanism of cold plasma technique, the general properties, use of areas and the study done on this subject are given information.

**Keywords:** Sterilization, cold plasma, plasma-surface interaction, etching, food packaging

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;

✉ filizyangilar@ardahan.edu.tr, © (+90) 478 211 5000/3004

(+90) 478 211 3275

## GİRİŞ

Halk sağlığı ve uluslararası ticaretteki etkisi nedeniyle gıda güvenliği, global bir konu haline gelmektedir. Ancak, tüketici sağlığını tehlikeye düşürecek gıda kaynaklı hastalıkların nedeninin araştırılması, gıdanın nasıl kontamine olduğunun tespit edilmesi ve bunun için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Gıda kaynaklı hastalıklara neden olan mikroorganizmalar *Salmonella*, *Campylobacter*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *B. cereus*, *S. aureus*'dur (1-7). Yıllardır patojen ve bozucu mikroorganizmaların inaktif hale getirilmesinde yaygın metotlar kullanılmıştır (5, 8). Bu amaçla da, ısı işlem, gıda endüstrisinde mikroorganizma ve enzimlerin inaktivasyonu için kullanılan en genel sterilizasyon ve pastörizasyon tekniğidir (9). Ancak, ısı işlem uygulamalarının gıdaların besinsel ve duyuşsal özellikleri üzerinde oluşturduğu olumsuzluklar üreticileri bu tekniğe alternatif olan yeni tekniklerin geliştirilmesine ve uygulanmasına zorlamıştır. Bu teknikler arasında, kimyasal madde uygulaması (etilen oksit, hidrojen peroksit) (10-14), yüksek basınç (HP), yüksek hidrostatik basınç (HHP), atımlı ışık (PL), ultraviyole ışınlama (UV), süper kritik karbon dioksit (SC-CO<sub>2</sub>) ve vurgulu elektrik alan (PEF) yer almaktadır (3, 5, 8, 15-24, 25, 26). Bu yöntemlerin dezavantajları; işletme maliyetinin yüksekliği, eğitimli personel eksikliği, pahalı kimyasallar ve bu yöntemler için özel ekipman gereksinimidir (3, 13, 27, 28). Gıdaların mikroorganizmalardan korunmasında, bu yaygın sterilizasyon metotlarına alternatif olarak; düşük sıcaklıklarda ( $\leq 50$  °C) bile güçlü bir sterilizasyon sağlayabilmesi, daha az enerji tüketimi, düşük maliyetli bir dekontaminasyon yöntemi olması, çalışır durumdayken sistemin kendini temizleyebilmesi, gıdanın tat, görünüş ve kokusunda değişikliklere neden olmaması, polimer esaslı materyallerin etkileşiminden gıdayı koruyabilmesi, ambalajın yapısını bozmaması, etilen oksit gazı ile karşılaştırıldığında biyolojik emniyet oluşturması, toksik atık oluşturmaması gibi avantajlarından dolayı yeni bir metot olan plazma yöntemi geliştirilerek uygulamaya konulmuştur (10, 29-33). Plazma tekniği, sadece bakteri ve mayaları öldürmekle kalmaz aynı zamanda, sterilize edilen maddenin yüzeyindeki ölü mikropları da uzaklaştırır (30, 34).

## PLAZMANIN GENEL ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Plazma maddenin katı, sıvı ve gaz hallerinden oldukça farklı özelliklere sahip olması nedeniyle maddenin dördüncü hali olarak kabul edilir (35-38). Plazma, serbest elektronları, radikalleri, iyonize gazları, uyarılmış atom ve molekülleri içeren dördüncü faz olarak da bilinmektedir (10, 13, 31, 39). Plazma, sürekli hareket eden ve birbirleriyle etkileşen yüklü parçacık topluluğu olarak tanımlanmaktadır. Nötrdür.

Plazmanın genel özellikleri aşağıda verilmiştir:

- İyi bir iletken özeliğe sahiptir (Elektrik ve ısıyı iyi iletir)
- Elektrik ve manyetik alanla etkileşir
- Kimyasal reaksiyonları oldukça hızlıdır
- Yüksek sıcaklık ve enerji yoğunluğuna sahiptir (40).

Plazma ilk kez, 1928 yılında Irving Langmuir tarafından bulunmuştur (24, 41).

Son yıllarda gıda sanayisi ve medikal alanında özellikle polimer temelli, sıcaklığa duyarlı materyallerin kullanımının artması, alternatif sterilizasyon tekniklerinin geliştirilmesini gerektirmiştir (3, 12, 36). Son yirmi yıldır gıda mühendisliği alanında plazmanın uygulanabilirliğine dair araştırmalar yoğunluk ve ilgi kazanmıştır (42). Plazmalar, bugün çeşitli ticari uygulamalarda mikroelektronik teknolojilerinden; materyallerin işlenmesinde, yüzey görüntüleme, yarı iletken chip üretiminde, antikorozyon kaplamada, paketleme materyalinin geçirgenlik özelliklerinin geliştirilmesinde, toksik atık uygulamalarında, sterilizasyonunun son kontrolüne kadar gıda maddelerinin ambalajlama materyali olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (12, 39, 43, 44).

## PLAZMA STERİLİZASYONUNUN ANA MEKANİZMALARI

Plazma teknolojisi yeni alternatif bir yüzey sterilizasyonu ve dezenfeksiyon prosesi olup hem vejetatif hücreleri hem de bakteri sporlarını ortam sıcaklığında ve kısa süre içinde inaktivite edebilmektedir (6, 36, 45-50).

Etki mekanizması şu basamaklardan oluşmaktadır:

-Mikroorganizmaların genetik materyallerinin UV ışınlarıyla (280-320 nm) direk yıkılması

-Mikroorganizma için temel teşkil eden atomik bileşenlerden gaz dönuşebilen bileşiklerin meydana gelerek UV ışınlarının etkisiyle foton kaynaklı desorpsiyon oluşmasından dolayı mikroorganizmaların atomik düzeyde aşınması

Plazmada meydana gelen radikaller veya oksijen atomları kullanılarak yavaş yanmanın bir sonucu olarak gaz dönuşebilen bileşenlerden dolayı yüzeyden kopma "etching" etkisi sonucu mikroorganizmanın atomik düzeyde aşınması (10, 29, 31).

### PLAZMA ÇEŞİTLERİ

Plazmalar sıcak plazma ve soğuk plazma olarak ikiye ayrılmaktadır.

#### Sıcak Plazma (Thermal Plasma)

Sıcak plazmanın gaz sıcaklığı 1000 K'in üzerinde olup, genelde  $10^4$ - $10^5$  K arasındadır. Şimşek çakmasında, elektrik arklarında ve diğer yüksek enerjili ortamlarda oluşur (51). Sıcak plazmada ortamda esas olarak çok sayıda iyon vardır. Çok yüksek enerji seviyelerine çıktığı için sadece sıcaklığa dayanımlı inorganik materyallerin (metaller, metal oksitler vb.) modifikasyonlarında kullanılmaktadır (36).

#### Soğuk Plazma (Cold plasma)

Gıdaların sterilizasyonu ve kaplanması gibi uygulamalarda yapay olarak oluşturulan soğuk plazma (CAP) kullanılmaktadır (32). Soğuk plazmanın gaz sıcaklığı 1000 K'den düşük olup genelde 300-400 K civarındadır. Düşük sıcaklık plazmalarında moleküller, iyonlar, elektronlar termodinamik olarak dengede değildirler. Elektron sıcaklığı  $10^4$ - $10^5$  K (1-10 eV) ulaşırken, iyon sıcaklığı ise oda sıcaklığına yakındır. Bu nedenle bu plazmalara soğuk plazma denmektedir (51). Soğuk plazma, 10 Torr'luk (10 mbar) basınç ve yaklaşık 1-5 eV (1 eV= $1.6 \times 10^{-19}$  J veya 11600 K) elektron enerjisindeki şartlar altında uygulanmaktadır (10).

### YAPILAN ÇALIŞMALAR

Marsili ve ark. (5) test sıvılarına gıda ile ilgili olan

*E. coli*, *S. aureus*, *S. enteritidis*, *B. cereus* gibi mikroorganizmaları inoküle ederek plazmanın etkisini incelemişlerdir. Her bir test sıvısı mikrobiyel popülasyonunda, önemli azalmalar ( $\sim 4$  log cfu/ml) görülmüş ve plazmanın kontamine olmuş sıvılarda etkili bir şekilde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Feichtinger ve ark. (52) paketleme materyalinin farklı mikrodalga plazma kaynağı üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada, UV ve VUV ışınlarını plazmada kullanarak sporların inaktivasyonu üzerine hızlı bir etki sağladığını rapor etmişlerdir.

Schneider ve ark. (12) yaptıkları bir çalışmada gıda paketleme materyalinin sterilizasyonunu düşük basınç altındaki mikrodalga plazma yöntemini kullanarak incelemişlerdir. *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger*, *B. stearothermophilus* ve *Saccharomyces cerevisiae* mikroorganizmalarının dört farklı test sporu oluşturarak düşük basınçta mikrodalga plazma yöntemiyle inaktivasyonunun olduğunu ve endüstriyel uygulamalarda bu plazmanın sterilizasyon tekniği olarak kolayca uygulanabileceğini vurgulamışlardır.

Purevdorj ve ark. (53), 60 °C'nin altındaki sıcaklıkta argon plazma yöntemini  $4.21 \text{ w/cm}^2$ 'den daha az mikrodalga yoğunluğunda ve 34 °C ortam sıcaklığında uygulayarak *Escherchia coli* üzerindeki inaktivasyon etkisini incelemişlerdir. Plazma uygulamasındaki mikrodalga yoğunluğu arttıkça yüksek bir inaktivasyon olduğunu saptamışlardır.

Yang ve ark. (30), PET'te *Pseudomonas aeruginosa*'nın sterilizasyonu için düşük sıcaklıktaki argon plazmalarının uygulanabilirliğini araştırdıkları bir çalışmada, iyon, elektron ve radikal olarak argon plazma alanı üç etkili bölgeye ayrılmış ve nispeten inaktivasyon değerleri sırasıyla, 3.94, 3.86 ve 2.93 olarak bulunmuştur. Argon plazma uygulamasının kısa süre içerisinde *P. aeruginosa*'nın sterilizasyonu üzerine etki ettiğini bildirmişlerdir.

Sureshkumar ve ark. (14), nitrojen ve nitrojen/oksijen gazlarını kullanarak radyofrekans (13.56 MHz) plazmasının *S. aureus* bakterisi üzerindeki sterilizasyon etkilerini karşılaştırmışlardır. Nitrojenin, plazma ultraviyole ışınlarında meydana getirdiği etkiden dolayı sterilizasyonda önemli bir etkiye sahip olduğu, %2 oksijen ilavesinin de nitrik

oksidini oluşturarak bakteri sterilizasyon etkisini hızlandırdığı bildirilmiştir. Ayrıca, 100 WRF gücü ile 5 dak. muamele ettikten sonra N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> plazma kullanımının bakteri sayısında 7.78 log'luk bir azalma gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Norigera ve ark. (50), *Listeria innocua* ile bulaşmış tavuk eti ve derisine soğuk atmosferik gaz plazma metodunu uygulayarak sterilizasyon etkisini araştırmışlardır. Belirli şartlar altında *L. innocua* bakterisinin membran filtresinde 10 saniyelik uygulamada >3 log'luk bir azalma, 8 dak.'lık uygulamada deride 3 log'luk azalma ve 4 dak.'lık uygulamada etinde 3 log'luk azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Gaz plazma yönteminin *L. innocua* üzerinde sterilize etkisine ilaveten gıdalardaki ticari uygulamalarda bu yöntemin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

R d ve ark. (54), *Listeria innocua* ile inoküle edilmiş dilimli hazır et ürünlerinin (bresaola) soğuk atmosferik basınç plazma ile sterilizasyonu araştırmışlardır. Örnekleri %30 oksijen ve %70 argon içeren düşük yoğunluklu polietilen ambalajlarda 2-60 s için 15.5, 31 ve 62 W ile muamele etmişlerdir. Araştırma sonuçları, *L. innocua* bakteri sayısında 0.8±0.4'den 1.6±0.5 log cfu/g azalmanın olduğunu gösterirken, 15.5 ve 62 W'luk muamelenin 20 s-10 dak.'lık bir zaman uygulamasında bakteri sayısında daha fazla azalmanın olduğunu göstermiştir.

Kim ve ark. (3), *E. coli*, *L. monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* ile inoküle edilen dilimlenmiş domuz pastırmasına farklı gaz kompozisyonuna (Helyum, Helyum/oksijen) sahip atmosferik basınç plazmasını uygulamışlardır. Helyum ile uygulanan plazma yönteminde inoküle edilen patojen mikroorganizma sayısında 1-2 log'luk azalma gözlenirken, helyum/oksijen gaz karışımıyla muamele edilen örneklerde 2-3 log'luk bir azalma olduğu bildirilmiştir.

Niemira and Sites (48), elmanın yüzeyine *Escherichia coli* O157:H7 ve *Salmonella stanley* inoküle edilerek soğuk plazma ile sterilizasyonunu incelenmişlerdir. 2 saat 8 °C'deki ışıktaki kurutulan elmalar değişik zaman periyotları (1, 2, 3 dak.) ve çeşitli akış oranları (10, 20, 30, 40 L/dak.) kullanılarak plazma yöntemiyle muamele edilmiştir. *Salmonella stanley* inaktivasyonunda bütün akış oranlarında zamana bağlı azalma gözlenirken, 3 dakikadan sonra bakteri sayısının 2.9 log cfu/ml'den 3.7 log cfu/ml'ye kadar ulaştığı

ve *E. coli* O157:H7 için ise düşük akış oranlarında benzer sonuçların olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, 40 L/dak.'lık uygulamada bütün muamele zamanlarında *E. coli* O157:H7 bakteri sayısının 3.4-3.6 log cfu/ml olduğu ifade edilmiştir.

Basaran ve ark. (13), çeşitli fındık örneklerinde sülfür hegzan florüd (SF<sub>6</sub>) ve hava gazını kullanarak düşük basınçlı soğuk plazma (LPCP) yöntemiyle *Aspergillus parasiticus*'un antifungal etkisini incelemişlerdir. Hava gazının kullanıldığı plazma sterilizasyonunda 5 dak. muamele sıcaklığında 1 log'luk azalma gözlenirken, artı 5 dakika'lık sıcaklık uygulamasında 1 log'luk daha azalma görülmüştür. Ancak, SF<sub>6</sub> plazma sterilizasyonunda yaklaşık 5 log'luk etkili bir azalma kaydetmişlerdir.

Selcuk ve ark. (39), baklagil ve buğday örneklerinde sülfür hegzan florüd (SF<sub>6</sub>) ve hava gazını kullanarak düşük basınçlı soğuk plazma (LPCP) yöntemiyle *Aspergillus spp.* ve *Penicillium spp.* sterilizasyonunu araştırmışlardır. Tohum yüzeylerine bu mikroorganizmaları kontamine etmişlerdir. SF<sub>6</sub> plazma sterilizasyonunda 15 dak. içinde örneklerde 3 log'luk önemli bir azalma saptanmış, ayrıca SF<sub>6</sub> ve hava gazı sterilizasyonunun tohumların yüzey inaktivasyonunda başarılı bir şekilde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

## SONUÇ

Günümüzde gıda alanında, özellikle gıda güvenliği konusunda çeşitli krizler yaşanmakta ve halkın beslenme ve sağlık hakkında giderek artan ilgisi, üreticileri üretim hattında bilimsel temeli olan, sürekli kendini yenileyen ve geliştiren ilke ve stratejileri oluşturmaya sevk etmektedir. Tüketiciler daha güvenli, kaliteli, duyuşal özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmeyeceği ve raf ömrü uzun olan gıdaları tercih etmektedirler. Ancak geleneksel yöntemlerle bunu sağlamak oldukça zor olup gıdanın daha az zarar görebileceği farklı tekniklere ihtiyaç vardır. Bu amaçla, oldukça yeni bir uygulama olan soğuk plazma (CAP) yöntemi, gıdaların raf ömrünü artırarak, daha güvenli, besin değeri yüksek, kaliteli ürünlerin elde edilmesine imkân tanıyacaktır. Ancak, daha çok yeni bir yöntem olan bu yöntem üzerine çalışmaların yapılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Yaman DB, Türköz G, Bakırcı F. 2011. *Salmonella* spp. ve gıda güvenliği. 7. Gıda Mühendisliği Kongresi, 24-26 Kasım 2011, Ankara, Türkiye, 208 s.
2. Bell C, Kyriakides A. 1999. *E. coli*: a Practical Approach to the Organism and Its Control in Foods. Blackwell Publishing, Oxford.
3. Kim B, Yun H, Jung S, Jung Y, Jung H, Choe W, Jo C. 2011. Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. *Food Microbiol*, 28, 9-13.
4. Vassal S, Favennec L, Ballet JJ, Brasseur P. 1998. Hydrogen peroxide gas plasma sterilisation is effective against *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Am J Infect. Control*, 26 (2): 136-138.
5. Marsili L, Espie S, Anderson JG, MacGregor SJ. 2002. Plasma inactivation of food related microorganisms in liquids. *Radiat Phys Chem*, 65, 507-513.
6. Fernández A, Thompson A. 2012. The inactivation of *Salmonella* by cold atmospheric plasma treatment. *Food Res Inter*, 45, 678-684.
7. Jones K, Heaton J. 2006. Microbial contamination of fruit and vegetables: evidence and issues. *Microbiol*, 7, 28-31.
8. McIlvaney L, MacGregor SJ, Anderson JG, Rowan NJ, Fouracre RA, Farish O. 1998. Electrotechnologies for food pasteurisation and sterilisation. Proceedings of the IEE Symposium Pulsed Power 98, pp. 47/1-47/8.
9. Seckin AK, Baladura E. 2011. Gıda enzimleri üzerine ultrason uygulamaları. 7. Gıda Mühendisliği Kongresi, 24-26 Kasım 2011, Ankara Türkiye, 55 s.
10. Moisan M, Barbeau J, Moreau S, Pelletier J, Tabrizian M, Yahia L.H. 2001a. Low-temperature sterilization using gas plasmas. A review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms. *Int J Pharm*, 226, 1-21.
11. Moisan M, Saoudi, B, Crevier MC. 2003. in: A. Ohl (Ed.), Vth. International Workshop on Microwave Discharges: Fundamentals and Applications, Institut für Niedertemperatur-Plasmaphysik e.V., Greifswald, p. 210.
12. Schneider J, Baumgartner KM, Feichtinger J, Krüger J, Muranyi P, Schulz A, Walker M, Wunderlich J, Schumacher U. 2005. Investigation of the practicability of low-pressure microwave plasmas in the sterilisation of food packaging materials at industrial level. *Surf Coat Tech*, 200, 962-966.
13. Basaran P, Basaran-Akgul N, Öksüz L. 2008. Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment. *Food Microbiol*, 25, 626-632.
14. Sureshkumar A, Sankar R, Mandal M, Neogi S. 2010. Effective bacterial inactivation using low temperature radio frequency plasma. *Int J Pharm*, 396, 17-22.
15. Akitsu T, Ohkawa H, Tsuji M, Kimura H, Kogoma M. 2005. Plasma sterilization using glow discharge at atmospheric pressure. *Surf Coat Tech*, 193 (1-3): 29-34.
16. Deng, X. T, Shi JJ Kong MG. 2006. Physical mechanisms of inactivation of *Bacillus subtilis* spores using cold atmospheric plasmas. *IEEE Trans Plasma Sci*, 34 (4): 1310-1316.
17. Fridman G, Peddinghaus M, Ayan H, Fridman A, Balasubramanian M, Gutsol A. 2006. Blood coagulation and living tissue sterilization by floating-electrode dielectric barrier discharge in air. *Plasma Chem Plasma Process*, 26 (4): 425-442.
18. Fridman G, Brooks A, Balasubramanian M, Fridman A, Gutsol A, Vasilets V. 2007. Comparison of direct and indirect effects of non-thermal atmospheric-pressure plasma on bacteria. *Plasma Process Polymer*, 26 (4): 370-375.
19. Lee K, Paek K, Ju WT, Lee Y. 2006. Sterilization of bacteria, yeast and bacterial endospores by atmospheric-pressure cold plasma using helium and oxygen. *The J Microbiol*, 44 (3): 269-275.
20. Roth JR, Sherman DM, Gadri RB, Karakaya F, Chen Z, Montie TC. 2000. Remote exposure reactor (RER) for plasma processing and sterilization by plasma active species at one atmosphere. *IEEE Trans Plasma Sci*, 28, 56-63.
21. Shi XM, Yuan YK, Sun YZ, Yuan W, Peng FL, Qiu YC. 2006. Experimental research of inactivation effect of low-temperature plasma on bacteria. *Plasma Sci Technol*, 8 (5): 569-572.

22. Trompeter FJ, Neff WJ, Franken O, Heise M, Neiger M, Liu SH. 2002. Reduction of *Bacillus subtilis* and *Aspergillus niger* spores using nonthermal atmospheric gas discharges. *IEEE Trans Plasma Sci*, 30 (4): 1416-1423.
23. Yu H, Xiu ZL, Ren CS, Zhang JL, Wang DZ, Wang YN. 2005. Inactivation of yeast by dielectric barrier discharge (DBD) plasma in helium at atmospheric pressure. *IEEE Trans Plasma Sci*, 33 (4): 1405-1409.
24. 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. *Inter J Food Microbiol*, 152, 175-180.
25. Karadag A, Omeroglu PY, Saner S. 2008. Gıda muhafazasında yeni teknolojilerin kullanımı. <http://www.ggd.org.tr/icerik.php?id=168> (Erişim tarihi 21.11.2012).
26. Raso J, Barbosa-Canovas GV. 2003. Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 43, 265-285.
27. Yun H, Kim B, Jung S, Kruk ZA, Kim DB, Choe W, Jo C. 2010. Inactivation of *Listeria monocytogenes* inoculated on disposable plastic tray, aluminum foil, and paper cup by atmospheric pressure plasma. *Food Control*, 21, 1182-1186.
28. 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 filet. *Food control*, doi:10.1016/j.foodcontrol.2010.06.003.
29. Moisan M, Barbeau J, Pelletier J. 2001b. La stérilisation par plasma: méthodes et mécanismes. *Le Vide: Sci. Techn. Applic*, 299, 15-28.
30. Yang L, Chen J, Gao J. 2009. Low temperature argon plasma sterilization effect on *Pseudomonas aeruginosa* and its mechanisms. *J Electrostatics*, 67, 646-651.
31. Moisan M, Barbeau J, Crevier MC, Pelletier J, Philip N, Saoudi B. 2002. Plasma sterilization: Methods and mechanisms. *Pure Appl Chem*, 74, 349-358.
32. Kayar G, Yıldız H. 2011. Gıda sanayinde soğuk plazma tekniği uygulamaları. 7. Gıda Mühendisliği Kongresi, 24-26 Kasım 2011, Ankara Türkiye, 44 s.
33. Asık E, Seydim AC. 2011. Gıda ambalajlarının sterilizasyonunda soğuk plazma yöntemi. 7. Gıda Mühendisliği Kongresi, 24-26 Kasım 2011, Ankara Türkiye, 270 s.
34. Park BJ, Takatori K, Lee MH, Han DW, Woo, YI, Son HJ, Kim JK, Chung KH, Hyun SO, Park JC. 2007. *Escherichia coli* sterilization and lipopolysaccharide inactivation using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure. *Surf Coat Technol*, 201, 5738-5741.
35. Kim Y, Kim KJ, Lee Y. 2009. Surface analysis of flourine-containing thin films fabricated by various plasma polymerization methods. *Surf Coat Tech*, 203, 3129-3135.
36. Gülec AH. 2012. Gıda endüstrisinde ısı olmayan plazma teknolojileri. *Gıda*, 37 (5): 295-302.
37. Anon 2012a. <http://www.frmtr.com/fizik/2298170-plazma-nedir.html> (Erişim Tarihi 13.12.2012).
38. Anon 2012b. <http://alierbulut.blogcu.com/plazma-nedir/9688652> (Erişim Tarihi 13.12.2012).
39. Selcuk M, Oksuz L, Basaran P. 2008. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. *Biores Technol*, 99, 5104-5109.
40. Anon 2012c. <http://www.bilgibankan.net/2010/03/plazma-halinin-genel-ozellikleri.html>. (Erişim tarihi 13.12.2012).
41. Langmuir I. 1928. Oscillations in ionized gases. *PNAS*, 14, 627-637.
42. Baier M, Görgen M, Fröhling A, Geyer M, Herppich WB, Ehlbeck J, Knorr D. 2012. Fresh produce decontamination by an atmospheric pressure plasma-jet. [www.google.com.tr/#hl=tr&tbo=d&site=&source=hp&q=Fresh+produce+decontamination+by+an+atmospheric+pressure+plasma-jet](http://www.google.com.tr/#hl=tr&tbo=d&site=&source=hp&q=Fresh+produce+decontamination+by+an+atmospheric+pressure+plasma-jet) (Erişim tarihi 17.12.2012).
43. Helhel S, Oksuz L, Rad AY. 2005. Silicone catheter sterilization by microwave plasma; argon and nitrogen discharge international. *J Infr Millim Waves*, 26, 1613-1625.
44. Chu PK. 2007. Enhancement of surface properties of biomaterials using plasma-based technologies. *Surf Coat Technol*, 201, 8076-8082.

45. Taskın B, Karagözlü N. 2012. Soğuk plazmanın bazı *Listeria* türleri üzerine etkisi. Türkiye 11. Gıda Kongresi, 10-12 Ekim 2012, Hatay, Türkiye, 508 s.
46. Günaydın Dasan B, Mutlu M. 2012. Gıda güvenliğinde yeni bir yaklaşım: atmosferik basınç plazma sterilizasyonu. Türkiye 11. Gıda Kongresi, 10-12 Ekim 2012, Hatay, Türkiye, 48 s.
47. Kayes MM, Critzer FJ, Kelly-Wintenberg K, Roth JR, Montie TC, Golden DA. 2007. Inactivation of foodborne pathogens using a one atmosphere uniform glow discharge plasma. *Foodborne Path Dis*, 4, 50-59.
48. Niemira BA, Sites J. 2008. Cold plasma inactivates *Salmonella Stanley* and *Escherichia coli* O157:H7 inoculated on Golden Delicious apples. *J Food Prot*, 71 (7): 1357-1365.
49. Vleugels M, Sharma G, Deng XT, Greenacre E, Brocklehurst T, Kong MG. 2005. Atmospheric plasma inactivation of biofilm-forming bacteria for food safety control. *IEEE Trans Plasma Sci*, 33 (2): 824-828.
50. Noriega E, Shama G, Laca A, Diaz M, Kong MG. 2011. Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with *Listeria innocua*. *Food Microbiol*, 28, 1293-1300.
51. Candan, Ş., 2012. Çelik yüzeylerin silikon temelli RF plazma filmler ile kaplanması. <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11499.pdf> (Erişim tarihi: 17.12.2012).
52. Feichtinger J, Schulz A, Walker M, Schumacher U. 2003. Sterilisation with low-pressure microwave plasmas. *Surf Coat Technol*, 174-175, 564-569.
53. Purevdorj D, Igura N, Hayakawa I, Ariyada O. 2002. Inactivation of *Escherichia coli* by microwave induced low temperature argon plasma treatments, *J Food Eng*, 53, 341-346.
54. R d SK, Hansen F, Leipold F, Kn chel S. 2012. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiol*, 30, 233-238.