

## GIDA ENDÜSTRİSİNDE OZON UYGULAMALARI

### OZONE APPLICATIONS IN FOOD INDUSTRY

Alper KUŞÇU, Fikret PAZIR

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Bornova, İzmir

**ÖZET:** Ozon gıda endüstrisinde pek çok uygulama alanı bulunan güçlü bir antimikrobiyal ajandır. Yüksek reaktivitesi, kendiliğinden parçalanarak ortamda zararlı bileşik bırakmaması ozonun gıdalarda kullanımını güvenilir hale getirmektedir. Ozonun gaz ve su fazında mikroorganizmalar üzerine olan etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Düşük konsantrasyonda, kısa süreli ozon uygulaması bakteri, küf, maya ve virüsleri inaktif etmek için yeterli olmaktadır. Mikroorganizmaların ozona olan duyarlılıkları fizyolojik özelliklere (sıcaklık, pH, nem miktarı vb.) göre değişmektedir. Gıda endüstrisinde ozon uygulaması en çok gıda ürünlerinin (meyve-sebzelerin, kuru ürünlerin, etlerin vb.) yüzeyindeki kontaminasyonun önlenmesi ve su artımına yönelik olmaktadır. Mikotoksinlerin detoksifikasyonunda ozonun gaz fazı kullanılmaktadır. Aşırı ozon kullanımı gıdaların renk ve tadında olumsuzluklara sebep olabilmektedir.

**ABSTRACT:** Ozone is a powerful antimicrobial agent that has numerous potential applications in the food industry. High reactivity, spontaneous decomposition without residues in the medium make ozone safety in food products. The effect of ozone, in the gaseous or aqueous phases on microorganisms was determined by various researchers. Short application time at relatively low ozone concentration is sufficient to inactivate bacteria, molds, yeasts and viruses. Susceptibility of microorganisms to ozone varies with the physiological properties such as temperature, pH, humidity, etc. Ozone applications in food industry are mostly related to decontamination of food products (vegetables, fruits, dry foods, meat, etc.) surface and water treatment. The gaseous phase is being used in detoxification of mycotoxins. Excessive use of ozone may cause discoloration and deterioration of food flavor.

### GİRİŞ

Gıda endüstrisi, tüketicilerin isteği yönünde son ürüne daha taze ve daha güvenli bir özellik kazandırabilecek nitelikte, kimyasal katkı maddesi azaltılmış, en az seviyede işleme tabi tutulmuş gıda işleme teknolojilerine doğru yönelmeye başlamıştır (KHADRE, YOUSEF ve KIM 2001, ÜNAL, KIM ve YOUSEF 2001). Yüksek basınç, puls elektrik alanı ve yüksek vurgulu puls ışık uygulamaları gibi teknolojilerin yanı sıra geleneksel sanitasyon ajanlarına alternatif olan, potansiyel antimikrobiyal özelliğe sahip ozon uygulamaları da son zamanlarda ilgi odağı oluşturan konulardan birisi olmaktadır. Gıda endüstrisinde hipoklorit ve dördüncül amonyak bileşikleri mikroorganizmaların ve sebep oldukları gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Sanitasyonda kullanılan bazı ajanların ve çeşitli reaksiyonlar sonucu açığa çıkan yan ürünlerinin sağlık yönünden zararlı olmaları sebebiyle kullanımları sınırlandırılmış veya tamamen yasaklanmıştır (KIM, YOUSEF ve DAVE 1999 a, ÜNAL vd 2001, KHADRE ve YOUSEF 2002). Ozon bileşiği güçlü bir dezenfektan olmasının yanında, klorlu bileşiklerin sebep olduğu trihalometan (THM) ve dioksinler gibi zararlı yan ürünlerin oluşumuna neden olmamakta ve spontane olarak parçalandığından belli bir süre sonra ortamda kalıntı bırakmamaktadır (RESTAINO, FRAMPTON, HEMPHILL ve PALNIKAR 1995, KIM vd 1999 a, CEMEROĞLU, YEMENİCİOĞLU ve ÖZKAN 2001, ANON. 2003 a). Amerika'da 1997 yılının ortalarında uzman heyet kurulunun halka yapmış olduğu açıklamada gıda endüstrisinde ozon kullanımının GRAS (Generally Recognized as Safe) statüsünde olduğu belirtilmiştir (Kim vd 1999 a; Moore, Griffith ve Peters 2000). 2000 yılının Ağustos ayında Gıda ve İlaç Dairesi (FDA), Amerika'da gıdaların işlenmesinde ve depolanarak muhafaza edilmesinde ozonun su ve gaz fazı şeklinde doğrudan kullanımına izin vermiştir (KHADRE vd 2001). Buna karşın Avrupa'nın bir çok ülkesinde, İskandinav ülkelerinde, Japonya'da ve bazı diğer ülkelerde ozonun su, hava, peynir, et ve meyvelerin dezenfeksiyonunda kullanımına belli kurallar çerçevesinde izin verilmiş bulunmaktadır. Özellikle meyve ve sebzelerin yüzey dezenfeksiyonu amacıyla ozon kullanımı giderek yaygınlaşmakta olup halen üzüm, böğürtlen, turunçgiller, şeftali, çilek ve armutların yüzey dezenfeksiyonunda başarıyla kullanıldığı bildirilmektedir (CEMEROĞLU vd 2001).

### Ozon Üretimi

Endüstride kullanılacak olan ozon, depolanamaması özelliğinden dolayı uygulanacağı yerde, kapalı sistemlerde üretilmektedir. Ozon, havadaki oksijenin yüksek iletkenliğe sahip UV lambanın 185 nm'de yayınladığı radyasyona maruz bırakılmasıyla düşük konsantrasyonda (0.03 ppm) üretilmektedir. Daha fazla miktarda ozon üretimi için corona deşarj metodu kullanılmaktadır. Deşarj aralığına hava veya oksijen varlığında yüksek voltajlı alternatif akım uygulandığında oksijen elektronları uyarılmakta ve oksijen moleküllerinin birbirinden ayrılması sağlanmaktadır. Ayrılmış olan oksijen atomları, oksijen molekülleriyle birleşerek ozon (O<sub>3</sub>) molekülünü oluşturmaktadır (KIM vd 1999 a). Fotokimyasal ve elektrik deşarj metotlarına ilaveten, kimyasal, termal, kemonükleer ve elektrolitik metotlarla da ozon üreten sistemler bulunmaktadır. Son zamanlarda geliştirilen elektrokimyasal ozon üretim sisteminde elektroliz hücre içerisinde suyun hidrolizi sonucu ağırlıkça yaklaşık % 20 (242 mg/litre hava) oranında ozon üretilebilmektedir (Mc KENZIE vd 1997).

### Ozonun Antimikrobiyal Etkisi

Ozon; bakteri, fungus, protozoa, virüs ile bakteriyel ve fungal sporlara karşı güçlü ve geniş spektrumlu bir antimikrobiyal ajandır (KHADRE vd 2001). Ozonun su ortamında farklı kimyasal bileşiklerle reaksiyonu, moleküler ozonun doğrudan reaksiyona girmesi veya serbest radikaller aracılığıyla parçalanma reaksiyonu şeklinde olmak üzere iki farklı mekanizmayla gerçekleşmektedir. Ozonun etkisiyle gerçekleşen biyokimyasal hasarlanmada ara reaktif ürün olarak singlet oksijen oluşmaktadır. Çok adımlı olarak gerçekleşen bu reaksiyonlar sonucu ozon mikroorganizmaları parçalamaktadır. Bakteriyel hücre yüzeyi ozon aktivitesinin ilk hedefi olmakta ve hücrede hasara yol açmaktadır. Hücre zarındaki çift bağlı doymamış lipitler etkilenmekte, gram negatif bakterilerdeki lipoprotein ve lipopolisakarit tabakaları etkilenerek hücre zarı geçirgenliğinin değişmesine sebep olmaktadır. Sonuç olarak da lizis gerçekleşmektedir. Bakteriyel hücre duvarı ve viral kapsitlerde bulunan peptidoglukan tabakasındaki N-asetil glikozamin, sulu ortamda ozon uygulamasına karşı pH 3-7 arasında iken direnç gösterebilmektedir. Glikozamin ozonla hızlı reaksiyona girerken, glikoz degradasyona karşı kısmen direnç göstermektedir. Dolayısıyla gram pozitif bakteriler, gram negatiflere göre hücre duvarında daha fazla peptidoglukan tabakasına sahip olmalarından dolayı ozona karşı daha fazla direnç göstermektedirler (KHADRE vd 2001). Çizelge 1 ve Çizelge 2'de G (+) ve G (-) bakterilerin değişik koşullar altında ozon uygulamasıyla inaktivasyon dereceleri görülmektedir.

Ozon işlemi sonrası mikroorganizmada enzim dehidrojenasyon sistemi de parçalanmakta ve hücre solunumu etkilenerek ölüm gerçekleşmektedir. Enzim sistemindeki etki için diğer bir görüş de sülfidril gruplarının oksidasyonu (SH-'nın S-S'ye dönüşümü) ölümün gerçekleştiği şeklindedir. Ozon ayrıca mikroorganizmaların genetik materyalinde hasara da sebep olmaktadır (KIM vd 1999 a; MOORE vd 2000).

Çizelge 1. Gram Pozitif Bakterilerin (Susuz) Ortamda Ozonla İnaktivasyonu (Khadre vd 2001.)

Bakteri	Ozon (µg/ml)	Süre (dak)	PH	Sıcaklık (°C)	Log10 (birim (azalma)
<i>Bacillus megaterium</i>	0.19	5	-	28	> 2.0
<i>B. cereus</i>	0.12	5	-	28	>2.0
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	0.3-3.8	0.5	5.9	25	1.3-7
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.2-1.8	0.5	5.9	25	0.7-7
<i>Mycobacterium fortuitum</i>	0.23-0.26	1.67	7.0	24	1.0
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.3-1.97	10	-	-	4-6
<i>S. aureus</i>	-	0.25	7.0	25	> 2.0

Ozonun virüslere olan etkisinde farklı mekanizmalardan bahsedilmektedir. Ozonlama sonrası faj partiküllerinden RNA'nın dışarı sızdığı belirtilmektedir. Elektron mikroskobu incelemesi sonucu faj kılıfında kırılmalar olduğu belirtilmektedir (KIM, GENTILE ve SPROUL 1980).

### Çevresel Faktörler

Ozonun mikroorganizmalar üzerine olan etkisi bazı faktörlerden dolayı değişik çalışmalarda doğal olarak farklılıklar göstermektedir. Değişkenlikler mikroorganizma suşuna, kültürün yaşına, mikroorganizma konsantrasyonuna (sayısına), ozonla reaksiyona girebilecek maddelerin ortamda bulunmasına, ozonun uygulanış şekline

Çizelge 2. Gram Negatif Bakterilerin Sulu Ortamda Ozonla İnaktivasyonu (Khadre vd 2001).

Bakteri	Ozon (µg/ml)	Süre (dak)	PH	Sıcaklık (°C)	Log <sub>10</sub> (birim azalma)
<i>Escherichia coli</i>	0.065 a	0.5	-	-	3.5
<i>E. coli</i>	0.004-0.8	0.5-2.0	6.9	-	0.5-6.5
<i>E. coli</i> O 157 : H7	0.3-1.0 a	< 0.5	5.9	25	1.3-3.8
<i>Legionella</i>	0.32 a	20	7.0	24	> 4.5
<i>Salmonella enteridis</i>	0.5-6.5	0.5	-	25	0.6 - ≈ 4
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.2-1.2 a	< 0.5	5.9	25	0.9-5

a Ozonlu su

kı maddeleri (asitler, şekerler vb.) varlığına ve hücreyi saran organik maddelere göre farklılık göstermektedir (KIM vd 1999 a).

### Sıcaklık

Düşük sıcaklıkta sulu ortamda ozonun çözünürlüğü yüksektir. Sıcaklıktaki artışla birlikte ozonun parçalanması hızlanmaktadır. HERBOLD, FLEHMING ve BOTZENHART (1989) yaptıkları çalışmada Hepatit A virüsü ve *Escherichia coli* üzerinde ozon uygulamasında sıcaklıkta 10°C'den 20°C'ye artışla ozon etkisinin azaldığını tespit etmişlerdir.

### pH

pH'daki azalma sulu ortamda ozon stabilitesini artırmaktadır. Araştırmacılar sulu ortamda yüksek pH değerinde hidroksil iyonlarının katalitik aktivitelerinden dolayı ozonun hızlı bir şekilde bozunduğunu belirtmektedirler (KHADRE vd 2001). Çözeltinin pH değerinin 10 civarında olması durumunda ozon ani olarak parçalanmaktadır (GRAHAM, 1997). Yapılan bir çalışmada ozonun *E. coli* ve *Clostridium perfringens* üzerine olan etkisi pH 6'da pH 8'den kısmen daha yüksek bulunmuştur (KIM vd 1999 a).

### Nem Miktarı

Yapılan bir çalışmada, havada farklı bağıl nem içeriklerinde düşük ozon konsantrasyonu uygulamasıyla mikroorganizmaların dezenfekte edilebileceği belirtilmektedir. Bağıl nem % 45'den düşük olduğunda ozonun germisit gücünün ihmal edilebilecek düzeyde az kaldığı bildirilmektedir. Ortamda yüksek nem olduğunda ozon konsantrasyonu 0.1 mg/L'nin biraz altında dahi olsa mikroorganizma inaktivasyonu gerçekleşmektedir. Bir başka çalışmada ise atmosferik ortamda yüksek bağıl nem içeriğinde düşük bağıl neme göre ozon muamelesi sonucunda mikroorganizmaların daha yüksek oranda inaktive oldukları belirtilmektedir (KIM vd 1999 a). KIM vd (1999 a), doğal olarak kontamine olmuş toz haldeki gıda katkı maddesine ozon gazı uygulamışlar. Su aktivitesi ( $a_w$ ) değeri 0.95'e çıkarılmış olan gıda katkı maddesine 200 ppm ozon gazı uygulamasıyla  $10^2$ - $10^5$  cfu/g inaktivasyon sağlandığı belirtilmektedir. Fakat aynı gıda katkı maddesine aynı konsantrasyonda ozon gazı uygulamasında  $a_w$  değeri 0.85 ve altındayken herhangi bir inaktivasyon etkisi tespit edilemediği bildirilmektedir.

### Ozonun Gıdalara Uygulanması

Ozon, gıda yüzeyindeki mikroorganizmaları düşük ozon ihtiyacı olan sıvı ortamdaki mikroorganizmalara göre daha az etkili olarak inaktive edebilmektedir. Gıdadaki mikroorganizmaların ozonla inaktivasyonu büyük ölçüde ortam şartları ve gıda bileşenleriyle mikrobiyal kontaminasyonun şekline bağlı olmaktadır.

### Taze Meyve ve Sebzeleler

Ozon uygulaması bazı meyvelerin raf ömrünü uzatmaktadır. BAZORAVA (1982) yaptığı çalışmada özel olarak hazırlanan paslanmaz çelikten odada elmaları 0-1 °C sıcaklıkta, % 90-95 bağıl nemde, günlük 4 saat 5-6 µg/L ozon gazı atmosferinde muhafaza etmiştir. Depolama süresince ağırlık kaybı ve gözle görünür bozulma

(gaz olarak veya sulu ortama enjeksiyonuyla) ve ozon konsantrasyonu ölçümlerinin doğruluğu gibi etkenlere bağlı olmaktadır. Genel olarak mikroorganizmalar ozona karşı duyarlı olsalar da fizyolojik şartlar ve çevresel faktörler mikroorganizmaların ozonla inhibisyonu üzerinde önemli derecede etkili olmaktadır. Mikroorganizmaların ozona karşı olan duyarlılıkları ortamın pH'sına, sıcaklığına, nemine, ortamdaki kat-

belirtilerinin gözlenmediğini bildirmektedir. ACHEN ve YOUSEF (2001) yaptıkları çalışmada *E. coli* O157:H7 ile inoküle ettikleri elmaları % 12-14 ozon gazı elde edilen sistemde ozonlanmış suda 3 dakika daldırarak bekletme ve 10 µm gözenekli aeratörle ozonun suya verilmesi şeklinde 3 dakika muamele ederek toplam sayıda daldırarak bekletmede 2.6 log<sub>10</sub> cfu/g azalma, aeratörlü sistemde 3.7 log<sub>10</sub> cfu/g azalma tespit etmişlerdir. Sofralık üzümler üzerine yapılan bir çalışmada 20 dakika 8 mg/L ozon uygulamasıyla bakteri, küf ve mayalar üzerinde toplam sayının azaltıldığı bildirilmektedir (SARIG vd 1996). BARTH, ZHOU, MERCIER ve PAYNE (1995), 0.1-0.3 ppm ozon gazı atmosferinde 2°C'de 12 gün süresince depolanan böğürtlenlerde herhangi bir hasar, kalitede azalma ve yüzeyde fungal bir gelişmenin olmadığını belirtmektedirler. Ayrıca böğürtlenlerin depolanmasında başlangıçtaki renge en yakın değeri 0.3 ppm ozon uygulamasıyla elde ettiklerini belirtmektedirler. İnoküle edilmiş çilekler üzerine yapılan bir çalışmada çilekler kontrol ve 2°C'de 1.5 µg/L ozonla zenginleştirilmiş atmosferde depolanmışlar ve ozon uygulamasıyla inoküle olmuş çileklerde bozulma oranı azaltılmış, ağırlık kaybı ile yumuşama kontrole göre çok daha az seviyede gerçekleşmiş fakat aromada bir takım kayıpların olduğu saptanmıştır (NADAS, OLMO ve GARCIA 2003). Böğürtlen ve çilek gibi yıkama sonrası kalite özelliklerinde duysal kaybın gözlemlendiği hassas meyvelerde ozon uygulaması, ozonlu suyla yıkama yerine genelde ozon gazı atmosferinde muhafaza etme şeklinde uygulanmaktadır. Böylece duysal niteliklerde kayıpların önlenmesi amaçlanmaktadır.

Sebzelerde de ozon uygulamasıyla meyvelerin işlenmesindeki benzer avantajlar söz konusu olmaktadır. Soğanların ve patateslerin polietilenle sarılı tahta odada haftada 5 gün, 8'er saat 0.2 µg/L ozon atmosferinde depolanması üzerine yapılan bir çalışmada oksijen tüketiminde, katalaz ve peroksidaz aktivitelerinde azalma, yüzey mikrofloralarındaki mikroorganizmaların inhibe edilebildikleri belirlenmiştir. Depolama sonunda ozonla muamele edilmiş soğanların % 1'i patateslerin % 0.8'i, kontrollerde ise soğanların % 9.7'si ile patateslerin % 6.7'sinde bozulma gözlenmiştir (KIM vd 1999 a). KIM vd (1999 b) doğranmış marulların mezofilik ve psikrofilik bakterilerle inoküle edilmesinden sonra 5 dakika 1.3 mM ozon konsantrasyonuna sahip su ile yıkanması sonucu mezofilik bakterilerde 3.9 log'luk, psikrofilik bakterilerde 4.6 log'luk azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca yapılan çalışmada ozonlu su ve ozonun suya enjekte edilmesi şeklinde farklı iki uygulama mukayese edilmiş, ozonun suya aeratörle enjekte edilmesinin daha etkili olduğu saptanmıştır. LIEW ve PRANGE (1994) mikotoksijenik küfle inoküle edilmiş havuçları 0-60 mg/L konsantrasyonlu 0.5 L/dak. ozon gazı ile 28 gün, 8'er saat muameleye tabi tutmuşlardır. 60 mg/L konsantrasyondaki ozon uygulamasıyla mikroorganizmaların günlük büyüme hızında % 50'lik bir azalma tespit ettiklerini bildirmektedirler. Sebze işlemede kullanılan su, proste tekrar kullanılırsa sebze kalıntıları ve mikrobiyal bulaşma gibi durumlardan dolayı ozon işleminin yetersiz kalma tehlikesi vardır.

### Kuru Ürünler

*Bacillus* ve *Micrococcus* bakteri türleri tahıl, kuru fasulye ve baharatlarda genel olarak bulunan bakteri türleridir. Bu mikroorganizmaların sayıları 50 mg/L ozon uygulamasıyla 1-3 log'luk bir azalma göstermektedir. Tahıl tanesi, tahıl unu, kuru fasulye ve baharatlara 0.5-50 mg/L konsantrasyonları arasında 1-6 saat süresince sıcaklık sınırları 5-50 °C arasında olacak şekilde ozon uygulanmıştır. Kuru ürünlerde bazı istisnalar hariç düşük sıcaklıkta ve uzun süren ozon uygulamasıyla daha yüksek mikrobiyal inaktivite sağlanmıştır. Bu ürünlerde 5 ppm'in altında ozon uygulamasıyla nadiren lipid oksidasyonu gerçekleşirken, ozon konsantrasyonu yükseldikçe lipid oksidasyonun da arttığı belirtilmektedir (KIM vd 1999 a). NAITOH, SAWADO ve YAMAGUCHI (1989) yaptıkları çalışmada buğday ununa 0.5-50 ppm ozon konsantrasyonunu 6 saat süresince uygulamışlar. Unda mikrobiyal gelişme engellenmiş, depolama süresi uzatılmış, fakat depolama süresince tiamin içeriğinde % 4-17 arasında azalma tespit edilirken duysal kalitede bir olumsuzluk tespit edilmediği bildirilmektedir. KIM vd (1999 a) ozon gazı atmosferinde depolanan sarımsakların ağırlıklarında kontrollere göre % 3.7 oranında verimin fazla olduğu ve *Penicillium*'dan kaynaklanan kaybın da azaldığını belirtmektedirler. Aynı çalışmada 5-20 ppm ozon gazının 30 saniye uygulanmasıyla uçucu yağlardan açığa çıkan gaz bileşenlerinin % 60-90 oranında parçalandığı bildirilmektedir. ZHAO ve CRANSTON (1995) yaptıkları çalışmada karabiber tanesi ve öğütül-

müş karabiberde sterilizasyon amaçlı kullanılan etilen okside alternatif olarak ozon uygulamasını denemişlerdir. Karabiber taneleri suya daldırılarak 6.7 mg/L 10 dakika 6L/dak. ozon gazı enjekte edilmesiyle mikrobiyal yükte 3-4 log'luk azalma saptanırken, öğütülmüş karabiberler 6 saat süresince ozon gazı ile muamele edilmişler ve mikrobiyal yükte 3-6 log'luk azalma saptamışlardır. Ayrıca ozon uygulamasıyla karabiber tanelerinin uçucu yağ bileşenlerinde bir değişim olmadığı belirtilirken, öğütülmüş karabiberde kontrolde tespit edilen 16 bileşenin ozon uygulaması sonrası tespit edilemediği, yine öğütülmüş karabiberde ozon uygulaması sonrası kontrolde olmayan 14 yeni bileşenin oluştuğu bildirilmektedir. Mc KENZIE vd (1997) mikotoksinlerce kontamine olmuş pirinç ununa ozon uygulaması yapmışlardır. Ağırlıkça % 2-10-20 ozon konsantrasyonları 5 dakika süresince uygulanmıştır. B<sub>1</sub> ve G<sub>1</sub> aflatoksinleri % 2 ozon konsantrasyonunda kolayca degradasyona uğrarken, B<sub>2</sub> ve G<sub>2</sub> aflatoksinlerinde degradasyon için % 20 ozon konsantrasyonuna ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. B<sub>1</sub> ve G<sub>1</sub>'in yapısında bulunan C<sub>8</sub>-C<sub>9</sub> arasındaki çift bağ ozona karşı duyarlılığı artırırken, B<sub>2</sub> ve G<sub>2</sub>'de bu çift bağın bulunmamasından dolayı degradasyon için daha yüksek ozon konsantrasyonuna ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Maeba, Takamoto, Kamimura ve Miura (1988) 1.1 mg/L konsantrasyonda 5 dakika oda sıcaklığında ozon uygulamasıyla B<sub>1</sub> ve G<sub>1</sub> aflatoksinlerini detoksifiye ederken, B<sub>2</sub> ve G<sub>2</sub> aflatoksinleri için 34.3 mg/L ozon konsantrasyonunun 50-60 dakika uygulanarak detoksifikasyonun gerçekleştiğini bildirmektedirler. Prudente ve King (2002), kontamine edilmiş mısırlarda % 10-12 ağırlıkça ozon uygulayarak aflatoksin seviyesini % 92 azaltmışlardır. Kontamine olmamış mısırlarda ozon uygulamasıyla yağ asitlerinde minimum etki tespit edilirken, kontamine edilmişlerde ozon uygulaması sonrası yağ asitlerinde büyük değişiklikler tespit etmişlerdir.

### Etler

Sığır etine 50 g/L konsantrasyonlu hidrojen peroksit püskürtülmesi ve 5 g/L konsantrasyonlu ozon gazı uygulamasının, trisodyum fosfat (120 g/L), asetik asit (20 g/L) ve ticari sanitasyon ajanı (3 g/L) uygulamasından daha etkili olarak mikrobiyal yükü azalttığı bildirilmektedir (GORMAN vd 1995). REAGAN vd (1996), karkas etlere 0.3-2.3 mg/L konsantrasyonlu ozon uygulamasıyla aerobik bakterilerde 1.3 log cfu/cm<sup>2</sup>'lik bir azalma olduğunu belirtmektedirler. CASTILLO, McKENZIE, LUCIA ve ACUFF (2003), karkas et yüzeyine inoküle edilmiş *E.coli* O157:H7 ve *S. typhimurium* bakterilerinin 95 mg/L konsantrasyonlu ozonlu suyla 28 °C'de yıkamanın normal suyla yıkamaya göre mikrobiyal yükü önemsiz derecede etkilediğini belirtmektedirler. Ozonun heme pigmentlerinin yapısındaki porfirini parçalaması ve bu yolla balık etinde daha beyaz ve parlak bir renk oluşmasını sağlaması ozonun balık etlerinde de kullanımını çekici hale getirmektedir (CEMEROĞLU vd 2001).

### İçme Suları

Ozonun su arıtma tesislerinde ilk kullanımı Fransa'nın Nice kentinde 1906 yılında uygulanmıştır. İşlenmiş şişe sularında ozon kullanımına FDA 1982 yılında onay vermiştir. Ozon bir çok organik ve inorganik sızlıkların okside olmasını sağlar. Sudaki mikroorganizmaları inaktif hale getirirken, demir, manganez, sülfidler ve nitritler gibi inorganik maddeleri çözünmez hale getirerek uygun bir filtrasyonla bu maddelerin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (ANON. 2003 a). Ayrıca istenmeyen rengin, tadın ve kokunun giderilmesinde oldukça etkilidir. Şehir içme sularının dezenfeksiyonunda bir çok aşamada klor kullanmamak mümkün değildir. Zira şebekede oluşabilecek kontaminasyonlara karşı ozon etkisizdir. Çünkü ozon, uygulama sonrası su içerisinde 20 ile 40 dakika süresince kalabilmekte ve bu süre sonunda dezenfeksiyon etkisini kaybetmektedir. Suyun klorlanması sırasında ise iz miktardaki çözünmüş organik maddeler (humik, tannik ve fulvik asit) klorla reaksiyona girerek kanserojen özelliğe sahip THM oluşumuna sebep olmaktadır. Suyun ozonlanmasındaysa böyle bir durum söz konusu değildir (ANON. 2003 b). Amerika'da Çevre Koruma Örgütü (EPA) tarafından içme sularında *Cryptosporidium parvum* varlığı kontrol mekanizması olarak ilan edilmiştir. *C. Parvum* protozoa paraziti olan, su kaynaklı hastalık etkeni bir mikroorganizmadır. Serbest klorla inaktivasyonu zor iken ozon uygulamasıyla kolaylıkla inaktif edildiği belirtilmektedir (CLARK SIVAGENESAN, RICE ve CHEN 2002). DUNLOP, BYRNE MANGA ve EGGINS (2002) ise suların dezenfeksiyonunda klor ve ozon uygulamasının *Cryptosporidium* gibi bazı patojen mikroorganizmaların dezenfeksiyonunu yeterince sağlayamadığını, TiO<sub>2</sub> gibi alternatif yöntemlerin uygulanması gerektiğini belirtmektedirler.

### **Diğer Ürünler**

Peynir olgunlaştırma odasında 0.1-10 µg/L ozon gazı uygulamasıyla küf sporları sırasıyla % 80, % 90 ve % 99 oranlarında, duyuusal özellikte kayba neden olmadan inaktif hale gelmiştir (KIM vd 1999 a). GREENE, FEW ve SERAFONI (1993), süt endüstrisinde biyofilm oluşturan bakterilerin 0.5 ppm konsantrasyona sahip ozonun 10 dakika uygulanmasıyla % 99'unun inaktif edildiğini bildirmektedirler. Ozon peyniraltı suyu ve elma suyunda ki bakterilerin inaktivasyonunda, konservecilikte teneke kutuların dolun hatları ve ekipmanların dezenfeksiyonunda genel olarak kullanılmaktadır (KIM vd 1999 a).

### **Ozon Uygulamalarında Personel Güvenliği**

Ozon toksik bir maddedir. Ozonun düşük konsantrasyonları bile (~0.1 mg/L) burun, boğaz ve gözlerde tahrişe neden olmaktadır. İnsan akciğeri ozon gazının birinci hedefidir. İlk olarak solunum sisteminde kanama ve iltihaba ilaveten akciğerde ödem oluşumuna sebep olmaktadır. Ozona maruz kalma süresi arttıkça ozon, alveollerden geçerek kan hücrelerinde ve serum proteinlerinde hasara neden olabilmektedir (KHADRE vd 2001). Ozon gazı için geçerli eşik değerleri şu şekilde verilmektedir (ANON. 2003 b);

- 0.003-0.015 ppm kokuyu hissetme seviyesi.
- 0.005-0.010 ppm orman havası.
- 0.020 ppm havadaki bakterileri % 90 oranında yok etme seviyesi.
- 0.050 ppm sürekli soluma FDA emniyet seviyesi.
- 0.10 ppm sınırlı süre soluma (8 saat/gün) FDA emniyet seviyesi.
- 0.12 ppm şehir havası için EPA eşik seviyesi.
- 1.00 ppm insan tolerans seviyesi (Öksürük, boğaz kuruluğu, göz yanması vb.).

Çalışma alanlarında 0.1 ppm 8 saat/gün olması Amerikan Hijyen Kongresi'nde uygun görülmüş, kısa süre içinse 0.3 ppm 15 dakika kabul görmektedir (XU 1999, KHADRE vd 2001).

Gıda işlemede ozonun pratik uygulamasında en önemli unsur güvenli kullanımıdır. Gıda işleyen fabrikalarda çalışan işçilerin güvenliği açısından gaz filtreli maskelerin kullanılması, kaza ve aksaklıklara karşı plan yapılması ve personelin ozonun doğası ile tehlikeleri hakkında eğitimi gerekmektedir. Maskelere ilaveten sistemde ozon belirleyici ve ozon yıkıcı ekipmanlara ilaveten ortamda iyi bir havalandırmaya gereksinim vardır. Ozonlama odalarında, ozon gazı dağıtım borularının bulunduğu yerlerde ve ozon yıkımının gerçekleştiği yerlerde 0.01 ile 100 ppm aralığında ölçüm yapabilen büyük ölçüm hücreli ultraviyole dedektörler bulunmalıdır. Dedektör çevre havanın ozon içeriği 0.1 ppm'i geçtiğinde ışıklı ve sesli uyarı yapmalıdır (KHADRE vd 2001).

### **SONUÇ**

Ozon güçlü bir sanitasyon ajanı olmasından dolayı gıda endüstrisindeki uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Mikroorganizmalar üzerine geniş spektrumlu bir etkiye sahip olmasının yanı sıra klor ve diğer dezenfektanlara kıyasla düşük konsantrasyonlarda bile daha kısa sürede etkili olmaktadır. Klorlu bileşiklerde olduğu gibi THM ve dioksinlerin oluşumuna neden olmayan bir sanitasyon ajanıdır. Uygulama şekli ürünün duyuusal özelliklerine göre değişmekle birlikte suya enjekte edilmesi ve gaz atmosferinde ürünün bekletilmesi şeklinde olmaktadır. Bazı araştırmalarda aroma kayıplarının olduğu, bazılarında da kontrol örneğinde Olmayan yeni bileşenlerin oluştuğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu tür oluşumların daha kapsamlı araştırmalarla açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

Ozona karşı dirençli mikroorganizmaların belirlenmesi, indikatör mikroorganizma seçimi, ozon kullanımında optimizasyona gidilmesi ve ozon hakkındaki bilgilerin geliştirilmesi gibi konuların aydınlanmasına yönelik çalışmaların yapılması gıda endüstrisinde ozon kullanımının daha başarılı ve etkili bir şekilde uygulanabilirliği için gereklidir.

**KAYNAKLAR**

- ACHEN M and YOUSEF AE. 2001. Efficacy of ozone against *Escherichia coli* O 157:H 7 on apples. J. of Food Sci, 66 (9): 1380-1384.
- ANONYMOUS. 2003 a. [http:// www.familyhealthnews.com/32.html](http://www.familyhealthnews.com/32.html).
- ANONYMOUS. 2003 b. <http://www.airozone/dezenfek.htm>
- BARTH MM, ZHOU C, MERCIER J and PAYNE FA. 1995. Ozone storage effects on anthocyanin content and fungal growth in blackberries. J. of Food Sci, 60 (6): 1286-1288.
- BAZAROVA VI. 1982. Use of ozone in storage of apples. Food Sci.Tec.Abs, 14 (11): 1653.
- CASTILLO A, MCKENZIE KS, LUCIA LM and ACUFF GR. 2003. Ozone treatment for reduction of *Escherichia coli* O 157:H 7 and *Salmonella Serotype thypimirium* on beef carcasses surfaces. J. of Food Protect, 66 (5): 775-779.
- CEMEROĞLU B, YEMENCIOĞLU A and ÖZKAN M. 2001. Meyve ve Sebzelelerin Bileşimi Soğukta Depolanmaları. Cilt I. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No: 3, 328 s, Ankara.
- CLARK RM, SIVAGENESAN M, RICE EW, Chen J. 2002. Development of a Ct equation for the inactivation of *Cryptosporidium* oocysts with ozone. Water Research, 36: 3141-3149.
- DUNLOP PSM, BYRNE JA, MANGA N, EGGINS BR. 2002. The photocatalytic removal of bacterial pollutants from drinking water. J.ofPhotochem. and Photobiol.A:Chem.,148:355-363.
- GORMAN B, SOFOS JN, MONGON JB, SCHMIDT GR and SMITH GC. 1995. Evaluation of hand-trimming, various sanitizing agents, and hot water spray-washing as decontamination interventions for beef brisket adipose tissue. J. Food Protect, 58:899-901.
- GRAHAM DM. 1997. Use of Ozone for food processing. Food Tech, 51 (6): 72-75.
- GREENE AK, FEW BK and SERAFONI JC. 1993. A comparison of ozonation and chlorination for the disinfection of stainless steel surfaces. J. of Dairy Sci, 76: 3617-3620.
- HERBOLD K, FLEHMING B and BOTZENHART K. 1989. Comparison of ozone inactivation, in flowing water of Hepatitis A virus, Poliovirus I, and indicator organisms. Appl and Env Microb, 55: 2949-2953.
- KHADRE MA and YOUSEF AE. 2002. Susceptibility of human rotavirus to ozone, high pressure, and pulsed electric field. J. of Food Protect, 65 (9): 1441-1446.
- KHADRE MA, YOUSEF AE and KIM JG. 2001. Microbiological aspects of ozone applications in food: A review. J. of Food Sci, 66 (9) : 1242-1252.
- KIM CK, GENTILE DM and SPROUL OJ. 1980. Mechanism of ozone inactivation of Bacteriophage f2. Applied and Environmental Microbiology, 39: 210-218.
- KIM JG, YOUSEF AE and DAVE, S. 1999 a. Application of for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review. J. of Food Protect, 62(9): 1071-1087.
- KIM JG, YOUSEF AE and CHISM, GW. 1999 b. Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. J. of Food Safety, 19: 17-34.
- LIEW CL and PRANGE RK.1994. Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots. J. of American Soc. Hortic. Sci, 119: 563-567.
- MAEBA H, TAKAMOTO Y, KAMIMURA M and MIURA T. 1988. Destruction and detoxification of aflatoxins with ozone. J. of Food Sci, 53 (2): 667-668.
- MCKENZIE KS, SARR AB, MAYURA K, BAILEY RH, MILLER DR, ROGERS TD, NORRED WP, VOSS KA, PLATTNER RD, KUBENA LF and PHILLIPS TD. 1997. Oxidative degradation of mycotoxins using a novel source of ozone. Food and Chemical Toxicology, 35: 807-820.
- MOORE G, GRIFFITH C and PETERS A. 2000. Bactericidal properties of ozone and its potential application as a terminal disinfectant. J. of Food Protect, 63 (8): 1100-1106.
- NADAS A, OLMO M and GARCIA JM. 2003. Growth of *Botrytis cinerea* and strawberry quality in ozone-enriched atmosphere. J. of Food Sci, 68 (5): 1798-1802.
- NAITOH S, SAWADO Y and YAMAGUCHI N. 1989. Studies on utilization of ozone in food preservation: Effect of ozone treatment on storage of packaged namamen japanese raw noddle. J. of Antibact. Antifung. Agents, 17: 517-526.
- PRUDENTE AD and KING JM. 2002. Efficacy and safety evaluation of ozonation to degrade aflatoxin in corn. J. of Food Sci, 67 (8): 2866-2872.
- REAGON JO, ACUFF GR, BUEGE DR, BUYEK MJ, DICKSON R, SMITH GC and SOFOS JN. 1996. Trimming and washing of beef carcasses as a method of improving the microbiological quality of meat. J. of Food Protect, 59: 751-756.
- RESTAINO L, FRAMPTON EW, HEMPHILL JB and PALNIKAR P. 1995. Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms. Appl. and Env. Microb,61(9):3471-3475.
- SARIG P, ZAHOVI T, ZUTKHI Y, YANNAI S, LISKER N and BEN-ARIE R. 1996. Ozone for control of post-harvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. Physiological and Molecular Plant Pathology, 48: 403-415.
- UNAL R, KIM JG and YOUSEF AE. 2001. Inactivation of *Escherichia coli* O 157:H7, *Listeria monocytogenes*, and *Lactobacillus leichmannii* by combinations of ozone and pulsed electric field. J. of Food Protect, 64 (6) : 777-782.
- Xu L. 1999. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. Food Techn, 53 (10): 58-61,63.
- ZHAO J and CRANSTON PM. 1995. Microbial decontamination of black pepper by ozone and the effect of the treatment on volatile oil constituents of the spice. J. of Sci. Food Agric, 68: 11-18.