

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OZON UYGULAMASI VE OKSİJEN TUTUCU KULLANIMININ
MODİFİYE ATMOSFERDE AMBALAJLANAN TAVUK ETİNİN
KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Derya ÜNAL

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2017**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

DERYA ÜNAL tarafından hazırlanan “Ozon Uygulaması ve Oksijen Tutucu Kullanımının Modifiye Atmosferde Ambalajlanan Tavuk Etinin Kalitesi Üzerine Etkileri” adlı tez çalışması 06/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN



Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Halil VURAL

Hacettepe Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Kamuran AYHAN

Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN

Ankara Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

06/01/2017

Derya ÜNAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OZON UYGULAMASI VE OKSİJEN TUTUCU KULLANIMININ MODİFİYE ATMOSFERDE AMBALAJLANAN TAVUK ETİNİN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Derya ÜNAL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN

Çalışmada modifiye atmosferde ambalajlanan (MAP) tavuk etlerine ozonlu su uygulaması ve oksijen tutucu (OT) kullanımının soğukta depolamada (4°C) bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklere etkileri belirlenmiştir. Tavuk göğüs etleri üç gruba ayrılmış, bir gruba ozonlu su uygulamadan %70 CO₂ + %30 N₂ atmosferinde MAP uygulanmıştır (Kontrol). Ozonlu suya (10 ppm) daldırılarak muamele edilen diğer gruplardan birisi OT ile, diğeri OT kullanmadan modifiye atmosferde ambalajlanmıştır. Depolamanın 0., 1., 4., 7., 10., ve 13. günlerinde pH, tiyobarbitirik asit (TBA) değeri, toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB), toplam aerobik psikrofilik bakteri (TAPB), laktik asit bakteri (LAB), *Enterobacteriaceae* sayıları ile CIE* açıklık-koyuluk (L*), kırmızılık (a*) ve sarılık (b*) değerleri saptanmıştır.

Kontrol grubunun kabul edilebilir TAMB sayısına 4. günde ulaştığı; MAP+Ozon ve MAP+Ozon+OT gruplarının ise kabul edilebilir limiti 7. günde aştığı saptanmıştır. Ozon, Kontrol grubuna göre en belirgin etkisini MAP+Ozon ve MAP+Ozon+OT gruplarında sırasıyla TAMB sayısında 1.48 ve 1.61, TAPB sayısında 1.30 ve 1.46, LAB sayısında 0.94 ve 1.17, ve *Enterobacteriaceae* spp. sayısında 1.67 ve 2.09 log birimlik düşüşle 4. günde göstermiştir. OT kullanımı depolamanın son periyotlarında sadece *Enterobacteriaceae* üzerinde etkili olmuştur. OT kullanımı TBA değeri üzerine etkisini 13. günde diğer iki gruptan önemli ölçüde (p<0.05) düşük TBA değeri ile göstermiştir. Ozonlu su uygulamasının L*, a* ve b* değerleri üzerinde olumsuz bir etki gözlenmemiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular, ozon uygulamasının ve OT kullanımının MAP uygulanan tavuk göğüs etlerinde soğuk muhafazada genellikle mikrobiyal gelişimi baskılayıcı etki gösterdiğini, ürün renk özelliklerini olumsuz yönde etkilemediğini, ancak, OT'nun lipid oksidasyonu üzerine etkisinin beklenenin altında olduğunu göstermiştir.

Ocak 2017, 75 sayfa

Anahtar Kelimeler: Oksijen tutucu, ozon, tavuk eti, modifiye atmosfer ambalajlama, raf ömrü

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECTS OF OZONE TREATMENT VE OXYGEN SCAVENGER ON THE QUALITY OF MODİFİED ATMOSPHERE PACKAGED CHİCKEN MEAT

Derya ÜNAL

Ankara University
Graduate School of Natural ve Applied Sciences
Department of Food Engineering

Advisor: Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN

In this study, the effects of ozonated water treatment ve oxygen scavenger (OS) on some physical chemical ve microbiological characteristics of modified atmosphere packaged chicken meats were investigated during refrigerated storage at 4°C. Chicken breast meats were divided into three groups, one of which was packaged under 70% CO₂ + 30% N₂ modified atmosphere without ozone treatment (Control). The other two groups of chicken meats were immersed in 10 ppm ozonated water ve packaged under modified atmosphere with or without OS. The pH value, thiobarbutiric acid (TBA) value, ve counts of total aerobic mesophilic bacteria (TAMB), total aerobic psychrophilic bacteria (TAPB), lactic acid bacteria (LAB) ve *Enterobacteriaceae* as well as CIE lightness (L *), redness (a *) ve yellowness (b *) values were evaluated at Days 0, 1, 4, 7, 10, ve 13 of refrigerated storage.

TAMB counts of Control reached microbiological acceptability limit at Day 4 while the groups treated with ozonated water exceeded this limit at Day 7. Ozone treatment was effective the most at Day 4 with reductions of 1.48 ve 1.61 log unite for TAMB counts, 1.30 ve 1.46 for TAPB counts, 0.94 ve 1.17 for LAB counts, ve 1.67 ve 2.09 for *Enterobacteriaceae* counts in MAP+Ozone ve MAP+Ozone+OS groups, respectively. OS was effective on TBA value at Day 13 with significantly lower TBA values than the other two groups (p<0.05). Ozonated water application did not negatively influence L*, a* ve b* color values. The data obtained from this study indicated that ozonated water treatment ve OS utilization in chicken breast meats suppressed microbiological growth, did not cause detrimental effect on color properties, however, effect of OS on lipid oxidation remained less than expected.

January 2017, 75 pages

Key Words: Oxygen scavenger, ozone, chicken meat, modified atmosphere packaging, shelf life

TEŞEKKÜR

Engin bilgi ve tecrübeleriyle tez çalışmamın her aşamasında sağlamış olduğu katkılardan dolayı, manevi desteğiyle hep yanımda olan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN'a (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı),

Analizlerimde Laboratuvar olanaklarından yararlandığım (Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı) öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Nuray KOLSARICI ve Sayın Prof. Dr. Sedat VELİOĞLU'na,

Analizlerimde tecrübelerinden yararlandığım Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan Karaca'ya, Sayın Arş. Grv. Emine ÇARKÇIOĞLU'na, Sayın Arş. Grv. Dr. Eda DEMİROK SONCU'ya, Sayın Arş. Grv. Güliz HASKARACA'ya ve Sayın Dr. Burak DEMİRHAN'a,

Çalışmam sırasında kullandığım DPD 4 test kitlerini temin eden Sayın Elif ÇAĞLAYAN'a (Thermomed Medikal ve Analitik Cihazlar Tic. Ltd. Şti.) ve oksijen tutucularımı temin eden Sayın Ahu Sedef DEMİR'e (Sedef Yeni Nesil Endüstriyel Çözümler A.Ş.)

Her daim yanımda olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, çalışmam süresince benimle birlikte laboratuvarda çalışan eşim Sayın Emrah ÜNAL'a ve meslektaşım Sayın Gıda Mühendisi Dilara KARDEŞ'e,

Tez çalışmamda yardımlarından ve desteklerinden dolayı işyeri Müdürüm Sayın Sabri ÇOBAN'a (Altındağ İlçe Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü) ve mesai arkadaşlarıma,

Her daim yanımda olan, maddi ve manevi destekleriyle beni bugünlere taşıyan çok değerli ailelerim Sayın Bedriye ÖZALP'a, Sayın Fidan ÜNAL'a, Sayın Cafer ÖZALP'a, Sayın Yunus ÜNAL'a, Sayın Ali Şahin ÖZALP'a, Sayın Erol ÖZALP'a, Sayın Dilek ÜNAL'a ve çalışmam süresince usluluğuyla beni destekleyen kızım Derem ÜNAL'a teşekkür ederim.

Derya ÜNAL
Ankara, Ocak 2017

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 Modifiye Atmosfer Ambalajlama	5
2.1.1 Modifiye atmosfer ambalajlamanın olumlu ve olumsuz yönleri	7
2.2 Oksijen Tutucular	10
2.2.1 Et teknolojisinde oksijen tutucu uygulamaları	12
2.3 Ozon Uygulamaları	14
2.3.1 Ozonun genel özellikleri	14
2.3.2 Ozon üretimi	15
2.3.2.1 Korona Deşarj Yöntemi.....	16
2.3.2.2 Elektrokimyasal (Cold Plasma) Yöntem.....	17
2.3.2.3 Radiokimyasal ozon üretimi (RCOG).....	18
2.3.2.4 Ultraviyole Yöntemi.....	18
2.3.3 Ozonun reaksiyon mekanizması	19
2.3.4 Su içinde ozonun çözünürlüğü	21
2.3.5 Ozonun kararlılığı.....	21
2.3.6 Ozonun etkinliğini etkileyen faktörler	22
2.3.7 Mikrobiyel inaktivasyon için ozon kullanımı	23
2.3.8 Kırmızı et teknolojisinde ozon uygulamaları	25
2.3.9 Kanatlı eti teknolojisinde ozon uygulamaları.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1 Materyal	30
3.1.1 Tavuk eti	30
3.1.2 Ambalaj materyali ve oksijen tutucu	30
3.2 Yöntem	30
3.2.1 Ozon uygulaması ve modifiye atmosfer ambalajlama	30
3.2.2 Analiz Yöntemleri	33
3.2.2.1 Nem içeriği	33
3.2.2.2 Yağ içeriği	34
3.2.2.3 Protein içeriği	34
3.2.2.4 Kül içeriği.....	34
3.2.2.5 pH değeri.....	34
3.2.2.6 Tiyobarbiturik asit (TBA) değeri	35
3.2.2.7 Enstrümental renk analizi.....	35
3.2.2.8 Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı.....	35
3.2.2.9 Toplam aerobik psikrofilik bakteri sayısı.....	36

3.2.2.10 Laktik asit bakteri sayısı	36
3.2.2.11 Enterobacteriaceae sayısı	36
3.2.2.12 İstatistik analiz	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	38
4.1 Tavuk Göğüs Etinin Kimyasal Bileşimi	38
4.2 pH Değeri	38
4.3 Mikrobiyolojik Analiz.....	41
4.3.1 Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı.....	41
4.3.2 Toplam aerobik psikrofilik bakteri sayısı.....	43
4.3.3 Laktik asit bakteri sayısı	45
4.3.4 Enterobacteriaceae sayısı	47
4.4 Tiyobarbiturik Asit (TBA) Değerleri	50
4.5 Enstrümental Renk Değerleri	53
5. SONUÇ.....	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ.....	75

SİMGELER DİZİNİ

·OH	Hidroksil
·OH ₂	Hidroperoksil
A _w	Su Aktivitesi
cm ²	Santimetrekare
CO ₂	Karbondioksit
Fe	Demir
g	Gram
H ₂ O	Su
HCl	Hidroklorik Asit
HI	Hidrojen İyodür
kg	Kilogram
KI	Potasyum İyodür
kob	Koloni Oluşturan Birim
L	Litre
LOG	Logaritma
mL	Mililitre
mm	Milimetre
mmol	Milimol
N ₂	Azot
NaCl	Sodyum Klorür
O ₂	Oksijen
OH	Hidroksil
µm	Mikrometre

Kısaltmalar

ACVK	Asidik Krom Violet K
CIE	Renk Uzayı (İnternational Commission On Illumination)
dk	Dakika
EPA	European Parliamentary Association (Avrupa Parlamenterler Örgütü)
FDA	Genellikle Güvenli Kabul Edilen
GRAS	Genellikle Güvenli Kabul Edilen
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ICMSF	İnternational Commission On Microbiological Specifications For Foods (Gıdalarda Mikrobiyolojik Spesifikasyon Uluslararası Komisyonu)
LAB	Laktik Asit Bakterileri
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
MA	Malonaldehit
MAP	Modifiye Atmosferde Ambalajlama
OT	Oksijen Tutucu
PE	Polietilen
PP	Polipropilen

PUFAS	Poli-Doymamış Yağ Asitlerinin Oksidasyonu
RCOG	Radiokimyasal Ozon Üretimi
SAS	İstatistiksel Analiz Sistemi (Statistical Analysis System)
ST	<i>Salmonella</i> Typhimurium
TAMB	Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri
TAPB	Toplam Aerobik Psikrofilik Bakteri
TBA	Tiyobarbütirik Asit
UV	Ultraviyole
VRBD	Violet Red Bile Dextrose



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Basit ozon jeneratörü (Chawla 2006)	17
Şekil 2.2 Ksenon eksimer tabanlı vakumlu ultraviyole lamba (Osram 2011)	19
Şekil 2.3 Suyun ozonlanması sırasında bileşiklerin oksidasyon reaksiyonları (EPA Guidance Manual, 1991).....	20
Şekil 3.1 Suda çözünen ozon miktarı ölçümünde kullanılan Palintest Ozone Meter cihazı	31
Şekil 3.2 Ozon uygulamasının gerçekleştirildiği düzenek.....	32
Şekil 3.3 Tavuk göğüs etlerine ozonlu su uygulama işlemi.....	32
Şekil 4.3 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince pH-değerlerindeki değişim	39
Şekil 4.5 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişimi	42
Şekil 4.7 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince toplam aerobik psikrofilik bakteri sayılarındaki değişimi	44
Şekil 4.9 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince laktik asit bakteri sayılarındaki değişim.....	46
Şekil 4.11 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince Enterobacteriaceae sayılarındaki değişim	48
Şekil 4.13 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince belirlenen TBA değerlerindeki değişim	51
Şekil 4.15 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince CIE L* değerleri değişimi	55
Şekil 4.16 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince CIE a* değerleri değişimi	55
Şekil 4.17 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince CIE b*, değerleri değişimi	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.4 Farklı gıdaların dekontaminasyonunda sulu ozon kullanımı	24
Çizelge 4.1 Tavuk göğüs etinin kimyasal bileşimi (%)*	38
Çizelge 4.2 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince pH değerleri*	39
Çizelge 4.4 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları ($\log_{10}$ kob/g)*	41
Çizelge 4.6 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince TAPB sayıları ($\log_{10}$ kob/g)*	44
Çizelge 4.8 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince LAB sayıları ($\log_{10}$ kob/g)	46
Çizelge 4.10 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince Enterobacteriaceae sayıları ($\log_{10}$ kob/g)	48
Çizelge 4.12 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince TBA-değerleri (mg MDA/kg)*	51
Çizelge 4.14 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince CIE L*, a* ve b* değerleri*	54

1. GİRİŞ

Dünyada popüler gıda maddeleri arasında yer alan kanatlı etleri tüketimi son on yıldır birçok ülkede artış göstermektedir. Kanatlı etinin düşük üretim maliyeti, düşük yağ içeriği ve yüksek besin değeri popülerliğinin nedenleri arasında yer almaktadır (Chouliara vd. 2007). Dünya tavuk eti üretimi 2000 yılında 58.7 milyon tondan 2011 yılında 89.4 milyon tona yükselmiştir. Türkiye’de de toplam hayvansal ürünler içinde önemli bir yer tutan tavuk eti üretimi 2000 yılında 662.000 ton iken, 2015 yılında 1.982.000 ton düzeyine ulaşarak üç kattan daha fazla artış göstermiştir. Türkiye’de tavuk eti kişi başına yıllık tüketimi ise 2001 yılında 8.51 kg iken yıllar geçtikçe artış göstererek 2015 yılında 21.81 kg’a yükselmiştir (Anonim 2016).

Kanatlı etinin kolay bozulabilen gıdalardan olduğu gerçeği göz önünde bulundurulduğunda, raf ömrünü uzatmak endüstrinin başlıca hedefleri arasında yer almaktadır (Chouliara 2007). Günümüzde, bu amaca ulaşmak için modern trendler minimum işlemleri sağlayan engeller teknolojisi konseptinin uygulanmasına ve hem bozulma yapan hem de patojen mikroorganizmalara karşı korunmayı sağlayan doğal gıda koruyucularının kullanımına yönelmektedir (Leistner 1995, Chouliara ve Kontominas 2013). Ayrıca sentetik kimyasal koruyucular içeren gıdaların güvenilirliği üzerinde tüketicilerin artan endişesi, alternatif doğal koruma teknolojilerinin araştırılmasına yol açmıştır (Alzoreky ve Nakahara 2003). Bu teknolojilerin arasında doğal antimikrobiyal ve antioksidan özellikteki uçucu yağlar, bakteriyosinler, organik asitler ve kitosan vb. bileşenlerin kullanımı, ozon uygulamaları, modifiye atmosfer ambalajlama, aktif ambalaj uygulamalarından aktif yenilebilir film ve kaplamalar, nem ve oksijen tutucuların kullanımı yer almaktadır (Sagoo vd. 2002, Skveamis ve Nychas 2002, Chouliara vd. 2007, Georgantelis vd. 2007, Mexis vd. 2012, Chouliara ve Kontominas 2013).

Gıda endüstrisinde son yıllarda tüketicilerin taze ve güvenilir ürün talebini karşılamak amacına hizmet eden bu yenilikçi teknolojiler içinde birçok ülkede resmî kurumlar tarafından onaylanmış ve tüketiciler tarafından kabul edilmiş, gıda endüstrisinde

uygulama alanı yaygınlaşan ozon uygulaması dikkat çekmektedir (Khadre vd. 2001). Ozon ticari olarak henüz 19. yüzyılda endüstriyel atıklarda koku giderilmesinde ve içme suyunun dezenfeksiyonunda kullanılmaya başlanmıştır. Güçlü bir oksidan olan ozonun etkili bir bakterisit olduğu, ayrıca yan üründe ve atıklarda herhangi bir toksik madde bırakmadan virüsleri, mantar ve mikotoksinleri inaktif hale getirdiği kanıtlanmıştır (Uradzi'nski vd. 2005).

Endüstride gıda proseslerinde ozon gazı ve su içinde çözünerek ozonlu su olarak kullanımı yaygın olan ozon uygulamaları kırmızı et, kanatlı eti, yumurta, çiğ sebze ve meyveler, su ürünleri ve meyve suyu gibi geniş yelpazedeki gıda ürünlerinde bakterisit etkisinin yanı sıra ürünlerin temas yüzeylerinin sanitasyonunda da kullanılmaktadır. Ancak, oksidasyonu teşvik edici özelliği kullanımını sınırlamaktadır (Güzel-Seydim vd. 2003, Anonymous 2005a).

Gıdaların korunmasında etkili bir yöntem olan modifiye atmosferde ambalajlama (MAP), taze kırmızı et ve kanatlı eti içeren çeşitli gıdaların raf ömrünü uzatmada en iyi yöntemlerden biri olarak bilinmektedir (Silliker ve Wolfe 1980, Farber 1991, Chouliara ve Kontominas 2013). Gıdaların ambalajlanmasında MAP'ın endüstriyel amaçlı kullanımı son yıllarda büyük ölçüde artmakta, fakat ambalaj atmosferindeki gaz bileşiminin gıdaların hem kalitesini hem de güvenliğini sağlamada hala kritik bir rol oynamaktadır (Narasimha ve Sachindra 2002).

MAP'ta karbondioksit (bakteriyel gelişmeyi engeller), oksijen (anaerobik gelişmeyi engeller ve etin rengini korur) ve azot (yağ oksidasyonunu ve ambalajda çökmeyi engeller) yaygın kullanılan gazlar arasındadır. Bu gazlar ayrı ayrı veya belirli gıdaların korunmasında özel gereksinimlere bağlı olarak optimum etki elde etmek için kombine halde de kullanılabilir (Narasimha ve Sachindra 2002). Karbondioksit (CO₂), azot (N₂) ve oksijen (O₂)'nin kombinasyonları et ve ürünleri gibi kolay bozulan gıdalarda aerobik bozulma yapan mikroorganizma gelişimini baskılar (Davies 1995, Gill 1996). MAP'ın ve vakum ambalajlamanın, tepe boşluğundan oksijeni uzaklaştırdığı kabul edilmektedir. Fakat oksijenin yok edilmesinde bu fiziksel yöntemler genellikle

oksijeni tamamen uzaklaştıramamaktadır. Bir miktar oksijen (yaklaşık %0.1-2.0) genellikle ambalaj içerisinde kalmaktadır ve hatta gıda gözenekli olduğunda ise bu oran daha yüksek olmaktadır. Buna ek olarak, depolama sırasında ambalaj filmine nüfuz eden oksijen de bu yöntemlerle uzaklaştırılmamaktadır. Oksijenin bu düşük oranlarında bile birçok oksidasyon reaksiyonu ve küf gelişimi devam etmektedir. Oksijenin neden olduğu bu etkiler, ambalaj atmosferindeki oksijen konsantrasyonunu %0.01'den daha aza düşürebilen ve bu seviyeleri korumada etkili aktif ambalaj sistemlerinden oksijen tutucuların kullanımı ile bertaraf edilebilir (Rooney 1995, Hurme ve Ahvenainen 1998, Vermeiren vd. 1999).

Günümüzde en yaygın aktif ambalaj sistemleri içinde yer alan oksijen tutucular ekmek, şekerleme ürünleri, bisküvi, pizza, kurutulmuş veya tütsülenmiş et ve balık, peynir, fındık, kahve, çay ve çikolata gibi birçok gıda maddesinin ambalajlanmasında raf ömrünü artırıcı etkisi nedeniyle kullanılmaktadır (Abe ve Kondoh 1996, López-Cervantes vd. 2003).

Bu çalışmada amaç ozon ile muamele edilen modifiye atmosferde ambalajlanmış tavuk etlerinde oksidatif değişimleri azaltmak için oksijen tutucu kullanımının soğuk depolama süresince bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikler üzerine etkisinin belirlenmesidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kanatlı etlerinin mikrobiyolojik güvenliği ve kalitesi, gerek üreticiler, perakendeciler ve ve gerekse tüketiciler için büyük önem taşır. Et, yüksek nem içeriği, azotlu bileşiklerin zenginliği (elzem amino asitler, proteinler), içerdiği mineraller, vitaminler ve diğer gelişme faktörleri bakımından bakteriyel gelişim için iyi ortam oluşturmaktadır. Buna ek olarak, etin pH'sı mikroorganizmaların gelişmesi için uygun olup, tavuk bacak kaslarının pH'sı 6.4 ile 6.7 arasındayken göğüs kaslarının pH'sı 5.7 ile 5.9 arasındadır. Hem kanatlı kasları hem de kanatlı derileri mikroorganizmaların gelişimini destekleyici özellik gösteren yüzeylere sahiptir (Anonymous 2005b).

Tavuk eti, çok çabuk bozulan bir gıdadır ve genellikle kesimin 1. haftasında soğuk sistemlerde depolansa bile bozulur. Gıda kaynaklı patojenler ve bozulmaya neden olan mikroorganizmalar tavuk etinin mikrobiyolojik kalitesinde önem taşımaktadır. Mikrobiyolojik bozulma sonucu ürünün duyu ve fiziksel özellikleri de olumsuz yönde etkilenmektedir (Pooni ve Mead 1984). Kötü lezzet ve arzu edilmeyen tekstürel özellikler yanında ürün görünüşünde de bozulmalar meydana gelebilir. Ürün raf ömrü hem *Pseudomonas* spp., *Shewanella putrefaciens* ve mayala gibi içeren farklı türde bozulma yapan organizmaların başlangıç miktarıyla hem de üretim ve ardından depolama ve taşımanın tüm aşamalarında sıcaklık değişimiyle ilişkilidir (Russell vd. 1996). Kanatlı etinin, genellikle, *Salmonella*, *Campylobacter*, *S. aureus*, *E.coli* ve *Listeria monocytogenes* gibi potansiyel patojenik mikroorganizmalar ile kontamine olduğu tespit edilmiştir. Bazı durumlarda ayrıca *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas* ve *Cl. perfringens* kanatlı ürünlerinde önemli patojenler olma potansiyeline sahiptir. (Bhaisare vd. 2014). Et yüzeyi, normalde, doğal olarak patojenik mikroorganizmaları içermemektedir, fakat kesim sırasında dışkı kaynaklı veya çapraz kontaminasyon ile bulaşan bu mikroorganizmalar, yüzey üzerinde veya yüzey altında gelişme gösterme özelliğindedir.

2.1 Modifiye Atmosfer Ambalajlama

Kimya, fizik, bitki fizyolojisi ve patolojisi, mikrobiyoloji, gıda bilimi, mühendislik ve polimer kimyasının temel ilkelerini kullanan MAP, tazeliğin korunmasında, raf ömrünün uzatılmasında son on yıldır hızla gelişen çok disiplinli bir teknolojidir. (Kader 1987, Lioutas 1988, Gorris ve Peppelenbos 1992, Lu Shengmin 2009).

MAP 1927 yılında, oksijen konsantrasyonunun azaltıldığı ve karbondioksit konsantrasyonunun artırıldığı atmosferde depolanan elmaların raf ömrünün arttırılmasında kullanılmıştır. 1930'larda ise uzun mesafe taşımacılığında CO₂ konsantrasyonunun artırılmasıyla gemilerde muhafaza edilen meyvelerin ve sığır karkaslarının nakliyesinde kullanılmıştır ve raf ömrünü %100'ün üzerinde artırdığı gözlenmiştir (Davies 1995). 1960'lı yıllarda bozulabilen tarımsal ürünlerin raf ömrünü uzatan ve bozulma, çürümeyi azaltan yeni bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır (Henig ve Gilbert 1975). Ancak, teknik Avrupa'da ticari olarak 1970'li yılların başına kadar perakende ambalajlarda piyasaya sürülmüştür (Church ve Parsons 1995).

İngiltere'de 1979 yılında "Marks ve Spencer", outlet mağazalarındaki restoranlar için taze etlerin ambalajlanmasında MAP kullanımını gündeme getirmiş, yıllar sonra pastırma, balık, dilimlenmiş pişirilmiş etler ve pişirilmiş kabuklu deniz ürünlerinde de kullanımını sağlamıştır. MAP teknikleri, çiğ ve pişirilmiş et, balık ve kanatlı eti, taze makarna, kesilmiş taze meyve ve sebzelerde son zamanlarda daha çok kahve, çay ve unlu mamulleri içeren taze veya soğutulmuş gıdaların için kullanılmaktadır (Church ve Parsons 1995).

MAP uygulamalarında, ambalaj içerisine uygun bir gaz karışımının verilmesiyle oluşturulan farklı ambalaj atmosferi sayesinde raf ömründe artış sağlanır. MAP, gaz olarak azotun, oksijenin ve karbondioksitin kullanıldığı ısıl olmayan bir gıda koruma yöntemidir. Bu gazlar, ayrı ya da optimum bir etki elde etmek için kombine olarak uygulanabilmektedir (Narasimha ve Sachindra 2002). Azot, antimikrobiyal aktivitesi olmamakla birlikte inert bir gazdır, Dolgu maddesi olarak kullanımı ve ambalajda

çökmeyi engellemesi birincil işlevidir (Thippareddi ve Phebus 2007). Oksijen, anaerobik bakterilerin gelişimini engellemekte ve CO₂ varlığıyla antimikrobiyal etki yaratmaktadır (Gill vd. 1990).

Oksijen, anaerobik mikroorganizmaların gelişmesini engeller fakat aerobik mikroorganizmaların gelişmesini teşvik etmektedir. Buna ek olarak, oksijen, gıdalarda birçok istenmeyen reaksiyonlara örneğin oksidasyon, katı ve sıvı yağlarda ransiditeye, sebze ve meyvelerde hızlı olgunlaşmaya ve yaşlanmaya, unlu mamullerin bayatlamasına, renk değişikliklerine ve mikrobiyal gelişme nedeniyle bozulmalara sebep olmaktadır. Oksijenin ambalaj içerisinde oluşturduğu negatif etkileri nedeniyle, gıda kalitesinin korunması üzerine genellikle birçok üründe MAP kullanımı önerilmektedir. Bununla birlikte, meyve ve sebzelerde aerobiklerin solunumunu sürdürmek için, kırmızı etlerde ise parlak kırmızı rengin korunmasını sağlamak için düşük oranlarda da olsa oksijen varlığının olması istenmektedir (Floros ve Matsos 2005).

Karbondioksit, yağda ve suda çözünmekte, çözünürlüğü sıcaklığın düşmesiyle birlikte artmaktadır. Ürün içindeki karbondioksitin çözünmesi ambalajda çökmeye neden olabilmektedir. Karbondioksit, bakteriyostatik etkiye sahiptir ve birçok ürünün solunumunu yavaşlatmaktadır. Bununla birlikte, her bir gıda ürünü için optimum gaz düzeyi tespit edilmeli ayrıca her bir gazı üst düzeyde pozitif ve en alt seviyede negatif etkileri için kullanılmalıdır (Floros ve Matsos 2005). Karbondioksit bakımından zenginleştirilmiş ortam, kanatlı etinde kötü tat ve kokudan sorumlu olan *Pseudomonas* spp. gibi aerobik bozulma yapan mikroorganizmaları baskılayabilmekte buna karşın yüksek CO₂ ile düşük O₂ konsantrasyonu ise anaerobik patojenlerin gelişme riskini artırabilmektedir (Farber 1991, Zhao vd. 1994, Davies 1995, Chouliara vd. 2007).

Gıda ürünleri için özel ambalajlama tasarımı olarak tanımlanan MAP için uygun atmosfer, gıdanın iç faktörlerine (pH, aw, yağ içeriği ve tipi), seçilen ambalajlama tipine ve gaz/ürün hacim oranına bağlıdır. Bu iç parametreler, ürünün belirli mikrobiyal, kimyasal ve enzimatik bozulma reaksiyonları karşı hassasiyetini belirleyecektir.

Genellikle, oksijen, gaz karışımlarından ayrı tutulmalıdır. Yağ ve suda çözünürlük özellikleri karbondioksit kullanımını sınırlandırır. Oldukça yüksek CO₂ konsantrasyonu uygulandığı zaman bu yüksek çözünürlük ambalajda çökmeye neden olabilmektedir. Bu durum özellikle yüksek ve doymamış yağları içeren gıdalarda gözlenmektedir (Devlieghere vd. 2004).

Modifiye atmosfer ambalajlamada oksijen, karbondioksit ve azot gazı geçirgenliğinden dolayı polietilen tereftalat (PET), poliamid, kristal polietilen tereftalat (CPET), polipropilen (PP), polistiren (PS), oriented polipropilen (OPP), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ile düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), polivinil klorür (PVC) ve polivinilidin klorür (PVDC) gibi filmler tercih edilmektedir (Spencer 2005, Rennie ve Tavoularis 2009). Ambalaj filminin deforme olmasından, ambalaj materyali sıcaklığının değişmesinden, ambalaj materyalinin yüzey alanından ve ambalaj materyalinin kalınlığından dolayı ambalaj içerisinde kullanılan gaz karışımında değişim meydana gelebilmektedir (Tsigarida ve Nychas 2001).

2.1.1 Modifiye atmosfer ambalajlamanın olumlu ve olumsuz yönleri

MAP kullanımının başlıca olumlu yönleri, ürünlerin tazeliğini koruması ve geleneksel depolama ile kıyaslandığında gıdaların raf ömrünü birkaç günden birkaç haftaya uzatmasıdır. Ambalaj içerisindeki CO₂ oranının artırılıp, O₂ oranının azaltılması gıda maddelerinin solunum hızını baskılayarak yaşamsal işlevleri yavaşlatmakta ve hasat sonrası kalitenin korunması sağlanmaktadır. Perakende seviyesinde iş gücünü ve israfı azaltırken, mükemmel markalaşma seçenekleri sunmaktadır. Ürünün tüketiciye ulaşma sürecinde kalite avantajları sağlamakla birlikte iş gücü, alet ve ekipmanların kullanımını iyileştirmesi sayesinde üretim ve depolama maliyeti azalmaktadır. MAP'ın olumsuz yönleri ise ambalajlama hattında makine ve iş gücü için ek yatırım gerektirmektedir. Uygunsuz ambalajlama veya sıcaklığın gerektiği gibi kullanılmaması üründe bozulma riski oluşturabilmektedir. Etkin geri dönüşüm sağlanmadığı takdirde plastik filmler çevre açısından sakıncalı olabilmektedir. MAP teknolojisi, birçok ürün için hala kullanılmamaktadır. Anaerobik patojen floranın olası gelişmesi nedeniyle

mikrobiyolojik güvenliğin olası yeni risklerini oluşturmaktadır (Isenberg 1979, Smock 1979, Kader 1980, Dilley 1990, Parry 1993, Ben-Yehoshua vd. 1994, Day 1996, Phillips 1996, Zagory 1998, Irtwange 2006, Mahajan vd. 2007, Sivakumar vd. 2007).

2.1.2 Tavuk etinde modifiye atmosfer ambalajlama uygulamaları

Kanatlı etlerinin ambalajlanmasının ana işlevi, renk değişikliğine, kötü tat ve kötü koku gelişimine, besin kaybına, yapısal, kimyasal ve fiziksel değişimler ile mikrobiyal kontaminasyona karşı korumaktır. Gıda zinciri boyunca bir dizi olay ya da aşamalardan geçerek hazırlanan ve tüketiciler tarafından tüketim aşamasına kadar taşınan kanatlı eti ürünlerinin doğal kalitesini korumak amacıyla farklı ambalajlama sistemleri tasarlanmıştır. Kanatlı eti ürünlerinin ambalajlanmasının en önemli işlevi raf ömrünü uzatmaktır (Totosaus vd. 2007). Ambalajlanmış taze ve işlenmiş kanatlı etlerinin raf ömrü özelliklerini etkileyen değişkenler, ürün tipi, gaz karışımı, ambalaj ve tepe boşluğu, ambalajlama ekipmanı, depolama sıcaklığı ve katkı maddeleridir. Ambalajlama biçimine ve kullanılan malzemelere bağlı olarak, ürün aerobik halde ya da vakum altında ya da modifiye edilmiş atmosferde ambalajlanarak depolanabilmektedir. Bu gibi ambalaj materyallerinde dikkate alınması gereken faktörler, ısı direnci özellikleri, pazar gereklilikleri ve maliyetleri ile birlikte etki kapasitesi ve sızdırmazlık özelliklerinin dışında oksijen geçirgenliğinin, nemin, sertliğin ve kararlılığın kontrolünü içermektedir (Totosaus vd. 2007).

Modifiye atmosferde ambalajlama (MAP), kırmızı et ve kanatlı et ürünlerinde “taze” karakterin korunmasını sağlayan etkili gıda koruma yöntemidir (Narasimha ve Sachindra 2002). Taze kırmızı et ve kanatlı etinin tüketici tarafından kabulünde önemli faktörler arasında mikrobiyal gelişme, renk ve lipid oksidasyonu ile raf ömrü yer almaktadır (Zhao vd. 1994).

Avrupa’da, kanatlı etinde MAP uygulamasında farklı türde atmosferler kullanılmaktadır. Birçok üretici, taze kanatlı eti ambalajlanmasında serbest atmosferde (%70 N₂ ve %30 CO₂) oksijeni de kullanmaktadır. Bu tip ambalajlamalarda oksijen

içeriği genelde %0.5 ve %2.0 arasındadır (Mills 2005). Diğer üreticiler (Örneğin, Alman kanatlı eti endüstrisi), oksijeni yüksek konsantrasyonlarda (>%60) kullanmaktadırlar. Etteki myoglobin ve hemoglobin gibi kas pigmentleri tarafından oluşturulan kırmızı rengin korunması için ambalajda yüksek konsantrasyonda oksijen kullanılmaktadır (Phillips 1996, Totosa vd. 2007). Kanatlı göğüs etleri, içerdiği düşük miktarda myoglobin içeriği nedeniyle beyaz et olarak adlandırılırlar (McKee 2007). Bu yüzden yüksek oksijen konsantrasyonunun etkileri tartışma konusudur (Löwenadler 1994).

Balamatsia vd. (2007), tavuk göğüs filetolarında yaptıkları araştırmada %30 / %65 / %5 ve %65 / %30 / %5 oranlarında karbondioksit/azot/oksijen gaz karışımlarını içeren iki farklı MAP uygulamasının, toplam bakteri sayısına göre belirlenen raf ömrünün normal hava atmosferinde ambalajlanan örneklerle kıyasla sırasıyla 4 gün, 9 ile 10 gün arasında uzadığını; %65/%30/%5 oranında karbondioksit/azot/oksijen gaz karışımlarıyla yapılan ambalajlamanın ise göğüs etlerinde mikrobiyolojik ve duyusal kalite kriterleri bakımından daha etkili olduğunu belirtmişlerdir. Chouliara vd. (2007), 4°C’de depolanan taze tavuk göğüs etlerine uygulanan modifiye atmosferde ambalajlama kombinasyonlarının raf ömrünü 5 ile 6 gün arasında uzattığını bildirmişlerdir.

Jongberg vd. (2014), tavuk göğüs eti ve tavuk but etinde yüksek oksijen modifiye atmosferinde soğuk depolama süresince duyusal kalite ve oksidatif kararlılık üzerine etkilerini inceledikleri çalışmada, but etinde MAP-O₂ uygulamasının daha uygun olduğunu ve MAP-O₂’nin göğüs eti ve but etlerinde oksidatif kararlılık ve duyusal kalite üzerine negatif etkilerinin olabileceğini tespit etmişlerdir.

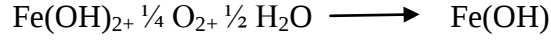
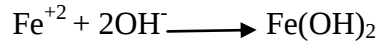
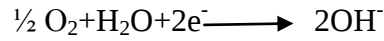
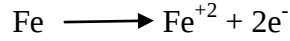
Lerasle vd. (2014), çiğ kanatlı sosislerinde, yüksek basınç ve modifiye atmosferde ambalajlama kombinasyonlarının raf ömrü üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, işlenmiş et ürünlerinde raf ömrünü uzatmada MAP’ın etkisinin önemli ölçüde olduğunu ve lipid oksidasyonunu azalttığını, çiğ kanatlı sosislerinde organoleptik kaliteyi korumak için basınç uygulanmasının gerekli olduğunu vurgulamışlardır.

Zouaghi ve Cantalejo (2016), modifiye atmosfer ambalajlamanın ozonlanarak dondurulmuş ve kurutulmuş tavuk göğüs etinde etkilerini incelemişlerdir. Örneklerde %20 CO₂ / %80 N₂ gaz kombinasyonunun etin fizikokimyasal ve duyu kalitesinin en iyi şekilde korunması için en etkili uygulama olduğunu bildirmişlerdir.

2.2 Oksijen Tutucular

Oksijen varlığı gıda ambalajlarında, birçok gıda bozulma reaksiyonunu tetikleyebilmektedir. Oksijen, kötü lezzet gelişimi, pigment oksidasyonuna bağlı olarak renk değişiklikleri, örneğin, vitamin C oksidasyonu gibi besin kayıpları ve mikrobiyal gelişmeye neden olabilmektedir. Aynı zamanda, sebze ve meyveler gibi gıda maddelerinde solunum, etilen üretimi ve solunum hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (López-Rubio vd. 2004).

Oksijene duyarlı gıdalar, yüksek bariyer materyalleri kullanarak vakum ve modifiye atmosfer ambalajlama ile birlikte uygun ambalajlanmasına rağmen (örneğin, etilen-vinil kopolimerleri veya alüminyum folyo ihtiva eden çok katmanlı yapılar) bu teknolojiler ambalaj içindeki oksijeni tamamen yok edememektedir. Bu nedenle, oksijen tutucu sistemlerin gıda kalitesindeki değişikliklerin azaltılmasında kullanımı gündeme gelmiştir. Birçok ticari uygulamada, ambalaj içerisine yerleştirilen veya ambalaj duvarına yapıştırılarak tutturulmuş saketler oksijen tutucu komponentleri içermektedirler (Kruijf vd. 2002, Lagarón vd. 2004). Genel olarak oksijene duyarlı gıdalarda oksijen tutucu kullanılması, ambalajlama sonrası kalıntı oksijen emilimiyle kalite değişikliklerini en aza indirmektedir. Mevcut oksijen tutucu teknolojileri, demir tozu oksidasyonu, askorbik asit oksidasyonu, enzimatik oksidasyon (glukol oksidaz ve alkol oksidaz), doyamamış yağ asitleri (örneğin, oleik asit veya linoleik asit), katı bir madde üzerine tutunmuş sabit mayalar gibi bir veya daha fazla uygulama şeklinde kullanılmaktadır (Floros vd. 1997). Günümüzde ticari olarak temin edilen oksijen tutucularının çoğunluğu demir oksitleme prensibine dayanmaktadır (Smith vd. 1990). Demir oksidasyonu prensibine dayalı sistemde meydana gelen reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.



Ageless[®] 1 (Mitsubishi Gas Chemical Co., Japan), demir oksidasyonuna dayalı en yaygın ticari oksijen tutucu sistemidir (Nakamura ve Hoshino 1983). Ageless[®] Eye[®], renk değişikliği vasıtasıyla oksijen varlığını gösteren bir sakettir. Ambalaj içerisine konulduğunda, oksijen konsantrasyonu sıfıra yaklaştığı zaman, rengi maviden pembeye dönüşmektedir. Eğer mavi renge dönerse, zayıf ambalaj bütünlüğünün göstergesi olmaktadır (Nakamura ve Hoshino 1983, Smith vd. 1990, Rooney 1995). Poşetler, oksijen seviyesinin %0.01'den daha aza düşürülmesi için tasarlanmıştır. Dikkat edilmesi gereken kural, 1 gr demirin 300 cc oksijen ile reaksiyona girecek olmasıdır (Labuza 1987). Ambalajlama sırasında ilk oksijen konsantrasyonu ve ambalaj malzemesinin oksijen geçirgenliği bilindiği zaman, ihtiyaç duyulan hesaplanmış kapasiteden daha yüksek bir kapasitede bir emici seçilebilmektedir. Bu şekilde, oksijenin yok edilmesi ürünü raf ömrü boyunca garanti altına almaktadır. Ancak “Yenmez” ibaresine rağmen, demirin yüksek miktarının kazara yenmesi potansiyel bir risk oluşturmaktadır (Labuza 1987).

Diğer demir bazlı oksijen tutucu ticari saketler ise ATCO[®] 1 oksijen tutucu (Standa Industrie, France), Freshlizer[®] 1 serileri (Toppan Printing Co., Japan), Vitalon[®] (Toagosei Chem. Industry Co., Japan), Sanso-cut (Finetec Co., Japan) ve Freshpax[®] (Multisorb Technologies Inc., USA)'dan oluşmaktadır. Saketler, taze ve pişirilmiş gıdalar dahil makarna, yemek, füme jambon ve salam gibi et ürünleri, pizza hamuru, hamur işleri, kurabiyeler, kekler gibi fırın ürünleri, peynir, kahve, fındık ve patates cipsi gibi gıdaların ambalajlarında kullanılabilmektedir (Floros vd. 1997).

Oksijen tutucular, birçok gereksinimi karşılamalıdır. Oksijen tutucular ambalaj içerisinde gıdayla birlikte yer aldığından tüketiciler tarafından yanlışlıkla tüketilme olasılığı dikkate alınarak, insan sağlığına zararlı etki göstermemelidir. Oksijeni uygun

hızda absorbe edilmesi önemli bir noktadır. Eğer, eğer reaksiyon çok hızlı gerçekleşirse, ambalaj içerisinde oksijen tutma kapasitesinde kayıp oluşabilmekte, reaksiyon çok yavaş olursa gıda, oksijenin olumsuz etkilerinden yeterince korunamamaktadır. İdeal bir oksijen tutucu uygun boyutta olmalı, toksik maddeler ve istenmeyen gaz ve koku üretmemeli, oksijenin büyük miktarını absorbe etmeli, ekonomik olmalıdır (Nakamura ve Hoshino 1983, Abe ve Kondoh 1989, Rooney 1995). Oda sıcaklığında soğuk muhafazaya oranla oksijen tutucuların absorpsiyon kapasitesinin daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Brandon vd. 2009). Günümüzde yaygın olarak katı gıdalarda, emici yüklü saketler, plastiklere göre daha fazla kullanılmaktadır (Rooney 1995). Çeşitli boyutlarda olan bu saketler ambalaj atmosferinde 20-20000 cc oksijeni absorbe edebilmektedirler. Smith vd. (1995) göre, saketler ambalaj atmosferinde oksijen seviyesini 1-4 gün içerisinde oda sıcaklığında %0.01'in altına düşürmektedir.

2.2.1 Et teknolojisinde oksijen tutucu uygulamaları

Oksijen tutucular, et teknolojisinde aerobik bozulmayı ve oksidatif reaksiyonları azaltarak ürün raf ömrünün uzatılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilen bir çalışmada Gill ve McGinnis (1995), kıymada ticari oksijen tutucu (Fresh Paxer 200R) kullanımının 1.5°C'de muhafaza süresince 2 saat içinde atık oksijenin <10 ppm'e düşürerek renk solmasını engellediklerini bildirmişlerdir.

Doherty ve Allen (1998), domuz eti filetoalarını %50 CO₂/ %50 N₂ ve %100 CO₂ ile iki farklı uygulamayla ambalajlayarak 0°C'de 21 gün süreyle muhafaza etmişler ve %100 CO₂ ve oksijen tutucu içeren ürünlerin renklerinin kabul edilebilirliğinin taze ürünlere yakın olduğunu, koku bakımından ise gruplar arasında farklılığın olmadığını bildirmişlerdir.

Payne vd. (1998), karbondioksit ile kontrollü atmosferde ambalajlamada vakumun ve ticari oksijen tutucunun (AgelessTM) etkilerini test etmişlerdir. Örnekler CO₂, CO₂ + AgelessTM (Z50), AgelessTM (Z50) kombinasyonları kullanılarak ambalajlanmıştır. CO₂

ve Ageless™ (Z50) grupları (-)1.5°C'de depolama süresince raf ömrünü uzattığını vurgulamışlardır.

Tewari vd. (2001), iki farklı oksijen tutucunun (Ageless FX-100 ve Fresh Pax R-2000) etkilerini test ettikleri çalışmada, oksijen tutucu kullanılmadan ambalajlanan bifteklerde, oksijen tutucu kullanılarak ambalajlanan bifteklerle kıyasla önemli ölçüde renk solması gözlenmiş, metemyoglobin önemli ölçüde yüksek oranları tespit edilmiştir. Metemyoglobin oluşumunu önlemek için kullanılacak olan oksijen tutucunun sayısından ziyade, kullanılacak oksijen tutucunun türünün önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Isdell vd. (2003), %50 karbondioksit ve %50 azot içeren modifiye atmosfer ambalajlı sığır etlerinde oksijen tutucuların etin renk stabilitesi üzerine etkilerini belirledikleri çalışmalarında, altı farklı kastan elde edilen bifteklerde 6 haftalık depolama sonrasında kalıntı oksijen seviyesinin %0.1'den az olduğunu, 2, 4 ve 6 haftalık depolamadan sonra renk stabilitesinde herhangi bir olumsuz etkinin gözlenmediğini bildirmişlerdir. Ayrıca, MAP uygulanmış örneklerin, kontrole göre duyusal kalite özellikleri açısından daha iyi kalitede olduğunu belirtmişlerdir.

Martí'nez vd. (2006), 20 gün $2\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de taze domuz eti sosislerini %20 CO₂/%80 N₂ atmosferinde ve oksijen tutucu (Ageless ® Fx-40) kombinasyonu ile depolamışlardır. Toplam aerobik psikrofilik bakteri sayısında azalma meydana geldiğini, renk ile yağ kararlılığının raf ömrünü uzattığını rapor etmişlerdir.

Venturini vd. (2006), karbondioksit içeren MAP uygulamasında oksijen tutucu kullanımıyla sığır *Longissimus dorsi* kasında renk bozuklukları önlenmiş ve raf ömrü 1°C'de 42 güne kadar uzatıldığını bildirmişlerdir.

Beggan vd. (2006), %60 N₂ ve %40 CO₂ içeren modifiye atmosfer ile demir bazlı ticari oksijen tutucu kullanılan ambalajlarda sığır bifteklerinde renk değişimini

incelemişlerdir. Oksijen tutucu kullanılan gruplarda 1 haftalık depolama süresince minimum düzeyde metmiyoglobin oluşumu gözlenmiştir.

Demirhan (2012), modifiye atmosfer paketlemenin (%70 CO₂ %30 N₂) ve demir bazlı oksijen tutucuların (OT) 19 günlük soğuk muhafaza süresince tavuk but ve göğüs etlerinde mikrobiyolojik, fiziksel, kimyasal ve duyuşal değışiklikler üzerine etkisini incelediğı çalışmada, oksijen tutucuların genel olarak mikrobiyal gelişimi baskıladığı, protein ve lipid oksidasyonunu geciktirdiğı ve ürün duyuşal özelliklerinin olumsuz yönde etkilemediğı belirtmiştir.

Mexis vd. (2012), tavuk eti kıymasında oksijen tutucu ve narenciye ekstraktı kullanımıyla raf ömrünün uzatılması üzerine yapılan çalışmada, narenciye ekstraktının tek başına kullanıldığı örneklerde raf ömrünün 2 gün, oksijen tutucu kullanılan örneklerde 3 gün, oksijen tutucu ve narenciye ekstraktının kombine halde kullanılmasıyla ise raf ömrünün 5 güne kadar uzadığını tespit etmişlerdir.

2.3 Ozon Uygulamaları

2.3.1 Ozonun genel özellikleri

Ozon, elementel oksijenin (O₂) kararsız bir formudur ve 1839 yılında Avrupalı araştırmacı C.F. Schonbein tarafından keşfedilmiştir (Güzel-Seydim vd. 2003). Ozon, geniş açıda düzenlenmiş üç oksijen atomunu içeren oksijenin bir allotropudur. 0.02 ppm gibi düşük konsantrasyonlarda insanlar tarafından algılanabilen karakteristik ve ayırt edici bir kokusu vardır (Horvâth vd. 1985). Ozon, klorinden 1.5 kat daha güçlüdür ve mikroorganizmalar üzerine klorin ile diğer dezenfektanlara kıyasla daha geniş bir spektrum üzerinde etkilidir (Xu 1999).

Ozonun, klorin (1.36 V) ve hidrojen peroksitten (1.8V) daha yüksek, 2.07 V oksidasyon potansiyeli vardır (Horvâth vd. 1985), bu yüzden ozon günümüzde gıda uygulamalarında kullanılabilen güçlü bir oksidandır. Endüstriyel olarak ozon, ticari

ozon jeneratörleri kullanılarak üretilmektedir. Ozon, çok reaktif olduğundan önemli zaman süreçleri için depolanamamaktadır, bu yüzden gerektiği zaman uygulama noktasında üretilmesi gerekmektedir. Ozonun reaktivitesi, hızla ayrışmasına neden olmaktadır. Bu kararsızlık uzun süren uygulamalar için bir problemdir, fakat, fazla ozonun imhası sırasında yararlı olmaktadır (Chawla vd. 2007). Ozon, sulu faza göre gaz olarak daha kararlıdır (Stumm 1958). Teorik olarak ozonun dayanım ömrü (%15 ozon (O_3) içindeki O_2 , kütle bazında) 25, 100 ve 250°C’de sırasıyla 19.3 yıl, 5.2 saat ve 0.1 dk olarak hesaplanmıştır (Wojtowicz 2004).

Pratikte, ozon gazının dayanma ömrü bu teorik değerlerden daha kısadır. Sulu ozon için bu süre suyun kalite ve sıcaklığına bağlı olarak saniyeden saate bağlı olarak değişmektedir (Weawers ve Wickramanayake 2001, Kim vd. 2003). Ozonun yarı ömrü iyonu alınmış ve musluk sularında 25°C’de sırasıyla 12 dk ve 6 dk olduğu bildirilmiştir (Kim 1998). Sulu ozonun stabilitesi, su içerisinde ozon gereksinimi olan materyallerin varlığı, ozon konsantrasyonu, sıcaklık, pH, UV radyasyonu, mekanik karıştırıcı ve metal iyonlarına bağlıdır (Horváth vd. 1985, Weawers ve Wickramanayake 2001, Kim vd. 2003).

Ozon, içme suyu ve atık su arıtımında bir dezenfektan olarak kullanılmaktadır (Hunt ve Marinas 1997). Ozonlama uygun olarak iyi üretim uygulamalarında kullanıldığından, içmek için şişelenmiş suların uygulamalarında FDA tarafından GRASS (Genel olarak güvenli bir madde olarak kabul edilen) olarak tanınmıştır (Anonymous 1995). GRASS olarak bildirilmesi, gıda endüstrisinde ozonun geniş alanda kullanımını tetiklemiştir (Pascual vd. 2007). Ozon, ayrıca yüzey dezenfekte edici bir madde olarak da kullanılmaktadır (Greene vd. 1993). 2001’de ozon, ABD’de antimikrobiyal bir ajan olarak onaylanmıştır (Anonymous 2001).

2.3.2 Ozon üretimi

Ozon, dünyanın stratosfer tabakasında moleküler oksijenin kısa dalgalı ultraviyole (<240 nm) ışığın etkilemesiyle doğal olarak üretilmektedir. Uzun UV radyasyonu ozonu

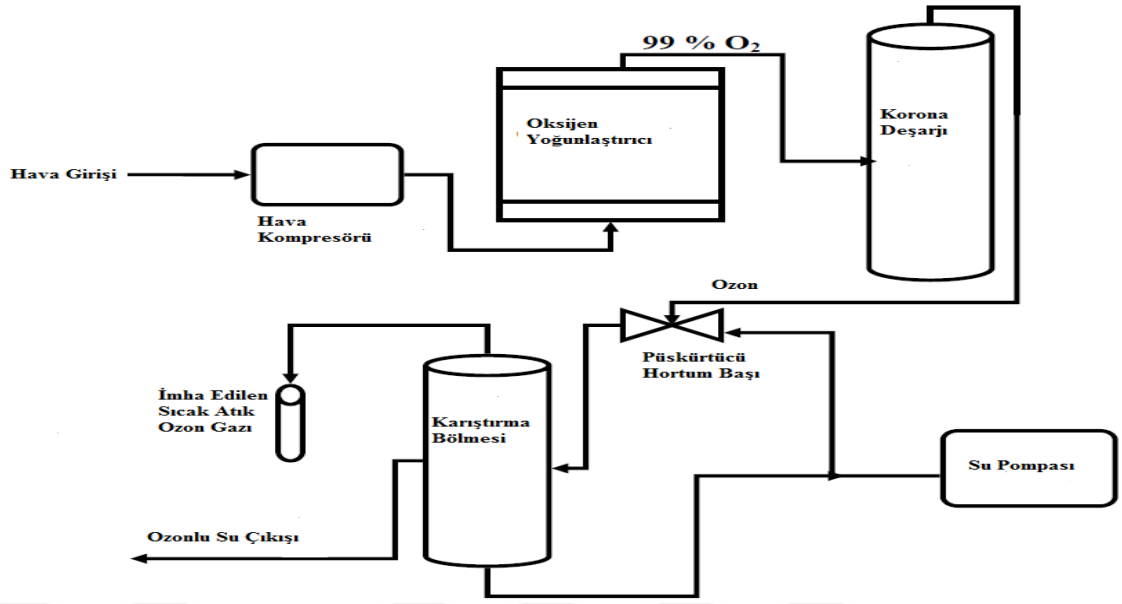
oksijene ayrıştırmaktadır. Bu ayrışma, stratosferin ozon tabakasında üretimin olduğu rakımdan daha düşük rakımda oluşmaktadır (Rice vd. 1982).

Ozon, diatomik oksijenden triatomik oksijen molekülleri formu oluşturmasıyla, serbest oksijen radikallerinin reaksiyonu yoluyla oluşturulmaktadır. Serbest oksijen radikallerinin üretimi, güçlü O-O bağlarının kırılmasıyla oluşmaktadır ve önemli bir enerji girişi gerekmektedir. Ultraviyole radyasyon (UV) ve korona deşarj yöntemi serbest radikal oksijen formunu oluşturmaktadır ve böylece ozon üretimi için kullanılabilir. Ek olarak, fotokimyasal (UV radyasyon) ve elektrik deşarj yöntemleri ve kimyasal, termal, kimyasal nükleer ve elektrolitik yöntemleri ile ozon üretilmektedir (Kim vd. 1999).

2.3.2.1 Korona Deşarj Yöntemi

Bu yöntemde, yeterli kuru hava veya O₂, düzgün korona deşarj cihazı içerisinde serbest olmalı ve en az 60°C’de çiğ noktasına kadar kurutulmuş olmalıdır. Normalde kuru hava kullanıldığı zaman, ozonatörden boşaltıldığında %13 ozon, besleme gazı olarak yüksek saflıkta oksijen kullanıldığı zaman ise ozon/gaz karışımı %30 ozon içermektedir (Muthukumarappan vd. 2000). Şekil 2.1’de yüksek verimliliğe sahip korona deşarj sistemini şematik olarak sunulmaktadır.

Kuru hava veya oksijen gazı, iki elektrot arasındaki boşlukta beslenmekte dielektrik materyal aracılığıyla ayrışmaktadır. Moleküler oksijenden atomik forma ayrışmayı sağlayan serbest elektronların üretiminde güçlü bir elektrik deşarjı oluşmaktadır (Carlins ve Clark 1982). Bu sistemde üretilen ozonun konsantrasyonu deşarj boşluğu içindeki voltaja, akıma, frekansa dielektrik materyale, deşarj boşluğuna, mutlak basınca ve elektrotlar arasında geçen gazın oksijen konsantrasyonuna bağlıdır (Horvâth vd. 1985).



Şekil 2.1 Basit ozon jeneratörü (Chawla 2006)

Oksijen gazı karışımlarından %14'den fazla ozon (kütle bazında) üretimini sağlayan yüksek verimliliğe sahip korona deşarj ozon jeneratörleri ile ozon üretimi günümüzde mevcuttur. Oksijenden ozon üretmek, havadan üretmekten daha ekonomiktir (Geering 1999).

2.3.2.2 Elektrokimyasal (Cold Plasma) Yöntem

Ozon, etkin bir elektrokimyasal işlem kullanılarak oluşturulabilmektedir (Andrews ve Murphy 2002). Bu yöntem ile ozon üretimi sudaki hidrojen ve oksijen atomlarının elektrolizini incelemektedir. Hidrojen gazı, gaz-su karışımından dışarı atılmaktadır ve oksijen atomları oksijen karışımından ozon üretimi için yeniden birleşmektedir (Anonymous 1998).

Bir elektrolitik çözelti ihtiva eden suda yüksek elektronegatif anyonları içeren çözelti içerisinde bir anot ve bir katot arasına uygulanan bir elektrik akımıyla bu yöntem, uygulanmaktadır. Oksijen ve ozonun karışımı anotta sağlanmaktadır. Bu yöntemin avantajları, düşük voltajlı pc akımının kullanımı, besleme gazının hiçbir şekilde

hazırlanmaması, düşük ekipman boyutu, yüksek konsantrasyonda ozonun olası üretimi ve ozonun su içerisinde üretiminden oluşmaktadır (Muthukumarappan vd. 2008).

2.3.2.3 Radiokimyasal ozon üretimi (RCOG)

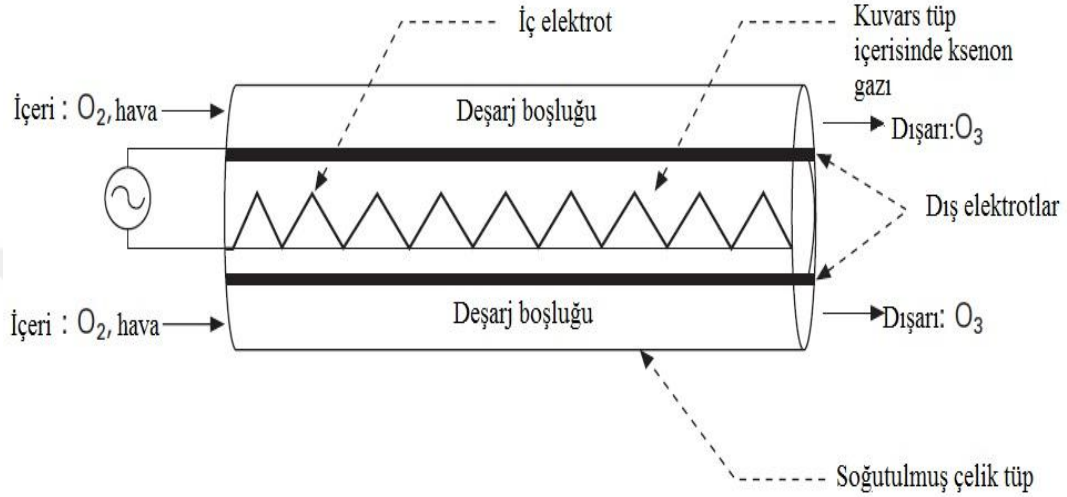
Ozonun üretimi oksijenin yüksek enerjili radyasyonuna bağlıdır. Bu teknik, ticari olarak içme suyu ya da atık su uygulamalarında kullanılmasına rağmen, gelecekte çok daha yaygın bir uygulama alanı bulacağı tahmin edilmektedir (Muthukumarappan vd. 2009). Uygun termodinamik işlem verimi ve atık fisyon izotoplarının ilginç kullanımı ile bile, kimyasal nükleer ozon oluşturma süreci, karmaşık süreç gereksinimleri nedeniyle atık su arıtmada yeterli olmamıştır (Pekarek 2008).

2.3.2.4 Ultraviyole Yöntemi

Ozonun deneysel ve ticari fotokimyasal üretimi, daha öncede tarif edildiği gibi stratosferde meydana gelen doğal işleme benzerdir. Kısacası, oksijenden kısa dalga boylu UV radyasyon (<240 nm) ile oksijen atomları üretimi için foto ayrışımı oluşmaktadır ve ozon formundan oksijen moleküllerinin dönüşümü tepkimesi gerçekleşmektedir (Velaco vd. 2008). UV kaynağı, sadece 185 nm radyasyon değil, ayrıca 254 nm radyasyonu üreten düşük basınçlı civa lambası olabilmektedir ayrıca ozonu yok eden ozon üretiminden de sorumludur. Bu yüzden ozonun sadece küçük konsantrasyonları tipik olarak bu yöntemle üretilmektedir (Duron 1982, Dohan ve Masschelein 1987). Orta basınçlı UV lambaları, 185 nm radyasyonunun yüksek oranlarını üretmektedir ve böylece ozon, düşük basınçlı lambadan üretilenden daha büyük konsantrasyonlarda üretilmektedir. UV ampulleri geniş bir alanda kullanılabilir olmasına rağmen, uygun dalga boyu 180 nm ve 254 nm dalga boyu arasında çeşitlilik göstermektedir. Ancak mevcut teknoloji ile bu ampuller hala ekonomiktir veya ancak ağırlıkça %0.3-0.4'e kadar ozon üretimi için etkili yoldur (Sacco 2009).

Araştırmacılar, 185 nm'de küçük bir emisyonu (<%5) ve 254 nm'de maksimum emisyonu sahip UV lambalarını ozon üretiminde kullanmışlardır. Bu kaynaktan

nispeten daha yüksek ozon seviyelerini (140 ppm, hacim bazında) rapor etmişlerdir. 172 nm'de radyasyon yayan lambaların Xenon eksimer parçalanması sırasında hacim bazında %1-2 ozon üretikleri tespit edilmiştir (Eliasson ve Kogelschatz 1991). Ticari olarak ksenon eksimere dayalı UV lambaları mevcuttur (Şekil 2.3).

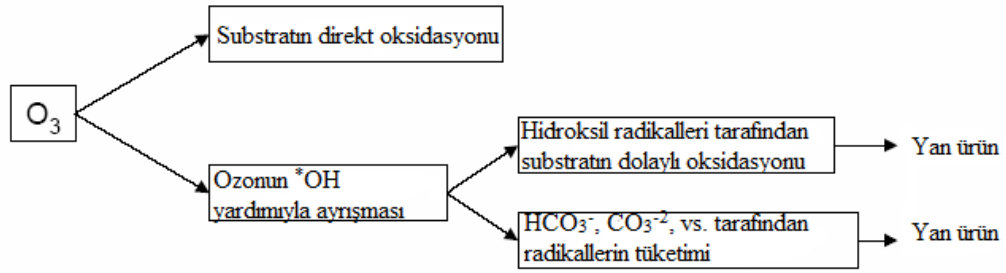


Şekil 2.2 Ksenon eksimer tabanlı vakumlu ultraviyole lamba (Anonymous 2011)

Teorik olarak yüksek ozon konsantrasyonlarının (%15, kütle bazında) atmosferik basınçta besleme gazı olarak kuru oksijenin kullanıldığı bu lambalardan üretildiği ileri sürülmektedir (Jeong vd. 2005, Salvermoser vd. 2008).

2.3.3 Ozonun reaksiyon mekanizması

Ozonun su içinde çözündüğü ve hidroksil serbest radikaller ürettiği gösterilmiştir (Hoigné ve Bader, 1983a,b, Glaze 1987). Şekil 2.3'de gösterildiği üzere, ozon sulu çözeltiler içerisinde aşağıdaki iki yöntemle bileşikleri okside edebilmektedir. Moleküler ozonla doğrudan reaksiyona girerek veya ozon ayrışması sırasında hidroksil serbest radikallerle reaksiyona girerek (Hoigné ve Bader 1977).



Şekil 2.3 Suyun ozonlanması sırasında bileşiklerin oksidasyon reaksiyonları (Anonymous 1991)

Bütün bu oksidasyon yollarından her ikisinde de substratın oksidasyonu için doğal olarak farklılık ve birbiriyle rekabet vardır. Sulu ozon oksidasyonu normal koşullar altında, hidroksil serbest radikallerden daha yüksek konsantrasyonlarda oluşmaktadır. Bununla birlikte, sulu ozonla doğrudan oksidasyon, daha hızlı reaksiyon oranına sahip hidroksil serbest radikallerle oksidasyona kıyasla yavaştır. Ozon ile doğrudan oksidasyon asidik koşullar altında önemlidir (Hoigné ve Bader 1977).

Bu ikinci mekanizma peroxon gibi ileri oksidasyon işlemlerinde kullanılmıştır. Ozonun kendiliğinden ayrışması bir dizi basamaklarla oluşmaktadır. Tam mekanizma ve ilişkili reaksiyonlar belirlenmemiş, fakat mekanik modeller önerilmiştir (Hoigné ve Bader 1983a,b; Glaze 1987). Suyun içinde ozon ayrışması hidroperoksil (HO_2), hidroksil (OH) ve süperoksit (O_2^-) üretimiyle gerçekleşmektedir (Hoigné ve Bader 1975, Grimes vd. 1983, Adler ve Hill 1984).

Hidroksil radikallerin ara ürünlerden biri olduğuna ve su içindeki bileşenlerle doğrudan reaksiyona girebildiğine inanılmaktadır. Ozon, hidroksil radikaller oluşturur ve farklı doğal organik maddeler, organik oksidasyon yan ürünleri, sentetik organik bikarbonat bileşikleri ve karbonhidratları gibi su içinde doğal olarak oluşan birçok bileşenlerle birlikte reaksiyona girmektedir. Bikarbonat ve karbonat iyonlar çoğunlukla alkali olarak ölçülen hidroksil radikalleri ve karbonat radikallerini uzaklaştırmaktadır (Staehelin vd. 1984, Glaze ve Kang 1988). Bu bileşenlerin değişmeyen ayrışma oranları çok yüksektir ve dolayısıyla mikroorganizmalar dağılmış parçacıklarla temasa geçmeden önce

hidroksil radikallere tepki verecekler. Bu adım adım ozonun parçalanma reaksiyonları son derece hızlıdır ve bu durum ozonun antimikrobiyal etkisinin sadece yüzey olgusu önerisine yol açmaktadır (Hoigné ve Bader 1975).

2.3.4 Su içinde ozonun çözünürlüğü

Ozonun su içinde çözünürlüğü, pratik bir terim olan çözünürlük oranı ile (Sr) ifade edilebilmektedir (Khadre 2001).

$$S_r = (\text{Su içindeki mg/L O}_3) / (\text{Gaz fazındaki mg/L O}_3)$$

Doğrudan çözünürlüğü etkileyen basınç ve sıcaklığa ilaveten, ozonun su içinde çözünürlüğünü diğer parametreler de etkilemektedir. Su içinde ozon kabarcıklar oluşturarak çözelti hazırlandığı zaman, kabarcık boyutları küçüldükçe temas edilen geniş yüzey alanlar oluşmakta ve çözünürlüğü artmaktadır (Katzenelson vd. 1974). Suyun sıcaklığı düştükçe ozonun çözünürlük oranı artmaktadır. Çözünürlük oranı (Sr) ve su sıcaklığı 0.5°C-43°C arasında negatif bir logaritmik bir ilişki bulunmaktadır (Bablon vd. 1991). Uygun karıştırma veya türbülans, kabarcık temasını ve su içinde çözünürlüğü artırmaktadır (Katzenelson vd. 1974).

Musluk suyunun yüksek pH-sı ozonu kararsızlaştırmakta ve böylece çözünürlüğü belli oranı azaltmaktadır. Buna ek olarak, musluk suyu, ozon tüketen organik madde içerebilmektedir. Suda minerallerin varlığı, ozon ayrışmasını da katalizlemektedir (Hoigné ve Bader 1985). Bu yüzden suyun saflığı arttıkça ozonun çözünürlüğü artmaktadır.

2.3.5 Ozonun kararlılığı

Ozon, sulu çözeltiler içerisinde nispeten kararsızdır. Sözde birinci dereceden reaksiyona göre, sürekli fakat yavaşça oksijene ayrışmaktadır (Tomiyasu vd. 1985). Destile sudaki ozonun yarılanma ömrünün 20°C’de genellikle 20 ile 30 dk olduğu düşünülmektedir.

Bununla birlikte, Wynn vd. (1973) 20°C'de distile suda yarılanma ömrünün 165 dk olduğunu bulmuşlardır ve Wicramanayake vd. (1984), pH 7 ve 25°C'de sulu çözeltilerde kısa bir yarı ömrü olduğunu rapor etmişlerdir. Wicramanayake vd. (1984), bu yarılanma ömrünü tamamen karıştırılmış reaktör içeriklerinin tutulduğu mekanik karıştırıcıya dayandırmışlardır. pH, sulu çözeltilerde ozonun kararlılığını önemli ölçüde etkilemektedir.

2.3.6 Ozonun etkinliğini etkileyen faktörler

Mikroorganizmaların dezenfeksiyon ile tahrip oranı genellikle sıcaklık arttıkça artmaktadır. Van't Hoff-Arrhenius teorisine göre (Fair vd. 1968) sıcaklık dezenfektanın mikroorganizmaların yüzeyine doğru yayılmasını ve substrat ile reaksiyon hızını kısmen belirlemektedir. Sabit reaktif konsantrasyonun da sıcaklıkta 10°C derecelik artış substrat ile reaksiyon hızını 2 veya 3 kat artırmaktadır. Kinman (1975), bakteriler 0°C dereceden 30°C ozon ile muamele edildiğinde muamele sıcaklığının, dezenfeksiyon hızı üzerine neredeyse hiçbir etkisi olmadığını söylemiştir. Araştırmalar sıcaklık arttıkça kararlılıktaki azalma ve ozonun ayrışma reaktivitesindeki artışı bu gözlemle ilişkilendirmişlerdir.

Sabit ozon konsantrasyonları altında inaktivasyonun derecesi pH'nın 5.7-10.1 aralığında neredeyse hiç değişmeden kalmıştır (Farooq 1977). Bununla birlikte ozonun etkinliği, rota virüsleri (Vaughn vd. 1987) ve polivirüs tip1 (Harakeh ve Butler 1984) için pH'da düştüğü gözlenmiştir. Mikroorganizmaların inaktivasyonu pH düşükken moleküller ozonla genelde reaksiyon vermektedir. Ozon, yüksek pH'larda ayrışmaktadır ve oluşan radikaller etkinliğine katkıda bulunmaktadır. Bu iki inaktivasyona ilişkin önemlilik mikroorganizmalar ve uygulama koşullarıyla çeşitlilik gösterebilmektedir

Yüksek ozon ihtiyacıyla birlikte organik maddelerin varlığı ozon için mikroorganizmalarla birlikte yarışabilmektedir. Hücreler, hücre atıkları veya dışkı ile ilgili virüsler ve bakteriler ozona dayanıklıdır, fakat saf virüsler dezenfektan ile kolayca inaktif edilirler (Emerson vd. 1982).

2.3.7 Mikrobiyel inaktivasyon için ozon kullanımı

Ozon, bakteriyosidal ve viricidal özellikleri taşıyan yüksek oksidasyon potansiyeli ile karakterize edilen ve oksijenin üç atomlu formudur (Burlinson 1975, Horvath vd. 1985, Kim vd. 1999). Bakteri, mantar, virüs, protozoa ve bakteriyel ve mantar sporlarına karşı, aktif geniş spektrumlu antimikrobiyal bir ajandır (Khadre vd. 2001). Ozon, mikroorganizmaları oksidasyon yoluyla inaktif eder ve atık ozon toksik olmayan ürünlere, örneğin, oksijene, kendiliğinden parçalandığı için çevre dostu antimikrobiyal bir madde olarak görülmektedir (Kim vd. 1999).

Ozonun çeşitli mikroorganizmalar üzerinde etkileri, su ve kanalizasyon dezenfeksiyonu için artan kullanımı yüzünden çok fazla dikkat çekmektedir (Katzenelson ve Bredermann 1976, Boyce vd. 1981, Glaze 1987). Ozonun farklı gıdalarda mikrobiyolojik kaliteye etkisi üzerine yapılan bazı araştırmalar çizelge 2.4'te özetlenmiştir.

Restaino vd. (1995), tarafından ozonlu suyun gıda kaynaklı mikroorganizmalara karşı etkilerini incelemiştir ve ozonun *L. monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *B. cereus*, *Enterococcus faecalis* gibi gram pozitif bakterilerin ve *P. aureginas* ve *Y. enterocolitica* gibi gram negatif bakterileri etkili bir şekilde inhibe ettiğini saptanmışlardır. Ozon, suda tek hücreli parazitlerin azaltılmasında etkili bir dezenfektandır (Gyurek vd. 1999, Rennecker vd. 1999).

Çizelge 2.4 Farklı gıdaların dekontaminasyonunda sulu ozon kullanımı

Ürün	Ozon Konsantrasyonu ve muamele süresi	Hedef mikroorganizma	Sonuç	Kaynak
Doğranmış Marul	5 ppm-5 dk	<i>Shigella sonei</i>	1,8 log azalma	Selma vd. 2007
Elma (Yüzeye)	22-25 mg/L-3 dk	<i>E.coli</i> O157:H7	2.6 log azalma	Achen ve Yousef 2001
Alfalfa filizi	5-23 mg/mL-2 dk 21 ppm-64 dk	<i>L. monocytogenes</i> <i>E.coli</i> O157:H7	<1 log azalma duyusal kalitede azalma 2 log azalma	Wade vd. 2003, Sharma vd. 2003
Marul	>10 mg/mL 10 dk.	Toplam bakteri sayısı	1.1 log azalma	Garcia vd. 2003
Sığır eti	9.5mg/L püskürtülerek	<i>E.coli</i> O157:H7 <i>Salmonella</i> Typhimurium	Sade suyla püskürtmeden daha etkili değildir.	Castillo vd. 2003
Midye (kabuğundan ayrılmış)	1 mg/L-60-90 dk	Toplam bakteri sayısı	0.7-2.1 log azalma	Manousaridis vd. 2005
Yeşilbiber (doğranmış)	0.3-3.95 mg/L 20 sn-30 dk	Toplam bakteri sayısı	Sade sudan daha etkili değildir	Ketteringham vd. 2006
Patates	5 ppm-1dk	<i>Yersinia enterocolitica</i> <i>L. monocytogenes</i>	1.6 log azalma 0.8 log azalma	Selma vd. 2006
Karides	3 ppm-1dk	Toplam bakteri sayısı	3 log azalma Hiçbir olumsuz oksidasyon etkisi yok	Chawla 2006
Tavuk derisi	>200 ppm-30 dk	<i>Salmonella infantis</i> , <i>Pseudomonas aureginosa</i>	<1 log azalma (her iki organizma için) Duyusal özellikler olumsuz etkilenmemiş	Al-Haddad vd. 2004

Ozonun, *Cveida albicans* ve *Zygosacchoromyces baili* nin maya hücrelerini ve *Aspergillus niger* sporlarını inaktif hale getirdiği ayrıca bildirilmiştir. Ozonun, elma ve portakal suyunda *E. coli*'yi inaktif hale getirdiği bildirilmiştir (Patil vd. 2009). Elma şarabı ve portakal suyundaki *E.coli* O157:H7 ve *Salmonella* inaktivasyonu için antimikrobiyaller (Dimetildikarbonat DMDC: 250 ppm veya 500 ppm) veya hidrojen peroksit (300 ppm veya 600 ppm) ile kombine edilen ozonla muamalesi Williams vd. (2005) tarafından değerlendirilmiştir. Bu çalışma ozon ve antimikrobiyallerin kombinasyonu uygulamalarının 24 saatlik buzdolabında depolanmasının, elma şarabı ve portakal suyunda *E.coli* O157:H7 ve *Salmonella* sayısında 5 log birimi azalmayı

Selma vd. (2007), tarafından, 1 dk'da 1.6 ve 2.2 ppm seviyesinde ozon uygulamaları *Shigella sonnei* popülasyonunu su içerisinde sırasıyla 3.7 ve 5.6 log kob/mL azalttığı bildirilmiştir.

Greene vd. (1993), tarafından, paslanmaz çelik plakalara 10 dk 0.5 ppm ozon uygulamasının (örn, *P. fluorescens* ve *Alcaligenes faecalis* gibi) sütte bozulma yapan bakterilerin %99 dan daha fazlasını yok ettiğini bildirmişlerdir.

Kabuklu yumurtaların dekontaminasyonu için ozon kullanımı birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır (Koidis vd. 2000, Perry vd. 2008, Perry 2010, Rodriguez-Romo ve Yousef 2005). Kabuklu yumurta yüzeyi, *Salmonella* Enteritidis ile inoküle edilmiş ve 22°C de 90 s, 1.4 ppm sulu ozon ile muamele edildiği zaman, patojenlerin popülasyonunda 1 log azalmıştır (Koidis vd. 2000).

Kurutulmuş gıda ürünleri genellikle bakteriyel ve mantar sporları ile yüklüdür. Kurutulmuş gıda ve gıda içeriklerindeki mikrobiyal kontaminantlara karşı ozon gazının etkinliğini, su aktivitesinin, ortam neminin, ürünün sıcaklığının ve uygulanan ozon konsantrasyonunun etkilediği ileri sürülmüştür (Kim vd. 2003). Gıdanın yüzey özellikleri, kurutulmuş gıdalardaki mikroorganizmalardaki ozon inaktivasyonunu etkilemektedir. Ozon konsantrasyonu 1000 ppm'i (v/v) aştığı zaman elma şırası içerisindeki patojenlerin daha fazla inaktivasyonu gerçekleşmektedir. Farklı bir araştırmada, ozon uygulamasıyla (0.9 g/h, 2.4 L/dk akış hızı) *E.coli* O157:H7 inoküle edilmiş elma şırasında veya portakal suyunda 1 log'dan daha az azalmayla sonuçlanmıştır. Portakal suyundaki patojenlerin 1.8 logunu inaktif hale getirmiştir (Williams vd. 2005).

2.3.8 Kırmızı et teknolojisinde ozon uygulamaları

Et ve et ürünleri kesim, taşıma, işleme ve dağıtım sırasında bozulma yapan ve patojenik mikroorganizmalar ile temas edebilir (Zhao vd. 1994). Düşük seviyelerde ozon uygulamaları et yüzeyinde yeterli dezenfeksiyon sağlamayabilir, fakat yüksek

seviyelerde ozon ette istenmeyen kalite değişikliklerine neden olabilmektedir (Khadre vd. 2001). Ewell (1946), 0.5 ve 3mg/l ozon gazı kullanımın et yüzeyinde *E.coli* sayısını %50 azalttığını saptamıştır.

Kaess ve Weidemann (1968), *Pseudomanas*, *Candida scotti*, *Thamnidium* ve *Penicillium* ile inoküle edilmiş sığır etlerini 0.15-5 mg/L ozon gazına maruz bırakılmışlardır. *Pseudomanas* ve *C. scotti* sayısında >2 mg/l ozon uygulamasında azalma olduğu saptanmış ve ölüm fazı bu iki küf için artmış ve büyüme oranlarında değişikliğe rastlanmadığını tespit etmişlerdir.

Gorman vd. (1995), sığır eti adipoz dokuları üzerinde 35°C'de su ve %0.5 ozon kullanımı aerobik bakteri sayısında 1.49 log kob/cm² azalmayı sağlamıştır. Buna ek olarak, Reagan vd. (1996), 2.3 ppm ozonun sığır karkaslarında kullanımının aerobik bakteri sayısını 1.3 log kob/cm² dolaylarında azalttığını kanıtlamışlardır.

Kaothien vd. (2001), jambonlarda *Listeria monocytogenes* popülasyonunda 20°C'de 1-15 dk 0.5-1.0 ppm ozon uygulamasıyla belirgin bir azalma (yaklaşık %90) olduğu saptanmıştır.

Stivarious vd. (2002), ozon ve klor dioksit ile dekontamine edilen kıymanın mikrobiyal, renk ve koku özelliklerine etkileri üzerinde çalışmışlardır. Kıyma *E.coli* (EC) ve *Salmonella* Typhimurum (ST) ile inoküle edildikten sonra 15 dk veya 7 dk %1 ozonlu suyla veya 200 ppm klor dioksit ile muamele edilip bir kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. 15 dk'lık ozonlama ve klor dioksit uygulaması değerlendirilen tüm bakteri türlerini azaltmasına rağmen, 7 dk'lık ozonlama aerobik bakteri sayısı ve ST sayısını azaltmıştır. Tüm uygulamalarda kıymanın rengi açılmış, fakat, 15 dk'lık ozon uygulamasının kırmızılık, sığır eti dokusu ve kötü koku yoğunluğu bakımından kontrol grubu ile kıyaslandığında benzer özellik gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Jaksch vd. (2004), 100 ve 1000 ppm ozonla muhafaza edilmiş domuz pirzolarında mikrobiyal bozulmanın önemli ölçüde baskılveığı gerek düşük gerekse yüksek dozda

ozon uygulamasının test edilen bakteriler üzerinde etkili olduğu saptanmıştır. Araştırmacılar ozonla muamele edilen domuz etlerinde bu uygulamanın mikrobiyal gelişimi azalttığı ve dolayısıyla bu gibi ürünlerin raf ömrünü uzattığını bildirmişlerdir.

Jeong vd. (2007), domuz eti kalitesinde ozon uygulamasının meydana getirebileceği etkileri araştırmışlardır. 5, 10, 15 dakikalık ozon uygulamasına maruz bırakılan domuz etleri vakum ambalajlanarak 20 gün, 4°C’de depolanmışlardır. 5 günlük depolamanın ardından pH değerinde ilk güne göre daha yüksek olduğu ve ozon gazına maruz bırakılan örneklerde tiyobarbütirik asit değerinde 15 ve 20 günlerde belirgin bir artış olduğu, buna rağmen 0, 5 ve 10 günlerde herhangi bir değişim olmadığı saptanmıştır. CIE L* ve b* değerlerinde tüm gruplarda kontrol örneğine göre herhangi bir farklılık saptanmamıştır. Aerobik bakteri ve koliform bakteri sayısında 5, 10, 15 günlük depolamalarda sırasıyla 0.45-1.04 log kob/g, 0.26-0.30 log kob/g azalmalar meydana gelmiştir.

Iacumin vd. (2012), ozonlanmış hava kullanımıyla Milano tipi sosislerin yüzeyinde okratoksinin (OTA) varlığını ve *Aspergillus ochraceus* gelişimini önlemeyi araştırmışlardır. Ozon gazı uygulaması *A.ochraceus* gelişimini ve OTA varlığını engellediğini göstermişlerdir. Ozon gazı muamelesi uygulanmamış örneklerde, *A. ochraceus* gelişimi ve OTA üretimi gözlenmiştir. Ozonun kullanımının olgunlaşma, fizikokimyasal parametreleri, peroksit değerini veya sosislerin duyuşal karakteristiklerini etkilemediğini tespit etmişlerdir.

2.3.9 Kanatlı eti teknolojisinde ozon uygulamaları

Ozon, kanatlı soğutma suyunun geri kazanımının dezenfeksiyon işleminde ve kanatlı karkaslarının dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır (Sheldon vd. 1986). Waldroup vd. (1993) kanatlı soğutma suyunun geri kazanımı için ozonun kullanımını araştırmışlar ve ozonlamadan sonra *E.coli* ve olası koliformların inkübe edildiğini belirlemişlerdir. Buna ek olarak, toplam aerobik bakteri sayısı azalmış ve kanatlı eti soğutma suyu dezenfeksiyonu için ozonun kullanımı USDA geri kazanım şartlarını sağlamıştır. Son

yıkama suyunda 6.0-8.0 mg/l konsantrasyonunda ozonun püskürtülmesi tavuk karkasları üzerindeki toplam bakteri yükünün azalmasına yol açmıştır. Fakat genel olarak her iki uygulamanın etkisi sınırlı olmuştur (Rice 2001).

Kanatlı hayvanlarının üretim ve işlenmesi sırasında sıkı hijyen tedbirlerinin uygulanması karkaslar üzerindeki *Salmonella* görülme sıklığını azaltabilmektedir, fakat tüy yolma sırasında temel olarak suyun kullanımı ve iç çıkarma işleminden sonra karkasların yıkanması hem *Salmonella* hem de *Pseudomonas* gelişimi için ideal koşullar sağlamaktadır (Bolder 1997, Al-Haddad vd. 2003).

Sheldon vd. (1986), kanatlı karkaslarında direkt olarak ozon kullanımını araştırmışlardır. Ozon, tüm karkas mikroorganizmalarının 2 logaritmik üniteden fazlasını belirgin lipit oksidasyonu, kötü tat gelişimi veya karkas derisinde renk kaybı oluşturmadaan yok etmiştir. Soğutma suyunun geri dönüşümünde ozon kullanımının USDA gereksinimlerini kısmen karşıladığı sonucuna varmışlardır. 4°C de depolanan ozonla muamele edilmiş kanatlı karkasının mikrobiyal yükünün ozonlanmamış olarak soğutulmuş karkaslara göre daha az olduğunu saptamışlardır.

Al-Haddad vd. (2004), tavuk göğüs etine *Salmonella infantis* veya *Pseudomonas aeuregines* inoküle etmişler ve sonra sırasıyla: (i) ozon gazına maruz bırakma (> 2000 ppm, 30 dk); (ii) %70 CO₂ ve %30 N₂ altında depolama ve (iii) ozon gazına (>2000 ppm, 15 dk) maruz bırakmayı takiben %70 CO₂ ve %30 N₂ altında depolama yapılmıştır. Tüm depolamalar 7 °C'de yapılmıştır. Ozon gazı, *Salmonella* sayısını %97 ve *Pseudomonas* sayısını %95 dolaylarında azaltmıştır. Ürün duyuusal özelliklerinde herhangi bir olumsuzluğa rastlanmamıştır. İkinci uygulamanın belki de modifiye edilerek uygulanabileceği, tavuk karkaslarının *Salmonella* kontaminasyonunu azaltabileceği ve tavuk karkaslarının raf ömrünü uzatabileceğini önerilmişlerdir.

Muhlisin vd. (2015), *Salmonella* Typhimurium inoküle edilen tavuk göğüs etlerinde ozon gazı uygulamasının oluşturduğu mikrobiyal ve oksidatif etkileri inceledikleri

alışmalarında tavuk göğüs etlerinde bakteri yükünde azalma görülmüş, oksidatif özelliklere ise son güne kadar etkisinin olduğu saptanmıştır.

Cantalejo vd. (2016), dondurularak kurutulmuş tavuk göğüs etlerinde ozonun farklı kombinasyonlarının raf ömrü üzerine oluşturduğu etkileri incelenmiş ve ozonun liyofilizasyon ile kombinasyonunun raf ömrünü 8 aya kadar uzattığı, sadece liyofilizasyonun uygulanan gruplarda ise 4 aya kadar uzattığı tespit edilmiştir.

Zouaghi ve Cantelejo (2016), ozonlanarak dondurulmuş ve kurutulmuş tavuk göğüs etlerinde modifiye atmosfer ambalajlamanın etkileri üzerine yapılan çalışmada, yüksek O₂ konsantrasyonlarının MAP'ta kırmızılığı azaltıp, pH değerlerini yükselttiği, CO₂ oranlarının %40'tan fazla olduğunda ise düşük duyusal skorlarının elde edildiği gözlenmiştir.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Tavuk eti

Araştırmada materyal olarak BİLPA Gıda Pazarlama Ltd. Şti.'den (Bolu) temin edilen tavuk göğüs etleri kullanılmıştır. Tavuk göğüs etleri kesimi takiben soğuk zincir kırılmadan laboratuvara getirilmiş, ozonlu suyla muamele edilinceye kadar 4°C'de muhafaza edilmiştir.

3.1.2 Ambalaj materyali ve oksijen tutucu

Ozon ile muamele edilen tavuk etlerinin ambalajlanmasında 19x14cm ve 8,5 derinliğinde polipropilen tabak ve OPET12/OPA15/OPP60 (Kalınlık: 88 µm, OTR: 22.56 cc/m²/gün 24°C, CO₂TR: 95.64 cc/m²/gün 24°C) ambalaj filmi (Apack Ambalaj Makine Sanayi ve Ltd. Şti., İstanbul); oksijen tutucu olarak ise, Sedef Yeni Nesil Endüstriyel Çözümler A.Ş. (İstanbul) firmasından temin edilen BZ tipi ss200 oksijen tutucu (Oxyguard) kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Ozon uygulaması ve modifiye atmosfer ambalajlama

Soğuk zincir kırılmadan laboratuvara getirilen tavuk göğüs etleri tesadüfi olarak 3 gruba ayrılmıştır. Gruplardan birisi Reetray 25 modifiye atmosfer ambalajlama makinesi (İtalya) kullanılarak %70 karbondioksit ve %30 azot içeren modifiye atmosfer ile ambalajlanmıştır (Kontrol). Diğer 2 grup tavuk göğüs etleri ozonlu su ile muamele edilmiştir.

Ozon gazının elde edilmesinde OPAL marka OG20 model bir ozon jeneratörü; kullanılmıştır. Ozon üretiminde, Karaca (2010) tarafından belirtilen yöntem modifiye edilerek uygulanmıştır. Kapasitesi 30 g/saat olan ozon jeneratörüne ozon gazının çözünürlüğünü arttırmak amacıyla silikon bir hortum ve hortumun ucuna da 10 µm gözenek çaplı paslanmaz çelik bir filtre (Fisher Scientific, Solvent Inlet Filter) yerleştirilmiştir. Ozon uygulaması süresince kullanılan destile su otoklavlanarak sterilize edilmiş ve kullanıma kadar 4°C’de muhafaza edilmiştir. Paslanmaz çelik filtreden çıkan kabarcıkların steril destile suda çözündürülmesi, 105°C de 18 saat bekletilerek sterilize edilen 1 litrelik cam kavanozlarda gerçekleştirilmiştir. Suda çözünen ozon miktarı Palintest Ozone Meter cihazı ve DPD No 4 Tablets test kitleri kullanılarak ölçülmüştür. Palintest ozon testi standart bir DPD prosedürüne dayanmaktadır. Ozon, potasyum iyodür varlığında DPD indikatörü ile reaksiyona girererek pembe renk oluşturur. Bu yöntemle oluşan pembe rengin yoğunluğu ölçülerek hesaplama yapılmaktadır. Ölçüm esnasında ozonun hızlı parçalanma özelliğinden dolayı örnek içeren test tüpünün ivedilikle cihaza yerleştirilerek okuma yapılmasına özellikle dikkat edilmiştir. İşlem esnasında ozon gazının suda çözünürlüğünü artırmak ve soğutulan su sıcaklığını muhafaza etmek amacıyla ortam sıcaklığı vantilatör yardımıyla düşürülmüştür (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Suda çözünen ozon miktarı ölçümünde kullanılan Palintest Ozone Meter cihazı

Ayrıca, kavanozlar, buz dolu çelik kaplar içerisine yerleştirilmiş ve çevresi buz ile kaplanmıştır (Şekil 3.2, 3.3).



Şekil 3.2 Ozon uygulamasının gerçekleştirildiği düzenek



Şekil 3.3 Tavuk göğüs etlerine ozonlu su uygulama işlemi

Tavuk göğüs etlerinin ozonlu suyla muamelesinde literatürde en etkin ozonlama yöntemi olduğu bildirilen doğrudan gazlama (bubbling) yöntemi kullanılmıştır (Kim vd. 1999, Achen ve Yousef 2001). Ozon üretiminin ilk aşamasında, ozon jeneratöründen elde edilen ozon gazı, 3 L/dk debi ile silikon bir hortumla 500 mL steril destile su ($4\pm1^{\circ}\text{C}$) içeren steril cam kavanoz içerisine daldırılmıştır. Bu amaçla, 18 adet steril kavanoz kullanılmıştır. Hortumun ucundaki paslanmaz çelik filtre, gaz kabarcıklarının mümkün olduğunca küçük baloncuklar haline getirilmesini ve 10 dk boyunca suda etkin bir şekilde çözündürülmesini sağlamıştır. Ozon gazının, su içerisinde çözündürülmesi sırasında kullanılan filtrenin genişliğinde kavanoz kapağında delik açılarak ozonlu suyun havayala teması kesilmiştir. Yapılan literatür araştırmasına göre belirlenen 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 5 ppm dozlarında 5 dk; 5 ppm, 10 ppm ve 15 ppm dozlarından 5 dk, 10 dk ve 15 dk ozonlu suya daldırma yapılarak sulu ozon uygulamasının ön deneme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ozonun antimikrobiyal etkisinin gözlemlendiği ve renk kalitesi açısından olumsuz etki olmayan uygulamanın 10 dk süreyle 10 ppm ozon muamelesinin olduğu belirlenmiştir. Çözünen ozon gazının düzeyi belli aralıklarla ölçülmüş, 10 ppm $\pm$ 1.0 ppm elde edilince, tavuk göğüs etleri kavanoz başına 2 adet olmak üzere 10 dk ozonlu suya daldırılmıştır. Daldırma işlemi esnasında kavanozlar belli aralıklarla çalkalanmıştır. Daldırma işlemi tamamlanan örnekler, steril bir pens yardımıyla ozonlu sudan çıkarılmış, fazla sularının giderilmesi amacıyla 10 dk steril kurutma kâğıtları üzerine bırakılmıştır. Daha sonra tavuk göğüs eti örnekleri oksijen tutucu kullanılarak ya da kullanmadan modifiye atmosferde (%70CO₂:%30N₂) ambalajlanmıştır. Oksijen tutucu kullanılan grupta ambalaj büyüklüğü dikkate alınarak 2 adet BZ tipi ss200 oksijen tutucu kullanılmıştır. Ambalajlanan tavuk etleri 4°C’de depolanarak, 0., 1., 4., 7., 10. ve 13. günlerde analiz edilmiştir.

3.2.2 Analiz Yöntemleri

3.2.2.1 Nem içeriği

Tavuk göğüs etinin nem miktarını analizi için, 105°C’de kurutulan darası alınmış kuru madde kaplarına ~5 g örnek tartılmış ve 105°C’deki kurutma dolabında sabit ağırlığa

gelene kadar kurutulmuş ve kuru madde kaplarının tartım farkından örnekteki % nem miktarı belirlenmiştir (Anonymous 1990).

3.2.2.2 Yağ içeriği

Tavuk göğüs etinin başlangıçtaki toplam yağ miktarı, sıcak ekstraksiyon yöntemi ile soxhelet düzeneği kullanılarak belirlenmiştir (Anonymous 1990).

3.2.2.3 Protein içeriği

Tavuk göğüs etlerinin başlangıçtaki ham protein miktarı (%), Kjeldahl yöntemine göre örneklerin önce % azot miktarı belirlenmiş ve daha sonra da 6.25 faktörü ile çarpılarak saptanmıştır (Anonymous 1990).

3.2.2.4 Kül içeriği

Tavuk göğüs etlerinin başlangıçtaki kül miktarının belirlenmesi için, sabit ağırlığa getirilen porselen kül kapsüllerine yaklaşık 3-4 g örnek tartılarak kül fırınına konulmuştur. Sıcaklık kademeli olarak artırılarak 550-570°C'ye getirilmiş ve kül kapsülündeki örnek rengi gri-beyaz olana kadar yakma işlemine devam edilmiştir. Kül kapsüllerinin tartım farkından örnekteki % kül miktarı belirlenmiştir (Anonymous 1990).

3.2.2.5 pH değeri

10 g örnek destile su ile 1/10 oranında karıştırılıp Micra Marka homojenizatörde 1 dk süresince homojenize edilmiş ve pH değerleri Hanna H1 221 model pH metrede belirlenmiştir. Okumalardan önce pH metre 4 ve 7 tampon çözeltileriyle ayarlanmıştır (Anonymous 1990).

3.2.2.6 Tiyoarbiturik asit (TBA) değeri

Lipit oksidasyonunu tespit etmek amacıyla TBA sayısının belirlenmesi Tarladgis vd. (1960) göre yapılmıştır. 10 g örnek 50°C'deki 97.5 mL saf su ile homojenize edilip kjeldahl balonuna alınmıştır. Üzerine 2.5 mL 4 N HCl çözeltisi (1:2 %37 HCl, saf H₂O) ilave edilerek, hacim 100 mL'ye tamamlanmıştır. Köpük önleyici olarak parafin, kaynamayı kolaylaştırmak amacıyla da kayama taşları konur ve sonra destilasyon düzeneğine bağlanır. Yaklaşık 50 ml destilat toplanana kadar destilasyona devam edilir. Destilattan 5 mL alınmış üzerine 5mL 0.02 M TBA reaktifi ilave edilmiş ve 35 dkda kaynayan su banyosunda bekletilmiştir. Soğutulan örneklerin UV spektrofotometre'de (UV-1601, Shimadzu, Japan) 538 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuştur. Absorbans değerleri faktör 7.8 ile çarpılarak kg üründe oluşan malonaldehit miktarı hesaplanmıştır.

3.2.2.7 Enstrümental renk analizi

Örneklerin CIE L* (açıklık-koyuluk), a* (kırmızılık) ve b*(sarılık) değerleri örnek yüzeyinde Minolta Chrometer CR300 kullanılarak farklı noktalardan 6 ayrı okuma yapılarak belirlenmiştir.

3.2.2.8 Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı

Örneklerden steril şartlarda 10 g tartılarak %0.85'lik NaCl ile fizyolojik tuzlu su çözeltisinde seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Plate Count Agar (Merck) besiyerlerine standart dökme yöntemi ile tüm seyreltilerden ekim yapılmış, 30±2°C'de 48 saat inkübasyon sonrasında petri kutularında oluşan kolonilerden 15-300 arasında olanlar sayılmıştır. Elde edilen sayım sonuçları log kob (koloni oluşturma birimi)/g olarak ifade edilmiştir (Anonim 2000).

3.2.2.9 Toplam aerobik psikrofilik bakteri sayısı

Örneklerden steril şartlarda 10 g tartılarak %0.85'lik NaCl ile fizyolojik tuzlu su çözeltisinde seri dilüsyonlar hazırlanmıştır, Plate Count Agar (Merck) besiyerine standart dökme yöntemi ile tüm seyreltilerden ekim yapılmış, 10°C'de 10 gün inkübasyon sonunda oluşan kolonilerden 15-300 arasında olanlar sayılmıştır. Elde edilen sayım sonuçları log kob (koloni oluşturma birimi)/g olarak ifade edilmiştir (Anonim 2000).

3.2.2.10 Laktik asit bakteri sayısı

Örneklerden steril şartlarda 10 g tartılarak %0.85'lik NaCl ile fizyolojik tuzlu su çözeltisinde seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. MRS Agar (Merck) besiyerlerine standart dökme yöntemi ile tüm seyreltilerden ekim yapılmış, 30±2°C'de 48 saat inkübasyon sonrasında petri kutularında oluşan kolonilerden 15-300 arasında olanlar sayılmıştır. Elde edilen sayım sonuçları log kob (koloni oluşturma birimi)/g olarak ifade edilmiştir (Anonim 2000).

3.2.2.11 *Enterobacteriaceae* sayısı

Örneklerden steril şartlarda 10 g tartılarak %0.85'lik NaCl ile fizyolojik tuzlu su çözeltisinde seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. VRBD Agar (Merck) besiyerlerine standart dökme yöntemi ile tüm seyreltilerden ekim yapılmış, 37°C'de 24 saat inkübasyon sonrasında petri kutularında oluşan kolonilerden 15-300 arasında olanlar sayılmıştır. Elde edilen sayım sonuçları log kob (koloni oluşturma birimi)/g olarak ifade edilmiştir (Anonim 2000).

3.2.2.12 İstatistik analiz

Araştırma sonucunda elde edilen sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi SAS ambalaj programı kullanılarak yapılmıştır (Anonymous 2000). Grup ortalamaları arasındaki

farklılığın önemli olup olmadığı tek yönlü Varyans Analiz tekniği (ANNOVA) uygulanarak araştırılmıştır. Annova sonucunda gerekli olduğu zaman hangi grup ortalamaları arasındaki farklılığın önemli olduğu LSD (Asgari Önemli Fark) testi uygulanarak belirlenmiştir ($p<0.05$).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Tavuk Göğüs Etinin Kimyasal Bileşimi

Araştırma materyali olarak kullanılan tavuk göğüs etinin nem, protein, yağ ve kül (%) içerikleri çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Tavuk göğüs etinin kimyasal bileşimi (%)*

Kimyasal Bileşim	Tavuk göğüs eti
Nem	75.03±0.04
Yağ	2.29±0.02
Protein	19.57±0.20
Kül	1.53±0.08

*Ortalama±Standart Hata

Tavuk but ve göğüs etlerinin nem, protein, yağ ve kül içerikleri sırasıyla %75.03 ve %19.58, %2.29 ve %1.53 olarak bulunmuştur. Benzer olarak, Kolsarıcı vd. (2004) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elle ayrılmış tavuk göğüs etlerinde nem, protein, yağ ve kül içeriklerinin sırasıyla %74.94, %19.88, % 2.40 ve %1.14 olduğu tespit edilmiştir.

4.2 pH Değeri

Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince belirlenen pH değerleri çizelge 4.2 ve şekil 4.3’de verilmiştir.

Çalışmada hammadde olarak kullanılan tavuk göğüs etinin başlangıç pH değeri 5.92 olarak tespit edilmiştir. Tavuk göğüs etlerinde başlangıç pH değeri literatürde 5.62-6.05 aralığında belirtilmiştir (Kolsarıcı ve Candoğan 1995, Santos vd. 2004, Perlo vd. 2006, Al-Dughaym ve Altabari 2010, Gregory 2010, Yaman 2015). Tavuk göğüs eti başlangıç pH’sı literatürde belirtilen pH aralığında bulunmuştur.

Çizelge 4.2 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince pH değerleri*

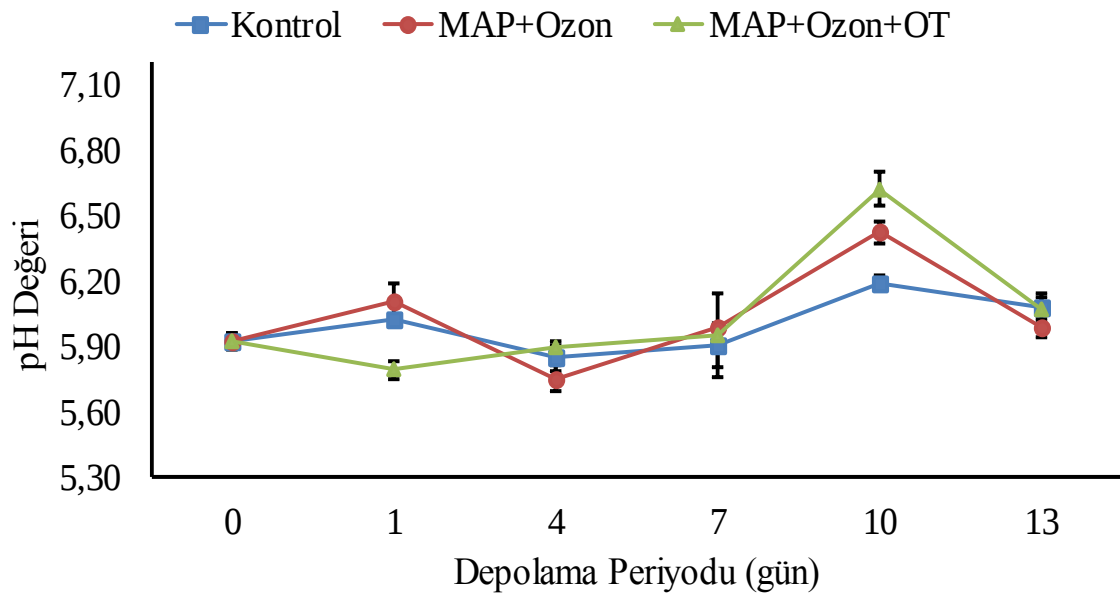
Depolama Periyodu (gün)	Kontrol	MAP+Ozon	MAP+Ozon+OT
0**	5.92±0.04 ^{Abc}	5.92±0.04 ^{Ac}	5.92±0.04 ^{Abc}
1	6.02±0.01 ^{Aabc}	6.10±0.09 ^{Ab}	5.79±0.04 ^{Bc}
4	5.85±0.07 ^{Ac}	5.75±0.06 ^{Ad}	5.89±0.01 ^{Ac}
7	5.90±0.10 ^{Abc}	5.98±0.01 ^{Abc}	5.95±0.19 ^{Abc}
10	6.19±0.03 ^{Ca}	6.42±0.05 ^{Ba}	6.62±0.08 ^{Aa}
13	6.08±0.04 ^{Aab}	5.98±0.04 ^{Abc}	6.07±0.07 ^{Ab}

*Ortalama ± Standart hata

** Başlangıçta hammadde olarak kullanılan tavuk göğüs etlerinde belirlenmiştir.

A-C: Aynı satırda ve aynı periyotta farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)

a-d: Aynı sütunda ve aynı grupta farklı harfleri taşıyan periyot ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.3 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince pH-değerlerindeki değişim

Genel olarak pH değeri açısından gruplar arasındaki farklılıklar 1. ve 10. günler hariç istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (p>0.05). MAP+Ozon+OT grubu 1. günde diğer iki gruptan düşük (p<0.05) pH değerine sahip olurken, Kontrol grubunun pH

değeri 10. günde diğer iki gruptan daha düşük bulunmuştur. pH değerinde meydana gelen bu düşüş mikrobiyal gelişimden kaynaklanmaktadır. Bu periyotta gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p<0.05$).

Depolama süresince değişim incelendiğinde, her ne kadar bazı grupların pH değerindeki değişim istatistiksel olarak önemli bulunsun da genel olarak değerlendirildiğinde bu değişimin anlamlı olmadığı gözlenmektedir. Çalışmada pH'da belirlenen bu dalgalanmalar, etin pH değerinin genetik, kasın depo glikojen miktarı, kas tipi, beslenme, kesim esnasında ve sonrasındaki uygulamalara bağlı olarak farklılık göstermesiyle açıklanabilir (Wattanachant 2008). pH değerinde meydana gelen düşüşler kas dokuda glikoliz ve laktik asit oluşumundan kaynaklanmakta, daha sonra süre ilerledikçe proteolize bağlı olarak pH değerinde artışlar gözlenmektedir (Santos vd. 2004). Ozonun dezenfeksiyon etkinliğini pH değerinin etkilenmediği, ancak, hidroksil serbest radikallerin parçalanma hızının yüksek pH'larda daha fazla olduğu bildirilmiştir (Morris 1975). Bununla birlikte Lin ve Wu (2006), asidik pH değerlerinde ozonun virüsidal etkinliğinin bir miktar arttığını belirtmişlerdir.

Chouliara vd. (2007), 4°C'de muhafaza edilen tavuk göğüs etlerinin kekik uçucu yağı ile muamele edilmesinin ve modifiye atmosferde ambalajlenmesinin göğüs etinin raf ömrü üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, pH değerinin 25 günlük depolama süresince 6.4-5.9 arasında değiştiğini, MAP uygulamasının pH değeri üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını saptamışlardır. Bununla birlikte, Shin vd. (2010), normal hava atmosferinde ambalajlanan ve MAP (%30 CO₂:%70 N₂) uygulanan tavuk göğüs etlerinin pH'sının 21 günlük depolama periyodu ilerledikçe arttığını belirtmiş, bu artışın nedenini de mikrobiyal faaliyete bağlı olarak oluşan metabolitler olarak açıklamışlardır. Benzer şekilde Zouaghi ve Cantalejo (2016), modifiye atmosferde ambalajlanan, ozonlanmış ve dondurularak kurutulmuş tavuk göğüs etlerinde pH değerinin 21°C'de 28 gün depolama ile artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

4.3 Mikrobiyolojik Analiz

4.3.1 Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı

Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince belirlenen toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB) sayıları çizelge 4.4’de ve şekil 4.5’de verilmiştir.

Tavuk göğüs eti başlangıç TAMB sayısı 4.22 log kob/g olarak saptanmıştır. Ntzipani vd. (2010), Chouliara vd. (2007) ve Kondratowicz vd. (2006) tavuk göğüs etlerinde başlangıç TAMB sayılarının sırasıyla 3.6 log₁₀ kob/g, 4.28 log₁₀ kob/g ve 3.4 log₁₀ kob/g olarak belirlemişlerdir. Çalışmada saptanan başlangıç TAMB sayısının literatürde belirtilen aralıkta olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları (log₁₀ kob/g)*

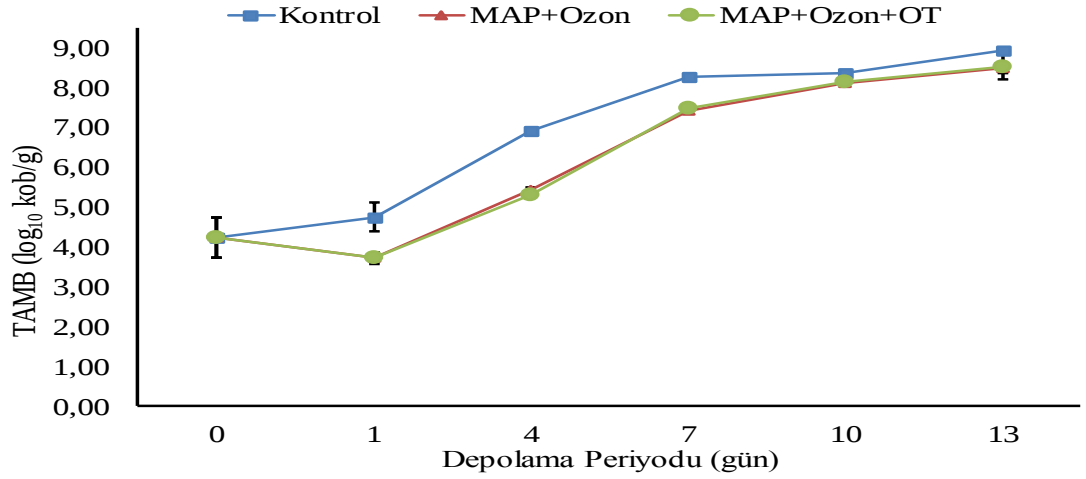
Depolama Periyodu (gün)	Kontrol	MAP+Ozon	MAP+Ozon+OT
0**	4.22±0.50 ^{Ac}	4.22±0.50 ^{Ac}	4.22±0.50 ^{Ac}
1	4.74±0.36 ^{Ac}	3.74±0.12 ^{Ac}	3.71±0.14 ^{Ac}
4	6.91±0.01 ^{Ab}	5.43±0.06 ^{Ab}	5.30±0.07 ^{Bb}
7	8.27±0.03 ^{Aa}	7.43±0.04 ^{Ba}	7.49±0.08 ^{Ba}
10	8.37±0.06 ^{Aa}	8.11±0.06 ^{Ba}	8.14±0.05 ^{ABa}
13	8.92±0.02 ^{Aa}	8.48±0.13 ^{Aa}	8.53±0.32 ^{Aa}

*Ortalama ± Standart hata

** Başlangıçta hammadde olarak kullanılan tavuk göğüs etlerinde belirlenmiştir.

A-B: Aynı satırda ve aynı periyotta farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)

a-c: Aynı sütunda ve aynı grupta farklı harfleri taşıyan periyot ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.5 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarındaki değişimi

“Türk Gıda Kodeksi Çiğ Kanatlı Eti ve Hazırlanmış Kanatlı Eti Karışımları Tebliği”ne (Tebliğ No: 2006/29) göre çiğ kanatlı etinden analize alınacak 2 adet numunenin 1 gramında bulunabilecek kabul edilebilir en fazla mikroorganizma sayısı 5.0×10^{-6} olarak, Anonymous (1986) göre ise taze kanatlı etlerinde toplam bakteri sayısının 7 log kob/g’a ulaşması mikrobiyolojik kalite açısından kabul edilirlilik üst sınırı olarak belirlenmiştir. Tavuk göğüs etlerinde Kontrol grubunun TAMB sayısı dikkate alındığında 4. günde 6.91 log kob/g’a ulaştığı görülmektedir. MAP+Ozon uygulanmış gruplar ile MAP+Ozon+Oksijen tutucu kullanılmış gruplarda ise kabul edilirlilik üst sınırının 7. günde aşıldığı görülmektedir (sırasıyla 7.43 log kob/g ve 7.49 log kob/g).

Genel olarak TAMB sayısı gruplar arasındaki farklılıklar 4., 7. ve 10. günler hariç istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). MAP+Ozon+OT grubunun 4. günde diğer iki gruptan daha düşük ($p<0.05$); 7. günde Kontrol grubunun diğer iki gruptan daha yüksek TAMB sayısına sahip olduğu ($p<0.05$) bulunmuştur. Kontrol grubunun TAMB sayısı ise 10. günde diğer iki gruptan daha yüksek olurken, bu periyotta Kontrol grubu ile MAP+Ozon arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Depolama süresince değişim incelendiğinde, grupların TAMB sayısındaki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Muameleyi takip eden 1. günde ozon uygulanmış gruplarının TAMB sayısında başlangıca göre yaklaşık 0.5 log birimlik

azalma gözlenmiş, bu periyotta Kontrol grubu ile kıyaslandığında bu iki grubun yaklaşık 1 log birimlik daha düşük TAMB sayısına sahip olduğu saptanmıştır. Ozon uygulaması 4. günde TAMB sayısı üzerinde daha etkili olmuş; MAP+Ozon ve MAP+Ozon+OT gruplarının TAMB değeri 4. günde Kontrole göre 1.48 ve 1.61 log birimi daha düşük bulunmuştur. 7. Günde ise ozon uygulamasının etkisi devam etmiş, mikrobiyel bozulma sınırı aşılmış olmakla birlikte ozonla muamele edilmiş gruplarda TAMB sayısı Kontrol grubuna göre yaklaşık 0.8 log birim daha düşük saptanmıştır.

Çalışmada ozonlu su uygulamasının özellikle depolamanın ilk günlerinde etkili olduğu ve bu sonuçların literatürle uyum içinde olduğu görülmektedir. Stivarious vd. (2002), 7.2°C’de 15 dk %1’lik ozonlu su uygulamasının dana kırıntı etlerinin TAMB sayısında kontrol grubuna göre 0.57 log birimlik bir azalmaya neden olduğunu belirlemişlerdir. Cantalejo vd. (2016), yaptıkları çalışmada dondurularak kurutulmuş tavuk göğüs etlerinde başlangıçta 4.63 log kob/g olan TAMB sayısının 0.72 ppm 10 dk ozon uygulanmasından sonra 4.46 log kob/g’a 21°C’de 2 aylık depolama sonunda ise 2.90 log cfu/g’a düştüğünü saptamışlardır. Muhlisin vd. (2015), yaptıkları çalışmada ozon gazı (10×10^{-6} kg ozon/h) ile muamele edilen tavuk göğüs etlerinde muamele görmeyen tavuk göğüs etlerine oranla 4°C’de depolamanın 1., 2. ve 3. günlerinde TAMB sayısında sırasıyla 0.82, 0.96 ve 1.07 log kob/g azalma olduğunu bildirmişlerdir.

4.3.2 Toplam aerobik psikrofilik bakteri sayısı

Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince belirlenen toplam aerobik psikrofiliklik bakteri (TAPB) sayıları çizelge 4.6 ve şekil 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.6 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince TAPB sayıları (log kob/g)*

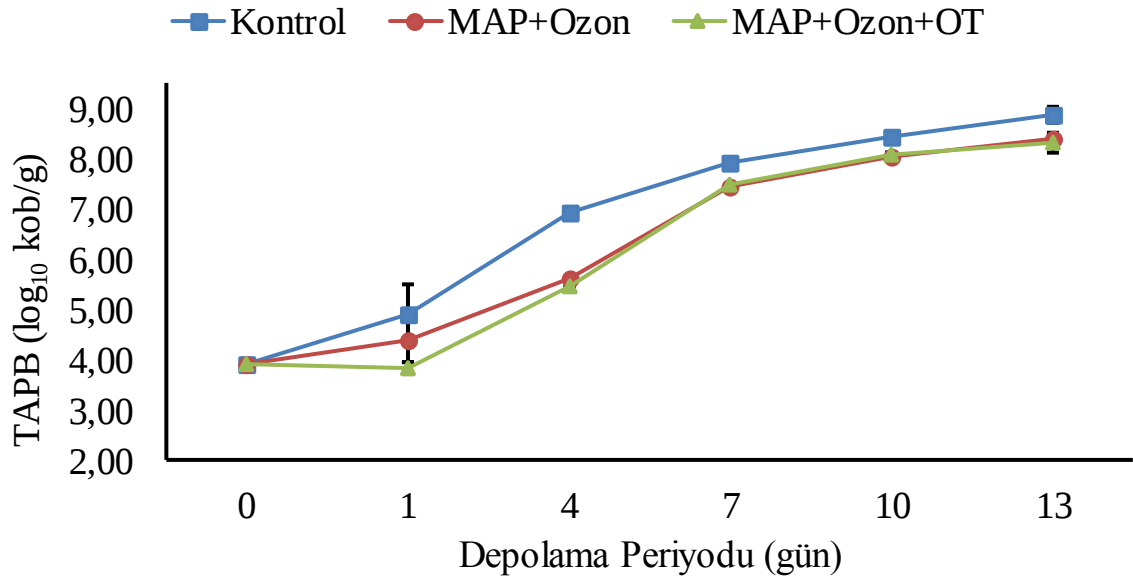
Depolama Periyodu (gün)	Kontrol	MAP+Ozon	MAP+Ozon+OT
0**	3.91±0.01 ^{Ae}	3.91±0.01 ^{Ad}	3.91±0.01 ^{Ad}
1	4.91±0.58 ^{Ad}	4.37±0.41 ^{Ad}	3.84±0.11 ^{Ad}
4	6.92±0.00 ^{Ac}	5.62±0.01 ^{Bc}	5.46±0.01 ^{Cc}
7	7.93±0.08 ^{Ab}	7.47±0.01 ^{Bb}	7.48±0.03 ^{Bb}
10	8.43±0.07 ^{Aab}	8.03±0.08 ^{Bbc}	8.08±0.06 ^{Ba}
13	8.89±0.15 ^{Aa}	8.39±0.10 ^{Aa}	8.32±0.20 ^{Aa}

*Ortalama ± Standart hata

** Başlangıçta hammadde olarak kullanılan tavuk göğüs etlerinde belirlenmiştir.

A-C: Aynı satırda ve aynı periyotta farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)

a-e: Aynı sütunda ve aynı grupta farklı harfleri taşıyan periyot ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.7 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince toplam aerobik psikrofilik bakteri sayılarındaki değişimi

Başlangıçta 3.91 log kob/g olarak belirlenen TAPB sayısındaki değişim, uygulamayı takip eden 1. günde MAP+Ozon ve MAP+Ozon+OT gruplarında önemli bulunmamış (p>0.05), bununla birlikte, Kontrol grubunda önemli ölçüde artarak 4.91 log kob/g'a ulaşmıştır (p<0.05). MAP+Ozon ve MAP+Ozon+OT gruplarının TPAB sayıları 4. günden sonra istatistiksel olarak önemli düzeyde artış göstermiştir (p<0.05). Depolamanın son periyodu olan 13. günde TAPB sayıları Kontrol, MAP+Ozon ve

MAP+Ozon+OT gruplarında sırasıyla 8.89, 8.39 ve 8.32 log kob/g değerlerine ulaşmıştır.

TAPB sayısında gruplar arasındaki farklılıklar 4., 7. ve 10. günler hariç istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). TAPB sayısındaki azalış Kontrol grubuna göre 4., 7. ve 10. günlerde MAP+Ozon grubunda sırasıyla 1.30, 0.46 ve 0.40 log kob/g; MAP+Ozon+OT grubunda ise sırasıyla 1.46, 0.45 ve 0.35 log kob/g olarak tespit edilmiştir ($p<0.05$). Oksijen tutucu kullanımının etkisi sadece 4. günde gözlenmiş, MAP+Ozon+OT grubunun 5.46 log kob/g olan TAPB sayısı diğer iki gruptan önemli ölçüde düşük bulunmuştur ($p<0.05$).

Literatürde mevcut çalışmalar incelendiğinde et ve et ürünlerinde ozon uygulamasının psikrofilik bakteriler üzerine etkisinin çalışıldığı bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Diğer bazı gıdalarda gerçekleştirilen ve ozon uygulamasının TPAB sayısı üzerine etkili olduğunu gösteren sınırlı çalışmalardan birinde marullar 4 mg/L'lik ozonlu suya 2 dk daldırılarak muamele edilmiş ve sonuçta TPAB sayısının 1.5 log birim azaldığı belirtilmiştir (Akbaş ve Ölmez 2007). Diğer bir çalışmada ise Aguayo vd. (2006), taze domates dilimlerinin 5°C'de muhafazasında 3 saatlik periyotlarla 30 dk ozon gazı uygulamasının (4 µL/ L) 15 gün sonra, hava atmosferiyle muhafaza edilen örneklerle kıyasla TPAB sayısında 1.30 log birimlik bir azalışa neden olduğunu saptamışlardır.

4.3.3 Laktik asit bakteri sayısı

Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince belirlenen laktik asit bakteri (LAB) sayısı çizelge 4.8 ve şekil 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince LAB sayıları (log₁₀ kob/g)

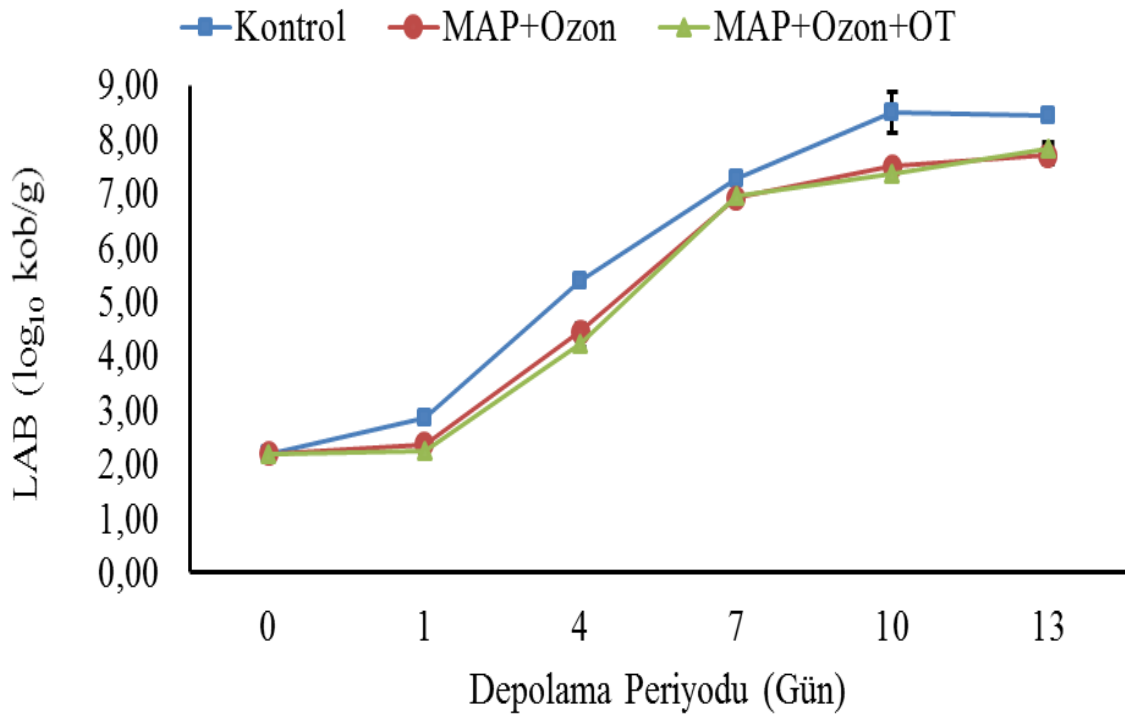
Depolama Periyodu (gün)	Kontrol	MAP+Ozon	MAP+Ozon+OT
0**	2.20±0.01 ^{Ae}	2.20±0.01 ^{Ad}	2.20±0.01 ^{Ae}
1	2.85±0.04 ^{Ad}	2.37±0.02 ^{Bd}	2.26±0.04 ^{Be}
4	5.39±0.02 ^{Ac}	4.45±0.14 ^{Bc}	4.22±0.06 ^{Bd}
7	7.28±0.05 ^{Ab}	6.92±0.04 ^{Bb}	6.96±0.01 ^{Bc}
10	8.50±0.39 ^{Aa}	7.51±0.12 ^{ABa}	7.38±0.14 ^{Bb}
13	8.44±0.01 ^{Aa}	7.71±0.16 ^{Ba}	7.82±0.13 ^{Ba}

*Ortalama ± Standart hata

** Başlangıçta hammadde olarak kullanılan tavuk göğüs etlerinde belirlenmiştir.

A-B: Aynı satırda ve aynı periyotta farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)

a-e: Aynı sütunda ve aynı grupta farklı harfleri taşıyan periyot ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.9 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince laktik asit bakteri sayılarındaki değişim

Çiğ tavuk etlerin doğal mikroflorasında yer alan laktik asit bakterileri, fakültatif anaerobik bakterilerdir ve hem hava hem de MAP koşullarında gelişme gösterebilirler (Patsias vd. 2008). Tavuk göğüs etlerinde LAB sayısı başlangıçta 2.20 log kob/g olarak

belirlenmiştir. Literatürde taze tavuk göğüs etlerinde başlangıç LAB sayısı farklı araştırmalarda 2.7 log kob/g (Patsias vd. 2006), 3.6 log kob/g (Chouliara vd. 2007) ve 3.9 log₁₀kob/g (Balamatsia vd. 2007) olarak belirlenmiştir. Çalışmada, başlangıca göre LAB sayısında meydana gelen artışlar Kontrol grubunda 1. günden, MAP+Ozon ve MAP+Ozon+OT gruplarında ise 4. günden sonra önemli bulunmuş ($p<0.05$); depolamanın son periyodu olan 13. günde LAB sayısı Kontrol, MAP+Ozon ve MAP+Ozon+OT gruplarında sırasıyla 8.44, 7.71 ve 7.82 olarak belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara paralel olarak, Lerasle vd. (2014), yaptıkları çalışmada, MAP uygulanmış kanatlı sosislerinde başlangıçta 4.01 log kob/g olarak bulunan LAB sayısının önemli ölçüde artış göstererek 14. günde 8.06 log kob/g'a yükseldiğini bildirmişlerdir.

Gruplar arası farklılıklar değerlendirildiğinde, 1. günden itibaren genel olarak depolama süresince ozon uygulanmış grupların LAB sayılarının Kontrol grubundan önemli ölçüde düşük olduğu ($p<0.05$), ozon uygulanmış gruplarda LAB sayısının 4. ve 10. günlerde Kontrole göre en düşük değerlere sahip olduğu saptanmıştır. MAP+Ozon ve MAP+Ozon+OT gruplarında 4. günde sırasıyla 0.94 ve 1.17 log birimlik, 10. günde ise 0.99 ve 1.12 log birimlik daha düşük LAB sayıları gözlenmiştir.

Cantalejo vd. (2016), yaptıkları çalışmada ozon uygulanmış ve dondurularak kurutulmuş tavuk göğüs etlerinde 21°C'de depolama süresince değişimleri incelemişler, başlangıçta 4.00 log kob/g olan LAB sayısının 0.72 ppm/10 dk'lık ozon uygulamasıyla 3.82 log kob/g'a; 2 aylık depolama sonunda ise 2.62 log kob/g'a düştüğünü bildirmişlerdir.

4.3.4 *Enterobacteriaceae* sayısı

Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince belirlenen *Enterobacteriaceae* sayıları çizelge 4.10 ve şekil 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.10 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince *Enterobacteriaceae* sayıları (log₁₀ kob/g)

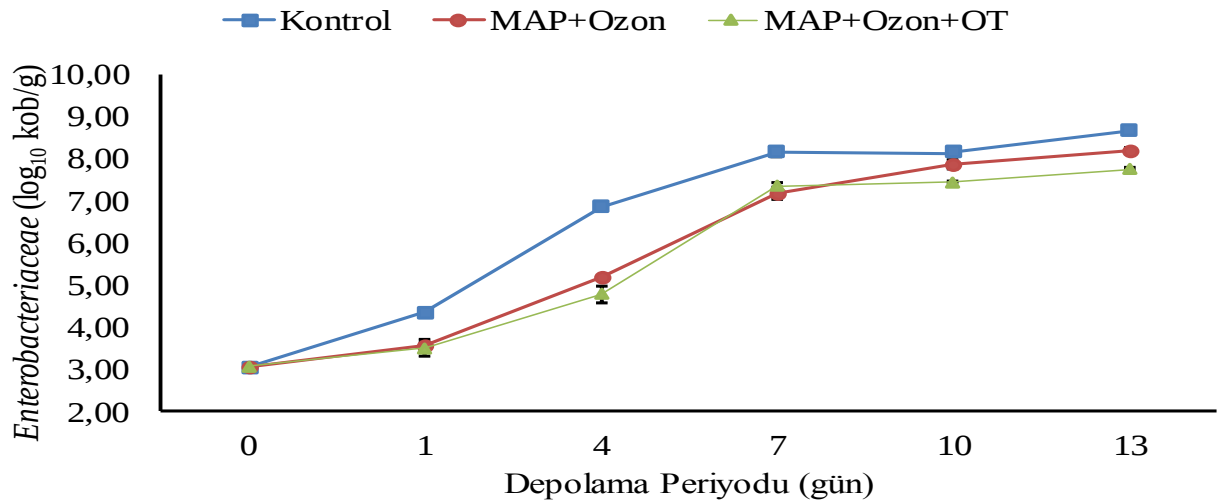
Depolama Periyodu (gün)	Kontrol	MAP+Ozon	MAP+Ozon+OT
0**	3.06±0.07 ^{Ae}	3.06±0.07 ^{At}	3.06±0.07 ^{Ad}
1	4.34±0.03 ^{Ad}	3.54±0.10 ^{Be}	3.50±0.20 ^{Bc}
4	6.86±0.01 ^{Ac}	5.19±0.03 ^{Bd}	4.77±0.21 ^{Bb}
7	8.16±0.13 ^{Ab}	7.17±0.13 ^{Bc}	7.35±0.08 ^{Ba}
10	8.15±0.08 ^{Ab}	7.85±0.11 ^{Ab}	7.44±0.02 ^{Ba}
13	8.66±0.06 ^{Aa}	8.19±0.08 ^{Ba}	7.75±0.05 ^{Ca}

*Ortalama ± Standart hata

** Başlangıçta hammadde olarak kullanılan tavuk göğüs etlerinde belirlenmiştir.

A-C: Aynı satırda ve aynı periyotta farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)

a-f: Aynı sütunda ve aynı grupta farklı harfleri taşıyan periyot ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.11 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince *Enterobacteriaceae* sayılarındaki değişim

Tavuk göğüs eti örneklerinde başlangıçta 3.06 log kob/g olan *Enterobacteriaceae* sayısı depolamanın 1. gününden itibaren önemli ölçüde artış göstererek (p<0.05) depolamanın son periyodu olan 13. günde Kontrol, MAP+Ozon ve MAP+Ozon+OT gruplarında sırasıyla 8.66, 8.19 ve 7.75 log kob/g değerlerine ulaşmıştır. Genel olarak ozon uygulanmış grupların *Enterobacteriaceae* sayılarının Kontrol grubundan daha düşük olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Diğer bakteri gruplarında olduğu gibi ozon uygulamasının *Enterobacteriaceae* sayısı üzerinde en belirgin etkisi MAP+Ozon ve

MAP+Ozon+OT gruplarında sırasıyla 1.67 ve 2.09 log birimi azalışla 4. günde gözlenmiştir.

Gruplar arasındaki farklılıklar değerlendirildiğinde depolamanın 10. ve 13. gününde MAP+Ozon+OT grubunun diğer iki gruptan önemli ölçüde düşük *Enterobacteriaceae* sayısına sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Kontrol grubunda 1., 4. ve 7. günde *Enterobacteriaceae* sayıları diğer iki gruba göre daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Genel olarak oksijen tutucu kullanılan grupların *Enterobacteriaceae* sayısı, oksijen tutucu kullanılmayan gruplara göre daha düşük bulunmuş olup ($p<0.05$), oksijen tutucunun *Enterobacteriaceae* üzerinde baskılayıcı etkisi özellikle depolamanın son periyotlarında tespit edilmiştir. Tüm grupların *Enterobacteriaceae* sayılarının depolama süresine paralel olarak önemli olarak artış gösterdiği ($p<0.05$), bu artışın MAP+Ozon+OT grubunda 7. günden sonra önemli olmadığı ($p<0.05$) saptanmıştır.

MAP uygulaması normal atmosfer koşullarına kıyasla *Enterobacteriaceae* gelişimini yavaşlatmaktadır. Chouliara vd. (2007), kekik uçucu yağı uygulamasının modifiye atmosferde ambalajlanan 4°C’de muhafaza edilen tavuk göğüs etlerinin raf ömrü üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, başlangıçta 2.28 log kob/g olan *Enterobacteriaceae* sayısının 9 günlük depolama sonrasında aerobik koşullarda ambalajlanan örneklerde 7.48 log cfu/g’a, MAP (%30 CO₂ : %70 N₂) uygulanan örneklerde ise 5.98 log kob/g’a ulaştığını tespit etmişlerdir. Byrd vd. (2011), MAP uygulanan tavuk göğüs etlerinde ambalajın ürün kalite özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlar; aerobik koşullarda ambalajlanan örneklerde *E. coli* sayısının 3.27 log kob/g, %100 CO₂ ile ambalajlanan örneklerde 2.03 log kob/g, %5O₂ : %10 CO₂ : %85 N₂ ile ambalajlanan örneklerde ise 2.71 log kob/g olduğunu tespit etmişlerdir.

Ozon uygulamasının etler üzerine etkilerinin belirlendiği çalışmalardan birinde, Stivarious vd. (2002), 15 dk, 7,2 °C’de %1’lik ozonlu su uygulamasının dana kruntı etlerinde *Enterobacteriaceae* familyasından *E. coli* sayısı üzerine önemli bir etkisinin olmadığını, bununla birlikte, *Salmonella* Typhymurium sayısında kontrol örneklerine göre 0.78 log birimlik bir azalışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Cho vd. (2014) ise *E.*

coli O157:H7 inoküle edilmiş ve buzdolabı sıcaklığında depolanan sığır etlerine ozon gazı uygulanmış; başlangıçta 4.47 log kob/g olan bakteri sayısı ozon ile muamele edilen örneklerde 3. gün 4.64 log kob/g'a ulaşırken ozon uygulanmayan örneklerde 5.55 log kob/g olarak saptanmıştır. Yapılan çalışmada ozonun sığır eti yüzey florasında *E.coli* O157:H7 sayısını azalttığı ve sonuç olarak antimikrobiyal uygulama olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır. Benzer şekilde, Cantalejo vd. (2016), dondurularak kurutulmuş ve 0.72 ppm ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinde *E.coli* sayısında muameleden sonra yaklaşık 0.75 log birimlik bir azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

4.4 Tiyobarbiturik Asit (TBA) Değerleri

Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince belirlenen TBA değerleri çizelge 4.12 ve şekil 4.13'de verilmiştir.

Çalışmada, başlangıç TBA değeri 0.150 mg MDA /kg örnek olarak bulunmuştur. Kontrol grubu 13. gün hariç depolama süresince genel olarak diğer iki gruptan daha düşük TBA değerine sahip olmuştur ($p<0.05$). Ozon kullanımının lipit oksidasyonunu artırıcı etkisini engellemek amacıyla kullanılan oksijen tutucunun TBA değerini azaltıcı etkisi sadece 1. günde ve depolamanın son periyodu olan 13. günde gözlenmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 4.12 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince TBA-değerleri (mg MDA/kg)*

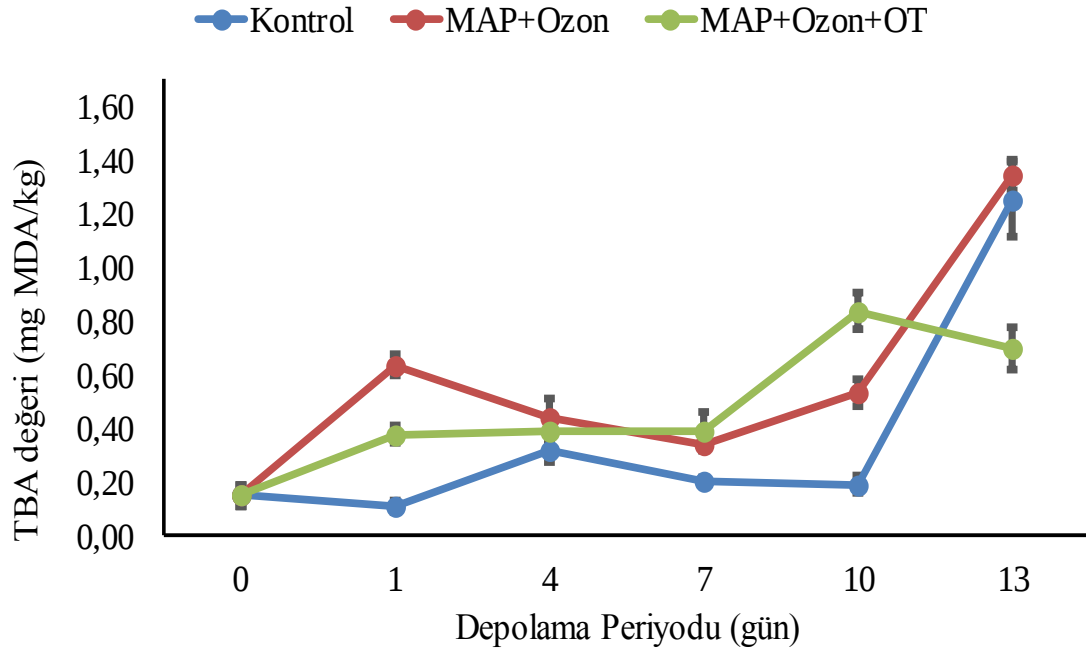
Depolama Periyodu (gün)	Kontrol	MAP+Ozon	MAP+Ozon+OT
0**	0.150±0.04 ^{Ac}	0.150±0.04 ^{Ae}	0.150±0.04 ^{Ac}
1	0.110±0.02 ^{Cc}	0.634±0.04 ^{Ab}	0.377±0.03 ^{Bb}
4	0.315±0.04 ^{Ab}	0.441±0.07 ^{AcD}	0.388±0.04 ^{Ab}
7	0.205±0.01 ^{Bbc}	0.337±0.02 ^{ABd}	0.389±0.07 ^{Ab}
10	0.190±0.03 ^{Cbc}	0.531±0.05 ^{Bbc}	0.783±0.04 ^{Aa}
13	1.088±0.10 ^{Aa}	1.344±0.06 ^{Aa}	0.699±0.08 ^{Ba}

*Ortalama ± Standart hata

** Başlangıçta hammadde olarak kullanılan tavuk göğüs etlerinde belirlenmiştir.

A-C: Aynı satırda ve aynı periyotta farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)

a-e: Aynı sütunda ve aynı grupta farklı harfleri taşıyan periyot ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.13 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince belirlenen TBA değerlerindeki değişim

Depolama süresince değişim incelendiğinde, Kontrol grubunun TBA değerlerinde 13. güne kadar önemli bir değişim görülmemiş, ancak 13. günde önemli ölçüde artarak 1.088 mg MDA /kg örnek değerine ulaşmıştır. MAP+Ozon+OT grubunda da zamana bağlı olarak TBA değeri önemli ölçüde artış göstermiş, 1. ve 10. günden sonraki artışlar

istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$). MAP+Ozon grubunda ise TBA değeri 1. günde önemli ölçüde artış göstererek 0.634 mg MDA /kg'a ulaşmış; fakat, 4. günde MAP+Ozon grubunun TBA değeri önemli ölçüde düşmüştür ($p<0.05$). Bu grubun TBA değerlerinde 10. ve 13. günlerde önemli artışlar gözlenmiştir ($p<0.05$). Nam ve Ahn (2002), taze etlerde tüketicinin ransiditeyi duysal olarak belirlediği TBA değerini > 1 mg MDA/kg olarak bildirmişlerdir. Çalışmada 10 günlük depolama süresince MAP+Ozon+OT grubunun bu değere ulaşmadığı, Kontrol ve MAP+Ozon grubunun ise 13. günde sırasıyla 1.088 ve 1.344 mg MDA /kg TBA değerleriyle bu sınır aştığı saptanmıştır. MAP+Ozon gruplarından elde edilen değerler incelendiğinde Kontrol grubuna göre ozonun oksidatif etkisi açıkça görülmektedir.

Ozon gazıyla muamele sırasında, özellikle uzun süreli uygulamalarda ozonun degradasyonuna bağlı olarak oksijen oluşum oranı artmakta; oluşan oksijen de ette lipid oksidasyonunu başlatıcı bir etki yapmaktadır (Kim vd. 2010, Li vd. 2012, Vitale vd. 2014). Mohan vd. (2008), oksijen tutucu kullanarak ambalajladıkları balık (*Pangasius sutchi*) filetolarında soğuk depolama süresince TBA değerinin kontrolden önemli ölçüde düşük olduğunu bildirmişlerdir. Jeong vd. (2007), domuz eti kalitesine ozon uygulamasının olası etkilerini araştırdıkları çalışmada. 15 dk ozon gazı uygulanmış domuz etlerinin TBARS değerinin soğuk depolamanın 15. ve 20. günlerinde kontrole göre önemli ölçüde arttığını saptamışlardır. Cárdenas vd. (2011), buzdolabı sıcaklığında depolama süresince sığır etlerine ozon gazı uygulaması sonucu et kalitesinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Araştırmacılar TBARS değerinin ozon gazı uygulamasından sonra 0°C'de muhafaza edilen örneklerde 3 saatin sonunda 0.33 mg MDA/kg'a, 24 saatin sonunda ise 0.96 mg MDA/kg'a yükseldiğini, 4°C'de muhafaza edilen etin TBARS değerinin ise 3 saatin sonunda 0.27 mg MDA/kg'a, 24 saat sonunda ise 0.49 mg MDA/kg'a yükseldiğini tespit etmişler. Ozonun et dokuda çözünürlüğü düşük sıcaklık derecelerinde daha yüksektir. Buna bağlı olarak da düşük sıcaklıkta ozon uygulamasıyla oksidasyon derecesinde artışlar görülmektedir (Cárdenas vd. 2011).

Cho vd. (2014), sığır eti kıymasında ozon gazı uygulamasının 4°C'de 3 günlük depolama süresince inceledikleri çalışmada başlangıçta 0.66 mg MA/kg olarak belirlenen TBARS değerinin önemli ölçüde artış göstererek 1., 2. ve 3. günlerde

sırasıyla 0.76, 0.75 ve 0.79 mg MDA /kg'a ulaşıpğını tespit etmişlerdir. Muhlisin vd. (2015), ozon gazına maruz bırakılmış tavuk göğüs etlerinin TBA değerinin 3 gün 4°C'de depolama süresince ozonun lipid oksidasyonunu artırıcı etkisine bağlı olarak önemli derecede arttığını bildirmişlerdir.

4.5 Enstrümental Renk Değerleri

Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince belirlenen CIE L* (açıklık-koyuluk), a* (kırmızılık), b* (sarılık) değerleri çizelge 4.14 ve şekil 4.15, 4.16, 4.17'de verilmiştir.

Çalışmada, L* değerinde gruplar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Depolama süresince tavuk göğüs etlerinde Kontrol grubunda ve MAP+Ozon grubunda L* değerlerinde istatistiksel olarak önemli olmayan dalgalanmalar gözlenmiştir ($p>0.05$). MAP+Ozon+OT grubunda ise depolamada gözlenen artış ve azalışlar bazı periyotlarda istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

a* değerinde ise gruplar arasındaki farklılıklar 4. günde MAP+Ozon+OT grubunda diğer iki gruba göre daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Depolama süresince MAP+Ozon grubundaki değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamış ($p>0.05$), diğer iki grupta ise değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Genel olarak a* ve b* değerlerinde gruplar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0.05$). Depolama süresince Kontrol grubunun a* değerlerindeki, değişimler istatistiksel olarak önemli görülmezken ($p>0.05$), diğer iki grupta meydana gelen bazı değişimlerin önemli olduğu görülmüştür ($p<0.05$). MAP+Ozon grubunun ise b* değerlerindeki değişimler istatistiksel olarak önemli olmadığı ($p>0.05$), diğer iki grupta meydana gelen bazı değişimlerin önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$).

Çizelge 4.14 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince CIE L*, a* ve b* değerleri*

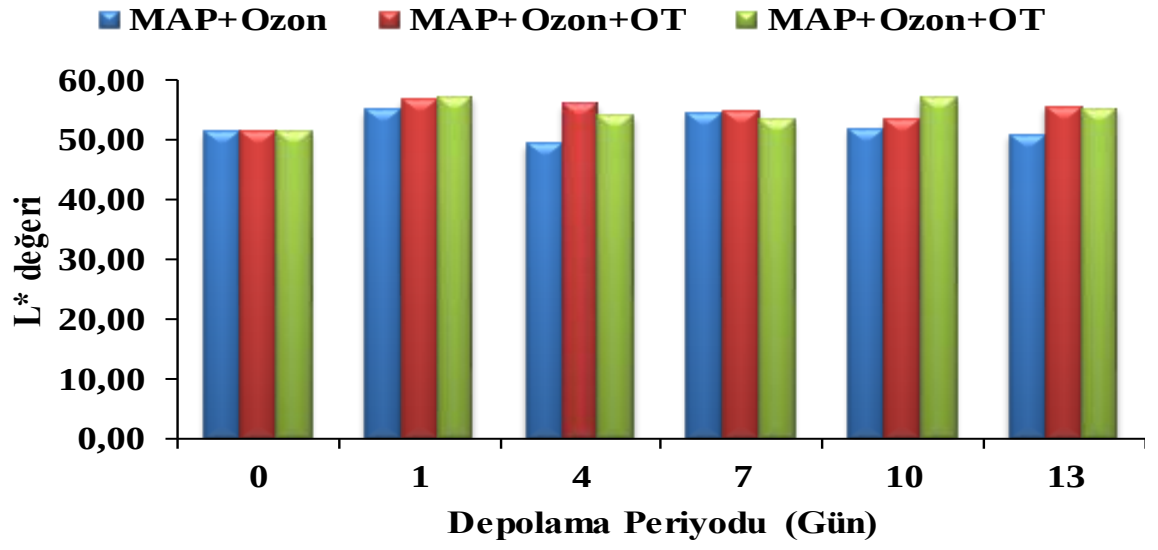
Renk Değerleri	Depolama Periyodu (gün)	Kontrol	MAP+Ozon	MAP+Ozon+OT
L*	0**	51.42±0.01 ^{Aa}	51.42±0.01 ^{Aa}	51.42±0.01 ^{Ad}
	1	55.03±0.27 ^{Aa}	56.69±3.81 ^{Aa}	57.22±2.04 ^{Aa}
	4	49.32±2.22 ^{Aa}	56.10±2.50 ^{Aa}	53.95±0.48 ^{Abdc}
	7	54.57±1.93 ^{Aa}	54.84±1.79 ^{Aa}	53.35±0.57 ^{Adc}
	10	51.87±2.86 ^{Aa}	53.31±4.74 ^{Aa}	57.03±0.07 ^{Aba}
	13	50.83±2.68 ^{Aa}	55.54±4.54 ^{Aa}	55.16±0.39 ^{Abac}
a*	0**	2.07±0.01 ^{Aa}	2.07±0.01 ^{Ab}	2.07±0.01 ^{Ac}
	1	1.62±0.30 ^{Aa}	0.98±0.09 ^{Ab}	1.57±0.45 ^{Ac}
	4	2.09±0.20 ^{Ba}	1.33±0.29 ^{Bab}	4.12±0.14 ^{Aa}
	7	1.33±0.01 ^{Aa}	3.27±1.12 ^{Ab}	2.17±0.17 ^{Abc}
	10	3.26±1.05 ^{Aa}	2.38±0.01 ^{Ab}	1.69±0.01 ^{Ac}
	13	2.35±1.00 ^{Aa}	3.41±1.17 ^{Aa}	2.84±0.05 ^{Ab}
b*	0**	4.80±0.01 ^{Abc}	4.80±0.01 ^{Aa}	4.80±0.01 ^{Ab}
	1	9.31±1.89 ^{Aa}	8.44±0.61 ^{Aa}	9.05±0.99 ^{Aa}
	4	3.72±0.90 ^{Ac}	6.97±3.16 ^{Aa}	7.29±0.20 ^{Aba}
	7	5.28±0.50 ^{Abc}	9.01±2.56 ^{Aa}	8.38±0.30 ^{Aa}
	10	8.25±0.81 ^{Aba}	8.91±0.61 ^{Aa}	6.26±0.92 ^{Aba}
	13	6.31±1.15 ^{Abac}	4.15±1.16 ^{Aa}	4.77±1.96 ^{Ab}

*Ortalama ± Standart hata

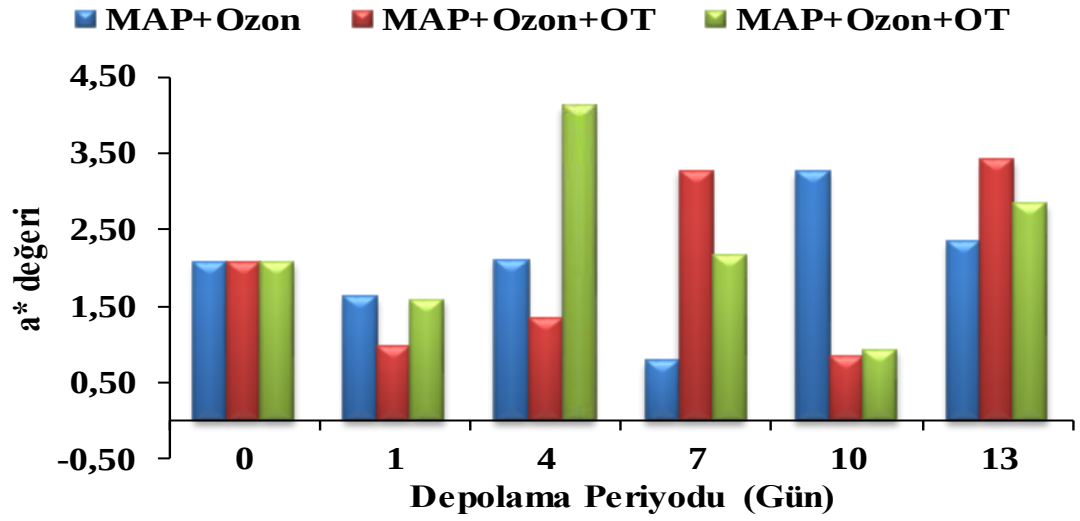
** Başlangıçta hammadde olarak kullanılan tavuk göğüs etlerinde belirlenmiştir.

A-C: Aynı satırda ve aynı periyotta farklı harfleri taşıyan ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)

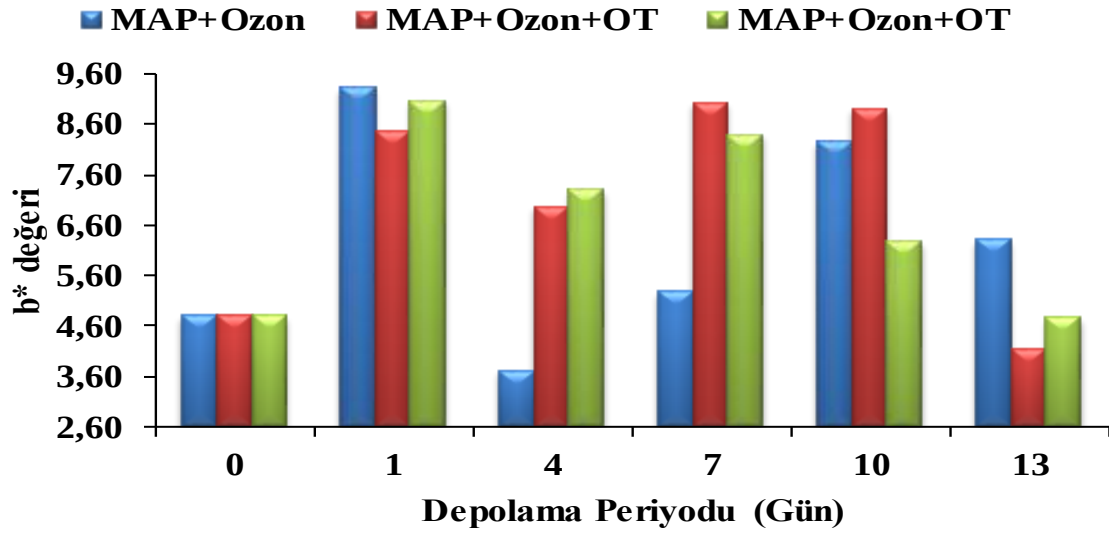
a-c: Aynı sütunda ve aynı grupta farklı harfleri taşıyan periyot ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05)



Şekil 4.15 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince CIE L* değerleri değişimi



Şekil 4.16 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince CIE a* değerleri değişimi



Şekil 4.17 Modifiye atmosferde ambalajlanan ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince CIE b* değerleri değişimi

Çalışmadan elde edilen bulgulara paralel olarak Cho vd. (2014), ozon gazına maruz bırakılmış sığır etinde 4°C’de 3 gün boyunca L* değerinin önemli ölçüde etkilenmediğini belirtmişlerdir. Ancak, ozon gazı uygulanmış etlerin kontrol grubuna göre daha düşük a* ve b* değerlerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Muhsilin vd. (2015), tavuk göğüs eti filetolarında ozon gazı uygulamasının soğuk depolamanın 2. gününe kadar L* ve b* değerlerinde bir değişime yol açmadığı, bununla birlikte, 3. günde L* değerinde önemli ölçüde düşüş, b* değerinde ise artış olduğu bildirilmiştir. Ozon gazı uygulaması tavuk göğüs etlerinin a* değerinde depolama süresince önemli bir değişime neden olmamıştır. Ozon ve diğer reaktif oksijen türleri etlerde renk pigmenti olan miyogloblin oksidasyonunda etkili bileşiklerdir. Myogloblinin oksidasyonu sonucu kırmızı ete özgü oksimiyoglobin ya da miyoglobinden metmyoglobin oluşumuyla renk arzu edilmeyen kahverengine dönüşmektedir (Mancini ve Hunt 2005). Tavuk göğüs eti miyogloblin içeriğinin düşük olması nedeniyle beyaz kas olarak adlandırılır (Judge vd. 1989). Literatürde ve çalışmada materyal olarak kullanılan tavuk göğüs etinin düşük myoglobin içeriğinden dolayı a* değerlerinin etkilenmediğini söylenebilir.

5. SONUÇ

Çalışmada, oksijen tutucu kullanımının, ozonlu su muamelesinin ve modifiye atmosferde ambalajlamanın kombine kullanımının soğukta muhafaza edilen tavuk göğüs etlerinde fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalite özelliklerindeki değişimler üzerine etkisi incelenerek, bu uygulamaların ürün raf ömrüne etkisi belirlenmiştir.

Bazı grupların pH değerindeki değişim her ne kadar istatistiksel olarak önemli bulunsa da genel olarak değerlendirildiğinde ozon uygulamasının ve oksijen tutucu kullanımının pH değerlerinde anlamlı bir değişime neden olmadığı gözlenmiştir.

Kontrol grubunun TAMB sayısı dikkate alındığında kabul edirlilik üst sınırına 4. günde ulaştığı, MAP+Ozon uygulanmış gruplar ile MAP+Ozon+Oksijen tutucu kullanılmış gruplarda ise kabul edirlilik üst sınırı 7. günde aşıldığı tespit edilmiştir. Ozon uygulamasının, daha düşük seviyede mikrobiyal gelişime sebep olduğu ve çalışmada ozonlu su uygulamasının özellikle depolamanın ilk günlerinde etkili olduğu görülmüştür. Genel olarak ozon uygulanmış grupların TAPB, LAB ve *Enterobacteriaceae* sayılarının Kontrol grubundan daha düşük olduğu, oksijen tutucu kullanımının etkisinin ise en belirgin olarak depolamanın son periyotlarında *Enterobacteriaceae* sayısı üzerinde görüldüğü saptanmıştır. Soğukta muhafaza süresince ozon uygulaması ve oksijen tutucu kullanımının depolama sonundaki mikrobiyal yükünü azaltma yönünde olumlu sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Çalışmada, ozon uygulanan örneklerde TBA değeri göğüs etlerinde Kontrol grubu depolamanın son periyodu olan 13. güne kadar ozon uygulanmış gruplardan daha düşük TBA değeri göstermekle birlikte, oksijen tutucu kullanımı bu periyotta etkisini göstermiş ve diğer iki gruptan daha düşük TBA değerine sebep olmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde oksijen tutucu kullanımının lipid oksidasyonunu baskılayıcı etkisinin beklenen düzeyde olmadığı söylenebilir.

Tavuk göğüs etlerine ozonlu su uygulaması enstrümental L*, a* ve b* değerleri üzerinde olumsuz bir etki oluşturmamıştır.

Et ve et ürünleri gibi kolay bozulabilen gıdaların depolanmasında kullanılan en etkin yöntemlerden birisi olan soğukta muhafaza ile birlikte gıdaların tazeliğinin daha uzun süre korunmasını sağlamak için ambalajlama teknikleri de etkili olmaktadır. Et ve et ürünlerinin ambalajlanmasında kullanılan MAP yöntemi, soğuk koşullar altında raf ömrünü olumlu yönde etkilemekte ve daha uzun süre muhafaza edilmesini sağlamaktadır. MAP yönteminde ambalaj içerisinde oksijen tutucu kullanımıyla oksijen miktarı en düşük seviyelere düşmekte ve birçok istenmeyen reaksiyonun oluşması engellenmektedir. Bununla birlikte bir diğer koruma yöntemi olan ozon uygulaması kanatlı etlerinde herhangi bir olumsuz değişikliklere yol açmadığı gibi raf ömrü üzerine de olumlu etkilerinden dolayı önerilen yöntemler arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, ozon uygulamasının ve oksijen tutucu kullanımının modifiye atmosferde ambalajlama uygulamasıyla birlikte soğukta muhafazasının genel olarak mikrobiyal gelişimi baskıladığı, lipit oksidasyonunu geciktirdiği ve ürün renk özelliklerinin olumsuz yönde etkilemediği belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular ışığında, sulu ozonun 10 ppm düzeyinde kullanımının mikrobiyal ve kimyasal özellikler üzerine etkisi göz önünde bulundurulduğunda, gelecekte farklı oksijen absorplama kapasitesine sahip oksijen tutucular kullanılarak tavuk etinin farklı primer parçalarında oksidatif değişimlerin kontrol altına alınması yönünde çalışmaların yapılması önerilmektedir. Böylece, en uygun doz, uygulama süresi ve oksijen tutucu miktarına göre belirlenen etkili ozon uygulaması yöntemini kanatlı endüstrisine uyarlamak mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abe, Y. and Kondoh, Y. 1989. Oxygen absorbers. In A. L. Brody (Ed.), Controlled Modified Atmosphere, Vacuum Packaging Of Foods. Trumbull, Connecticut: Food and Nutrition Press, 149–158.
- Abe, Y. and Kondoh, Y. 1996, Absorbentes de oxígeno, Envasado de Alimentos en Atmo'sferas Controladas, Modificadas ya Vacío, edited by A. L. Brody (Zaragossa: Acribia), 175–186.
- Achen, M. and Yousef, A.E. 2001. Efficacy of ozone against *Escherichia coli* O157:H7 on apples. J. Food Science, 66, 1380–1384.
- Adler, G.A. and Hill, G.R. 1984. Kinetics and mechanism of hydroxide ion catalyzed ozone decomposition in aqueous solution. J. Am. Chem. Soc., 72, 1950.
- Aguayo, E., Escalona, V.H. and Artes, F. 2006. Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical, sensorial and microbial quality of whole and sliced tomatoes. Postharvest Biol Technol., 39, 169–177.
- Akbaş, M.Y. and Ölmez, H. 2007. Effectiveness of organic acid, ozonated water and chlorine dippings on microbial reduction and storage quality of fresh-cut iceberg lettuce. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87, 2609-2616.
- Al-Dughaym, A.M. and Altabari, G.F. 2010. Safety and quality of some chicken meat products in Al Ahsa markets Saudi Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences, 17, 37–42.
- Al Haddad, K.S.H. and Robinson, R.K. 2003. The potential application of HACCP to broiler production units in the Arabian Gulf: A Review. Journal of Food Technology, 1(4), 194-199.
- Al-Haddad, K.S.H., Al-Qassemi, R.A.S. and Robinson, R.K. 2004. The use of gaseous ozone and gas packaging to control populations of *Salmonella infantis* and *Pseudomonas aeruginosa* on the skin of chicken portions. Food Contr., 16, 405–410.
- Alzoreky, N.S. and Nakahara, K. 2003. Antimicrobial activity of extracts from some edible plants commonly consumed in Asia. International Journal of Food Microbiology, 80, 223-230.
- Andrews, C.C. and Murphy, O.J. 2002. Generation and delivery device for ozone gas. US patent 6, 461-487.
- Anonim. 2000. Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. 2. Baskı, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda mühendisliği Bölümü, Ankara.

- Anonim. 2016. Web Sitesi: <http://www.besd-bir.org/istatistikler>, Erişim Tarihi: 11.12.2016.
- Anonymous. 1986. Microorganisms in foods. 2. Sampling for microbiological analysis: Principles and scientific applications (2nd ed.). Toronto: University of Toronto Press.
- Anonymous. 1990. Official methods of analysis. Association of official analytical chemists. IAC, Arlington, Virginia.
- Anonymous. 1995. Beverages: bottled water; final rule, food and drug admin. Fed. Regul., 60, 57075-57130.
- Anonoyous. 1998. *LT 1* Electrochemical ozone generator instruction's manual. College Station, TX, Lynntech Inc.
- Anonymous. 2000. Statistical analysis system, version 8.0. Cary, NC: SAS Institute.
- Anonymous. 2001. Hazard analysis and critical point (HACCP); procedures for the safe and sanitary processing and importing of juice; final rule. United States Food and Drug Administration. Fed. Reg., 66, 6137-6202.
- Anonymous. 2005a. FAQs on ozone. Food. Rev., 32(9), 43-44.
- Anonymous. 2005b. International commission on microbiological specifications for foods. Microorganisms in Foods 6. Microbial Ecology of Food Commodities. New York: Kluwer Academic and Plenum Publishers.
- Anonymous. 2011. 'Xeradex Vuv Xenon Excimer lamp'. Available from: http://www.osram.com/osram_com/Professionals/DisplayOptic_Lighting/Products/XERAD_EX-VUV-Xenon-Excimer-Lamps/index.html. Accessed:01.11.2011.
- Bablon, G., Bellamy, W.D., Bourbigot, M.M., Daniel, F.B., Doré, M., Erb, F., Gordon, G., Langlais, B., Laplanche, A., Legube, B., Martin, G., Masschelein, W.J., Pacey, G., Reckhow, D.A. and Ventresque, C. 1991. Fundamental aspects, in Langlais, G., Reckhow, D. A. and Brink, D. R., Ozone In Water Treatment Application and Engineering, Lewis Publishers, 11–132, Boca Raton, Florida.
- Balamatsia, C.C., Patsias, A., Kontominas, M.G. and Savvaidis, I.N. 2007. Possible role of volatile amines as quality indicating metabolites in modified atmosphere packaged chicken fillets: Correlation with microbiological and sensory attributes. Food Chemistry, 104, 1622–1628.
- Beggan, M., Allen, P. and Butler, F. 2006. Oxygen scavenger effect on the development of metmyoglobin on beefsteaks during early low oxygen storage. Journal of Muscle Foods, 17, 381–397.

- Ben-Yehoshua, S., Fishman, S., Fang, D. And Rodov, V. 1994. New development in modified atmosphere packaging and surface coatings for fruits. ICIAR Proceedings. Aphnet.org: <http://www.aphnet.org/workshop/postharvest>
- Bhaisare, B.D., Thyagarajan, D., Churchill, D.R. and Punniamurthy N. 2014. A Review: Bacterial pathogens in chicken meat. *International Journal of Life Sciences Research*, 2(3), 1-7.
- Bolder, N.M. 1997. Decontamination of meat and poultry carcasses. Review. *Trends in Food Science and Technology*, 8, 221-227.
- Boyce, D.S., Sproul, O. J. and Buck, C. E., 1981. The effect of bentonite clay on ozone disinfection of bacteria and viruses in water. *Water Res.*, 15, 759-767.
- Brandon, K., Beggan, M., Allen, P. and Butler, F. 2009. The performance of several oxygen scavengers in varying oxygen environments at refrigerated temperatures: Implications for low oxygen modified atmosphere packaging of meat. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 188–196.
- Burleson, G.R., Murray, T.M. and Pollard, M. 1975. Inactivation of viruses and bacteria by ozone with and without sonication. *Appl. Microbiol.*, 29, 340-344.
- Byrd, J.A., Sams, A.R., Hargis, B.M. and Caldwell, D.J. 2011. Effect of selected modified atmosphere packaging on *Campylobacter* survival in raw poultry. *Poultry Science*, 90, 1324–1328.
- Cantalejo, M.J., Zouaghi, F. and Perez-Arnedo, I. 2016. Combined effects of ozone and freeze-drying on the shelf-life of broiler chicken meat. *LWT-Food Science and Technology*, 68, 400-407.
- Cárdenas, F.C., Andres, S., Giannuzzi, L. and Zaritzky, N. 2011. Antimicrobial action and effects on beef quality attributes of a gaseous ozone treatment at refrigeration temperatures. *Food Control*, 22, 1442–1447.
- Carlins, J.J. and Clark, R.G. 1982. Ozone generation by corona discharge, in Rice R Gand Netzer A, *Handbook of Ozone Technology and Applications*, Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science, 1, 41–76.
- Castillo, A., Mckenzie, K.S., Lucia, L.M. and Acuff, G.R. 2003. Ozone treatment for reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium on beef carcass surfaces. *J. Food Prot.*, 66, 775–779.
- Chawla, A.S. 2006. Application of ozonated water technology for improving quality and safety of peeled shrimp meat. Master thesis, Baton Rouge, 99, Louisiana State University, LA.
- Chawla, A., Bell, J.W. and Janes, M.E. 2007. Optimization of ozonated water treatment of wild caught and mechanically peeled shrimp meat. *J. Aquat. Food Prod. Tech.*, 16(2), 41–56.

- Cho, Y., Muhlisin, Choi, J.H., Hahn, T.W., and Lee, S.K. 2014. Effect of gaseous ozone exposure on the bacteria counts and oxidative properties of ground hanwoo beef at refrigeration temperature. *Korean J. Food Sci. An.*, 34(4), 525-532.
- Chouliara, E., Karatapanis, A., Savvaidis, I. and Kontominas, M.G. 2007. Combined effect of oregano oil and modified atmosphere packaging on shelf-life extension of fresh chicken breast meat, stored at 4°C. *Food Microbiology*, 24, 607-617.
- Chouliara, E. and Kontominas, M.G. 2013. Combined effect of essential oils and nişin on shelf life extension of chicken meat stored at 4°C. In M.G. Kontominas (Ed.), *Food Analysis and Preservation*. Point Pleasant: Apple Academic Press Inc. Current research topics, 115-127.
- Church, I.J. and Parsons, A.L. 1995. Modified atmosphere packaging technology: A Review. *J. Sci. Food Agric.*, 67, 143-152.
- Davies, A.P. 1995. Advances of MAP. In G.W. Gould (Ed.), *New Methods of Food Preservation*, 304-320, Glasgow, Blackie.
- Day, B.P.E. 1996. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce. *Postharvest News and Information*, 7(3), 31-34.
- Demirhan 2012. Oksijen tutucular kullanılarak modifiye atmosferde paketlenen tavuk etlerinde kalite değişimleri. *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği AnaBilim Dalı, 174, Ankara.
- Devlieghere, F., Vermeiren, L. and Debevere, J. 2004. New preservation technologies: Possibilities and limitations: A Review. *International Dairy Journal.*, 14, 273–285.
- Dilley, D.R. 1990. Historical aspects and perspectives of controlled atmosphere storage. In M. Calderoan and R. Barkai-Golan (eds), *Food Preservation by Modified Atmospheres*, CRC Press, 187-196, Boca Raton, FL.
- Dohan, J.M. and Masschelein, W.J. 1987. Photochemical generation of ozone presentstate of the art. *Ozone Sci. Eng.*, 9, 315–334.
- Doherty, A.M. and Allen, P. 1998. The effect of oxygen scavengers on the colour stability and shelf life of CO₂ packaged pork. *Journal of Muscle Foods*, 9, 351–363.
- Duron, B. 1982. Ozone generation by corona discharge, in Rice R.G. and Netzer A, *Handbook of Ozone Technology and Applications*. Ann Arbor, MI, AnnArbor Science, 9, 1, 41–76.
- Eliasson, B. and Kogelschatz, U. 1991. Ozone generation with narrow-band UV radiation. *Ozone Sci. Eng.*, 13(3), 365–373.

- Emerson, M.A., Sproul, O.J. and Buck, C.E. 1982. Ozone inactivation of cell-associated viruses. *Appl. Environ. Microbiol.*, 43, 603-608.
- Anonymous. 1991. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual. Available from <http://www.watercache.com/docs/ozone-uv.pdf>. Accessed: 29.12.2005.
- Ewell, A.W. 1946. Recent ozone investigation. *J. Appl. Physics.*, 17, 908-911
- Fair, G.M., Geyer, J.C. and Okun, D.A. 1968. *Waste and wastewater engineering. Vol. 2: Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal.* John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Farber, J.M. 1991. Microbiological aspects of modified atmosphere packaging technology: A Review. *Journal of Food Protection*, 94, 58-70.
- Farooq, S. 1977. The effect of ozone bubbles on disinfection. *Ozone Sci. Eng.*, 9(2), 233.
- Floros, J.D., Dock, L.L. and Han, J.H. 1997. Active packaging technologies and applications. *Food Cosmetics and Drug Packaging*, 20, 10-17
- Floros, J.D. and Matsos, K.I. 2005. Introduction to modified atmosphere packaging. In H. H. Jung (Ed.), *Innovations In Food Packaging*, 159–172, London.
- Garcia, A., Mount, J.R. and Davidson, P.M. 2003. Ozone and chlorine treatment of minimally processed lettuce. *J. Food Sci.*, 68, 2747–2751.
- Geering, F. 1999. Ozone applications the state of the art in Switzerland. *Ozone Sci. Eng.*, 21(2), 187–200.
- Georgantelis, D., Ambrosiadis, I., Katikou, P., Blekas, G. and Georgakis, S.A. 2007. Effect of rosemary extract, chitosan and a tocopherol on microbiological parameters and lipid oxidation of fresh sausages stored at 4°C. *Meat Science*, 76, 172-181.
- Gill, C.O., Harrison, J.C.L. and Penney, N. 1990. The storage life of chicken carcasses packaged under carbondioxide. *Int. J. Food Microbiol.*, 11(2), 151-157.
- Gill, C.O. and McGinnis, J.C. 1995. The use of oxygen scavengers to prevent the transient discoloration of ground beef packaged under controlled, oxygen depleted atmospheres. *Meat Science*, 41, 19–27.
- Gill, C.O. 1996. Extending the storage life of raw chilled meats. *Meat Science*, 43, 99–109.
- Glaze, W.H. 1987. Drinking water treatment with ozone. *Environ. Sci. Technol.*, 21, 224-230.

- Glaze, W.H. and Kang, J.W. 1988. Advanced oxidation processes for treating ground water contaminated with TCE and PCE: Laboratory Studies. *Am Water Works Assoc. J.*, 88(5), 57- 63.
- Gorman, B.M., Morgan, J.B., Sofos, J.N. and Smith, G.C. 1995. Microbial and visual effects of trimming and/or spray washing for removal of fecal material from beef. *J. Ford Prot.*, 58, 984-989.
- Gorris, L.G.M. and Peppelenbos, H.W. 1992. Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products. *Hort. Technol.*, 2(3), 303-309.
- Greene, A.K., Few, B.K. and Serafini, J.C. 1993. A comparison of ozonation and chlorination for the disinfection of stainless steel surfaces. *J. Dairy Sci.*, 76, 3617-3620.
- Gregory, N.G. 2010. How climatic changes could affect meat quality. *Food Research International*, 43, 1866–1873.
- Grimes, H.D., Perkins, K.K. and Boss, W.F. 1983. Ozone degrades into hydroxyl radical under physiological conditions: a spin trapping study. *Plant Physiology*, 72, 1016–1020.
- Güzel-Seydim, Z.B., Greene, A.K. and Seydim, A.C. 2003. Use of ozone in the food industry. *Swiss Soc. of Food Sci. and Tech.*, 37, 453–460.
- Gyurek, L.L., Hanbin, L., Belosevic, M. and Finch, G.B. 1999. Ozone inactivation kinetics of *Cryptosporidium* in phosphate buffer. *J. Environ. Eng.*, 125, 913-924.
- Harakeh, M.S. and Butler, M. 1984. Factors influencing the ozone inactivation of Enteric viruses in effluent. *Ozone Sci. Eng.*, 6, 235-243.
- Henig, Y.S. and Gilbert, S.G. 1975. Computer analysis of the variables affecting respiration and quality of produce packaged in polymeric films. *J. Food Sci.*, 40, 1033-1035.
- Hoigné, J. and Bader, H. 1975. Ozonation of water role of hydroxyl radicals as oxidizing intermediates. *Science*, 190, 782–784.
- Hoigné, J. and Bader, H. 1977. The role of hydroxyl radical reactions in ozonation processes in aqueous solutions. *Water Res.*, 10, 377-386.
- Hoigné, J. and Bader, H. 1983a. Rate constants of reaction of ozone with organic and inorganic compounds in water-I. non-dissociating organic compounds. *Water Res.*, 17, 173- 183.
- Hoigné, J. and Bader, H. 1983b. Rate constants of reaction of ozone with organic and inorganic compounds in water-II. dissociating organic compounds. *Water Res.*, 17, 185-194.

- Hoigné, J. and Bader, H. 1985. Rate constants of reactions of ozone with organic and inorganic compounds in water. III: Inorganic compounds and radicals. *Water Res.*, 19-993.
- Horváth, M., Bilitzky, L. and Huttner, J. 1985. Field of utilization of ozone, in R. J. H. Clark (ed.), *Ozone*. Elsevier Science Publishing, 257-316, New York.
- Hunt, N.K. and Marinas, B. J., 1997. Kinetics of *Escherichia coli* inactivation with ozone. *Water Res.*, 31, 1355-1362.
- Hurme, E. and Ahvenainen, R. 1998. Active and smart packing of food of food. Technical report VTT, Finland.
- Iacumin, L. ,Manzano, M. and Comi, G. 2012. Prevention of *Aspergillus ochraceus* growth on and Ochratoxin a contamination of sausages using ozonated air. *Food Microbiology*, 29(2), 229-232.
- Irtwange, S.V. 2006. Application of modified atmosphere packaging and related technology in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Agricultural Engineering International: The CIGR E. Journal*. Invited Overview No., 4, VIII, February 2006.
- Isdell, E., Allen, P., Doherty, A. and Butler, F. 2003. Effect of packaging cycle on the colour stability of six beef muscles stored in a modified atmosphere mother pack system with oxygen scavengers. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 623–632.
- Isenberg, F.M.R. 1979. Controlled atmosphere storage of vegetables. In J Janick (ed.), *Horticultural Reviews*, AVI Publishing, 1, 337-394, Westport, CT.
- Jaksch, D., Margesin, R., Mikoviny, T., Skalny, J. D., Hartungen, E., Schinner, F., Mason, N. J. and Märk, T. D. 2004. The effect of ozone treatment on the microbial contamination of pork meat measured by detecting the emissions using PTR-MS and by enumeration of microorganisms. *International Journal of Mass Spectrometry*, 239, 209-214.
- Jeong, J., Sekiguchi, K., Lee, W. and Sakamoto, K. 2005. Photodegradation of gaseous volatile organic compounds (VOCs) using TiO₂ photoirradiated by an ozone-producing UV lamp: decomposition characteristics identification of by-products and water-solubleorganic intermediates. *J. Photochem Photobiol.: A. Chem.*, 169, 279–287.
- Jeong, J.Y., Kim, C.R., Kim, K.H., Moon, S.J., Kook, K. and Kang, S.N. 2007. Microbial and physiochemical characteristics of pork loin cuts treated with ozone gas during storage. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 27(1), 80-86

- Jongberg, S., Wen, J., Tørngren, M.A. and Lund, M.N. 2014. Effect of high-oxygen atmosphere packaging on oxidative stability and sensory quality of two chicken muscles during chill storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 1(1), 38–48.
- Judge, D.M., Aberle, E.D., Forrest, J.C., Hendrick, H.B. and Merkel, R.A. 1989. *Principles of Meat Science*, Kendall/Hunt Publishing, 2nd Ed., 125–133, Dubuque, IA.
- Kader, A.A. 1980. Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmosphere. *Food Technol.*, 34(3), 51.
- Kader, A.A. 1987. Respiration and gas exchange of vegetables. In J Weichmann (ed.), *Postharvest Physiology of Vegetables*, Marcel Dekker, 25-43, New York.
- Kaess, G. and Weidemann, J.F. 1968. Ozone treatment of chilled beef. I. Effect of low concentrations of ozone on microbial spoilage and surface colour of beef. *J. Food Technol.*, 3, 325–334.
- Kaothien, P., Jhala, R., Dave, R., Julson, J.L., Muthukumarappan, K. and Henning D. 2001. Effectiveness of ozone for controlling *Listeria monocytogenes* in ready to eat-cured ham presented at the 23-27 June 2001. *Inst. of Food technology. Ann Meeting*, New orleans, LA.
- Karaca, H. 2010. Ozonlamanın marul, ıspanak ve maydanozlarda mikrobiyel inaktivasyon ve raf ömrü üzerine etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 101, Ankara.
- Katzenelson, E. 1974. Inactivation Kinetics of viruses and bacteria in water by use of ozone. *Am Water Works Assoc. J.*, 66, 725-729.
- Katzenelson, E. and Biedermann, N., 1976. Disinfection of viruses in sewage by ozone. *Water Res.*, 10, 629-631.
- Ketteringham, L., Gausseres, R., James, S. J. and James, C. 2006. Application of aqueous ozone for treating pre-cut green peppers (*Capsicum annuum* L). *J. Food Eng.*, 76, 104–111.
- Khadre, M.A., Yousef, A.E. and Kim, J.G., 2001. Microbiological aspects of ozone applications in food: A Review. *J. Food Sci.*, 66(9), 1241-1252.
- Kim, J.G. 1998. Ozone as an antimicrobial agent in minimally processed food. PhD. thesis, Ohio State University, 225, Columbus, OH.
- Kim, J.G., Yousef, A.E. and Dave, S. 1999. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review. *J. Food Prot.*, 62(9), 1071-1087.
- Kim, J.G., Yousef, A.E. and Khadre, M.A. 2003. Ozone and its current and future application in the food industry. *Adv. Food Nutr. Res.*, 45, 167–218.

- Kim, Y.H., Huff-Lonergan, E., Sebranek, J.G., and Lonergan, S.M. 2010. High-oxygen modified atmosphere packaging system induces lipid and myoglobin oxidation and protein polymerization. *Meat Sci.*, 85, 759-767.
- Kinman, R.N. 1975. Water and Wastewater Disinfection with Ozone: A Critical Review. *Crit. Rev. Environ. Contr.*, 5, 141-152.
- Koidis, P., Bori, M. and Vareltsis, K. 2000. Efficacy of ozone treatment to eliminate *Salmonella enteritidis* from egg shell surface. *Archiv für Lebensmittelhygiene*, 51(1), 4-6.
- Kolsarıcı, N. and Candoğan, K. 1995. The effects of potassium sorbate and lactic acid on the shelf-life of vacuum-packed chicken meats. *Processing and Products*, 1884-1893.
- Kolsarıcı, N., Ensoy, Ü., Candoğan, K. and Üzümcüoğlu, Ü. 2004. Soğuk ve donmuş depolamanın mekanik ayrılmış tavuk etlerinin mikrobiyolojik kalitesine etkisi. Türkiye 8. Gıda Kongresi, 26-28 Mayıs, Bursa.
- Kondratowicz, J., Chwastowska, I., Matusevičius, P., Gardzielewska, J. and Skibniewska, K. 2006. Effect of the packaging method on the sensory and microbiological properties of broiler chicken breast muscles stored in controlled atmosphere. *Veterinarija ir zootechnika*, 33(55), 47-51.
- Kruijf, N.D., Beest, M.V., Rijk, R., Sipilainen, M.T., Paseiro, L.P. and Meulenaer, B.D. 2002. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. *Food Additives and Contaminants*, 19, 144-162.
- Labuza, T.P. 1987. Oxygen scavenger sachets. *Food Res.*, 32, 276-277.
- Lagaro'n, J.M., Catalá, R. and Gavara, R. 2004. Structural characteristics defining high barrier properties in polymeric materials. *Mater. Sci. Technol.*, 20, 1-7.
- Leistner, L. 1995. Principles and applications of hurdle technology, in: Gould, G.W. (Ed.), *New Methods of Food Preservation*. Blackie Academic and Professional, 1-21.
- Lerasle, M., Federighi, M., Simonin, H., Anthoine, V., Rezé, S., Chéret, R. and Guillou, S. 2014. Combined use of modified atmosphere packaging and high pressure to extend the shelf-life of raw poultry sausage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 23, 54-60.
- Li, X., Lindahl, G., Zamaratskaia, G., and Lundstrom, K. 2012. Influence of vacuum skin packaging on color stability of beef longissimus lumborum compared with vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging. *Meat Sci.*, 92, 604-609.
- Lioutas, T.S. 1988. Challenges of controlled and modified atmosphere packaging: a food company's perspective. *Food Technol.*, 49, 78-86.

- Lin, Y.C. and Wu, S.C. 2006. Effects of ozone exposure on inactivation of intra- and extracellular enterovirus 71 Article (PDF Available) in Antiviral Research, 70(3), 147-53.
- López-Rubio, A., Almenar, E., Hernandez-Muñoz, P., Lagarón, J.M., Catalá, R. and Gavara R. 2004. Overview of Active Polymer-Based Packaging Technologies for Food Applications. Packaging Lab., Institute of Agrochemistry and Food Technology, 20(4), 357–387.
- López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D.I., Pastorelli, S., Rijk, R. and Paseiro-Losada, P. 2003. Evaluating the migration of ingredients from active packaging and development of dedicated methods: A study of two iron-based oxygen absorbers. Food Addit Contam., 20(3), 291-299.
- Lu Shengmin 2009. Effects of bactericides and modified atmosphere packaging on shelf-life of Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*). LWT, Food Sci. Technol., Mahajan, P.V., Oliveira, F. A. R., Montanez, J. C., Frias, J. 2007. Development of user friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. Innovative Food Sci. Emerging Technol., 8, 84-92.
- Mahajan, P.V., Oliveira, F.A.R., Montanez, J.C., Frias, J. 2007. Development of user-friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. Innovative Food Sci. Emerging Technol., 8, 84-92.
- Mancini, R.A. and Hunt, M.C. 2005. Current research in meat color: Review. Meat Sci., 80, 43-65.
- Martínez, L., Djenane, D., Cilla, I., Beltrán, J.A. and Roncale's, P. 2006. Effect of varying oxygen concentrations on the shelf-life of fresh porksausages packaged in modified atmosphere. Food Chemistry, 94, 219–225.
- McKee, L. 2007. Microbiological and sensory properties of fresh and frozen poultry. In L. M. L. Nollet (Ed.), Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality. London: Blackwell Publishing.
- Mexis, S.F., Chouliara, E. and Kontominas, M.G. 2012. Shelf life extension of ground meat using an oxygen absorber and a citrus extract. Food Science and Technology, 49, 21-27.
- Mills, A. 2005. Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food. Chemical Society Reviews, 34, 1003–1011.
- Mohan, O.C., Ravishankar, C. and Srinivasagopal, T.K. 2008. Effect of O₂ scavenger on the shelf-life of catfish (*Pangasius sutchi*) steaks during chilled storage. Journal of the Science of Food and Agriculture., 88, 442–448.

- Manousaridis, G., Nerantzaki, A., Paleologos, E.K., Tsiotsias, A., Savvaidis, I.N. and Kontominas, M.G. 2005. Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels. *Food Microbiol.*, 22, 1–9.
- Morris, J.C. 1975. Aspects of the Quantitative Assessment of Germicidal Efficiency. *Disinfection: Water and Wastewater*. J. D. Johnson (ed). Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, MI., 1.
- Muhlisin, Cho, Y. J., Cho, J. H., Hahn, T. W. and Lee, S. K. 2015. Bacterial counts and oxidative properties of chicken breast inoculated with *Salmonella* Typhimurium exposed to gaseous ozone. *Journal of Food Safety*, 35, 137–144.
- Muthukumarappan, K., Halaweish, F. and Naidu, A.S. 2000. Ozone. In: Naidu, A.S. (Ed.), *Natural Food Anti-Microbial Systems*. CRC Press, 783-800, Boca Raton, FL.
- Muthukumarappan, K., O'Donnell, C.P. and Cullen, P.J. 2008. Ozone utilization. *Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering*. Taylor and Francis Group, New York, USA.
- Muthukumarappan, M., O'Donnell, C.P. and Cullen, P.J., 2009. Ozone treatment of food materials. In: Jun, S., Irudayaraj, J.M. (Eds.), *Food Processing Operations Modeling Design and Analysis*. CRC Press Taylor and Francis Group, 263-280, Boca Raton, New York, NY.
- Nakamura, H. and Hoshino, J. 1983. Techniques for the preservation of food by employment of an oxygen absorber. Technical information Mitsubishi Gas Chemical Co., Ageless Division, 1-45, Tokyo.
- Narasimha, R.D. and Sachindra, N.M. 2002. Modified atmosphere and vacuum packaging of meat and poultry products. *Food Reviews International*, 18(4), 263-293.
- Ntzimani, A.G., Giatrakou, V.I. and Savvaidis, I.N. 2010. Combined natural antimicrobial treatments (EDTA, lysozyme, rosemary and oregano oil) on semicooked coated chicken meat stored in vacuum packages at 4°C: Microbiological and sensory evaluation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 187–196.
- Parry, R.T. 1993. Principles and Application of Modified Atmosphere Packaging of Food. In RT Parry (ed.), 1-18, Blackie, Glasgow, UK.
- Pascual, A., Llorca, I. and Canut, A. 2007. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends Food Sci. Technol.*, 18, 29-35.
- Payne, S.R., Durham, C.J., Scott, S.M. and Devine, C.E. 1998. The effects of non-vacuum packaging systems on drip loss from chilled beef. *Meat Science*, 49, 277–287.

- Patil, S., Bourke, P., Frias, J.M., Tiwari, B.K. and Cullen, P.J. 2009. Inactivation of *Escherichia coli* in orange juice using ozone. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 10, 551-557.
- Patsias, A., Chouliara, I., Badeka, A., Savvaidis, I.N., and Kontominas, M.G. 2006. Shelf-life of a chilled precooked chicken product stored in air and under modified atmospheres: Microbiological, chemical, sensory attributes. *Food Microbiology*, 23(5), 423–429.
- Patsias, A., Badeka, A.V., Savvaidis, I.N., and Kontominas, M.G. 2008. Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets. *Food Microbiology*, 25(4), 575–581.
- Pekarek, S. 2008. DC corona ozone generation enhanced by TiO₂ photocatalyst. *European Physics. J. D.*, 50, 171-175.
- Perlo, F., Bonato, P., Teira, G., Fabre, R. and Kueider, S. 2006. Physicochemical and sensory properties of chicken nuggets with washed mechanically deboned chicken meat: Research note. *Meat Science*, 72, 785–788.
- Perry, J.J, Rodriguez-Romo, L.A. and Yousef, A.E. 2008. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar enteritidis in shell eggs by sequential application of heat and ozone. *Letters Applied Microbiology*, 46, 620–625.
- Perry, J.J. 2010. Ozone based treatments for inactivation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in shell eggs. PhD thesis, Columbus, OH, Ohio State University.
- Phillips, C.A. 1996. Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce. *International Journal of Food Science and Technology*, 31, 463–479.
- Pooni, G.S. and Mead, G.C. 1984. Prospective use of temperature function integration for predicting the shelf life of non-frozen poultry, meat products. *Food Microbiology*, 1, 67-78.
- Reagan, J.O., Acuff, G R., Buege, D.R., Buyck, M.J., Dickson, J.S., Kastner, C.L., Marsden, J.L., Morgan, J.B., Nickelson II, R., Smith, G.C. and Sofos, J.N. 1996. Trimming and washing of beef carcasses as a method of improving the microbiological quality of meat. *Journal of Food Protection*, 59, 751-756.
- Rennecker, J.L., Marinas, B.J., Owens, J.H. and Rice, E.W. 1999. Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts with ozone. *Water Res.*, 33, 2481-2488.
- Rennie, T.J. and Tavoularis, S. 2009. Perforation mediated modified atmosphere packaging Part I. Development of a mathematical model postharvest biology and technology, 51, 1–9.

- Restaino, L., Frampton, E.W., Hemphill, J.B. and Palnikar, P. 1995. Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61(9), 3471-3475.
- Rice, R.G., Bollyky, L.J. and Lacy, W.J. 1982. Analytical aspects of ozone treatment of water and wastewater. Lewis Publisher, 7–26, Boca Raton, FL.
- Rice, R.G. 2001. Century 21 – Pregnant With Ozone, in Proceedings of the 15th Ozone World Congress, London, UK, 11th–15th September 2001, Volume I (IOA 2001, Ed.), Speedprint MacMedia Ltd, Ealing, 1–19, London, UK
- Rodriguèz-Romo, L.A. and Yousef, A.E. 2005. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis on shell eggs by ozone and UV radiation. *J. Food Prot.*, 68, 711–717.
- Rooney, M.L. 1995. Active packing in polymer films, In Rooney M.L., Active Food Packing. Academic and Professional, 74-110, Blackie, London.
- Russell, S.M., Fletcher, D.L. and Cox, N.A. 1996. Spoilage bacteria of fresh broiler chicken carcasses. *Poultry Science*, 75, 2041–2047.
- Sacco, A. 2009. Introduction to Ozone Generation Techniques Corona, UV and Electrochemistry. <http://ezinearticles.com/?Introduction-to-Ozone-Generation-Techniques-Corona,-UV-andElectrochemistry&id=51686734>. Accessed:18.03.2010.
- Sagoo, S., Board, R. and Roller, S. 2002. Chitosan inhibits growth of spoilage microorganisms in chilled pork products. *Food Microbiology*, 19, 175-182.
- Salvermoser, M., Murnick, D.E., and Kogelschatz, U. 2008. Influence of water vapor on photochemical ozone generation with efficient 172 nm xenon excimer lamps. *Ozone Sci. Eng.*, 30, 228–237.
- Santos, H.C., Brandelli, A. and Ayub, M.A.Z. 2004. Influence of postmortem aging in tenderness of chicken breast fillets. *Ciencia Rural Santa Maria*, 34(3), 905–910.
- Selma, M.V., Beltran, D., Chacon-Vera, E. and Gil, M.Í. 2006. Effect of ozone on the inactivation of *Yersinia enterocolitica* and the reduction of natural flora on potatoes. *J. Food Prot.*, 69, 2357–2363.
- Selma, M.V., Beltran, D., Allende, A., Chacon-Vera, E. and Gil, M. 2007. Elimination by ozone of *Shigella sonnei* in shredded lettuce and water. *Food Microbiol.*, 24, 492-499.
- Sharma, R.R., Demirci, A., Beuhat, L.R. and Fett, W.F. 2003. ‘Application of ozone for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on inoculated alfalfa sprouts. *J. Food Proc. Pres. Res.*, 27, 52–64.

- Sheldon, B.W. and Brown, A.L. 1986. Efficacy of ozone as a disinfectant for poultry carcasses and chiller water. *J. Food Sci.*, 51, 305–309.
- Shin, J., Harte, B., Ryser, E. and Selke, S. 2010. Active packaging of fresh chicken breast, with allyl isothiocyanate (AITC) in combination with modified atmosphere packaging (MAP) to control the growth of pathogens. *Journal of Food Science*, 75(2), 65-71.
- Silliker, J.H. and Wolfe, S.K. 1980. Microbiological safety considerations in controlled atmosphere storage of meats. *Food Technology*, 34, 59–63.
- Sivakumar, D., Korsten, L. and Zeeman, K. 2007. Postharvest management on quality retention of litchi during storage. *Fresh Produce*, 1(1), 66-75.
- Skandamis, P.N. and Nychas, G.J.E. 2002. Preservation of fresh meat with active and modified atmosphere packaging conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 79, 35-45.
- Smith, J.P., Ramaswamy, H.S. and Simpson, B.K. 1990. Developments In Food Packaging Technology. Part 2: Storage aspects. *Trends in Food Science and Technology*, 11, 111–118.
- Smith, J.P., Hoshino, J. and Abe, Y. 1995. Interactive packaging involving sachet technology. In: *Active Food Packaging* (edited by M.L. Rooney), 143–173. London: Blackie Academic and Professional.
- Smock, R.M. 1979. Controlled atmosphere storage of fruits. In J Janick (ed.), *Horticultural Reviews*, AVI Publishing, 1, 301-336, Westport, CT.
- Spencer, K.C. 2005. Modified atmosphere packaging of ready-to-eat foods Chapter 12, *Innovations in Food Packaging*, 185–201.
- Staehelin, J., Bühler, R.E. and Hoigné, J. 1984. Ozone decomposition in water studies by pulse radiolysis. 2OH and HO_4 as Chain Intermediates. *J. Phys. Chem.*, 88, 5999-6004.
- Stivarious, M.R., Pohlman, F.W., McElyea, K.S. and Apple, J.K. 2002. Microbial, instrumental color and sensory color and odor characteristics of ground beef produced from beef trimmings treated with ozone or chlorine dioxide. *Meat Science*, 60, 299–305.
- Tarladgis, B., Watts, B.M. and Yonathan, M., 1960. Distillation method for determination of malonaldehyde in rancid food. *Journal of American Oil Chemistry Society*, 37(1), 44–48.
- Tewari, G., Jayas, D.S., Jeremiah, L.E. and Holley, R.A. 2001. Prevention of transient discoloration of beef. *Journal of Food Science*, 66, 506–510.

- Thippareddi, H. and Phebus, R.K. 2007. Modified atmosphere packaging (MAP): Microbial control and quality. *Pork Inf. Factsheet*, 12, 1-5.
- Tomiyasu, H., Fukutomi, H. and Gordon, G. 1985. Kinetics and mechanism of ozone decomposition in basic aqueous solution. *Inorg Chem.*, 24(19), 2962-2966.
- Totosaus, A., Pe'rez-Chabela, M.L. and Guerrero, I. 2007. Color of fresh and frozen poultry. In L. M. L. Nollet (Ed.), *Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality*. London: Blackwell Publishing.
- Tsigarida, E. and Nychas, G.J.E. 2001. Ecophysiological attributes of a *Lactobacillus* spp. and a *Pseudomonas* spp. on sterile beef fillets in relation to storage temperature and film permeability. *Journal of Applied Microbiology*, 90, 696–705.
- Xu, L. 1999. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables. *Food Technol.*, 53 (10), 58-63.
- Uradzi'nski, J., Wysok, B., Bielicki, Z., and Gomólka-Pawlicka, M. 2005. Ozonation as an alternative method of disinfecting knives for use in meat processing. *B. Vet. I. Pulawy*, 49, 399-402.
- Vaughn, J.M., Chem, Y.S., Lindburg, K. and Morales, D. 1987. Inactivation of Human and Simian Rotaviruses by Ozone. *Appl Env Microbiol.*, 53, 2218-2221.
- Velaco, R.M., Uribe, F.J. and Perez-Chavala 2008. Stratospheric ozone dynamics according to the Chapman mechanism, *J. Math. Chem.*, 44, 529–539.
- Venturini, A.C., Contreras, C.J.C., Sarantopoulos, C.I.G.L. and Villanueva, N.D.M. 2006. The effects of residual oxygen on the storage life of retail-ready fresh beef steaks masterpackaged under a CO₂ atmosphere. *Journal of Food Science*, 71(7), 560–566.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., Van Beest, M., De Kruijfn and Debevere, J. 1999. Developments in the active packing of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 77-86.
- Vitale, M., Perez-Juan, M., Lloret, E., Arnau, J., and Realini, C.E. 2014. Effect of aging time in vacuum on tenderness, and color and lipid stability of beef from mature cows during display in high oxygen atmosphere package. *Meat Sci.*, 96, 270-277.
- Wade, W.N., Scouten, A.J., Mcwatters, K.H., Wick, R.L. and Demirci, A. 2003. 'Efficacy of ozone in killing *Listeria monocytogenes* on alfalfa seeds and sprouts and effects on sensory quality of sprouts. *J. Food Prot.*, 66, 44–51.
- Waldroup, A.L., Hierholzer, R.E. and Forsythe, R.H. 1993. Recycling of poultry chill water using ozone. *J. Applied Poultry Science*, 2, 330-336.

- Weavers, L.K. and Wickramanayake, G.B. 2001. Disinfection and sterilization using ozone. In Block S S, Disinfection, sterilization and preservation, Baltimore, MD, Lippincott, Williams and Wilkins, 205–214.
- Wickramanayake, G.B., Rubin, A.J. and Sproul, O.J. 1984. Inactivation of Naegleria and Giardia cysts in Water by Ozonation. J. Water Pollut. Contr. Fed., 56(8), 983-988.
- Williams, R.C., Summer, S.S. and Golden, D.A. 2005. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* in apple cider and orange juice treated with combinations of ozone, dimethyl dicarbonate and hydrogen peroxide. J. Food Sci., 70(4), 197–201.
- Wojtowicz, J.B.A. 2004. Ozone, Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology. John Wiley and Sons, New York.
- Wynn, C.S., Kirk, B.S. and McNabney, R. 1973. Pilot plant for tertiary treatment of wastewater with ozone. EPA Report R2-73-146, US EPA, Municipal Environ. Res. Lab., Cincinnati, Ohio.
- Yaman, A. 2015. Kanatlı etlerinde PSE oluşumu ve PSE’li etlerin teknolojik ve biyokimyasal özellikleri . Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 223, Ankara.
- Zagory, D. 1998. An update on modified atmosphere packaging of fresh produce. Packaging International, <http://www.davisfreshtech.com>.
- Zouaghi, F. and Cantalejo, M.J. 2016. Study of modified atmosphere packaging on the quality of ozonated freeze-dried chicken meat. Meat Science, 119, 123–131.
- Zhao, Y., Wells, J.H. and McMillin, K.W. 1994. Applications of dynamic modified atmosphere packaging systems for fresh red meats: A Review. Journal of Muscle Foods, 5, 299-302.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı Derya ÜNAL
Doğum Yeri Polatlı /Ankara
Doğum Tarihi 27.03.1986
Medeni Hali Evli
Yabancı Dili İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise Polatlı Anadolu Lisesi
Lisans Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği
Bölümü (2009)
Yüksek Lisans Ankara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği
Anabilim Dalı (Ocak 2017)

Çalıştığı Kurumlar ve Yılları

2009-2010 Güneş Yemek Ltd. Şti.-Proje Sorumlusu
2010-2012 T.C. Ziraat Bankası (Polatlı/Ankara Şubesi)
2012-halen Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı