

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRMIZI ET MUHAFAZASINDA
OZON UYGULAMALARI VE KALİTEYE ETKİLERİ**

Gıda Yüksek Mühendisi
Özge DURMAZ DAYILAR

DOKTORA TEZİ

BESİN HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

Danışman
Prof. Dr. Ümit GÜRBÜZ

KONYA-2024

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIRMIZI ET MUHAFAZASINDA OZON UYGULAMALARI VE KALİTEYE ETKİLERİ

Gıda Yüksek Mühendisi

Özge DURMAZ DAYILAR

(“Sağlıklı Beslenme, Sağlıklı Yaşam ve Gıda Katkı Maddeleri” tematik alanda
100/2000 YÖK Doktora Bursiyeri)

DOKTORA TEZİ

BESİN HİJYENİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

Danışman

Prof. Dr. Ümit GÜRBÜZ

Bu araştırma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinatörlüğü tarafından 21212035 Proje numarası ile desteklenmiştir.

KONYA- 2024

ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve doktora eğitimim süresince her türlü yol gösterici olan, olumlu tavıyla beni cesaretlendiren, konu seçimimden araştırmanın yürütülmesine dek beni sınırlamayıp özgür bırakan, bilgi birikimiyle çalışmama farklı açılardan bakmamı sağlayan, doktora öğrencisinin yeterliliğini göstermesine olanak tanıyan, beraber çalışmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum, danışmanım, değerli öğretim üyesi Prof. Dr. Ümit GÜRBÜZ' e gönülden sonsuz teşekkür ederim.

Tez izleme süresince bana yardımcı olan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Yusuf DOĞRUER, Sayın Prof. Dr. Hasan Hüseyin HADİMLİ' ye, istatistik alanında yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa GARİP' e, tüm süreçte benden yardımlarını ve tecrübelerini esirgemeyen Sayın Araş. Gör. Gamze TURKAL' a teşekkür ederim.

100/2000 “Sağlıklı Beslenme ve Gıda Katkı Maddeleri” tematik alanda yapmış olduğum doktora çalışmamda maddi desteğini esirgemeyen Yüksek Öğretim Kurulu'na teşekkür ederim.

Tez çalışmamın başlangıcından sonuna kadar kullanmış olduğum ekipmanların tedariki, tasarlanması, kullanımı konusunda zaman ve mekân fark etmeden maddi manevi desteklerini esirgemeyen Teknozone Ozon Sistemleri teknik ekibine ve en yoğun zamanlarında bile vakit ayırarak her zaman yardım elini uzatan Sayın A. Erdem BEYLİ' ye teşekkür ederim.

Doktora sürecinde ve hayatımın her anında maddi ve manevi katkılarıyla, sabır ve anlayışlarıyla çalışmalarımındaki başarıma katkısı olan aileme, zamanından çokça çalmama rağmen sabır kelimesinin anlamını benimle bu süreçte öğrenen en sevdiğim kız çocuğum BADE ELİN' e sevgilerimi sunarım.

Farklı bir sektörde tam zamanlı çalışırken doktora yapmak gerçekten büyük bir meydan okuma. Doktora yapmak tam zamanlı bir işe eşdeğer taahhüt gerektirdiğinden, bu süreç birden fazla zorlu dengeyi, kırmadan dökmeden yönetmeyi gerektiriyor. Kolay değil, ama mümkün. Tutku ve ısrar öğretiyor. Herkese ve her şeye rağmen bu tez çalışmasını gerçekleştirdiğim için en çok da kendime teşekkür ederim.

Özge DURMAZ DAYILAR

Şubat/2024



İÇİNDEKİLER	
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1.Ozon ve Ozon Uygulamaları	3
1.1.1.Ozonun Etki Mekanizması.....	7
1.1.2. Ozon Uygulamaları ve Su Aktivitesi(a_w).....	10
1.1.3.Ozon Uygulamaları ve pH	11
1.1.4.Ozon Uygulamaları ve Tiyobarbitürik Asit Reaktif Substans (TBARs) ..	14
1.1.5.Ozon Uygulamaları ve Mikroflora.....	17
1.1.6. Ozon Uygulamaları ve Renk.....	28
2. GEREÇ VE YÖNTEM	35
2.1.Materyal	35
2.2.Metot	35
2.2.1 Deneyisel Numunelerin Hazırlanması ve Ozon Uygulamaları	35
2.2.2.Fizikokimyasal Analizler	36
2.2.3.Mikrobiyolojik Analizler	37
2.3.İstatistiksel Analizler.....	38
3. BULGULAR	39
3.1.Fizikokimyasal Bulgular	39
3.2.Mikrobiyolojik Bulgular	42
3.3. Renk Bulguları	46
4. TARTIŞMA	51
4.1 Deneyisel Numunelerde pH Değişimleri	51
4.2. Deneyisel Numunelerde Su Aktivitesi (a_w) Değişimleri.....	53
4.3.Deneyisel Numunelerde TBARs Değerlerinde Meydana Gelen Değişimler....	55
4.4. Deneyisel Grupların Mikrobiyal Florasında Meydana Gelen Değişimler	57
4.5.Deneyisel Numunelerde Renk Değişimleri.....	67
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	74
6. KAYNAKLAR	78
7. EKLER	87
EK -A: Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Etik Kurul Kararı	87
EK -B: Tez ile İlgili Fotoğraflar.....	88
EK- C: Turnitin Raporu.....	92

8. ÖZGEÇMİŞ.....	93
------------------	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devleti
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CIE	Commision Internationale de l'Eclairage
COD	Chemical oxygen demand
dk	Dakika
DNA	Deoksiribonükleik Asit
FDA	Food and Drug Administration
GRAS	Generally Recognized as Safe
Fe	Demir
g	Gram
ISO	International Organisation for Standardization
kob	Koloni oluşturan birim
LAB	Laktik Asit Bakteri
log10	Logaritma 10 tabanı
MDA	Malonaldehit
mg	Miligram
µm	Mikrogram
µm	Mikrometre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
O ₃	Ozon
p	Anlamlılık Düzeyi
pH	Power of hydrogen
ppm	Parts Per Million
sn	Saniye
ssp	Sub-species
TBA	Thiobarbiturik Asit
TBARs	Thiobarbiturik Asit Reaktif Substans
TMAB	Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri
TPAB	Toplam Psikrofilik Aerobik Bakteri
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UV	Ultra Viyole

YHB	Yüksek Hidrostatik Basınç
aw	Su aktivitesi
L *	Parlaklık değeri
a *	Kırmızılık değeri
b *	Sarılık değeri
%	Yüzde
°C	Santigrat derece
~	Yaklaşık
<	Küçük
>	Büyük
=	Eşit
+	Pozitif
-	Negatif

ÖZET

T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kırmızı Et Muhafazasında Ozon Uygulamaları ve Kaliteye Etkileri

Özge DURMAZ DAYILAR

Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı

DOKTORA TEZİ / KONYA-2024

Bu çalışmada, farklı süre ve dozlarda ozon uygulamalarının soğukta muhafaza süresince kırmızı etin bazı kalite nitelikleri üzerine etkilerini belirlemek amaçlanmıştır. Materyal olarak 300-320 kg karkas ağırlığına sahip erkek sığırlardan elde edilen kontrfile (*M. longissimus lumborum*) kullanılmıştır. Kontrfileler, uygulama yöntemine göre karşılaştırmalı olarak beş gruba ayrılıp her bir grup için dört parçaya bölünmüştür. İlk grup kontrol grubu olarak ayrılmış, diğer gruplara 0,5 ve 0,6 ppm ozon gazı ayrı ayrı 10 ve 20 dakika süreyle uygulanmıştır. Ozon uygulama sonrası tüm deneysel numuneler 0-2°C'de, %85-90 rutubet ve 0,2-0,5 m/sn hava akımı olan soğutma dolabında 14 gün süreyle soğukta muhafazaya alınmışlardır. Deneysel et numunelerinde ozonlama öncesi, sonrası, muhafazanın 7.ve 14. günlerinde pH, su aktivitesi (a_w), renk (L^* , a^* , b^*), lipit oksidasyonu (TBARs) ve mikrobiyolojik (Toplam Mezofilik Aerobik, *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp.) nitelikleri açısından standartlarda belirtilen şekilde numuneler alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Ozon uygulama sonrasında, ozon uygulanan bütün deneysel numunelerin Toplam mezofilik aerobik mikroorganizma, *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, sayılarının önemli düzeyde azaldığı, bu azalmaların önemli olduğu ($p<0,05$), gruplar arası farklılıkların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Muhafaza periyodunun 14. gününde en yüksek TMAB, *Pseudomonas* spp. ve Enterobacteriaceae sayısı ozon uygulanmayan kontrol grubu numunelerinde saptanmıştır. Bu süreçte gruplar ve günler arası farklılıkların istatistiki olarak önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). *Salmonella* spp. üremesi hiçbir grupta görülmemiştir. Başlangıç hammaddede >10 olarak belirlenen *E. coli*'nin ozon uygulama sonrasında üremediği gözlemlenmiştir. Deneysel numunelerin pH değerleri başlangıçtan muhafazanın 14. gününe kadar normal bir seyir izleyerek yükseldiği, su aktivitesi değerlerinin ise düştüğü belirlenmiştir. Numunelerin TBARs değerlerinin ozon uygulanan bütün gruplarda, kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu gruplar ve günler arasındaki farklılıkların önemli olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Deneysel numunelerin L^* , a^* , b^* değerlerinde genel olarak düşüşler tespit edilmiş olup günler ve gruplar arası değerlerdeki farklılıkların önemli olduğu belirlenmiştir ($p>0,05$).

Sonuç olarak, kırmızı et örneklerinde, farklı süre ve dozlarda uygulanan ozonun, mikroflorayı azaltıcı bir etkiye sahip olduğu, bu açıdan kırmızı etlerin mikrobiyal bozulmaların engellenmesi, ürün raf ömrünün uzatılması bakımından faydalı olabileceği kanaati oluşmuştur. Ozonun numunelerin pH, su aktivitesi ve b^* değerleri üzerine önemli bir etkisinin bulunmadığı, L^* ve a^* değerlerinin farklılaşmasında kısmi bir etki oluşturabileceği müşahade edilmiştir. Deneysel numunelerin TBARs değerlerinin ozon uygulamasından önemli düzeyde etkilenmiş olduğu tespit edilmekle birlikte kesin kanaatlerin oluşması bakımından lipit oksidasyonu ile ilgili detaylı araştırmaların yapılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Kırmızı et; Mikrobiyolojik kalite, Ozon; Renk; Tiyoobarbitürik asit.

SUMMARY

T. C.

SELCUK UNIVERSITY

HEALTH SCIENCES INSTITUTE

Effects Of Ozone Treatments On Quality Of Red Meat Preservation

Özge DURMAZ DAYILAR

Department of Food Hygiene and Technology

THESIS / KONYA-2024

In this study, it was aimed to determine the effects of ozone applications at different times and doses on some quality characteristics of red meat during cold storage. Beefs tenderloin (*M. longissimus lumborum*) obtained from male cattle with a carcass weight of 300- 320 kg was used as material. The beef tenderloins were divided into five groups according to the treatment method and divided into four pieces for each group. The first group was separated as the control group, and 0,5 and 0,6 ppm ozone gas was applied to the other groups separately for 10 and 20 minutes. After ozone application, all experimental samples were cold stored at 0-2°C, 85-90% humidity and 0,2-0,5 m/sec air flow in a cooling cabinet for 14 days. Experimental meat samples were analyzed for pH, water activity (a_w), color (L^* , a^* , b^*), lipid oxidation (TBARs) and microbiological (Total Mesophilic Aerobes, *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, *E. coli*, *Salmonella* spp.) characteristics before and after ozonation and on the 7th and 14th days of storage as specified in the standards.

After ozone application, it was observed that the total mesophilic aerobic microorganisms, *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, numbers of all experimental samples applied ozone decreased significantly, these decreases were significant ($p<0,05$), and differences between groups occurred. On the 14th day of the storage period, the highest number of TMAB, *Pseudomonas* spp. and Enterobacteriaceae was found in the control group samples without ozone application. In this process, the differences between groups and days were found to be statistically significant ($p<0,05$). *Salmonella* spp. growth was not observed in any group. It was observed that *E. coli*, which was determined as >10 in the initial raw material, did not grow after ozone treatment. It was determined that the pH values of the experimental samples increased from the beginning until the 14th day of storage following a normal course, while the water activity values decreased. TBARs values of the samples were higher in all ozone treated groups compared to the control group and the differences between the groups and days were significant ($p<0,05$). L^* , a^* , b^* values of the experimental samples were generally decreased and the differences between groups and days were found to be significant ($p>0,05$).

As a result, it was concluded that ozone applied at different times and doses in red meat samples has a reducing effect on microflora, in this respect, it may be useful in terms of preventing microbial spoilage of red meats and extending product shelf life. It was observed that ozone did not have a significant effect on pH, water activity and b^* values of the samples, but it may have a partial effect on the differentiation of L^* and a^* values. Although it was determined that the TBARs values of the experimental samples were significantly affected by ozone application, it was concluded that detailed research on lipid oxidation should be carried out in order to form definite opinions.

Key Words: Color; Microbiological quality; Ozone, Red meat; Thiobarbituric acid.

1. GİRİŞ

Et, insanlığın başlangıcından bu yana temel gıda maddesi olarak ön sıralarda yerini almıştır. Et, düşük yağ ve yüksek kaliteli protein, mineral, yağ asitleri ve vitamin içeriği ile günlük diyetin temel kaynaklarından biridir. Taze ya da işlenmiş et ürünleri olarak tüm dünyada yaygın olarak tüketilmektedir. Endüstrinin gelişmesi ve yaşam standartlarının artmasıyla birlikte besin maddeleri talebi de artmaktadır. Etin kimyasal yapısının mikrobiyal gelişme ve bozulmaya uygun olması sebebiyle artan talep karşısında nasıl muhafaza edileceği konusu da önem kazanmaktadır. Mikrobiyal gelişmeyi kontrol etmek ve etin raf ömrünü uzatmak için birçok strateji geliştirilmekte ve kullanılmaktadır.

Gıdalarda bozulma, ortam koşullarına bağlı olarak farklı derecelerde şekillenebilmektedir. Mikroorganizmalar uygun ortamlarda hızlı bir şekilde çoğalabilmekte, uygun olmayan ortamlarda ise daha yavaş veya oldukça zor çoğalabilmektedirler. Eğer şartlar uygun değilse üremeleri durma noktasına gelmektedir. Bütün muhafaza yöntemlerinin temel amacı; gıdalarda bozulmalara neden olan mikroorganizmaların üreme ve çoğalma şartlarına etkiye bulunarak, ortamı elverişsiz duruma getirmektir. Bu bağlamda gıda maddelerinin dayanma süreleri de uzatılmış olmaktadır.

Et ve et ürünleri doğal yapısı gereği, mikroorganizmaların üremeleri ve gelişmeleri için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Bu nedenle et ve et ürünlerinin üretiminde mikroorganizmaların gelişmelerinin önlenmesi ve uzun süre kalite niteliklerini koruyarak bozulmasının engellenmesi bakımından, tekniğine uygun bir biçimde muhafaza edilmesi gerekmektedir (Güvenç ve Gürbüz 2023).

Ette gözlemlenen bozukluklar enzimler, mikrobiyal aktivite ve yağ oksidasyonu sonucunda şekillenebilmektedir. Kesim, deri yüzümü, iç organların çıkarılması, parçalama ve doğrama gibi işlemler esnasında, deri ve bağırsak kaynaklı mikroorganizmalar ile kullanılan aletler, hava ve personel kaynaklı mikroorganizmalarla çeşitlilik kazanmaktadır (Naito ve Takahara 2006, Gürbüz 2023). Mikroorganizmaların ette üremelerini en alt seviyelere indirmek veya durdurmak (Chen ve ark 1997), atık su kirliliklerini önlemek (Wu ve Doan 2005), kesim işleminde kullanılan alet ve ekipmanları dezenfekte etmek (Uradzinski ve ark

2005) için alternatif bir yaklaşım olarak ozon uygulamaları denenmektedir. Bu çalışmalarda, uygulanan ozonlama sonucunda *Bacillus*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, aerobik bakteriler, toplam koliform gibi birçok mikroorganizmanın etkisiz hale getirildiği veya sayılarında önemli ölçüde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ozonlama süresinin arttırılması, pH ve sıcaklık değerlerinin düşürülmesi durumunda daha etkili bir inaktivasyon sağlandığı belirlenmiş olup, ozonun lipid oksidasyonunu tetiklediği, bununla birlikte duyuşal nitelikleri değiştirmediği, karkasın rengini koruduğu ve istenmeyen kokuların oluşumunu engellediği, aynı zamanda raf ömrünü uzattiğı ileri sürölmüştür.

Gıdaların mikrobiyal ve enzimatik etkilerden korunması, raf ömrünün uzatılması için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Buradaki temel amaç, bozulmanın önlenmesinin yanısıra depolama sürecinde gıdanın besin değeri, renk, aroma ve fiziksel yapısına ait duyuşal özelliklerini de korumaktır (şanal ve şalımlı 2000; Karakaya ve ark 2004, Ensoy ve Coşar 2006). Gıda konusunda tüketicilerin bilinçlenmesiyle birlikte, gıdaların daha güvenilir bir şekilde üretilmesi, besin değeri kaybetmemesi ve mümkün olduğunca doğal olması hedeflenmektedir (Zorba ve Kurt 2005).

Bu amaçlar doğrultusunda farklı teknolojik çalışmalar yürütölmektedir (Hugas ve ark 2002, Mor-Mur and Yaste 2003, Karakaya ve ark 2004, Trespalacios ve Pla 2007). Bu yeni gıda işleme yöntemleri arasında yüksek hidrostatik basınç (YHB), ışınlama, ultrases dalgaları, ultraviöle ışık, mikrodalga, titreşimli elektrik alanı, yüksek yoğunluklu titreşimli ışık, manyetik alan ve ozon uygulamaları bulunmaktadır (Hugas ve ark 2002, Karakaya ve ark 2004).

Ozonun gıda endüstrisinde uygulanması, yüksek oksitleme gücü ve üstün antimikrobiyal aktivitesi nedeniyle ilgi çekmektedir. Tüketicinin minimum raf ömrü olan taze gıdalardan işlenmiş gıda ürünlerine kadar uzanan geniş tüketim modeli ozon kullanım potansiyelini arttırmaktadır. Ozon 1997 yılında Genel Olarak Güvenli Kabul Edilen (GRAS) kimyasal olarak tescil edilmiş ve ardından 2001 yılında ABD FDA tarafından gıda katkı maddesi olarak sınıflandırılmıştır (Savaş ve ark 2014). GRAS sertifikasına sahip, uygun maliyetli ve çevre dostu bir teknolojidir.

Alternatif dezenfektan arayışları sonucunda ortaya çıkan ozon (O₃), doğada bulunan oksijenin üç atomlu formu olan gazdır. Ozon, gıdalarda gaz ve sıvı formda antimikrobiyal ajan olarak kullanılabilir (Rice 2001, Marquenie ve ark 2002, Rodgers ve ark 2004). Ozon, gaz haldeyken mavi renkte, sıvı formda ise mavi-siyah renkte görülmektedir (Çatal ve İbanoğlu 2010).

Ozon GRAS sınıfına alınmadan önce sadece içme sularının dezenfeksiyonu amacıyla kullanılmıştır (Von Gunten 2003a, Von Gunten 2003b, Chand ve ark 2007). Daha sonraki süreçte ise atık suların dezenfeksiyonu (Beltran ve ark 2000, Orta de Valasquez ve ark 2006), şarap (Beltran ve ark 2001, Benitez ve ark 2003) sofralık zeytin ve zeytinyağı (Monteagudo ve ark 2005, Canizares ve ark 2007, Heng ve ark 2007) gibi farklı gıdaların üretiminde dezenfektan olarak gaz ve sıvı formda kullanım alanı bulmuştur.

Gıda endüstrisinde, ozonun kullanımı, gıda işletmelerinde yüzey hijyeni ve sanitasyonun sağlanması; atık suyun etkili bir şekilde yeniden kullanımı, bitkisel gıda atıklarının biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacının (COD) azaltılması gibi uygulamalarda önerilmektedir. Ozon, çoklu fonksiyonel özelliklere sahip olması nedeniyle geleceğin umut vadeden dezenfeksiyon araçlarından biri olarak kabul edilmektedir (Güzel-Seydim ve ark 2004). Ozonun gıda endüstrisindeki çeşitli uygulamalarda kullanımı hem hijyen hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle, gelecekte ozonun dezenfeksiyon ve temizlik alanında daha yaygın bir şekilde kullanılması beklenmektedir. Ozonun güçlü bir antimikrobiyal etkisinin olması, ürün üzerinde kalıntı bırakmadan dezenfeksiyonu sağlaması nedeniyle birçok gıda maddesi (balık, kanatlı karkas, kanatlı eti, sığır karkas, meyve ve sebze) üzerinde kullanımına imkân vermiştir.

Bu çalışmada ozonun olumlu özellikleri dikkate alınarak kırmızı etin (*M.longissimus lumborum*) farklı ozon uygulamalarına tabi tutarak soğukta muhafaza süresince kalite niteliklerinde, özellikle mikrobiyal florada meydana gelebilecek değişimler araştırılmıştır.

1.1. Ozon ve Ozon Uygulamaları

Christian Friedrich Schonbein tarafından (1799–1868) 1840'ta keşfedilen ozon 1900'lerin başlarında antimikrobiyal etkisi nedeniyle içilebilir su sterilizasyonunda

kullanılmaya başlanmıştır. Başta klor olmak üzere diğer dezenfektanlara göre daha etkili ve daha geniş bir spektrumda mikroorganizma gelişimi üzerine inhibe edici etkisi nedeniyle gıda endüstrisinde kullanım alanı bulmuştur. Ozon, Amerikan Gıda ve İlaç dairesi (FDA) tarafından 1997 yılında GRAS statüsü kazanmış olup, 2001 yılı itibarıyla “gıdalarla doğrudan temasında sakınca olmadığı” yönüyle gıda endüstrisinde kullanım alanı bulmuştur. Böylece alternatif bir koruma yöntemi olarak kabul edilmiştir. Başlangıçta sadece içme sularının dezenfeksiyonu için kullanılan ozon (O_3) 2001 yılından itibaren gıda endüstrisinin farklı proses aşamalarında koruyucu olarak kullanılmaya başlanmıştır (Çatal ve İbanoğlu 2010).

Ozon (O_3), normal basınç ve sıcaklıkta oldukça kararsızdır. Ozonun çözünürlüğü suyun sıcaklığına, suyun basıncına, iyon gücüne, iyonik tuzların varlığına ve türüne ve ozon gazı konsantrasyonuna bağlıdır. Ozonun sudaki çözünmesi Henry yasasını yakından takip eder; bu nedenle doygunluk oranının belirlenmesi önemlidir (Khadre ve ark 2001). Sabit sıcaklıkta gazların sıvılardaki çözünürlüklerinin basınçla değişimi deneysel olarak ilk kez İngiliz kimyacı William Henry (1775-1836) tarafından incelenmiştir. Seyreltik çözeltilerde mol kesri yerine molalite ya da molarite alınarak Henry yasası tanımlanmaktadır (Kalay 2006). pH ve organik yükleme, teorik maksimuma göre gerçekleştirilebilir çözünürlüğü etkileyecek diğer faktörlerdir ve bunlar ortam koşullarına (pH, sıcaklık, basınç, bağıl nem, hava akışı, ozon çözme yöntemi ve ortamın sterilitesi) bağlı olma eğilimindedir (Khadre ve ark 2001).

Ozon, su içinde düşük çözünürlüğe sahip olup keskin bir koku içermektedir. Ozonun moleküler formu veya ayrışma ürünleri (örneğin, hidroksil radikali), mikroorganizmaları kalıtı bırakmadan hızla inaktif hale getirebilmektedir (Mahapatra ve ark 2005). Ortamdaki tuzluluk ve sıcaklık arttıkça ozonun sudaki çözünürlüğü azalarak ozonun mikroorganizmalar üzerindeki etkisi azalır. Öte yandan nem ve düşük pH ozonun antibakteriyel aktivitesini arttırmaktadır (Kuşçu ve Pazır 2004, Tetik ve ark 2006).

Pascual ve ark (2007) ozonun, kararsız bir yapıda olduğu için depolanamadığını, uygulama yerinde üretilmesi gerektiğini ve hemen kullanılmasını önermektedirler. Ozon, oda sıcaklığında gaz halinde bulunan bir maddedir. Ozonun oksitleyici gücü diğer oksitleyicilerin potansiyelinden önemli ölçüde yüksektir.

Ozonun bu yüksek oksidatif kapasitesi onu mikroorganizmaların engellenmesinde son derece etkili kılmaktadır (Kuşçu ve Pazır 2004)

Ozon gazı, görevini tamamladıktan sonra hızla hammaddesi oksijene bölünebilen, ticari olarak üretilen tek doğal dezenfektandır. Bu özelliğinden dolayı çevreye herhangi bir zarar vermez (Jacqueline 1981, Meunier ve ark 2006). Ozon gazı, 0,02-0,05 ppm gibi son derece düşük konsantrasyonlarda bile gözle görülür keskin bir koku sergiler. 0,1 ppm'lik konsantrasyonlar gaz ve solunum yolu tahrişine, daha yüksek konsantrasyonlar ise ölüme neden olur (Leh 1973).

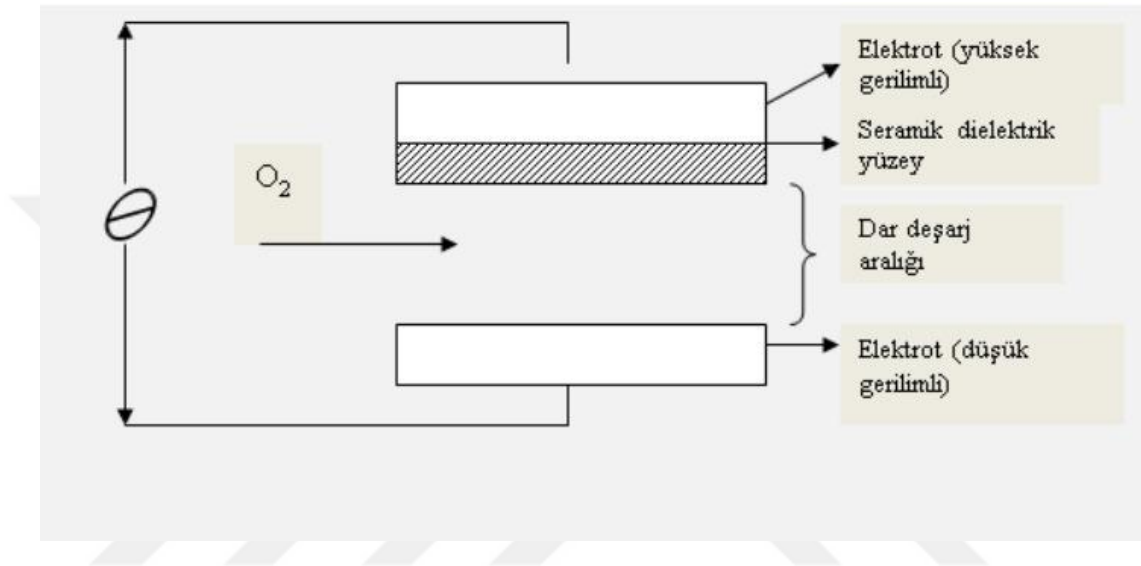
Ozon gazı kararsız yapısı nedeniyle suda kendiliğinden ayrışarak çözünmüş oksijen ve oksidatif serbest radikaller oluşturabilir ancak bu serbest radikallerin yarı ömrü oldukça kısadır. Suda çözünen ozon, ortamdaki bileşikler doğrudan oksitleyerek veya ozon ayrışımı sırasında oluşan serbest radikaller yoluyla çeşitli bileşikler oksitleyerek reaksiyona girebilir (USEPA 1999).

Dezenfektan yan ürünlerinin bazıları toksik veya karsinogenik olabilmektedir. Ancak yapılan biyolojik çalışmalar, ozonlanmış suların klorlanmış sulara göre çok daha düşük mutajenik özellikte olduğunu göstermektedir (Victorin 1992).

Gıdaların mikrobiyal güvenliğini sağlamak amacıyla son yıllarda radyasyon ve ozon uygulamaları gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ozon uygulamaları genellikle düşük konsantrasyonlarda ve daha kısa temas süreleri ile geniş bir mikroorganizma yelpazesini inhibe etme başarısı göstermektedir. Bu yöntem, gıda endüstrisinde başarıyla uygulanabilen bir teknik olarak öne çıkmaktadır. Ozonun gıdalarda kullanımını güvenilir kılan faktörlerden biri yüksek reaktivitesidir. Aynı zamanda ozon, kendiliğinden parçalanarak ortamda zararlı bileşikler bırakmamakta, bu da güvenli bir dezenfeksiyon yöntemi olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Bu özellikleriyle, ozon uygulamaları gıdaların mikrobiyal güvenliğini artırmak için etkili ve güvenilir bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Gıda kalitesini, muhafazasını ve güvenilirliğini artırmak amacıyla çeşitli uygulamalar test edilmekte ve endüstriye entegre edilmektedir, böylece gıdalardaki mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmaların önlenmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda, ozon uygulaması alternatif bir çözüm olarak önerilmiştir (Bott 1991, Graham 1997).

Ozon, yapay olarak 188 nm'de ultraviyole radyasyon ve korona deşarj yöntemiyle üretilmektedir (Kim ve ark 1999a). Bunun yanı sıra, ozon üretimi için termal, kimyasal ve elektrolitik yöntemler de kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde meyve, sebzeler ve çeşitli gıdalara ozon uygulamaları farklı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu uygulamalar genellikle su ile yıkama, ozon atmosferinde depolama ve belirli bir süre ozon gazı ile muamele etme şeklinde yapılmaktadır. Korona Deşarj yöntemi çalışma prensibi Şekil 1.1'de gösterilmektedir (Karaca 2006).



Şekil 1.1. Korona Deşarj Yöntemi çalışma prensibi.

Günümüzde daha önceden gıda güvenliğinin sağlanmasında oldukça etkili bulunan ve kullanılan bazı dezenfeksiyon yöntemleri, günümüzde yüksek pH'da bazı mikroorganizmalar ya da spor formları üzerine etki etmedikleri ve trihalo bileşikleri gibi zararlı parçalanma ürünlerine dönüşmeleri nedeniyle güvenli görülmediği ifade edilmektedir (Khadre ve ark 2001).

Dezenfektan uygulamalarıyla ilgili yapılan araştırmalarda, çevre dostu ve gıda prosesine zarar vermeyen, kullanımı sırasında sağlık açısından risk oluşturmeyen, mikrobiyal olarak saprofit ve patojen mikroorganizmalarla birlikte sporlar da dahil geniş bir etki spektrumuna sahip etkin maddeler üzerinde odaklanılmıştır (Karaca ve Velioğlu 2007).

Çok az işlem görmüş gıdaların dokularında meydana gelen hasar nedeniyle, bu gıdaların raf ömrü, işlem görmemiş gıdalara kıyasla belirgin bir şekilde kısadır. Bu

sebeple, minimal işlem görmüş gıdaların raf ömrünü artırmak amacıyla, depolama öncesi çeşitli çözeltilere daldırma ve yıkama yöntemleri üzerine araştırmalar yapılmış ve halen yapılmaktadır (Barriga ve ark 1991; Simons ve Sanguasri 1997). Bu yöntemlerin uygulanmasında genellikle dezenfektan maddelerden faydalanılmaktadır (Martinez-Sanchez ve ark 2006). Dezenfektan olarak kullanılan maddeler üzerine yapılan araştırmalar, ozon, klor ve hidrojen peroksit gibi maddelere odaklanmıştır. Ozon gazının kullanımındaki en önemli avantajı, klorun oluşturduğu zararlı bileşikler oluşturmamasıdır (Skog ve Chu 2001, Grass ve ark 2003).

1.1.1.Ozonun Etki Mekanizması

Ozon, doğada genellikle stratosfer ve troposfer tabakalarında bulunmaktadır. Ozonun etkileri, çevresel faktörlere ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Stratosfer tabakasındaki ozon, ultraviyole (UV) ışınlarını absorbe ederek, bu zararlı ışınların yeryüzüne ulaşmasını önlemektedir. Böylece, canlıların DNA'sını koruyarak cilt kanseri gibi sağlık sorunlarının daha fazla görülmesinin engelleyebilmektedir. Diğer taraftan troposferdeki ozon, hava kirliliği oluşumuna ve solunum sistemi sorunlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ozon gazının zararlı etkisi ortamdaki ozon yoğunluğu, ortam sıcaklığı, nem ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Ayrıca, ozonun etkileri genellikle çevresel koşullara ve insanın maruz kaldığı dozlara bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Doğada ozon, güneşin zararlı etkilerinden korunma amacıyla doğal bir kalkan olarak görev üstlenirken, endüstriyel alanlarda ozonun kullanımı gıda, veterinerlik, tıp, tekstil gibi birçok alanda kullanım alanı bulmuştur. Ancak, bu kullanımın kontrollü olması gerekmektedir (Babucçu 2011).

Ozonun antimikrobiyal etki mekanizması hakkındaki görüşler genellikle, ozonun genetik materyal üzerinde etkili olduğunu ve mikroorganizmanın hücre membranındaki glikoproteinleri ve lipoproteinleri okside ettiği yönündedir. Bu etki, hücre membranı ve enzim sistemi üzerinde gerçekleşmekte ve ozonun mikroorganizmalar üzerindeki dezenfeksiyon etkisini açıklamaktadır. Literatürde belirtilen bu etkileşim, ozonun mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal etkisini sağlayan mekanizmalar arasında önemli bir rol oynamaktadır. Diğer yandan, ozonun dezenfeksiyon etkisinin çeşitli faktörlere bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu faktörler arasında ozonun etkili olduğu ortamlardaki organik madde yoğunluğu, uygulanan

ozon miktarı ve diğer maddelerin (metaller ve inorganik maddeler) varlığı yer almaktadır. Dolayısıyla, ozonun mikroorganizmalar üzerindeki etkisinin büyüklüğü ve etkinliği, uygulama koşullarına ve çevresel faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir (Kim ve ark 1999a). Benzer görüşler, Alparslan ve ark (2012) tarafından da ileri sürülmüştür

Greene ve ark 1993, ozonun sadece bakterilerin (Gram pozitif ve negatif) değil aynı zamanda virüs ve protozoaların da üzerinde etkili olduğunu belirtmektedirler. Komanapalli ve Lau (1998) Ozonun, proteinleri lipidlerden daha kolay ve hızlı bir şekilde okside ettiğini; ozonun bu etkisinin Gram pozitif bakterilerin, Gram negatif bakterilere göre daha hızlı bir şekilde okside olduğunu ortaya koymaktadır (Pryor ve ark 1992).

Et ve et ürünlerindeki büyük bir dezavantaj, ozonun yağ oksidasyonuna yol açabilmesidir. Bir araştırmada, sığır etlerine ozonlu hava, ozonlu su ve ozonlu buhar uygulamalarının metmiyoglobin ve lipid oksidasyonu oluşumu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, ozonlu hava kullanımının lipid oksidasyonunu önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Ancak, farklı ozon uygulamalarının metmiyoglobin oluşumu ve lipid oksidasyonu üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı ileri sürülmüştür (Okayama ve ark 2002).

Soğutulmuş kanatlı karkaslarına soğutma sırasında deneysel ozon gazı uygulanarak etkilerinin gözlemlendiği çalışmada, tazelik indeksi olarak putresin ve kadaverin biyojenik aminleri dikkate alınmıştır. Çalışmada ozon konsantrasyonları minimum değer 0,82 ppm ve maksimum değer 1,2 ppm arasında değişmektedir. Ozon uygulamasının etkisi ile mikrobiyal yükün azaldığı bildirilmektedir. Putresin ve kadaverin seviyelerinin ozonun etkinliğini kontrol etmek için yararlı olduğu görülmüştür (Mercogliano ve ark 2014).

Son yıllarda, et işletmelerinde çalışma alanlarının, işletme zemininin ve ekipmanlarının periyodik olarak dezenfekte edilmesinde ozon kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ayrıca kesim hattında karkasların duşlama aşamasında, et ve et ürünlerinin ambalajlanması ve depolanmasında da ozon kullanılmaktadır. Klor dioksit veya ozon uygulaması ile patojen mikrobiyal yükün azaltılabildiği ve bu uygulamanın

renk veya koku üzerinde minimum etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Stivarius ve ark 2002).

Donma sıcaklığında çekilmiş Hanwoo etinin ozon gazına maruziyetinin bakteri miktarı ve oksidatif özellikleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; ozon gazının *Escherichia coli* O157:H7 miktarını önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir. Toplam aerobik ve anaerobik bakteri miktarlarının da ozon gazı ile önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Aynı çalışmada ozon gazına maruziyetin lipid oksidasyonunu teşvik ettiği belirtilmiştir. Ozona maruz kalan numunelerin TBARs değerleri ozona maruz kalmayan numunelere göre önemli ölçüde yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak bulunan TBARs değerlerinin kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir. Ozonun ayrıca miyoglobin ve oksimiyoglobinin oksidasyonunu artırdığı bunun sonucunda, ozon maruziyeti altındaki numunelerde daha düşük kırmızı renk seviyesi olduğu tespit edilmiştir (Cho ve ark 2014).

Ozon uygulamasının hindi göğüs etinin mikrobiyolojik kalite ve fizikokimyasal özelliklerine etkisinin incelendiği çalışma sonucunda, ozon gazının her türlü mikroorganizma üzerinde güçlü olumlu etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Hindi etinin fizikokimyasal karakteristikleri üzerine de önemli derecede etki ettiği belirlenmiştir. Ozon uygulanan hindi etlerinin renk ve pH değerlerinin önemli değişiklik gösterdiği, ozon uygulaması yapılan örneklerin herhangi birinin TBARs değeri kabul edilebilir duyuşal eşiğı aşmadığı tespit edilmiştir. Su tutma kapasitesi ve pişme derecesi değerleri de ozon uygulaması ile artış göstermiştir. Bu sonuçlar olumlu bir etki olarak yorumlanabilir. Ozon uygulamasının hindi işleme ve depolama adımlarında umut verici bir uygulama olacağını ve kanatlı endüstrisinde bir dekontaminasyon ajanı olarak ozonlama prosedürü gerekli olacağı ileri sürülmüştür (Ayrancı ve ark 2020).

Vakum paketlenmiş sığır etine ozonlu su ve sodyum sitrat uygulamasının kalite üzerine etkisinin incelendiği çalışmada, kombin uygulamanın mikrobiyal büyümenin engellenmesi üzerinde daha iyi etki gösterdiği görülmüştür. Aynı çalışmada sulu ozonun et kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerinin kombin uygulama ile azaldığı bildirilmiştir. Genel olarak bu yöntem, et işleme ve muhafazasında uzun raf ömrüne sahip et ürünlerinin potansiyel faydalarını göstermiş ve gelecekteki endüstriyel üretim için büyük potansiyel ortaya koyduğu ifade edilmiştir (Zhang ve ark 2020).

Proton Transfer Reaksiyonu- Kütle Spektrometresi (PTR-MS) tekniği kullanılarak mikrobiyal yük üzerinde ozonun etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, ozon uygulanmasının bakteriyel aktiviteyi büyük ölçüde geciktirdiğini ve raf ömrünü uzatmak için etkin bir uygulama olduğu bildirilmiştir (Jaksch ve ark 2004).

Ozonlanmış dondurularak kurutulmuş farklı modifiye atmosfer koşullarında (MAP) paketlenmiş piliç etlerinin fizikokimyasal ve duyuşal özelliklerinin değerlendirildiği çalışmada en iyi korumanın yüksek CO₂ konsantrasyon içeren karışım yerine düşük CO₂ konsantrasyon içeren atmosfer koşullarında sağlandığı tespit edilmiştir (Zouaghi ve Cantalejo 2016)

Ozon uygulamalarının diğer olası seçeneklerle bir araya getirilmesinin et ve et ürünlerinin raf ömrünü artırmada etkili olduğu bulunmuştur. Çalışmada ayrıca ozonlama süresindeki artışla birlikte mezofilik sayımlarda azalma olduğu için zaman ve mikrobiyal sayım arasındaki korelasyon da belirtilmiştir. Kombinasyon uygulamalarının etkinliğine benzer şekilde Lyu ve ark (2016) sığır etinin depolanmasında CO'nun renk stabilize edici etkisi ve ozonun sterilizasyon etkisinin etkinliğini incelemiştir. Kombinasyon uygulamaları mikrobiyal popülasyonlar üzerinde daha iyi kontrol sağladığı belirtilmiş olup, bu durumun et ve et ürünleri söz konusu olduğunda, belirli bir gıda ürününde bireysel işlemlerin olumsuzluklarını ortadan kaldıran yeni bir uygulama boyutunu ortaya koyabileceği ileri sürülmüştür.

1.1.2. Ozon Uygulamaları ve Su Aktivitesi (a_w)

Su aktivitesi (a_w), gıda maddelerinin üretim ve değerlendirilmesinde pH ile aynı öneme sahip bir faktördür. Bu faktör, besinlerimizde bulunan mikroorganizmaların metabolizma ve üreme faaliyetleri için kullandığı suyun ölçüsüdür. Su aktivitesi gıda maddelerinin mikrobiyal stabilitesinde birinci derecede rol oynamakta, aynı zamanda gıdada meydana gelen kimyasal reaksiyonların stabilitesi ile et ve et ürünlerinin duyuşal özelliklerinin stabilitesinde rol oynamaktadır. Bu değer aynı zamanda bir gıda maddesindeki mikrobiyal faaliyetlerin gerçekleşmesinde engel faktör olarak değerlendirilmektedir (Gürbüz 2023). Bu nedenle su aktivitesi, gıda maddelerinde mikrobiyolojik açıdan stabilite göstergesi olarak kabul edilmektedir ve gıda teknolojisinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Et ve mamulleri için a_w değeri 0,70-0,99 arasında değişmektedir (Yıldırım 1992).

Karamah ve Wajdi (2018), ozon uygulaması ile tavuk etlerinin nem içeriğinde oldukça az bir düzeyde düşme olduğunu tespit etmişlerdir. Bu sebeple ozonun nem içeriği üzerine belirgin bir etkisi olmadığını bildirmişlerdir.

Cantalejo ve ark (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, taze tavuk etinin başlangıçtaki a_w ve nem içeriği sırasıyla yaklaşık $0,984 \pm 0,002$ ve $\%73,88 \pm 0,06$ olarak ölçülmüştür. Liyofilizasyondan sonra liyofilizasyon ile muamele edilen örnekler önemli bir düşüşün ($p<0,05$) meydana geldiği bildirilmiştir. Kombin uygulama yapılan numuneler için a_w değerleri her iki faktörden de (ozon konsantrasyonu ve maruz kalma süresi) önemli ölçüde etkilenmiştir. Ozon konsantrasyonu ve maruz kalma süresi arttığında bu değerlerin önemli ölçüde ($p<0,05$) yükseldiği ileri sürülmüştür. Tüm bakteri türleri 0,6' dan daha az a_w değerlerinde gelişim gösteremedikleri için (Barreiro ve Sandoval 2006), bu değer gıdalarda mikroorganizmalar için çoğalma sınırı olarak kabul edilmektedir (Leistner 1992).

Liyofilizasyon sırasında a_w ve nem seviyelerindeki önemli azalma etteki mikroorganizmaların çoğalmasını engelleyebilmektedir. Babic ve ark (2009) kurutulmuş dondurulmuş tavuk etlerinde aynı liyofilizasyon durumlarında a_w ve nem seviyelerinin benzer şekilde azaldığını bildirmişlerdir.

1.1.3.Ozon Uygulamaları ve pH

Et, özellikle de sığır eti, pH 5,8 ila 6,2 arasında taze olarak kabul edilmektedir. Etin pH değerinin 6,2 olması kritik bir değer olarak kabul edilir. Etin pH değeri en düşük noktasına ulaştıktan sonra bir takım biyokimyasal ve mikrobiyal faaliyetler sonrası yavaş yavaş tekrar yükselmektedir. pH değeri aynı zamanda mikroorganizmaların gelişiminde engel bir faktör olarak kabul edilmektedir (Gürbüz 2023).

Ozon uygulamaları ve pH değerindeki değişimler ile ilgili olarak çok sayıda yapılan araştırmalarda farklı farklı sonuçlar bildirilmiştir. Bu farklılıklar ozon uygulama doz, süre, kombinasyon, paketlenme ve kullanılan materyal ile ilintili olduğu değerlendirilmiştir.

Alonso- Calleja ve ark (2004), pH ve mikrobiyal flora arasında yüksek bir pozitif korelasyon olduğunu ve yüksek pH değerlerinin mikrobiyal çoğalmayı olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir.

Kuşçu ve Pazır (2004), pH değerindeki düşüşün ozon etkinliğini artırdığını, pH'ın ozon ayrışma hızını önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Bu hipotez, inaktivasyonun asidik bir ortamda, bazik bir ortamdan çok daha hızlı olduğu *E. coli*'nin inaktivasyon kinetiği ile desteklenmektedir.

Clavijo (2005) benzer olarak ozonlanmış kurutulmuş tavuk göğsü filetolarında, ozonlanmamış kurutulmuş kontrol grubu tavuk göğsü filetolarına kıyasla daha düşük pH değerleri tespit etmiştir.

Manousaridis ve ark (2005) ozon uygulamasının tavuk etinin pH değeri üzerindeki etkisinin, işlemden sonra herhangi bir değişiklik göstermemesi sebebiyle kalite indeksi olarak kullanışlı olmadığını değerlendirmişlerdir.

Kim ve Shin (2011) ozon uygulamasının depolama döneminde sığır eti örneklerinin pH değerlerinde düşüslere neden olduğunu bildirmişlerdir. Eriksson (2005) ozon maruziyeti sonrası pH değerlerindeki düşüşlerin organik madde oksidasyonu sonucu ortaya çıkan formik, asetik ve propiyonik asit gibi küçük karboksilik asitlerden kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

Trindade ve ark (2012), 1,5 mg/l 45 dk ozon uyguladıkları tavuk karkaslarının pH değerinin değişmediğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar ozon gazı ile pH arasında bir ilişki olmamasına rağmen, pH değerindeki değişikliklerin diğer faktörlerden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. pH değerindeki bu değişikliklerin ozon ile organik bileşikler arasındaki reaksiyonun su üzerindeki etkisinden kaynaklanabileceğini öne sürmüşlerdir.

Cantalejo ve ark (2016), broiler tavuk etlerinde taze et için ortalama pH $5,88 \pm 0,21$ ve dondurularak kurutulmuş ozon uygulaması yapılmayan et için $6,05 \pm 0,15$ olarak saptamışlardır. Ozon ve liyofilizasyon (freeze-drying) kombinasyonu uygulamasının neredeyse uygulama yapılan tüm numunelerin pH değerlerini hafifçe düşürdüğünü, ancak istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) farklılıkların sadece 10 dakika boyunca 0,6 ppm ozon ile işlem görmüş numuneler (trt-0,6/10) ile işlem

görmemiş numuneler (trt-0) arasında meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Zouaghi ve Cantalejo (2016), modifiye atmosferde (MAP) ambalajlanmış, ozonlanmış ve dondurularak kurutulmuş tavuk göğüs etlerinde pH değerinin 21°C'de 28 gün depolama süresi boyunca arttığını bildirmişlerdir.

Ünal (2017) tarafından yapılan araştırmada, modifiye atmosferde (MAP) paketlenmiş ve ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinin depolama süresince genel olarak pH değeri açısından gruplar arasında istatistiksel olarak önemli farklılıkların 1. ve 10. günler hariç gözlemlenmediğini belirtmiştir ($p>0,05$). Araştırmacı, depolama süresince pH değerlerindeki değişim incelediğinde, bazı gruplarda istatistiksel olarak anlamlı değişimler tespit etmiş olsa dahi genel olarak bu değişimin anlamlı olmadığını vurgulamıştır. Bu durum, belirli günlerde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların ortaya çıkmasına rağmen, depolama sürecinin genelinde pH değerlerinin istatistiksel olarak önemli bir değişime uğramadığını göstermektedir. İstatistiksel olarak anlamlı olmasına rağmen genel olarak değerlendirildiğinde, bu değişimin anlamlı olmadığını belirtmiştir.

Gertzou ve ark (2017), vakum paketlenme ($p<0,001$) ve vakum paketlenme+ozon (2 ve 5 mg/l ozon; $p<0,005$) uygulaması yapılmış tavuk etlerinde 16 günlük depolama süresinde pH değerlerinde önemli farklılıklar tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, 5 ve 10 mg/l ozon içeren vakumlu ambalajda pH değeri, kontrol numunelerine göre 0,1; 0,2 birim azalmıştır.

Karamah ve Wajdi (2018), yaptıkları çalışmada ozon gazı uygulamasının tavuk etlerinin pH değerine etkisi olmadığını ileri sürmüşlerdir.

Susilo ve ark (2021), ozon uygulamasının tavuk göğsü filetolarının fiziksel ve oksidatif özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmada, ozon, UV ve yenilebilir kaplama uygulanmış ve buzdolabında saklanan tavuk etinin pH değerinin (5,87) işlem görmemiş normal tavuk eti pH değerine (5,96-6,07) en yakın olduğunu tespit etmişlerdir.

Zhang ve ark (2020), sığır etine ozon gazı uygulamasının depolama süresinin sonlarında pH artışını yavaşlatabildiğini bildirmişlerdir.

Ayrancı ve ark (2020), ozon uygulamasının örneklerin pH değerlerinde önemli ($p < 0,05$) düşüşlere neden olduğunu, uygulama süresi arttıkça etkinin daha da arttığını ileri sürmüşlerdir.

1.1.4.Ozon Uygulamaları ve Tiyoarbitürik Asit Reaktif Substans (TBARs)

Lipid peroksidasyonu, çiğ ve pişmiş et ile et ürünlerinde kalite kaybının en temel nedenidir. Biyolojik dokulardaki çoklu doymamış yağ asitlerinin peroksidasyon reaksiyonu, serbest radikaller tarafından başlatılır. Bu reaksiyon sonucunda malonaldehit (MDA) isimli ikincil bir oksidasyon ürünü oluşur. İki veya daha fazla çift bağ içeren çoklu doymamış yağ asitlerinin ikincil oksidasyon ürünüdür. Okside olmuş yağlı gıdalardaki emilim spektrumu, tiyoarbitürik asit (TBA) ile MDA arasındaki reaksiyon sonucu meydana gelir. Ketoller, ketosteroidler, asitler, şekerler, aminoasitler, okside olmuş proteinler, piridinler, pirimidinler ve vitaminler TBA ile reaksiyona girer. Bu maddelere TBARs (TBA ile reaksiyona giren maddeler) adı verilir (Karabudak 2002).

Ozonun yüksek oksidasyon kapasitesi sebebiyle lipidler ve proteinler gibi et dokularının tipik bileşenlerini oksitleyebileceği bilinmektedir. Ozon uygulamalarının çeşitli et örneklerinin TBARs değerlerinde artışa neden olduğu ileri sürülmüştür (Trindade ve ark 2012, Cho ve ark 2014, Muhlisin ve ark 2016). Fakat ilginç bir şekilde yapılan farklı çalışmalarda da sığır etine ozon uygulamalarının TBARs değerlerini değiştirmedeği (Coll Cardenas ve ark 2011) ve hatta TBARs değerlerini düşürdüğü bildirilmiştir (Kim ve Shin 2011, Lyu ve ark 2016). Uygulama yöntemi, ozon uygulama dozu, muamele süresi, muamele edilen numunenin özellikleri gibi birçok faktör oksidasyon seviyesi üzerinde belirleyici olmaktadır.

Ozonun sığır etlerinde lipit oksidasyonunu indükleyerek TBARs değerlerinde önemli derecede artışa neden olduğu birçok araştırmacı (Coll Cardenas ve ark 2011, Cho ve ark 2014) tarafından ileri sürülmüştür. Muhlisin ve ark (2016) ördek ve tavuk filetolarında; Trindade ve ark (2012) ise tavuk karkaslarında TBARs değerlerinde artışlar meydana geldiğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan birçok araştırmacı (Pohlman ve ark 2002, Stivarius ve ark 2002) sığır eti örneklerinin duyu özelliklerinin ozon uygulamasından olumsuz etkilenmediğini belirtirlerken, diğer bazı araştırmacılar (Kim ve Shin 2011, Lyu ve ark 2016) aksine iyileştirildiğini rapor etmişlerdir.

Coll Cardenas ve ark (2011) tarafından yapılan araştırmada, sığır etlerine ozon gazı uygulamasının buzdolabı sıcaklığında depolama süresince et kalitesinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 0 °C’ de muhafaza edilen örneklerde TBARs değerinin ozon gazı uygulanmasından sonra 3 saatte 0,33 mg MDA/kg’a, 24 saatte ise sonunda ise 0,96 mg MDA/kg’a yükseldiğini gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde 4°C’ de muhafaza edilen etin TBARs değeri ozon uygulanmasından sonra 3 saatte 0,27 mg MDA/kg’a, 24 saat sonunda ise 0,49 mg MDA/kg’ a yükseldiğini tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, yapılan TBARs analizlerinden elde edilen sonuçlara dayanarak, ozon uygulaması yapılan grup ile kontrol grubu arasında anlamlı bir farklılık bulunmadığını ileri sürmüşlerdir ($p>0,05$).

Cho ve ark (2014) 4°C’de 3 gün saklanan kıymalara ozon gazı uygulamasının araştırıldığı çalışmada, başlangıçta 0,66 mg MDA/kg olarak bildirilen TBARs değerlerinde önemli bir artış tespit edilmiştir. Depolamanın 1, 2 ve 3. günlerinde sırasıyla TBARs değerlerinin 0,76; 0,75; 0,79 mg MDA/kg’a ulaştığını bulmuşlardır.

Ayrancı ve ark (2020), hindi göğüs etlerinde ozon uygulama süresi arttıkça TBARs değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. 8 saat ozonla muamele edilmiş numunelerin TBARs değerlerinin, ozon uygulanmayan numunelerin TBARs değerlerine göre altı kat daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Muhlisin ve ark (2016), depolama süresince ördek göğüs etlerinin TBARs değerinin broiler tavuk göğüs etlerinden yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Depolamanın 2. gününden başlayarak ozon uygulaması yapılan ördek göğüs etindeki TBARs değeri, ozon uygulaması yapılmayan ördek ve tavuk göğüs etine göre istatistiksel olarak önemli derece yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak, ozonun tavuk göğüs etinin TBARs değeri üzerine etkisi depolamanın 4. gününde tespit edilmiştir. Araştırmacılar ozonun tavuk ve ördek göğüs etlerinin lipid oksidasyonunu tetiklediğini bildirmişlerdir.

Sekhon ve ark (2010) ozonun hücre zarındaki yağ asitlerinde ve hücresel proteinlerde oksidasyon yoluyla geri dönüşü olmayan reaksiyonlara neden olduğunu belirtmişlerdir.

Choe ve Min (2005) Ozon radikal türevi reaktif oksijen türleri (ROS) olarak kategorize edileceğini, ROS’ un, gıdaların, özellikle de esansiyel yağ asitlerini yok

ettiği lipidlerin oksidasyon reaksiyonunun başlamasından sorumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Piachin ve Trachoo (2011), ozon ve potasyum laktat uygulaması yaptıkları taze domuz etlerinde ozon uygulanmış numunelerin TBARs değerlerinin laktat ile muamele edilen numunelerin TBARs değerlerine göre daha yüksek bulunduğunu belirtmişlerdir.

Kalchayanand ve ark (2020), UVC-ozon uygulamasından sonra depolama süresi boyunca taze etlerin TBARs değerlerinin yavaş bir seyirle arttığını bildirmişlerdir ($p \leq 0,05$). Araştırmacılar en yüksek TBARs değeri UVC-ozon uygulaması yapılmış ve buzdolabı sıcaklığında 15 gün depolanan taze etlerde oluştuğunu, ölçülen TBARs değerinin (0,80 mg MDA/kg) ransidite için kabul edilen 1,0 g MDA/kg limit TBARs değerinden düşük olduğunu, taze sığır etinde UVC-ozonla kombinasyon halinde kullanılmasının oksidatif acılaşma (ransidite) oluşumunu hızlandırmadığını ileri sürmüşlerdir.

Qian ve ark (2022), ozon gazı uygulamasının somon balığının kalite ve mikrobiyal flora üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, ozon uygulamasının TBARs artışını geciktirdiğini bildirmişlerdir.

Susilo ve ark (2021), ozon uygulamasının tavuk göğsü filetolarının fiziksel ve oksidatif özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmada, ozon uygulamasının tavuk göğüs etinde lipid oksidasyonunu arttırdığını tespit etmişlerdir.

Gimenez ve ark (2021) ozona uzun süre (>10 dakika) maruziyetin, sığır etlerinde kırmızı rengi ve oksidatif acılaşmayı olumsuz etkilediğini bildirmişlerdir.

Ünal (2017), MAP+ozon uygulamasının yapıldığı numuneler ile kontrol grubu numunelerin değerleri karşılaştırıldığında, ozonun oksidatif etkisinin net bir şekilde görüldüğünü ileri sürmüştür.

Jeong ve ark (2007), domuz eti kalitesine ozon uygulamasının potansiyel etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada, 15 dakika ozon gazının uygulandığı domuz etlerinin TBARs değerlerinin, soğuk depolamanın 15. ve 20. günlerinde kontrol grubuna göre belirgin bir şekilde arttığını tespit etmişlerdir.

1.1.5.Ozon Uygulamaları ve Mikroflora

Etin mikroorganizmalarla kontaminasyonu, kesim aşamasından itibaren başlayarak, derinin yüzülmesi, iç organların çıkarılması ve parçalanması gibi işlemlerle birlikte artan bir durumdur. Yıldırım (1981), taze ette mikrobiyal bozulmanın et yüzeyindeki mikroorganizma sayısına, mevcut mikroorganizmaların türüne ve bunların faaliyeti için gereken uygun ortam sıcaklığı ile a_w değerine bağlı olduğunu belirtmektedir.

Ozon, bakteri, fungus, protozoa, virüs ile bakteriyel ve fungal sporlara karşı güçlü ve geniş spektrumlu bir antimikrobiyal ajandır (Khadre ve ark 2001).

Fontes ve ark (2012) bakteriyel çoğalmayı tamamen ortadan kaldıran minimum etkili dozu belirlemek için ozon-oksijen karışımını ozonun farklı konsantrasyonlarını kullanarak uyguladıkları çalışmada 20 $\mu\text{g O}_3/\text{mL}$ 'lik bir dozun gaz halindeki O_3/O_2 karışımı (%1 O_3 /%99 O_2), atmosferik basınç altında 5 dakika boyunca nebulizasyon yoluyla tek bir topikal uygulamada, potansiyel olarak bilinen antimikrobiyal dirençli özelliklere sahip patojen bakterilerin çoğalmasını etkili bir şekilde engellediğini ortaya koymuşlardır.

Geçmişte gıda güvenliğini sağlamak için kullanılan bazı dezenfeksiyon yöntemleri, yüksek pH'lı ortamlarda bazı mikroorganizmalara ve spor formlarına karşı etkisiz olup, zararlı trihalojen bileşiklerin ve oksidasyonun oluşumuna sebep olmaları nedeniyle istenmeyen olarak kabul edilmektedir (Khadre ve ark 2001). Dezenfektanların kullanımına ilişkin araştırmalar, bunların çevre dostu olduğunu, gıda işlemeyle uyumlu olduğunu, kullanıldığında zararlı kalıntı bırakmadığını ve patojenlerle mücadelede sporlara karşı etki de dahil olmak üzere geniş bir etki alanına sahip aktif maddelere sahip olduğunu göstermiştir (Karaca ve Velioğlu 2007). Bu çalışmalar sonucunda güçlü bakterisidal ve viral etkilere sahip olduğu bildirilen ozon ile ilgili araştırmalar son yıllarda giderek önem kazanmıştır. Oksijenin triatomik allotropu olan ozon (O_3), güçlü antimikrobiyal özelliklere sahiptir. Diğer dezenfektanlardan farklı olarak toksik olmayan ayrışma ürünlerine dönüştürülebilir ve antibakteriyel etkisini oksidasyon yoluyla gösterir. Ozon hem Gram pozitif bakterilere (*Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*) hem de Gram negatif bakterilere (*Pseudomonas aeruginosa*, *Yersinia*

enterocolitica) karşı etkilidir. Ozonun antibakteriyel etkisi ortamdaki organik maddenin yoğunluğuna ve yayılma hızına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle gıda endüstrisinde ozon kullanılırken birçok faktörün dikkate alınması gerekir (Patil ve ark 2009).

Koliform bakteriler ve *Salmonella* gibi patojenler ozon dezenfeksiyonuna karşı çok hassastır. *Streptococcus*, *Trichophyton rubrum*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Yersinia enterocolitica*, *Klebsiella pneumoniae* ve *Escherichia coli* gibi mikroorganizmaların ozon dezenfeksiyonuna duyarlı olduğu bilinmektedir. Chang ve Sheldon (1989), soğutmadan önce kullanılan suyun ozonlanması ve piliçlerin soğutulması sırasında yeniden kullanılmasının, toplam mikrobiyal yükte ortalama 2,7 log birimlik bir azalmaya yol açtığını belirtmiştir. Kim ve ark (1999b), çoğu mikroorganizmanın ozona duyarlı olduğunu ancak ozon uygulamasının neden olduğu inhibisyonda çevresel faktörlerin (sıcaklık, pH, nem, katkı maddeleri vb.) ve fizyolojik koşulların çok önemli olduğunu bildirmiştir. Herbold ve ark (1989), ozonun antibakteriyel etkisinin ortam sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda arttığını bulmuşlardır. İleri ve Sezen (2003) ozonun yüksek nemli (%60) ortamlarda oldukça etkili olduğunu ve çok düşük dozlarda bile patojenleri inhibe edici etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Muthukumar ve Muthuchamy (2013) hazır işlenmiş et ve kümes hayvanı ürünlerinin yanı sıra pişmiş etlerde de bulunan mikrobiyolojik bozulma tehditinin ozon teknolojisi kullanılarak kontrol altına alınabileceğini öngörmüşlerdir. Benzer gözlemler, tavuk ve ördek etindeki toplam aerobik ve anaerobik bakteri sayılarının kontrolünde ozonun etkinliğinin analizinde de elde edilmiştir (Muhlisin ve ark 2016). Çalışma, ozon uygulamasının tavuk ve ördek etindeki koliform popülasyonunu azaltmada etkili olduğunu ve ayrıca ozonun belirli konsantrasyonlarda uygulanmasının *E.coli* gibi zararlı patojenler üzerinde etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Ozon, *Salmonella*, *S. aureus*, *E.coli* ve toplam koliform sayımlarının kontrolünde etkili olan daldırılmalı soğutmada tavuk karkasını dezenfekte etmek için kullanılabilir. Bu durum, ozonun kanatlı kesimhanelerinde klorun yerine alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Ozon uygulamasının etkinliği, maruz kalma süresi ve sistemin sıcaklığı ile ilişkilendirilebilir. Daha uzun temas süresi ve daha düşük sıcaklıklarda dezenfekte edilen bakteri sayısında artış gözlenmiştir (Karamah

ve Wajdi 2018). Ancak temas süresindeki artış, ürünün nihai kalitesi üzerinde zararlı bir etkiye sebep olabilmektedir. Uygun zaman ve sıcaklık kombinasyonlarının seçilmesi son derece önem verilmesi gereken bir konudur. Mikrobiyal etkinlik düşük sıcaklıklardan ve yüksek maruz kalma süresinden olumlu etkilenmektedir (Cardenas ve ark 2011). Tavuk ve sığır etinin mikrobiyal dezenfeksiyonunun bu özel sıcaklık ve zaman koşullarında etkili olduğu bildirilmiştir (Coll Cardenas ve ark 2011, Muhlisin ve ark 2016).

Kaess ve Weidemann (1968) *Pseudomonas*, ile inoküle edilmiş sığır etlerini 0,15-5 mg/L ozon gazına maruz bırakarak yaptıkları çalışmada, <2 mg/l ozon uygulamasında *Pseudomonas* sayısında azalma olduğunu saptamışlardır.

Yang ve Chen (1979), piliç parçalarının 3,88 ppm ozon içeren soğutulmuş suda 20 dakika süreyle bekletilmesi sonrasında mikrobiyal yükte 1 logaritmik birim azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Gorman ve ark (1995), sığır eti adipoz dokuları üzerinde 35°C de su ve %0,5 ozon kullanarak yaptıkları çalışmada aerobik bakteri sayısında 1,49 log kob/cm² azalma sağladıklarını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ozonlanmış suyun tek başına veya asetik asit ve laktik asit içeren organik asitler gibi sanitizerlerle birlikte kullanımının karkaslardaki mikrobiyal yükü azalttığını ifade etmişlerdir.

Restaino ve ark (1995) ozon gazının *Salmonella*, *L. monocytogenes*, *S. aureus* gibi gıda kaynaklı patojenler, Kim ve Yousef (2000) ise *Pseudomonas fluorescens* ve *Leuconostoc mesenteroides* üzerine etkisini bildirmişlerdir.

Reagan ve ark (1996), 2,3 ppm ozon uygulanan sığır karkaslarında aerobik bakteri sayısının yaklaşık 1,3 log kob/cm² azaldığını belirlemişlerdir. Sığır karkasları üzerinde yaptıkları çalışmada, sığır karkaslarının ozonlanmış suyla yıkanmasının toplam organizma sayısını 1,3 logaritmik birim azalttığını ve *E.coli* inoküle edilen ve ozonlama işlemine tabi tutulmuş dana kıymalarında *E.coli* sayısının azaldığını saptamışlardır.

Sheldon ve Brown (1986) kanatlı karkaslarında direkt ozon toplam mikrobiyal yükü 2 logaritmil birimden daha fazla azalttığını tespit etmişlerdir. 4°C’de depolanan

ve ozon uygulanmış kanatlı karkaslarının mikrobiyal florasının ozon muamelesi yapılmamış soğutulmuş karkaslara oranla daha az olduğu ileri sürülmüştür.

Greer ve Jones (1989), et yüzeylerinin ozonla işlenmesinden kaynaklanan sınırlı mikrobiyal azalmanın altını çizmişlerdir. Hierholzer ve ark (1993), tavuk karkaslarının soğutma suyunda ozon kullanımının *E.coli*'yi inhibe ettiğini bildirmişlerdir.

Jindal ve ark (1995), mikrobiyal güvenliği artırmak ve raf ömrünü uzatmak için soğutma öncesi tavuk karkaslarına 4°C' de 0,44-0,54 ppm 45 dk ozon uygulaması yapmışlardır. Uygulama sonrası ozonun etkisi ile aerobik koloni, koliform ve *E.coli* sayılarında sırasıyla 1,11; 0,91 ve 0,90 log dan fazla azalma olduğu bildirilmiştir. *P. aeruginosa*, Gram negatif ve Gram pozitif bakterilerin sayılarının ise sırasıyla 0,38; 1,11 ve 1,14 log azaldığı tespit edilmiştir. Ozon uygulaması ile tavuk karkaslarının raf ömrünün 2 gün arttığı bildirilmiştir.

McMillin ve Michel (2000), *E.coli* inoküle edilip ozonlama işlemi yapılan kıyma üzerinde yaptıkları çalışmada uygulama mikrobiyal yükte azalma olduğunu ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, yüksek ozon konsantrasyonları kullanmışlardır. 500, 3500 ve 5000 ppm ozon uygulamasıyla *E.coli* sayımlarında (sırayla 1,07; 7,49; $10,70 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$) 2 log₁₀ döngülük azalma sağlandığı ve ozon konsantrasyonları arttıkça etkinliğinin arttığını bildirmişlerdir.

Kaothien ve ark (2001), jambonlarda 20°C' de 1-15 dk 0,5-1,0 ppm ozon uygulaması ile *L. monocytogenes* popülasyonunda yaklaşık %90 azalma olduğunu saptamışlardır.

Tavuk karkasları üzerine 6,0-8,0 mg/l konsantrasyonunda ozon püskürtülerek yapılan çalışmada, karkas üzerindeki toplam bakteri yükünün azaldığı tespit edilmiştir (Rice 2001).

Stivarious ve ark (2002) %1 ozon gazı ve su banyosu ile 7 ve 15 dk muamele edilen parçalamadan önce temizlenmiş ette, 15 dk'lık uygulama *E.coli*, *Salmonella* Typhimurium, koliform ve toplam aerobik bakteri sayısını azaltırken 7 dk'lık uygulamanın sadece belirli popülasyonlarda (*S. Typhimurium*, toplam aerobik bakteri) etkili olduğu bildirilmiştir.

Castillo ve ark (2003) sıcak karkas yüzeylerine 30 s, 95 mg/l ozon içeren sulu ozon çözeltisi püskürmüşlerdir. *E.coli* O157:H7 (2,0-3,6 log₁₀ kob/cm²) ve *S. typhimurium* (1,9-3,6 log₁₀ kob/cm²) miktarlarındaki azalmaların tek başına su ile elde edilen azalmalardan önemli ölçüde farklı olmadığını rapor etmişlerdir.

Novak ve Yuan (2003) *C. perfringens*, *E.coli* ve *L. monocytogenes* inoküle edilmiş sığır etlerine 45 ve 55 °C 'de 3 ppm sulu ozon 5 dk uygulanması ile *C. perfringens*, *E.coli* ve *L. monocytogenes* sayılarında sırasıyla 1,28; 0,85 ve 1,09 log azalma gözlemlediklerini belirtmişlerdir.

Novak ve Yuan (2004) sığır eti numuneleri üzerinde ozonun *C. perfringens*' e karşı 45-75°C ısı ile işleme birlikte etkisini değerlendirdikleri çalışmada vejetatif hücre ve spor sayılarında sırasıyla 1,5-2,1 ve 0,9-1,2 log azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Jaksch ve ark (2004), farklı dozlarda (100 ve 1000 ppm) 10 dk ozon uygulayarak muhafaza edilen (25 °C; 46-49 saat) domuz pirzolarında, ozon uygulamasının mikrobiyal bozulmayı önemli ölçüde baskıladığını gerek düşük gerekse yüksek dozda ozon uygulamasının test edilen bakteriler üzerinde etkili olduğunu saptanmışlardır. Ozon uygulaması yapılan domuz etlerinde mikrobiyal çoğalmanın azaldığı ve buna bağlı olarak ürünlerin raf ömrünün uzadığını gözlemlemişlerdir.

Güzel Seydim ve ark (2004) farklı gıda bileşenleri kullanarak ozonun bakteriyel popülasyonu azaltmadaki etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, 10 dk ozon uygulamasından sonra farklı gıda komponentlerine *B. cereus* sporlarını, *S. aureus* ve *E.coli* suşlarını inoküle etmişlerdir. Gıda bileşimlerinin farklılığına göre *E.coli* sayısında 1,98-6,11 log azalma, *S. aureus* sayısında, 1,02-6,48 log azalma saptanmışlardır. Spor sayısında ise 0,24- 4,93 log azalma belirlenmiştir.

Al Haddad ve ark (2005) soğutulmuş tavuk göğüs etlerinde 2000 ppm 30 dk ozon uygulaması sonrasında % 70 CO₂: %30 N₂ 7°C de depolama, 2000 ppm 15 dk ozon uygulaması sonrasında % 70 CO₂: %30 N₂ 7°C de depolama proseslerini uygulamışlardır. >2000 ppm 30 dk uygulama yaptıkları grupta *Salmonella infantis* %97, *P. aeruginosa* sayısında ise %95 azalma tespit etmişlerdir. Koliform grubu mikroorganizma sayısında ise belirgin bir etki gözlemlemediklerini bildirmişlerdir.

Dokuzlu (2006), mezbahalarda ozon ve klor uygulamasının etlik piliç karkaslarının mikrobiyal yüküne etkisini araştırdığı çalışmada toplam aerobik mezofilik bakteri sayısının klorlu suya göre ortalama %50 oranında arttığını tespit etmiştir. *E. coli* sayısında %99,47, *Staphylococcus/Micrococcus* sayısında ise ortalama %99,47 artış görüldüğü rapor edilmiştir. Araştırmacılar, ozonlu suyun ortalama %66,67 oranında daha etkili olduğunu, klorlu suya kıyasla ozonlu suyun tavuk karkaslarının dezenfekte edilmesinde çok daha düşük konsantrasyonlarda daha güvenli ve daha etkili olduğunu öne sürmüşlerdir.

Rasanayagam (2006) *Salmonella* ile inoküle edilmiş sığır ve kanatlı etlerine 10.000 ppm' den yüksek konsantrasyonda ozon kullanmıştır. Bu konsantrasyonla mikrobiyal popülasyonun %99 (2,0 log döngüsü) kadar azaldığı, ancak istenmeyen tat ve renk değişiminin meydana geldiğini belirtmiştir.

Hecer ve ark (2007), iki antimikrobiyal uygulamanın (ozon ve klor) iç çıkarma sonrası broiler karkasları üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada, broiler karkaslarına 1,5 ppm 7 dk ozon ve 30 ppm 7 dk (sodyum hipoklorit, NaHClO) uygulamışlardır. Başlangıçta *E. coli* çoğalmasının ozon uygulamasından sonra gözlenmemiştir. Ozonun tavuk karkaslarının dezenfeksiyonunda daha düşük sıcaklıklarda kullanılabileceği tespit edilmiştir. Ozon ve klorun *Staphylococcus/Micrococcus* sayısı üzerindeki ortalama etkisinin sırasıyla %81,33 ve %50 olduğunu bildirmişlerdir.

Jeong ve ark (2007), farklı sürelerde ozon uygulaması yaparak 4°C' de 20 gün vakum ambalajlayarak depoladıkları domuz etlerinde 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 geldiğini bildirmişlerdir.

Piachin ve Trachoo (2011) taze domuz etlerinde ozon gazı ve potasyum laktat kullanımının lipid oksidasyonu ve *S. Typhimurium* ' un hayatta kalması üzerine etkisi üzerine yaptıkları çalışmada ozon ve potasyum laktatın *S. Typhimurium* inhibisyonunda potansiyel oldukları bildirilmiştir.

Soğutma sıcaklıklarında ozon gazı uygulamasının sığır etinin kalitesine etkisinin araştırıldığı çalışmada, aynı konsantrasyonda ozon gazı ile muamele edilen sığır eti örneklerinde en yüksek mikrobiyal inhibisyonun 0°C de ve 24 saatlik

uygulama gruplarında meydana geldiği belirlenmiştir. *E.coli* ve toplam aerobik mezofilik heterotrofik mikroorganizma sayılarında sırasıyla 0,7 ve 2,0 log₁₀ döngülük bir azalma meydana geldiği ancak bu örneklerde yüzey rengi ve lipit oksidasyon değerlerinin kabul edilebilir değerlerde olmadığı bildirilmiştir. Daha kısa maruziyet süresi 3 saat, 0-4 °C de örneklerin rengi değişmeden ya da ransid durum oluşturmada toplam aerobik mezofilik heterotrofik mikroorganizma sayılarının 0,5 log₁₀ döngüde ve *E.coli* sayılarının ise 0,6-1,0 log₁₀ döngüde azaldığı bildirilmiştir (Coll Cardenas ve ark 2011).

El Dahshan ve ark (2013)'nın soğutulmuş tavuklarda ozonun etkisinin araştırıldığı çalışmada, 20 dakika 40, 60, 70 ppm ozon gazı uygulanan ve 4 ±1 °C de depolanan tavuk göğüs etlerinde toplam aerobik bakteri sayısı, koliform ve toplam küf miktarını etkili bir şekilde azaldığı ve raf ömrünü 9 günden fazla uzadığı tespit edilmiştir.

Çiğ tavuk etlerinde bulunan *L. monocytogenes*' i tamamen azaltmak için gereken ozonlamanın dozunu ve süresini belirlemek için yapılan çalışmada, 33 mg/dk' lık spesifik dozda ozon gazının 9 dakika uygulanmasıyla çiğ tavuk numunelerinde *L. Monocytogenes* sayısında 2x10⁶ kob/g azalma meydana geldiği tespit edilmiştir (Muthukumar ve Muthuchamy 2013).

Muhlisin ve ark (2015) *S. Typhimurium* inoküle edilen tavuk göğüs etlerinde ozon uygulamasının mikrobiyal etkilerini inceledikleri çalışmada, ozon uygulamasının tavuk göğüs etlerinin bakteri yükünde azalma görüldüğünü tespit etmişlerdir.

Muhlisin ve ark (2016) ozon gazı uygulanmış tavuk ve ördek göğüs etlerinde soğuk depolama sürecinde mikrobiyal etkiyi görmeyi amaçladıkları çalışmada, koliform, aerobik ve anaerobik bakteri sayılarının ozon etkisi ile azaldığını ileri sürmüşlerdir.

Ozon uygulamasının ve dondurarak kurutmanın etlik piliç etinin raf ömrü üzerindeki kombine etkilerinin araştırıldığı çalışmada 0,4; 0,6 ve 0,72 ppm olarak 3 farklı konsantrasyonda 10, 30, 60 ve 120 dk ozon uygulaması yapılmıştır. 8 aylık depolama süresince mikrobiyolojik (toplam aerobik mezofilik bakteri, laktik asit bakterileri) ve duyu analizler kullanılarak raf ömrü belirlenmiştir. Sadece liyofilizasyon işleminde raf ömrü 4 ayken, ozon ve liyofilizasyonun (kombine

uygulamalar) depolamanın ilk ayından itibaren çoğu mikrobiyal grubun çoğalmasını geciktirmede etkili olduğu gösterilmiştir. 0,6 ppm ve 10 dk ozon uygulamasının ve liyofilizasyon kombinasyonunun etin mikrobiyal özelliklerinin arttırılmasında en iyi sonuç verdiği, duyuşal olarak kabul edilebilir bir ürün elde edilmesinde ve bunun yansıra raf ömrünün 8 aya kadar uzamasına katkı sağladığı bildirilmiştir (Cantalejo ve ark 2016).

Ünal (2017), ozonlu suyla muamele, modifiye atmosferde ambalajlama, su tutucu kullanımının kombine kullanımının soğukta muhafaza edilen tavuk göğüs etlerinde mikrobiyolojik kalite özelliklerindeki değişimler üzerine etkisini incelediği çalışmasında, genel olarak ozon uygulanmış grupların toplam aerobik psikrofilik bakteri (TAPB), laktik asit bakteri (LAB) ve Enterobacteriaceae sayılarının kontrol grubundan daha düşük olduğu ve mikrobiyal gelişimin baskılandığını bildirilmiştir.

Taze tavuk butlarına ozon uygulaması ve vakum paketlemenin kombin etkisinin raf ömrüne katkısının araştırıldığı çalışmada, 2, 5 ve 10 mg/L dozlarında ozon kullanılmıştır. Ozon uygulaması yapılan butlar PA/PE vakum paketleri kullanılarak vakum ambalajlanmıştır. 4±1 °C de 16 gün depolanmıştır. Mikrobiyolojik olarak (TVC, *Pseudomonas* spp., LAB, küf ve maya ve Enterobacteriaceae) değerlendirilmiştir. Yüksek doz ozon uygulamasının mikrobiyal popülasyonu kontrol etmede daha efektif olduğu bildirilmiştir (Gertzou ve ark 2017).

Megahed ve ark (2018a, 2018b) bakteri yükünün ozonlanmış maddenin mikrobiyal öldürme kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu; bakteri yükü ile azalma oranı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Megahed ve ark (2020) yaptıkları diğerk bir çalışmada, tavuk deri yüzeyine ve tavuk parçalarına 8 ppm' lik ozonlu suyun 6 ardışık ıslatma, 7 ardışık püskürtme döngüsü ile uygulanması yüksek *Salmonella* yükünü tespit edilebilir sınırlar altına indirmek için etkili ve güvenli bir protokol sağladığını bildirmişlerdir. Ayrıca laktik asit ilave edilen ozonlu suyun dekontaminasyon etkisinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Kanaan (2018), taze ve dondurulmuş tavuk etlerinin 0,5 ppm/4°C ozonlanmış su ile 45 dk süreyle işlenmesinin metisiline dirençli *S. aureus* miktarında 2-4 log azalmaya yol açtığını bildirmiştir. Kanaan ve Abdullah (2021) sığır etinin bozulmasına neden olan çoklu ilaca dirençli *S. aureus* ile mücadelede ozon uygulamasının etkisinin

araştırıldığı çalışmada, 3-7 °C de 0,5 ppm ozon 15-30 dk uygulamıştır. Uygulama sonrasında tüm örneklerde 30 dk sonra bakteri sayımlarındaki toplam azalma 2-3 log₁₀ kob/ml olarak bildirilmiştir.

Karamah ve Wajdi (2018), maruziyet, süre, sıcaklık ve ozon konsantrasyonlarının tavuk etinin sahip olduğu muhtemel aerobik mezofilik bakteriler üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, 0,21-0,38 mg/l ozon konsantrasyonu, 40, 80, ve 120 dk maruziyet süresi, 3, 26, 37 °C uygulama sıcaklığı değerleri kullanılmıştır. 0,38 mg/l ozon konsantrasyonuna sahip ozonlu su uygulanan tavuk etlerinde 3°C, 120 dakikada aerobik mezofilik bakteri sayısının 1 log kob/g; 0,21 ve 0,38 mg/l ozon konsantrasyonlarında ise toplam aerobik mezofilik bakteri sayısının sırasıyla 0,42 ve 0,89 log kob/ g azaldığını belirlemişlerdir.

Botta ve ark (2018), vakum paketlenmiş sığır bifteklerinde potansiyel olarak aktif bozulmaya neden olan bakteriler üzerine (6±0,25 mg/L; 90 s) ozon gazı+elektrolize su uygulaması ve saklama koşullarının (4°C) etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada, uygulamalar sonrası bifteklerin başlangıç mikroorganizma yükünün azalmadığını bildirmişlerdir. Vakum paketlenmiş 15 gün soğukta depolama sırasında da mikrobiyota kompozisyonlarının büyük ölçüde değişmediğini, uygulama öncesi ve sonrası baskın türün *Pseudomonas fragi* olduğunu belirtmişlerdir.

Kalchayanand ve ark (2019), taze etlerde geleneksel spreylere soğutma uygulaması ile sulu ozon spreylere soğutma uygulamasının *E.coli* ve aerobik bakteri üzerine etkisini değerlendirdikleri çalışmada, sulu ozon spreylere soğutma uygulamasının aerobik bakteride etkisiz olan spreylere soğutma karşısında taze et yüzeyinde *E.coli* (1,49 log) ve aerobik bakteri sayısının da (0,99 log) önemli derecede ($p \leq 0,05$) azalttığını tespit etmişlerdir.

Ayrancı ve ark (2020), ozon uygulaması yapılan hindi göğüs etlerinin mikrobiyolojik kalite ve fizikokimyasal etkilerini araştırdıkları çalışmada, 1×10^{-2} kg/m³ ozon gazı 2, 4, 6, 8 saat sürelerde uygulamıştır. Tüm ozon uygulamalarının hindi göğüs etlerinin başlangıçtaki TAMB sayısını önemli ölçüde azalttığını bildirilmiştir ($p < 0,05$). 2 ve 4 saat ozon uygulanan örneklerde TAMB sayılarında anlamlı bir fark bulunmadığı ($p > 0,05$) ve 1,5 log azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Ozon uygulama süresinin uzatılmasının (6-8 saat) mikrobiyal inaktivasyonu arttırdığı ve

hindi göğüs örneklerinin TAMB sayılarında 3 log' a varan azalmalar elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Kalchayanand ve ark (2020) taze etlere ozon uygulamasıyla birlikte UVC ışınlamasının taze sığır eti yüzeyindeki patojen ve aerobik bakteri popülasyonunu azalttığını tespit etmişlerdir.

Abed Allah ve Abed Ali Al-obaidi (2020), ozona maruz kalma süresinin (10, 15, 20 dk) sığır ve koyun eti bakteri miktarı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada, ozon uygulamasından önce toplam bakteri sayısı (5,30-5,51 log kob/g), toplam koliform (2,2-3,4 log kob/g) ve psikrofilik bakteri sayısı (3,1-3,3 log kob/g) arasında değiştiğini saptamışlardır. Ozon uygulaması ile sonuçlarda önemli farklılıklar ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. 10 dk ozon uygulanan etlerde toplam bakteri sayısının 2-4,8 log kob/g, toplam koliform 1,2-1,9 kob/g, psikrofilik bakteri sayısının 1,8-1,9 log kob/g azaldığı bildirilmiştir.

Zhang ve ark (2020), ozonlanmış su ($9 \pm 0,25$ mg/L) ve sodyum sitrat uygulamasının soğutma sıcaklığında saklanan vakum paketlenmiş sığır etinin kalitesi üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışma sonucunda 5 farklı grup arasında toplam canlı sayılarında önemli farklılıklar olduğunu ve uygulamalar ile toplam canlı miktarlarında azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Vargas ve ark (2021), ticari sığır eti işleme tesisinde ozonlu su ve laktik asit kullanımının etlerin doğal mikrobiyotası üzerindeki antimikrobiyal etkinliğini inceledikleri çalışmada baş, kalp ve karaciğer sakatatları kullanılmıştır. Aerobik bakteri sayısında baş, kalp ve karaciğer için sırasıyla 1,73, 1,66 ve 1,50 log kob/g; *E.coli* sayısında ise 0,75, 0,62 ve 1,25 log kob/g düzeylerinde azalmaların meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

Ozon uygulaması yapılarak soğukta muhafaza edilen sığır etlerinin raf ömrü boyunca kalite özelliklerinin değerlendirildiği çalışmada, ozon uygulamasının *L. monocytogenes* sayısını azalttığı bildirilmiştir. Uzun süreli ozon uygulamasının (10 dakikadan fazla) etin kırmızı rengini ve oksidatif acılaşmayı olumsuz etkilediği tespit edilmiştir (Gimenez ve ark 2021).

Ali ve ark (2022), bakteri penetrasyonunun (*Aeromonas hydrophila*, *L. monocytogenes*, *Y. enterocolitica*) sağlandığı sığır eti numunelerinde ozon uygulamasının (0,5 ppm; 15, 30, 45 dk) bakteri yükü üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, 0,5 ppm ozon konsantrasyonunun et bloklarındaki bakteri sayısını azaltmada oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Her bir zaman periyodunda gram negatif bakteri sayısının 3 log kob/ml, Gram pozitif bakteri sayısının 2 log kob/ml azaldığı, başlangıç bakteri sayısından 5 log kob/ml azalmaya ulaşmak için 45 dk uygulama yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ozonlanmış suyun antibakteriyel aktivitesinin Gram negatif bakteriler üzerinde Gram pozitif bakteri türlerinden daha etkili olduğu görülmüştür. Aynı konsantrasyonda ozonlanmış suya maruz kalma süresi yeniden arttırıldığında bakteri sayısının azaldığı bildirilmiştir.

Qian ve ark (2022), ozon gazı uygulamasının somon balığının kalite ve mikrobiyal flora üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, farklı doz ve sürelerinde uyguladıkları ozon gazının toplam canlı mikroorganizma sayısını 10. gününde kontrol grubuna göre azalttığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, ozon gazının toplam canlı mikroorganizma sayısındaki artışın 1 log kob dan daha fazla etkilediğini bildirmişlerdir.

Ozon gazının kanatlı etlerinin raf ömrüne etkisini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada, 0 ppm 0 dk, 10 ppm 1 dk, 10 ppm 5 dk, 10 ppm 15 dk, 100 ppm 1 dk, 100 ppm 5 dk, 100 ppm 15 dk ozon uygulanmıştır. Uygulama yapılan ve yapılmayan ürünler 4°C' de 3 gün depolanmıştır. 1. 2. ve 3. gün mikrobiyolojik açıdan incelenmiştir. Uygulanan ozon gazının depolama koşullarında ve süresince mikrobiyolojik açıdan etkisi olmadığı ileri sürülmüştür (Matlok ve ark 2023).

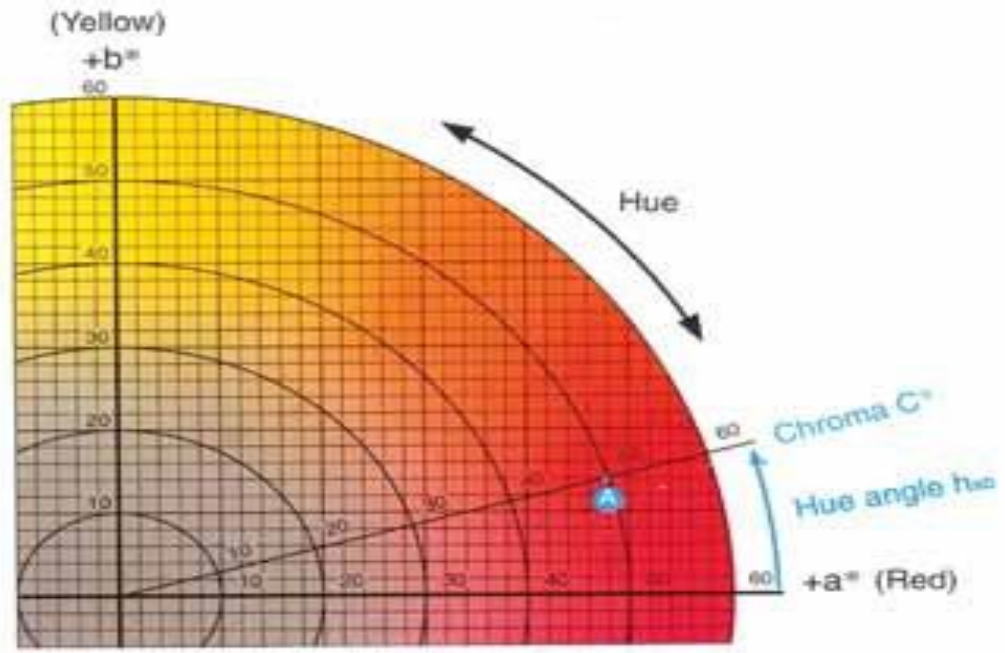
Et ürünleri ve üretim ekipmanlardan izole edilen bakteriler (örn: *Staphylococcus* spp., *Bacillus* spp., *E.coli*, *Enterobacter* spp., *Proteus* spp., *Providencia* spp., *Pseudomonas* spp.) üzerine ozon gazının etkisinin araştırıldığı çalışmada 0,1 mg/kg ozon gazı 0; 0,5; 1; 2; 4; 8 ve 15 dakika süreyle uygulanmıştır. Tüm test bakterilerinin ozon uygulamasına duyarlı olduğu ve 15 dk ozon uygulanmasında *Proteus* spp., *Providencia* spp., *Enterococcus* spp., *Citrobacter* spp. ve *Staphylococcus* spp. sayılarında sırasıyla 4,9; 5,1; 4,5 ve 5,8 log₁₀ azalma olduğu tespit edilmiştir (Devatkal ve ark 2023).

1.1.6. Ozon Uygulamaları ve Renk

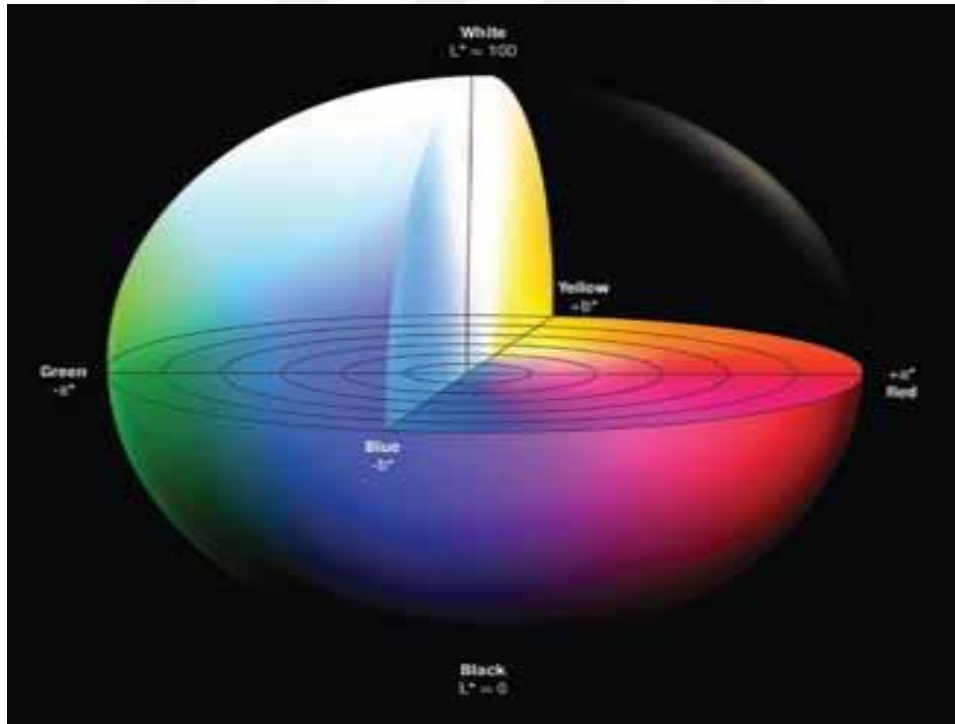
Renk, etin görsel kalitesini belirleyen ve tüketicilerin tercihleri açısından büyük önem taşıyan bir faktördür. Etin özgün rengi, içerdiği pigmentlerin ve bu pigmentlerin belirli dalga boylarındaki ışığı absorbe etme ve yansıtma yeteneğinde rol oynayan özel proteinlerin etkisiyle oluşmaktadır.

Etin rengini büyük ölçüde etkileyen proteinler miyoglobin ve hemoglobindir. Kanı iyi akıtılmış etlerde miyoglobin toplam pigmentin %80-90'ını oluşturur. Kesimden hemen sonra etin rengi oksijen ve atmosfer basıncının etkisiyle mor-kırmızıdan parlak kırmızıya döner. Ancak et bu rengini uzun süre koruyamaz; oksidasyon işlemi sırasında miyoglobin ve oksimiyoglobin yapılarındaki $+2$ (Fe^{+2}) değerindeki demir atomları $+3$ (Fe^{+3}) değerine oksitlenir ve oksimiyoglobin metmiyoglobine dönüşür. Bu değişime bağlı olarak et rengi de zamanla kırmızıdan kahverengiye doğru değişmektedir (Fox 1987).

Et ve et ürünlerinin rengini ölçmek için en yaygın kullanılan sistem CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) tarafından geliştirilen sistemdir. Sistem, ışık kaynağının spektral dağılımını, standart bir kolorimetre gözlemcisini ve standart bir aydınlatma modelini içerir. CIE renk sisteminde L^* değeri parlaklığı belirtir ve 0 (siyah) ile 100 (beyaz) arasında değişir. a^* değeri yeşilden (-a) kırmızıya (+a) renk değişimini, b^* değeri ise maviden (-b) sarıya (+b) renk değişimini ifade eder (AMSA 2012). Et ve et ürünleri için kullanılan CIE renk ölçüm sistemi Şekil 1.2'de, CIE üç boyutlu renk uzayı Şekil 1.3' te gösterilmektedir (AMSA 2012).



Şekil 1.2. Et ve et ürünlerinde kullanılan CIE (Commision Internationale de l'Eclairage) renk ölçüm sistemi.



Şekil 1.3. Et ve et ürünlerinde kullanılan CIE (Commision Internationale de l'Eclairage) üç boyutlu renk uzayı.

Hunt (1991), renk ölçüm sistemindeki a^* değerinin etin kırmızılık derecesini temsil ettiğini ve bu değerin etin oksijenlenme süresiyle yakından ilişkili olduğunu

belirtmektedir. Araştırmacı bu ilişkinin, miyoglobinin oksidasyon ve redüksiyon aşamalarının doğrudan etin pH'ı ile etkileşime girmesinden kaynaklandığını söylemektedir. Brewer ve ark (2001), kolorimetrik bir sistemde etin parlaklık derecesini gösteren L* değerinin etin oksijenlenme süresinden etkilenmediğini ve etin pH değeri ile yakından ilişkili olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca Joo ve ark (1999), et L* değerlerindeki varyasyonun yaklaşık %65'inin sarkoplazmik proteinlerin çözünürlüğündeki değişikliklerden kaynaklanabileceğini öne sürmüşlerdir.

Ozon et ve et ürünlerinin fizikokimyasal ve duyuşal niteliklerini etkileyebilmektedir. Ozonun en belirgin etkisi et örneklerinin yüzey renginde gözlemlenmiştir. Ozon uygulanmış sığır eti (Coll Cárdenas ve ark 2011, Cho ve ark 2014) ve tavuk göğüs örneklerinin (Muhlisin ve ark 2015) L*, a* ve b* değerlerinde önemli değişiklikler tespit edilmiştir. Muhlisin ve ark (2015) ozon uygulanmış tavuk göğüs etlerinde 3 gün depolama boyunca L* ve b* değerlerinde bir etki görülmediğini bildirmişlerdir. Cho ve ark (2014) ozona maruz kalmanın (10×10^{-6} kg/h, 4°C'de 3 gün) kıymanın a* değerini azalttığını bildirmiştir. Literatürde ozon uygulamalarının arttığı (Cho ve ark 2014) ve çeşitli et örneklerinin b* değerlerini net bir şekilde etkilemediği rapor edilmiştir (Cho ve ark 2014).

Coll Cardenas ve ark (2011) 0°C ve 4 °C 'de 3 saat boyunca sürekli olarak ozon uygulaması yapılan etlerde yüzey rengi parametrelerinin kontrol grubu ile karşılaştırıldıklarında önemli ölçüde değişmediğini tespit etmişlerdir ($p > 0,05$). 24 saat boyunca ozon uygulaması yapılan etlerde yüzey rengi önemli ölçüde değişmiştir ($p < 0,05$). a* değeri miyoglobin ve oksimiyoglobinin metmiyoglobine oksidasyonu nedeniyle kontrol grubu örneğine göre azalmıştır. a* değerinin azalması oksimiyoglobin pigmentinin kaybına bağlıdır. Bu sonuçlar Unda ve ark (1989) tarafından da bildirilmiştir. Ozon uygulaması yapılan etlerde depolama sürecinde a* değerinin azaldığı belirtilmiştir. Stivarius ve ark (2002) kıymanın L* değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. Araştırmacılar L* değerlerindeki artışların ozonun ağartma etkisinden kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir.

Muhlisin ve ark (2016), ozon uygulamasının ördek ve tavuk göğüs etlerinin depolama boyunca kırmızılığı önemli derecede azalttığını tespit etmişlerdir. Ördek göğüs etinin a* değerinin tavuk göğüs etininkinden önemli ölçüde yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Depolama günleri boyunca ozon uygulaması ile kırmızılık önemli

ölçüde azalmış ($p<0,05$) ve ördek göğüs etinde daha yüksek bir azalma olduğu belirlenmiştir. Ozonun depolama sırasında ördek ve tavuk göğsünün yüzeyinde CIE L^* , b^* ve h° değerlerinin artış derecesini hızlandığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, kroma değerleri ozon maruziyetinden CIE a^* değerleri ile aynı şekilde etkilenecek şekilde soluk ve kahverengi özelliklerin oluştuğunu bildirmişlerdir. Faustman ve ark (2010) a^* değerlerindeki azalmaların miyogloblin oksidasyonuna bağlı olarak lipid oksidasyonunu tetikleyeceğini iddia etmişlerdir (Faustman ve ark 2010).

Ozon gazı maruziyeti ile miyogloblin ve oksimiyogloblinin metmiyoglobline oksidasyonu a^* değerinin azalmasına sebep olmaktadır. Ozon ve diğer reaktif oksijen türleri güçlü oksidanlardır lipid ve miyogloblin oksidasyonunu başlatmaktadırlar (Bekhit ve ark 2013). Miyogloblinin oksidasyonu ile metmiyogloblin oluşmakta ve bu da etin renginin solmasına neden olarak, düşük kırmızılık olarak karakterize edilmektedir (Mancini ve Hunt 2005).

El Dahshan ve ark (2013), ozon uygulamasının tavuk göğüs etlerinin renk, koku ve doku kalitesi üzerine olumsuz bir etkisinin olmadığını, aynı zamanda kabul edilebilir özellikleri 9 günden fazla uzattığını bildirmişlerdir. Ozon uygulamasının kanatlı, kırmızı ve balık etlerinin kalite özellikleri üzerindeki etkisinin olduğu çok sayıda araştırmacı (Sheldon ve Brown 1986, Graham 1997, Graham 2000, Leusink ve Karf 2000, Maris ve ark 2000, Al Haddad ve ark 2005, Perry ve Yousef 2011) tarafından belirtilmektedir.

Cantalejo ve ark (2016), broiler tavuk etine kombin uygulama yaptıkları çalışmada, liyofilizasyonun L^* , a^* ve b^* değerlerini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir. Dondurularak kurutulmuş etin L^* , a^* , b^* değerlerinin taze et ile karşılaştırıldığında arttığı bildirilmiştir (Babic ve ark 2009).

Clavijo (2005) ozonlanmış kısmen kurutulmuş tavuk etindeki L^* ve b^* değerlerinde azalma olduğunu bildirmiştir.

Gertzou ve ark (2017), tüm tavuk budu örneklerinin renk değerlerini incelediklerinde parlaklığı ifade eden L^* değerinin depolamanın 16. gününe kadar azaldığını ve bu da ürünün renginin daha soluk hale geldiğinin bir göstergesi olduğunu bildirmişlerdir.

Sheldon ve Brown (1986) kümes hayvanlarının karkaslarının derilerinde renk kaybı görülmediğinden ozon uygulamasından etkilenmediğini bildirmişlerdir.

Ayrancı ve ark (2020), hindi etinin renk değerleri üzerinde ozonun çarpıcı bir etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar ozonla işlem görmüş tüm numunelerin L^* (açıklık) değerlerinin, işlem görmemiş numunelerden daha yüksek olduğunu, işlem süresinin artmasıyla birlikte tüm örneklerde L^* değerlerinin yükseldiğini ancak 6 ve 8 saat ozon uygulanan örneklerin L^* değerleri arasındaki farkın önemli olmadığını ($p > 0,05$) belirtmişlerdir. 8 saat ozon uygulanan numunelerin a^* değerlerinde, işlem görmeyen numunelere göre yaklaşık altı kat kayıp meydana geldiği, örneklerin b^* değerlerinde bazı değişiklikler gözlenmesine rağmen 8 saat işlem gören örnekler ile işlem yapılmayan örneklerin b^* değerleri arasındaki farklılıkların önemli olmadığı ($p > 0,05$) belirtilmiştir. Benzer şekilde 2, 4 ve 6 saat süreyle işleme tabi tutulan örneklerin b^* değerleri arasında da anlamlı bir fark ($p > 0,05$) bulunmamıştır.

Lyu ve ark (2016) CO ön işlemleriyle birlikte farklı O_3 konsantrasyonlarının sığır eti yüzey rengi üzerine etkisini inceledikleri araştırmada her grup arasında L^* değerlerinde belirgin bir farklılık görülmediğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar CO ön işleme tabi tutulan bifteklerin temel kırmızı rengi ($a^* > 10$) uzun süre koruyamadıklarını bununla birlikte depolama döneminde belirli bir süre diğer gruplara göre önemli farklılıkların ($p > 0,05$) oluşmadığını belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar, herhangi bir ön işlem uygulanmayan sığır etinin kırmızı renginin depolamanın ilk haftasında azaldığını ($a^* < 6$), ancak daha sonraki depolamada sürecinde tekrar hafif bir artış gösterdiğini ileri sürmüşlerdir. CO ön uygulamasının bifteklerin a^* ve b^* değerlerini yükseltebildiğini, O_3 'ün ise CO' nun geliştirdiği rengi önemli derecede etkilemediğini belirtmişlerdir.

Fournaud ve Lauret (1972), O_3 uygulamasının sığır etinin rengi üzerinde olumsuz etkilere neden olabildiğini bildirmişlerdir. Kaess ve Weidemann (1968) ise düşük konsantrasyonda O_3 ile muamele edilen sığır etinin rengini çok fazla etkilemeyeceğini bildirmişlerdir.

Kalchayanand ve ark (2020), UVC-ozon uygulamasının taze sığır etinin a^* ve b^* renk değerlerini hemen etkilediğini ($P \leq 0,05$), ancak L^* değerinin etkilenmediğini

öne sürmüşlerdir. 0. günde UVC-ozon uygulanan numunelerin a^* ve b^* renk değerlerinin 15,69 ve 8,40 iken kontrol numunelerinde bu değerler sırasıyla 19,71 ve 13,13 olarak tespit edilmiştir.

Jeong ve ark (2007) ozon uygulamalarının domuz et rengi üzerinde zararlı bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir.

Ünal (2017), modifiye atmosferde paketlenen ve ozonlanan tavuk göğüslerinin depolama süresi boyunca ölçülen L^* değerlerinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını bildirmiştir. Genel olarak a^* ve b^* değerlerinde gruplar arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı bulunmadığını belirtmiştir. ($p>0,05$).

Zhang ve ark (2020), ozon gazı+ sodyum sitrat uygulamasının soğutma sıcaklığında (4°C) depolanan vakumlu paketlenmiş sığır eti kalitesi üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada tüm deney grupları için a^* değerinin zamanla düştüğünü tespit etmişlerdir. Bunlardan sadece ozon ile muamele edilen dana bifteklerinde a^* değerlerinin düşme derecesi diğer muamelelere göre çok daha yavaş olmuştur. Ozon gazı uygulamasının sığır bifteklerini daha koyu ve kırmızı hale getirdiği bildirilmiştir.

Gimenez ve ark (2021) yaptıkları çalışma sonucunda sığır etlerine uygulanan ozonun toplam renk farkını önemli ölçüde ($p<0,05$) etkilediğini tespit etmişlerdir. Uygulama yoğunluğu arttıkça ΔE^* değerlerinin tüm gruplarda arttığını, miyoglobinin ve oksimiyoglobinin metmiyoglobine oksidasyonu nedeniyle ozon kullanıldığında a^* (kırmızı/yeşil koordinatlar) değerlerinin azaldığı bildirilmiştir.

Qian ve ark (2022), ozon gazı uygulamasının somon balığının kalite ve mikrobiyal flora üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında ozonlama işleminin tüm örneklerin a^* değerinde depolama süresince hafif bir düşüşe yol açtığını bildirmişlerdir.

Matlok ve ark (2023) ozon gazının kanatlı etlerinin renk değerlerini (L^* , a^* , b^*) önemli ölçüde değiştirdiğini tespit etmişlerdir. En çok arzu edilen L^* değerinin depolamanın üçüncü gününde, 5 dakika boyunca 10 ppm oranında ozon gazı işlemine tabi tutulan numunelerde bulunmuştur.

Bu araştırmada, farklı süre ve dozlarda ozon uygulamalarının soğukta muhafaza süresince kırmızı etin bazı kalite nitelikleri üzerine etkilerini belirlemek amaçlanmıştır.



2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Araştırmada materyal olarak, 300-320 kg karkas ağırlığına sahip olan erkek sığırlardan elde edilen kontrfileler (*M. longissimus lumborum*) kullanıldı. Kontrfile (Striploin) büyükbaş hayvanlardan bel kemiklerinin üst kısmından, sakrum kemiğinin ortalarına kadar boydan boya uzanan ve omurlara yapışık olan kaslardan elde edilir. Üst kısmı yağ doku ile kaplıdır. Yağlarından arındırıldıktan sonra ortalama 2,5-4 kg ağırlığındaki bir et preparatıdır.

2.2. Metot

2.2.1 Deneysel Numunelerin Hazırlanması ve Ozon Uygulamaları

Deneysel et numunelerine ozonlama uygulaması yapılmadan önce (hammaddede) pH, su aktivitesi (a_w), renk (L^* , a^* , b^*), TBARs (lipid oksidasyonu) ve mikrobiyolojik (toplam mezofilik aerobik mikroorganizma, *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, *E. coli*, *Salmonella* spp.) nitelikleri açısından standartlarda belirtilen ve tüm örneği temsil edecek şekilde numuneler alındı. Numune alım sonrası etler beş gruba ayrıldı. Deneysel numuneler uygulama yöntemine göre kodlanmıştır. Kodlama işlem sonrasında Tablo 2.1’de gösterilen deneme desenine göre ozon uygulaması yapıldı. Ozon uygulamaları bir ozon jeneratörü ve hava ozon ölçüm cihazı (Teknozone TKZ-6G 6 gr/h; Şekil EK-B 1,2) kullanılarak gerçekleştirildi. Ozonun bakterisid etkinliğini sağlamak amacıyla ozonlama işlemi $4\pm0,5$ °C ve 90 ± 1 bağıl neme ayarlı özel tasarlanmış soğutucu dolapta (TeknikBuz, YDAD-41; Şekil EK-B 3) gerçekleştirildi.

Ozon uygulamasından hemen sonra uygun şekilde numuneler alınarak deneysel numunelerde pH, su aktivitesi (a_w), renk (L^* , a^* , b^*), TBARs (Lipid oksidasyonu) ve mikrobiyolojik (toplam mezofilik aerobik mikroorganizma, *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, *E. coli*, *Salmonella* spp.) analizleri gerçekleştirildi. Ozon uygulaması sonrası analizler için numune alımı tamamlanan deneysel numuneler 2 ± 1 °C’de, 0,1-0,2m/s rüzgâr hızı ve $85-90$ bağıl neme ayarlı dolapta (TeknikBuz, YDAD-41) 14 gün süreyle muhafazaya alındılar. Muhafazanın 7 ve 14. günlerinde yukarıda belirtilen fizikokimyasal ve mikrobiyolojik nitelikler

açısından bütün numuneler periyodik olarak analize alındı. İşlemeler 3 tekerrür ve 2 paralel şeklide yürütülmüştür.

Ozon jeneratörü şekil EK-B 1' de, hava ozon ölçüm cihazı şekil EK-B 2' de, ozon uygulamasının yapıldığı ve etlerin muhafazaya alındığı soğutucu dolap şekil EK-B 3' te ve deneysel numunelerin uygulama öncesi görünümleri şekil EK-B 4' te gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Deneysel uygulama deseni.

Grup	Ozon Uygulama (ppm)	Süre (dakika)
Kontrol	-	-
I.	0,5	10
II.	0,5	20
III.	0,6	10
IV.	0,6	20

2.2.2.Fizikokimyasal Analizler

2.2.2.1. pH Değerinin Belirlenmesi

Deneysel numunelerin pH değerleri taşınabilir pH metre (Testo 205, pH Temperature-Messgerat, AG postfach 1140, 79849, Lenzkirch) kullanılarak belirlenmiştir (Lambooij ve ark 1999).

2.2.2.2. Tiyobarbitürik Asit Reaktif Substans (TBARs) Değerinin Belirlenmesi

Et numunelerinde oksidasyon derecesinin ve tiyobarbitürik asitin (TBA) belirlenmesi için Tarladgis ve ark (1960) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır. Yöntem, numunede bulunan malonaldehitin damıtma yoluyla ayrılması, TBA reaktifi ile inkübe edilmesi ve ortaya çıkan rengin yoğunluğunun (absorbsiyonunun) bir spektrofotometre kullanılarak ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Sonuçlar mg MDA/kg cinsinden ifade edilmiştir.

2.2.2.3. Su Aktivitesi (a_w) Değerinin Belirlenmesi

Numunelerin su aktivitesi değerleri portatif higrometre (Novacina, Labswift- a_w , İsviçre; şekil EK-B 8) kullanılarak belirlenmiştir (Rdell ve ark 1975).

2.2.2.4. Reflektans Renk Analizi

Reflektans renk analizi Minolta marka D65 aydınlatmalı, 2° gözlemcili ve Diffuse/O modundaki 8 mm aydınlatma aralığına sahip bir kromametre (CR-400 model, Konica Minolta, Osaka, Japonya; Şekil EK-B 9) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. L* (parlaklık), a* (kırmızılık, +60, kırmızı; -60, yeşil) ve b* (sarılık, +60, sarı; -60, mavi) renk koordinatları CIE L*, a*, b* renk koordinat sistemine göre belirlenmiştir. Her bir et numunesinin yüzeyinde 3 farklı ölçüm yapılarak renk ölçümleri yapılmıştır (Röhrle ve ark 2011).

2.2.3. Mikrobiyolojik Analizler

2.2.3.1. Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri Sayımı

Toplam mezofilik aerobik bakteri sayımı, Food and Drug Administration Bacteriological Analytical Manual (FDA BAM)'a göre yapılmıştır (FDA 2001). Seyreltme yapılan tüplerden 1'er ml alınarak Plate Count Agar (Merck 1.12535) besiyerine dökme plak yöntemi ile ekim yapılmıştır. 37°C'de 24 saat inkübasyon sonrası sayılabilir durumdaki petrilerden koloni sayımı yapılmıştır.

2.2.3.2. *Pseudomonas* spp. Sayımı

Analiz, TS EN ISO 13720:2011; Et ve et ürünleri - *Pseudomonas* spp. sayımı metoduna göre yapılmıştır (TSE 2011).

2.2.3.3. Enterobacteriaceae Sayımı

Bu mikroorganizmaların sayımı, ISO 21528-2 'ye göre yapılmıştır. Violet Red Bile Dextrose Agar (VRBD, Merck 1.10275) besi yerinde çift katlı dökme plak yöntemiyle ekim gerçekleştirilmiş ve 37°C'de inkübasyon sonrası tipik koloniler sayılarak belirlenmiştir.

2.2.3.4. *E. coli* Sayımı

Analiz; TS ISO 16649-2: *E. coli* sayımı koloni sayım tekniğine göre yapılmıştır (TSE 2001).

2.2.3.5. *Salmonella* spp. Sayımı

Analiz TS EN ISO 6579-1:2017/A1 *Salmonella* spp. sayım tekniğine göre gerçekleştirildi (TSE 2017).

2.3. İstatistiksel Analizler

İstatistiksel değerlendirmelerde IBM SPSS Statistics Versiyon 27 paket programı kullanıldı. Tekrarlı ölçümleri olan pH, su aktivitesi (a_w) değerlerinde varyans analizi, mikrobiyolojik verilerde Kruskal-Wallis testi, renk analizlerinde Genel Doğrusal Model, parametrik verilerin ikili grup karşılaştırmalarında Duncan testi ve Paired t testi, parametrik olmayan bağımsız grupların karşılaştırılmasında Mann-Whitney U testi ve Wilcoxon testi kullanılarak istatistik değerlendirmelerde $p < 0,05$ değerleri önemli olarak kabul edildi (Tekin 2010). Parametrik olmayan bağımlı verilerin karşılaştırılmasında iki yönlü Freidman testinden yararlanıldı. Gruplar arası farklılıkların gösteriminde satır (x, y, z) ve sütunlar (a, b, c..) için ayrı ayrı harflendirme sembolleri ile ifade edildi (İnal 2005).

3.BULGULAR

Araştırmada materyal olarak 300-320 kg karkas ağırlığına sahip erkek kasaplık sığırlara ait bel kası kontrfile (*M. longissimus lumborum*) kullanılmıştır. Başlangıçta bütün grupları temsil edecek şekilde mikrobiyolojik toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, *Salmonella* spp. ve *E.coli*), fizikokimyasal (pH, a_w ve TBA) ve renk (L^* , a^* , b^*) analizleri için numuneler alınmıştır. Numune alım sonrası araştırma desenine uygun olarak etler beş gruba ayrılmışlardır. Birinci grup numuneler kontrol grubu olarak değerlendirilmiş olup ozon uygulaması yapılmamıştır. Diğer numunelere deneme desenine uygun olarak 0,5 ve 0,6 ppm ozon 10 ve 20 dakika süreyle ayrı ayrı uygulanmıştır. Deneysel numuneler uygulama yöntemine göre kodlanmıştır.

3.1.Fizikokimyasal Bulgular

Ozon uygulaması öncesinde bütün grupları temsil edecek düzeyde numuneler alınarak pH, a_w ve TBA analizleri yapılmıştır. Ozon uygulaması sonrasında ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde deneysel numunelerde pH, a_w ve TBA analizleri yapılmıştır.

Deneysel numunelerin başlangıç pH değeri hammadde de 5,45 olarak saptanmıştır. Ozon uygulama sonrasında numunelerin pH değerlerinde kısmi azalma ve artışlar görülmüştür. Uygulama sonrasında gruplar arası pH değerinde saptanan farklılıkların istatistiki açıdan önemli olmadığı ($p>0,05$), muhafazanın 7. ve 14. günlerinde ise gruplar arası farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.1; $p<0,05$). En yüksek pH değeri (pH 5,80) muhafazanın 14. gününde kontrol grubu numunelerde saptanmıştır. Numunelerin başlangıç pH değerleri ile uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günleri karşılaştırıldığında başlangıçta 5,45 olarak tespit edilen pH değerlerinin muhafazanın 14. gününde en düşük 5,57 en yüksek 5,80 düzeylerine yükseldiği tespit edilmiştir. Günler arası bütün gruplarda istatistiki açıdan önemli bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.1; $p<0,05$).

Deneysel numunelerin başlangıç su aktivitesi (a_w) değeri 0,995 olarak tespit edilmiştir. Numunelerin a_w değerleri ozon uygulama sonrasında 0,993-0,995 arasında değişiklik gösterdiği, uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde gruplar

arası farklılığın istatistiki olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 3.1; $p>0,05$). Başlangıç, uygulama sonrası, muhafazanın 7. ve 14.günleri karşılaştırıldığında bütün gruplarda günler arası istatistiki açıdan önemli farklılıkların olduğu ($p<0,05$) numunelerin su aktivitesi değerlerinin 14. günde başlangıç seviyesine göre önemli düzeyde düşüş gösterdiği tespit görülmüştür. 14. günde en düşük su aktivitesi değeri (0,882) kontrol grubu numunelerinde tespit edilmiştir. Ozon uygulanan grupların su aktivitesi değerlerinin ise muhafazanın 14. gününde 0,883-0,895 aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 3.1).

Uygulamaya alınan deneysel numunelerin TBA değerlerinin 0,73-3,35 mg malonaldehit/kg arasında değiştiği, ozon uygulama sonrasında 20 dakika süreyle 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde 2,72 mg malonaldehit/kg seviyesine ulaştığı, uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde TBA değerlerinin inişli çıkışlı bir seyir izlediği gerek gruplar arası gerekse günler arası farklılıkların istatistiksel açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo3.1; $p<0,05$).

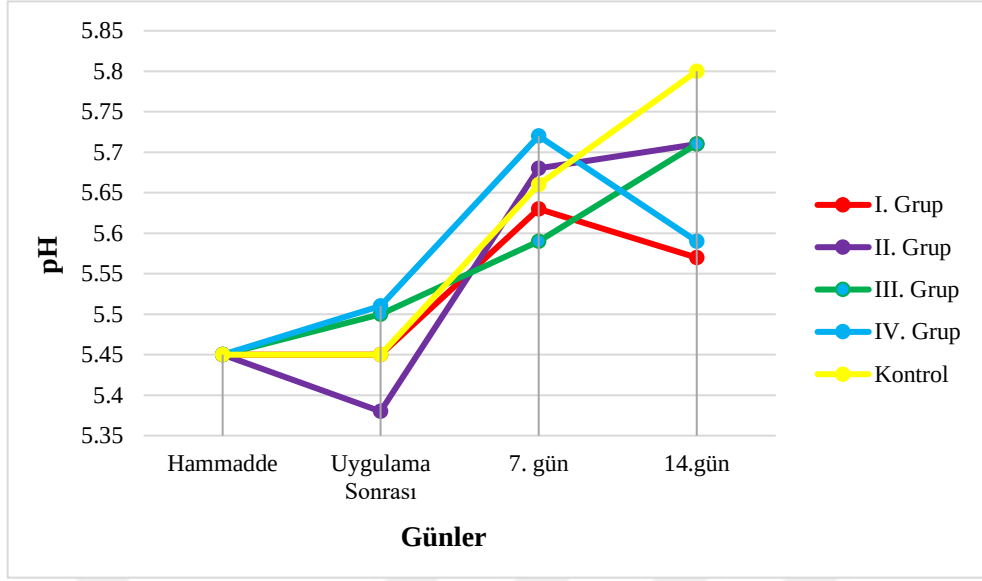
Deneysel numunelerin bu süreçteki pH, a_w ve TBARs değerleri Tablo 3.1.'de sonuçların grafiksel gösterimleri ise sırasıyla Grafik 3.1., 3.2 ve 3.3' te verilmiştir.

Tablo 3.1. Farklı dozaj ve süreyle ozon uygulaması yapılan deneysel numunelerin pH, a_w ve TBARs değerleri.

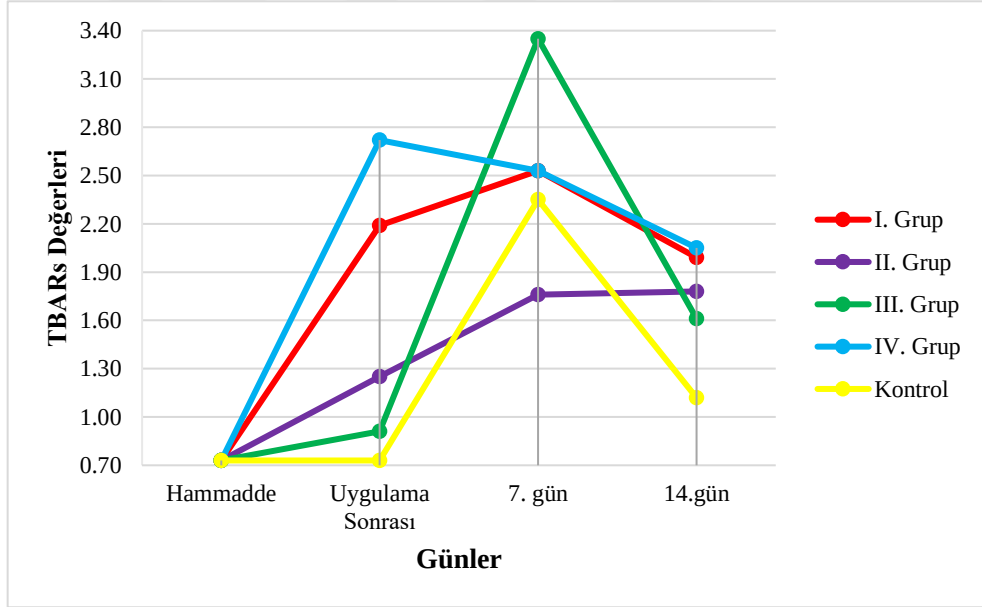
Nitelik	Uygulamalar		Hammadde	Uygulama Sonrası	7. gün	14.gün	p
	Ozon (ppm)	Süre (dakika)					
pH	0,5	10	5,45±0,05 ^y	5,45±0,00 ^{xy}	5,63±0,01 ^{bcx}	5,57±0,01 ^{cxy}	0,04
	0,5	20	5,45±0,05 ^y	5,38±0,01 ^y	5,68±0,01 ^{abxy}	5,71±0,01 ^{abx}	0,04
	0,6	10	5,45±0,05 ^y	5,50±0,03 ^x	5,59±0,01 ^{ax}	5,71±0,01 ^{bcxy}	0,04
	0,6	20	5,45±0,05 ^y	5,51±0,06 ^y	5,72±0,02 ^{cxy}	5,59±0,01 ^{abcx}	0,04
	Kontrol		5,45±0,05 ^y	5,45±0,05 ^y	5,66±0,02 ^{abcxy}	5,80±0,01 ^{ax}	0,03
p			1,00	0,14	0,02	0,01	
a_w	0,5	10	0,995±0,0006 ^x	0,995±0,0003 ^{xy}	0,993±0,0009 ^{xy}	0,895±0,0003 ^y	0,0396
	0,5	20	0,995±0,0006 ^x	0,994±0,0006 ^{xy}	0,992±0,0006 ^{yz}	0,885±0,0048 ^z	0,0293
	0,6	10	0,995±0,0006 ^x	0,995±0,0003 ^x	0,992±0,0003 ^{xy}	0,885±0,0003 ^y	0,0323
	0,6	20	0,995±0,0006 ^x	0,993±0,0007 ^{xy}	0,992±0,0006 ^{yz}	0,883±0,0003 ^z	0,0293
	Kontrol		0,995±0,0006 ^x	0,995±0,0006 ^x	0,992±0,0009 ^{xy}	0,882±0,0015 ^y	0,0293
p			1,000	0,131	0,569	0,068	
TBARs	0,5	10	0,73± 0,02 ^z	2,19± 0,05 ^{bxy}	2,53± 0,06 ^{abx}	1,99± 0,05 ^{ayz}	0,029
	0,5	20	0,73± 0,02 ^y	1,25± 0,03 ^{cxy}	1,76± 0,05 ^{cx}	1,78± 0,05 ^{ax}	0,042
	0,6	10	0,73± 0,02 ^y	0,91± 0,1 ^{dy}	3,35± 0,08 ^{ax}	1,61± 0,04 ^{bxy}	0,029
	0,6	20	0,73± 0,02 ^z	2,72± 0,07 ^{ax}	2,53± 0,06 ^{abxy}	2,05± 0,05 ^{ayz}	0,029
	Kontrol		0,73± 0,02 ^y	0,73± 0,02 ^{dy}	2,35± 0,06 ^{bx}	1,12± 0,03 ^{cxy}	0,029
p			1,000	0,011	0,017	0,012	

x,y,z: aynı satırda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir $p<0,05$

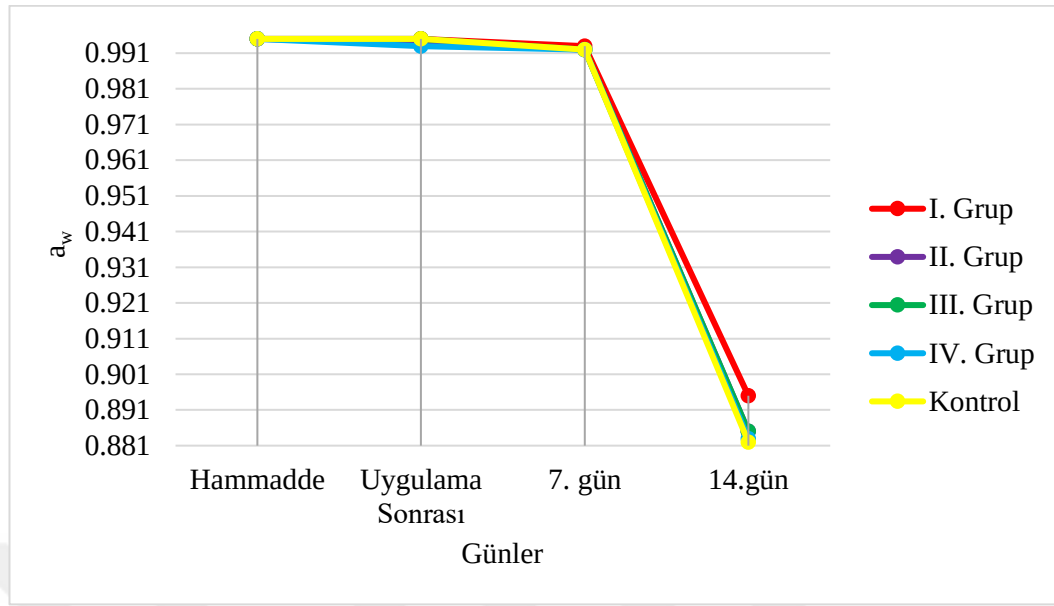
a,b,c,d: aynı sütunda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir $p<0,05$



Grafik 3.1. Numunelerin pH değerlerinin günlere göre değişimi.



Grafik 3.2. Numunelerin TBARS değerlerinin günlere göre değişimi



Grafik 3.3. Numunelerin a_w değerlerinin günlere göre değişimi.

3.2.Mikrobiyolojik Bulgular

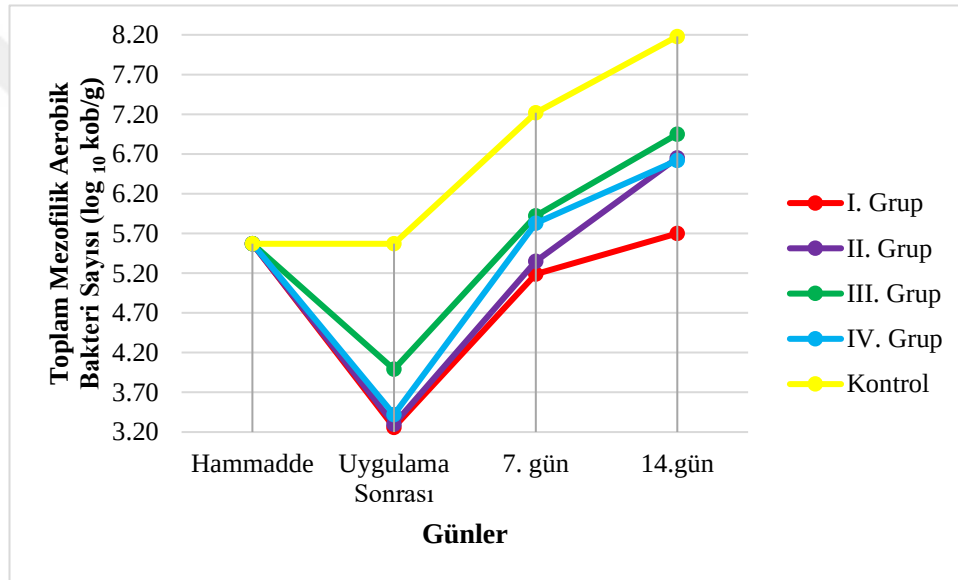
Başlangıçta (hammadde) $5,57 \log_{10} \text{kob/g}$ tespit edilen TMAB sayısının ozon uygulanan bütün gruplarda önemli düzeyde azaldığı, muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün gruplarda TMAB sayısında artışların olduğu, en fazla TMAB sayısındaki artışın kontrol grubunda meydana geldiği görülmüştür. Ozon uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde gruplar arası; başlangıç, uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün grupların günler arası TMAB sayılarında tespit edilen farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.2; $p < 0,05$). Farklı dozaj ve sürelerde ozon uygulamasına tabi tutulan deneysel numunelerin toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayılarının muhafaza süresince gözlemlenen değişimlere ait istatistiksel sonuçlar Tablo 3.2’de, sonuçların grafiksel gösterimi Grafik 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.2. Farklı dozaj ve süreyle ozon uygulaması yapılan deneysel numunelerin Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri grubu mikroorganizma sayıları ($\log_{10}$ kob/g).

Uygulamalar		Hammadde	Uygulama Sonrası	7. gün	14.gün	p
Ozon (ppm)	Süre (dakika)					
0,5	10	5,57±0,02 ^{xy}	3,26±0,01 ^{ez}	5,19±0,02 ^{dyz}	5,70±0,04 ^{ex}	0,029
0,5	20	5,57±0,02 ^{xy}	3,30±0,01 ^{dz}	5,35±0,02 ^{cyz}	6,65±0,01 ^{cx}	0,029
0,6	10	5,57±0,02 ^{yz}	3,99±0,07 ^{cz}	5,92±0,04 ^{bxy}	6,95±0,01 ^{dx}	0,029
0,6	20	5,57±0,02 ^{yz}	3,42±0,01 ^{bz}	5,83±0,03 ^{bxy}	6,62±0,01 ^{bx}	0,029
Kontrol		5,57±0,02 ^y	5,57±0,02 ^{ay}	7,22±0,02 ^{axy}	8,18±0,01 ^{ax}	0,029
p		1,000	0,009	0,01	0,009	

x,y,z: aynı satırda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir $p<0,05$

a,b,c,d: aynı sütunda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir $p<0,05$



Grafik 3.4. Numunelerin TMAB sayılarının günlere göre değişimi.

Başlangıçta (hammadde) 5,308 $\log_{10}$ kob/g tespit edilen *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayıları ozon uygulanan bütün gruplarda önemli düzeyde azaldığı, muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün gruplarda *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayılarında artışların olduğu, ve en fazla artışın kontrol grubunda meydana geldiği görülmüştür. Ozon uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde gruplar arası; başlangıç, uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün grupların günler arası *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayılarında tespit edilen farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.3.; $p<0,05$). Farklı dozaj ve sürelerde ozon uygulamasına tabi tutulan deneysel numunelerin *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayılarında

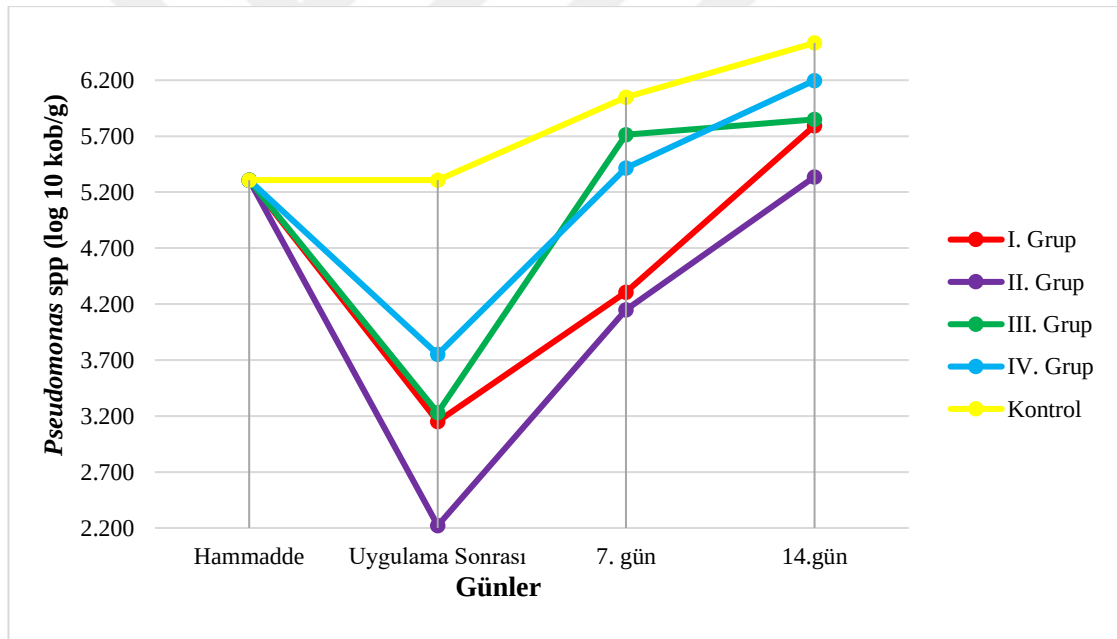
muhafaza süresince gözlemlenen değişimlere ait istatistiksel sonuçlar Tablo 3.3’ de, sonuçların grafiksel gösterimi Grafik 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.3. Farklı dozaj ve süreyle ozon uygulaması yapılan deneysel numunelerin *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayıları ($\log_{10}$ kob/g).

Uygulamalar		Hammadde	Uygulama Sonrası	7. gün	14.gün	p
Ozon (ppm)	Süre (dakika)					
0,5	10	5,308±0,010 ^{xy}	3,151±0,00 ^{dz}	4,306±0,009 ^{dyz}	5,794±0,010 ^{dx}	0,029
0,5	20	5,308±0,010 ^x	2,221±0,00 ^{ey}	4,150±0,001 ^{exy}	5,337±0,020 ^{ex}	0,042
0,6	10	5,308±0,010 ^{yz}	3,230±0,001 ^{cz}	5,713±0,019 ^{cxy}	5,850±0,017 ^{cx}	0,029
0,6	20	5,308±0,010 ^{yz}	3,751±0,00 ^{bz}	5,417±0,027 ^{bxy}	6,198±0,027 ^{bx}	0,029
Kontrol	-	5,308±0,010 ^y	5,308±0,01 ^{ay}	6,047±0,074 ^{axy}	6,533±0,066 ^{ax}	0,029
P		1.000	0,008	0,010	0,037	

x,y,z: aynı satırda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir $p<0,05$

a,b,c,d: aynı sütunda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir $p<0,05$



Grafik 3.5. Numunelerin *Pseudomonas* spp. sayılarının günlere göre değişimi.

Başlangıçta (hammadde) 3,21 $\log_{10}$ kob/g tespit edilen Enterobacteriaceae grubu mikroorganizma sayıları ozon uygulanan bütün gruplarda önemli düzeyde azaldığı, muhafazanın 7. gününde 10 dakika 0,5 ppm ozon ve 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde bu grup mikroorganizma sayısında artışların meydana geldiği, muhafazanın 14. gününde ozon uygulanan deneysel numunelerde üremenin oldukça düştüğü hatta 10 ve 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan gruplar ile 20 dakika 0,5 ppm

ozon uygulanan gruplarda üremenin görülmediği tespit edilmiştir. Kontrol grubu numunelerinde ise muhafaza periyodu süresince kısmi artışlar meydana gelmekle birlikte muhafazanın 14. gününde başlangıca göre bu grup mikroorganizma sayısında azalma olduğu hatta bazı gruplarda üremenin olmadığı tespit edilmiştir. Ozon uygulama sonrasında, muhafazanın 7. ve 14. günlerde gruplar arası meydana gelene farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3.4; $p<0,05$). Diğer taraftan 10 dakika süre 0,6 ppm ozon uygulanan grup hariç diğer bütün gruplarda Enterobacteriaceae grubu mikroorganizma sayılarında günler arası farklılıkların da istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.4; $p<0,05$). Farklı dozaj ve sürelerde ozon uygulamasına tabi tutulan deneysel numunelerin Enterobacteriaceae grubu mikroorganizma sayılarında muhafaza süresince gözlemlenen değişimlere ait istatistiksel sonuçlar Tablo 3.4'te, sonuçların grafiksel gösterimi Grafik 3.6'da verilmiştir.

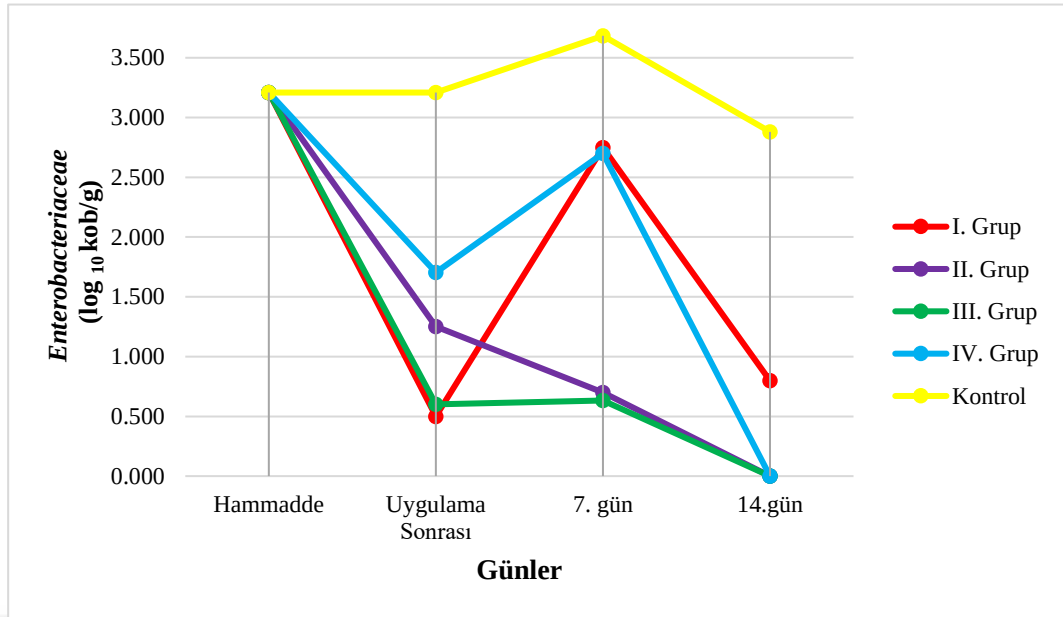
Tablo 3.4. Farklı dozaj ve süreyle ozon uygulaması yapılan deneysel numunelerin Enterobacteriaceae grubu mikroorganizma sayıları ($\log_{10}$ kob/g) üzerine etkisi.

Uygulamalar		Hammadde	Uygulama Sonrası	7. gün	14.gün	p
Ozon (ppm)	Süre (dakika)					
0,5	10	3,210±0,01 ^x	0,500±0,000 ^{ez}	2,749±0,004 ^{bxy}	0,800±0,000 ^{byz}	0,0290
0,5	20	3,210±0,01 ^x	1,250±0,006 ^{cxy}	0,700±0,000 ^{dy}	ÜG	0,0498
0,6	10	3,210±0,01 ^x	0,600±0,000 ^{by}	0,633±0,067 ^{cxy}	ÜG	0,0970
0,6	20	3,210±0,01	1,703±0,003 ^d	2,700±0,003 ^d	ÜG	0,0498
Kontrol		3,210±0,01 ^{xy}	3,208±0,007 ^{axy}	3,684±0,006 ^{ax}	2,881±0,005 ^{ay}	0,0290
P		1,000	0,009	0,009	0,009	

x,y,z: aynı satırda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir $p<0,05$

a,b,c,d: aynı sütunda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir $p<0,05$

ÜG: Üreme görülmedi



Grafik 3.6. Numunelerin Enterobacteriaceae sayılarının günlere göre değişimi.

Araştırmada deneysel numunelerde ozon uygulamalarının *E.coli* varlığı üzerine etkisi araştırılmıştır. Başlangıç numunelerinde >10 kob/gr olarak belirlenen *E.coli*'nin ozon uygulamaları sonrasında üremediği görülmüştür. Sadece kontrol grubu numunelerinde muhafazanın 7.ve14. günlerinde de >10 kob/gr düzeyinde *E.coli* varlığı tespit edilmiştir.

Araştırmada *Salmonella* türleri hammadde dahil olmak üzere uygulamanın hiçbir aşamasında tespit edilmemiştir.

3.3. Renk Bulguları

Deneysel numunelerin başlangıç, ozon uygulaması ve muhafaza periyodu süresince renk analizleri Minolta marka kromametre (CR-400 model, Konica Minolta, Osaka, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir.

Deneysel numunelerin L^* değerleri incelendiğinde 22,98-37,11 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç hammaddede tespit edilen L^* değerinin ozon uygulama sonrasında kısmi azalma ve artışlar gösterdiği ancak bu değişimin gruplar arası istatistiki açıdan önemli olmadığı ($p>0,05$), ancak muhafazanın 7. ve 14. günlerinde belirlenen L^* değerlerinde gruplar arası farklılıkların önemli olduğu görülmüştür (Tablo3.5; $p<0,05$). Başlangıç hammadde, uygulama sonrası, 7. ve 14. günler kıyaslandığında ise bütün grupların L^* değerlerinin farklılık gösterdiği

($p<0,05$), hammadde ve uygulama sonrası elde edilen L^* değerlerinin birbirleriyle, aynı şekilde muhafazanın 7. ve 14. günlerinde elde edilen verilerin de birbirleriyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

Deneyisel numunelerin a^* değerleri incelendiğinde 7,27-21,18 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç hammaddede tespit edilen a^* değerinin ozon uygulama sonrasında kısmi azalmalar gösterdiği ancak bu değişimin gruplar arası istatistiki açıdan önemli olmadığı ($p>0,05$), ancak muhafazanın 7. ve 14. günlerinde belirlenen a^* değerlerinde gruplar arası farklılıkların önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3,5; $p<0,05$). Başlangıç hammadde, uygulama sonrası, 7. ve 14. günler kıyaslandığında ise bütün grupların a^* değerlerinin farklılık gösterdiği ($p<0,05$), hammadde ve uygulama sonrası elde edilen a^* değerlerinin birbirleriyle, aynı şekilde muhafazanın 7. ve 14. günlerinde elde edilen verilerinde birbirleriyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

Deneyisel numunelerin b^* değerleri incelendiğinde 7,18-16,36 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç hammaddede tespit edilen b^* değerinin ozon uygulama sonrasında kısmi azalmalar gösterdiği ancak bu değişimin ve muhafazanın 14. gününde elde edilen verilerin gruplar arası istatistiki açıdan önemli olmadığı ($p>0,05$), ancak muhafazanın 7. gününde belirlenen b^* değerlerinde gruplar arası farklılıkların önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.5; $p<0,05$). Başlangıç hammadde, uygulama sonrası, 7. ve 14. günler kıyaslandığında ise bütün grupların b^* değerlerinin farklılık gösterdiği ($p<0,05$), hammadde ve uygulama sonrası elde edilen b^* değerlerinin birbirleriyle, aynı şekilde muhafazanın 7. ve 14. günlerinde elde edilen verilerinde birbirleriyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

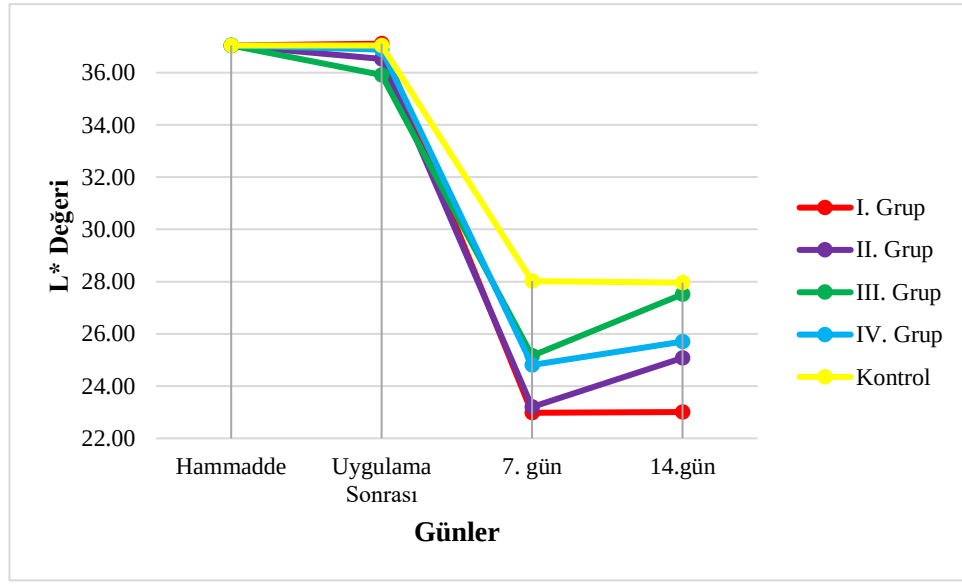
Farklı dozaj ve sürelerde ozon uygulamasına tabi tutulan deneyisel numunelerin başlangıç parlaklık (L^*), kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) düzeylerinin uygulama sonrası ve muhafaza süresince gözlemlenen değişimlere ait istatistiksel sonuçlar Tablo 3.5’de, sonuçların grafiksel gösterimi sırasıyla Grafik 3.7; 3.8 ve 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.5. Farklı dozaj ve süreyle ozon uygulaması yapılan deneysel numunelerin L*,a*,b* değerleri.

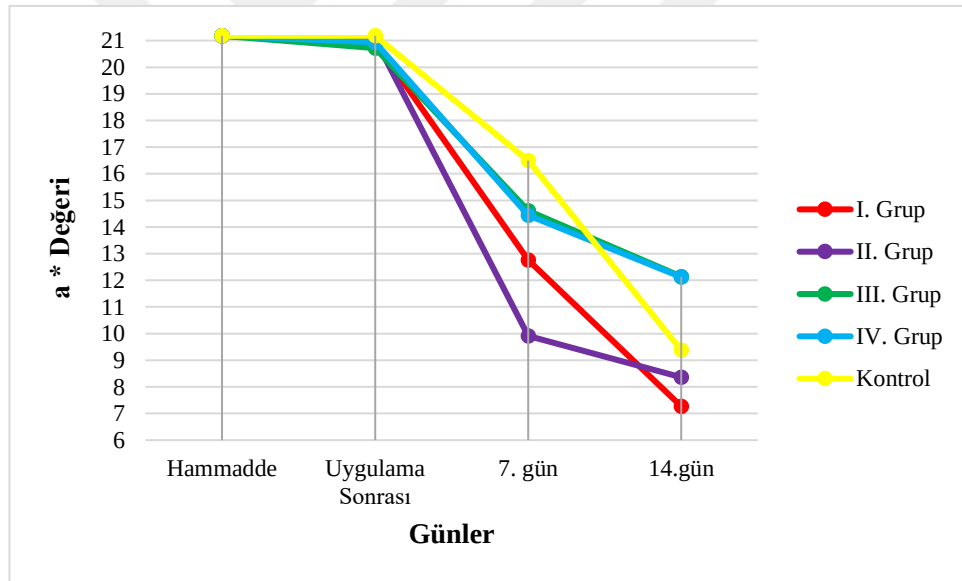
Nitelik	Uygulamalar		Hammadde	Uygulama Sonrası	7. gün	14.gün	p
	Ozon (ppm)	Süre (dakika)					
L*	0,5	10	37,04±1,06 ^x	37,11±0,88 ^x	22,98±1,13 ^{by}	23,01±1,33 ^{cy}	0,002
	0,5	20	37,04±1,06 ^x	36,52±0,38 ^x	23,20±0,85 ^{by}	25,08±0,80 ^{aby}	0,002
	0,6	10	37,04±1,06 ^x	35,91±0,56 ^x	25,16±1,05 ^{aby}	27,52±0,84 ^{aby}	0,002
	0,6	20	37,04±1,06 ^x	36,88±0,93 ^x	24,81±1,11 ^{aby}	25,71±1,92 ^{ay}	0,002
	Kontrol		37,04±1,06 ^x	37,04±1,06 ^x	28,02±0,80 ^{ay}	27,96±1,4 ^{aby}	0,001
p			1,000	0,836	0,031	0,032	
a*	0,5	10	21,18±0,49 ^x	20,95±0,56 ^x	12,76±1,68 ^{aby}	7,27±0,39 ^{by}	0,0017
	0,5	20	21,18±0,49 ^x	21,05±0,37 ^x	9,91±1,43 ^{by}	8,36±0,31 ^{aby}	0,0022
	0,6	10	21,18±0,49 ^x	20,71±0,30 ^x	14,61±1,01 ^{aby}	12,14±1,45 ^{aby}	0,0022
	0,6	20	21,18±0,49 ^x	20,93±0,43 ^x	14,44±1,09 ^{aby}	12,12±2,39 ^{ay}	0,0019
	Kontrol		21,18±0,49 ^x	21,18±0,49 ^x	16,5±0,63 ^{ay}	9,38±0,8 ^{abz}	0,0004
p			1,000	0,959	0,024	0,040	
b*	0,5	10	16,36±0,53 ^x	16,00±0,46 ^x	8,84±0,93 ^{by}	7,52±0,40 ^y	0,002
	0,5	20	16,36±0,53 ^x	16,08±0,46 ^x	8,16±0,90 ^{by}	7,18±0,26 ^y	0,002
	0,6	10	16,36±0,53 ^x	15,53±0,25 ^x	10,58±0,59 ^{aby}	9,55±0,63 ^y	0,002
	0,6	20	16,36±0,53 ^x	16,07±0,52 ^x	10,58±0,57 ^{aby}	9,73±1,32 ^y	0,002
	Kontrol		16,36±0,53 ^x	16,36±0,53 ^x	12,56±0,72 ^{ay}	8,56±0,74 ^y	0,001
p			1,000	0,765	0,010	0,163	

x,y,z: aynı satırda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir p<0,05

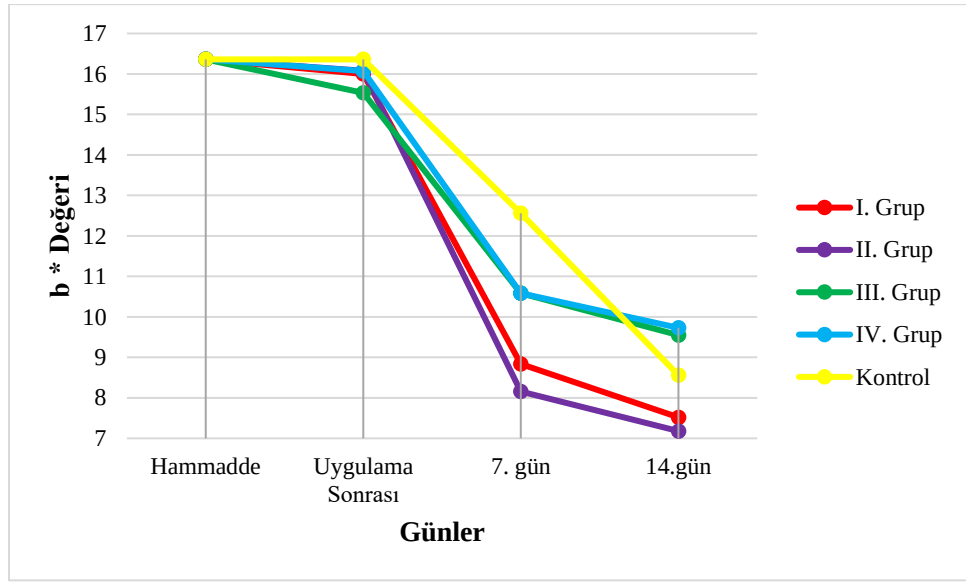
a,b,c,d: aynı sütunda farklı harf taşıyan gruplar arasında farklılıklar önemlidir p<0,05



Grafik 3.7. Numunelerin L * değerlerinin günlere göre değişimi.



Grafik 3.8. Numunelerin a * değerlerinin günlere göre değişimi.



Grafik 3.9. Numunelerin b * değerlerinin günlere göre değişimi

4.TARTIŞMA

Gıda endüstrisinde, son yıllarda gıdaların mikrobiyal güvenliğini sağlamak ve güvenli besin maddeleri elde etmek amacıyla birçok yönteme ilaveten ozon uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır. Ozon uygulamaları genellikle düşük konsantrasyonlarda ve daha kısa temas süreleriyle geniş bir mikroorganizma spektrumunu inhibe etme özelliği sayesinde gıda endüstrisinde başarıyla uygulanabilmektedir. Bu araştırmada ozonun olumlu özellikleri dikkate alınarak kırmızı eti farklı ozon uygulamalarına tabi tutarak soğukta muhafaza süresince meydana gelebilecek mikrobiyal ve fizikokimyasal değışiklikler araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, ozonun kırmızı etin muhafaza sürecindeki etkilerini anlamak ve gıda güvenliği açısından potansiyel avantajları belirlemek hedeflenmiştir.

Araştırmada materyal olarak 300-320 kg karkas ağırlığına sahip erkek kasaplık sığırılara ait bel kası kontrfile (*M. longissimus lumborum*) kullanılmıştır. Başlangıçta bütün grupları temsil edecek şekilde mikrobiyolojik (toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, *Salmonella* spp. ve *E.coli*), fizikokimyasal (pH, a_w ve TBARs) ve renk (L^* , a^* , b^*) analizleri için numuneler alınmıştır. Numune alım sonrası araştırma desenine uygun olarak etler beş gruba ayrılmışlardır. Birinci grup numuneler kontrol grubu olarak değeriendirilmiş olup ozon uygulaması yapılmamıştır. Diğer numunelere deneme desenine uygun olarak 0,5 ve 0,6 ppm ozon 10 ve 20 dakika süreyle ayrı ayrı uygulanmıştır. Ozon uygulama sonrası ve etlerin muhafazasının 7. ve 14. günlerinde mikrobiyolojik (toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, *Salmonella* spp. ve *E.coli*), fizikokimyasal (pH, a_w ve TBARs) ve renk (L^* , a^* , b^*) analizleri için numuneler alınmış ve analizler gerçekleştirilmiştir.

4.1 Deneysel Numunelerde pH Değişimleri

Deneysel numunelerin başlangıç pH değeri hammaddede 5,45 olarak saptanmıştır. Ozon uygulama sonrasında numunelerin pH değeriğinde kısmi azalma ve artışlar görülmüştür. Uygulama sonrasında gruplar arası pH değeriğinde saptanan farklılıkların istatistiki açıdan önemli olmadığı ($p>0,05$), muhafazanın 7.ve 14. günlerinde ise gruplar arası farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.1; $p<0,05$). En yüksek pH değeri (pH 5,80) muhafazanın 14.

gününde kontrol grubu numunelerde saptanmıştır. Numunelerin başlangıç pH değerleri ile uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günleri karşılaştırıldığında başlangıçta 5,45 olarak tespit edilen pH değerlerinin muhafazanın 14. gününde en düşük 5,57 en yüksek 5,80 düzeylerine yükseldiği tespit edilmiştir. Günler arası bütün gruplarda istatistiki açıdan önemli bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.1; $p < 0,05$).

Etlerin pH değeri kalitenin belirlenmesinde kullanılan önemli parametrelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Kesimi takiben kas dokusunun pH değeri 7,1-7,2 olarak normal fizyolojik değerindedir. Kesimden sonra postmortem değişikliklere bağlı olarak glikojenin laktik aside dönüşmesi sonrasında pH değeri asidik hale gelmektedir. Sığır kesimi sonrasında yaklaşık 18-24 saat süre zarfında etin pH değeri 5,4-5,7 seviyelerine düşüş gösterir (Doğruer 2009; Gürbüz 2023). Etin pH değeri en düşük noktaya ulaştıktan sonra bir takım biyokimyasal ve mikrobiyal faaliyetler sonrası yavaş yavaş tekrar yükselmektedir. Deneysel numunelerde başlangıçta tespit edilen 5,45 pH değeri arzu edilen pH değerine sahip etlerin araştırmada kullanıldığını göstermektedir. Deneysel numunelerin başlangıç pH değeri dikkate alındığında ozon gazı uygulama sonrasında etlerin pH değerlerinde kısmi azalma ve artışlar olmakla birlikte anlamlı bir farklılığın olmadığı gözlemlenmiştir (Tablo 3.1; $p > 0,05$). Benzer sonuçlar birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmiştir. Karamah ve Wajdi (2018), ozon gazının tavuk etinin pH değeri üzerine etkisinin olmadığını; Trindade ve ark (2012) ise 1,5 mg/l 45 dk ozon uyguladıkları tavuk karkaslarının pH değerinin değişmediğini bildirmişlerdir. Susilo ve ark (2021), ozon uygulamanın tavuk göğsü filetolarının fiziksel ve oksidatif özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirdikleri çalışmada, ozon, UV ve yenilebilir kaplama uygulanmış ve buzdolabında saklanan tavuk etinin pH' ısı 5,87 normal tavuk etine (5,96-6,07) en yakın pH olarak tespit etmişlerdir. Bununla birlikte Ayrancı ve ark (2020), ozon uygulamasının örneklerin pH değerlerinde önemli ($p < 0,05$) düşüşlere neden olabileceğini ve uygulama süresi arttıkça etkisinin de artacağını ileri sürmüşlerdir. Bu farklılık muhtemelen kullanılan ozon dozajı, süresi ve materyal farklılıklarından kaynaklanabilir.

Ozon uygulama sonrası deneysel numunelerin muhafaza periyodundaki pH değerlerinin başlangıç pH değerlerinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Muhafazanın 14. gününde ozon uygulaması gerçekleştirilen deneysel numunelerin pH değerleri 5,57-5,71 arasında değişiklik gösterirken ozon uygulanmayan grup (kontrol) numunelerin pH değerleri 5,80 olduğu tespit edilmiştir. Bu süreçte gruplar arası farklılıklar önemli bulunmuştur (Tablo 3.1; $p < 0,05$) Bu durum etin pH değeri en düşük noktasına ulaştıktan sonra bir takım biyokimyasal ve mikrobiyal faaliyetler sonrası yavaş yavaş tekrar yükselmesi ile açıklanabileceği gibi kısmen ozonun etkisinden kaynaklanabilir. Zhang ve ark (2020), sığır etine ozon gazı uygulamasının depolama süresinin sonlarında pH artışını yavaşlatabileceğini ileri sürmüşlerdir. Kim ve Shin (2011) ozon uygulamasının daha sonraki depolama döneminde sığır eti örneklerinin pH değerlerinde düşüslere neden olduğunu bildirmişlerdir. Nitekim Eriksson (2005) ozon maruziyeti sonrası pH değerindeki farklılığın organik madde oksidasyonu sonucu ortaya çıkan formik asit, asetik asit ve propiyonik asit gibi karboksilik asitlerden kaynaklanabileceğini vurgulamıştır. Bununla birlikte bu çalışmada etin muhafaza periyodu boyunca pH değerlerinde meydana gelen değişimler belirli bir parametreden ziyade birçok parametreden kaynaklanmış olabilir. Muhafaza periyodu sürecinde pH değerlerinde tespit edilen yükselmeler, Feiner (2006)'ın yüksek proteaz aktivitesi sonucu oluşan alkali metabolik ürünlerden kaynaklanabileceği fikri ile de açıklanabilir. Benzer yorumlar bazı araştırmacılar (Obuz ve ark 2014) tarafından da belirtilmiştir.

Farklı süre ve dozda ozon uygulanan ve uygulanmayan (kontrol) deneysel numunelerin muhafaza sonunda sahip oldukları pH değerlerinin etler için kabul edilebilir düzeyde olduğu gözlemlenmiştir.

4.2. Deneysel Numunelerde Su Aktivitesi (a_w) Değişimleri

Deneysel numunelerin başlangıç su aktivitesi (a_w) değeri 0,995 olarak tespit edilmiştir. Numunelerin a_w değerleri ozon uygulama sonrasında 0,993-0,995 arasında değişiklik gösterdiği, başlangıç, uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde gruplar arası farklılığın istatistiki olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 3.1; $p > 0,05$). Başlangıç, uygulama sonrası, muhafazanın 7. ve 14. günleri karşılaştırıldığında bütün gruplarda günler arası istatistiki açıdan önemli farklılıkların olduğu ($p < 0,05$) numunelerin su aktivitesi değerlerinin 14. günde başlangıç seviyesine göre önemli düzeyde düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. 14. günde en düşük su aktivitesi değerine (0,882) kontrol grubu numuneleri sahip olduğu, ozon uygulanan

grupların su aktivitesi değerlerinin ise muhafazanın 14. gününde 0,883-0,895 aralığında olduğu görülmüştür (Tablo 3.1).

Gıda kalitesinin önemli bir parametresi olarak kabul edilen a_w , gıdanın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik durumunun belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Özay ve ark (1993) gıdalarda mikrobiyal gelişim, lipid oksidasyonu, hidrolitik aktivite, enzim sistemleri gibi biyokimyasal olayların yanı sıra renk, tat, koku ve doku açısından ürün kabulünün a_w değerine bağlı olduğunu belirtmiştir. Öztan (2008) taze etin a_w değerinin 0,99 olduğunu ve kurutma, ısıtma, soğutma, dondurma gibi fiziksel işlemler ile tuzlama ve tütsüleme gibi kimyasal işlemlerin etin a_w değerini çeşitli düzeylerde etkilediğini ileri sürmektedir.

Deneysel numunelerin başlangıçta sahip oldukları a_w değeri taze et için literatürde belirtilen değerler ile uyumlu olduğu, ozon uygulaması sonrasında ozon uygulanan gruplar ile kontrol grubu arasında herhangi bir farklılığın meydana gelmediği görülmüştür. Bu durum ozon gazı uygulamasının su aktivitesi üzerine etkisinin olmadığını göstermektedir. Karamah ve Wajdi (2018), ozon uygulaması ile tavuk etlerinin su içeriğinde oldukça küçük düşme olduğunu, ozonun su içeriği üzerine belirgin bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir. Çiçek ve ark (2013) başlangıçta 0,99 a_w değerine sahip olan dana etinin muhafazanın 7. gününde su aktivitesi değerini 0,977 olarak tespiti etmişlerdir. Araştırmacılar bu düşüşün kurumaya bağlı olarak meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Deneysel numunelerin başlangıçta sahip oldukları a_w değerleri yavaş bir seyirle düşüş göstermiş, muhafazanın 14. günde ise 0,882- 0,895 düzeylerine kadar inmiştir (Tablo 3.1). Su aktivitesinde 7. günden 14. güne kadar geçen süreçte a_w değerinde meydana gelen düşüşlerin, numunelerin muhafaza periyodu içerisinde kaybettikleri serbest su miktarıyla açıklanabileceği gibi, muhafaza ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve ortamın nem miktarının ve muhafazaya alınan numune büyüklüklerinin küçük parçalardan oluşması dolayısıyla küçük parçaların daha hızlı kurumasıyla da açıklanabilir. Yıldırım (1981), sıcaklığın azalmasının et ve et ürünlerinin su aktivitesinde azalmaya yol açtığını belirtmektedir. Araştırmacı, proteinler ile su molekülleri arasındaki bağlanma enerjisinin, etteki su moleküllerinin kinetik enerjisiyle ilişkili olduğunu söyleyerek, sıcaklığın düşmesiyle su aktivitesindeki azalmayı açıklamaktadır.

4.3.Deneysel Numunelerde TBARs Değerlerinde Meydana Gelen Değişimler

Uygulamaya alınan deneysel numunelerin TBA değerlerinin 0,73-3,35 mg malonaldehit/kg arasında değiştiği, ozon uygulama sonrasında 20 dakika süreyle 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde 2,72 mg malonaldehit/kg seviyesine ulaştığı, uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde TBA değerlerinin inişli çıkışlı bir seyir izlediği, gerek gruplar arası gerekse günler arası farklılıkların istatistiksel açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.1; $p<0,05$).

Etin oksidasyon derecesinin (ransidite) bir göstergesi olan tiyobarbitürik asitin reaktif substan (TBARs) değeri, etin kg'ı başına mg malonaldehit (mgMA/kg) cinsinden ifade edilir. TBARs yöntemi sıklıkla lipit oksidasyonunun derecesini ölçmek için kullanılır. TBARS, peroksitlerin aldehitlere ve ketonlara oksitlendiği otoksidasyonun ikinci aşaması sırasında oluşmaktadır (Kim ve ark 2013).

Deneysel numunelerin başlangıç TBARs değerleri 0,73 mg malonaldehit/kg olarak tespit edilmiştir. Bu değer bazı araştırmacıların (Gökalp ve ark 2015, Kalchayanand ve ark 2020) taze ve iyi kalitede işlenmiş et ürünlerinde TBARs değerinin 0,7-1,0 mg MDA/kg değerleri arasında olabileceği görüşü dikkate alındığında bu nitelik bakımından, araştırmada uygun etlerin kullanıldığını göstermektedir (Tablo 3.1).

Ozon uygulama sonrasında TBARs değerinde en fazla değişim 20 dakika süreyle 0,6 ppm ozon uygulanan grupta meydana gelmiş ve 2,73 mgMDA/kg seviyesine ulaşmıştır. Bunu sırasıyla 10 dakika 0,5 ppm, 20 dakika 0,5 ppm ve 10 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan gruplar izlemiştir. Bu süreçte en düşük değer kontrol grubu numunelerinde tespit edilmiştir. Ozon uygulanan numunelerin soğukta muhafazasının 7. gününde en yüksek değere 10 dakika süreyle 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde ulaşılmıştır. Muhafazanın 14. gününde ise 1,12-2,05 mgMDA/kg aralığında TBARs değerleri bulunmuş, en yüksek TBARs değerinin 20 dakika süreyle 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde tespit edilmiştir. Bu değerlerin (20 dakika 0,66 ppm uygulanan grup hariç) tüketiciler açısından sığır eti için kabul edilen ransidite üst limitinden (2 mg MDA/kg) (Gomez ve ark 2014), daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte kontrol grubu numunelerinin sahip olduğu TBARs değerinin ozon uygulanan gruplardan daha düşük olması, ozon uygulama

dozajı ve süresinin TBARs değerleri üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Bu durum Sekhon ve ark (2010) belirttikleri gibi ozonun oksidanlar üzerindeki etkisinin hücre zarındaki yağ asitlerinde ve hücresel proteinlerde oksidasyon yoluyla geri dönüşü olmayan bozulmalara neden olmasıyla açıklanabilir. Ozon uygulamasıyla yapılan araştırmalarda benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Bu bağlamda birçok araştırmacı (Coll Cardenas ve ark 2011, Cho ve ark 2014) ozonun sığır etlerinde lipit oksidasyonunu indükleyerek TBARs değerlerinde önemli derecede artışa neden olabileceğini belirtmişlerdir. Muhlisin ve ark (2016) ördek ve tavuk filetolarında; Trindade ve ark (2012) tavuk karkaslarında TBARs değerlerinde artışlar gözlemlemişlerdir. Cho ve ark (2014), ozon uygulaması yapılan ve 4 °C’ de 3 gün depolama boyunca sığır kıymasının başlangıçta 0,66 mg MDA/kg olarak belirtilen TBARs değerinin önemli ölçüde artış göstererek 1., 2. ve 3. günlerde sırasıyla 0,76; 0,75; 0,79 mg MDA/kg’ a ulaştığını tespit etmişlerdir. Ayrancı ve ark (2020), hindi göğüs etlerinde ozon uygulama süresi arttıkça TBARs değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Piachin ve Trachoo (2011), ozon ve potasyum laktat uygulaması yaptıkları taze domuz etlerinde ozon uygulanmış numunelerin TBARs değerleri laktat ile muamele edilen numunelerin TBARs değerlerine göre daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Susilo ve ark (2021) ozon uygulamasının tavuk göğüs etinde lipit oksidasyonunu desteklediğini, Gimenez ve ark (2021) ozona uzun süre (>10 dakika) maruziyetin sığır etlerinde kırmızı rengi ve oksidatif acılaşmayı olumsuz etkilediğini; Ünal (2017), MAP+ozon gruplarından elde edilen değerler incelendiğinde kontrol grubuna göre ozonun oksidatif etkisinin açıkça görüldüğünü; Jeong ve ark (2007), 15 dk ozon gazı uygulanmış domuz etlerinin TBARs değerinin soğuk depolamanın 15. ve 20. günlerinde kontrol grubuna göre önemli ölçüde arttığını ifade etmişlerdir. Diğer taraftan bazı araştırmacılar (Pohlman ve ark 2002; Stivarius ve ark 2002), sığır eti örneklerinin duyuşal özelliklerinin ozon uygulamasından olumsuz etkilenmediğini; bazı araştırmacılar (Kim ve Shin 2011, Lyu ve ark 2016) ise aksine duyuşal özellikleri iyileştirildiğini ileri sürmüşlerdir. Bunlara ilave olarak Qian ve ark (2022), ozon gazı uygulamasının somon balığının kalite ve mikrobiyal flora üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, ozon uygulamasının tiyobarbitürik asit maddelerinin (TBARs) artışını geciktirdiğini bildirmişlerdir. Ozon uygulamasının TBARs değerleriyle ortaya çıkan bu farklılıklar muhtemelen ozon uygulama dozajı, uygulanan materyal (sığır eti, tavuk eti, domuz eti ve balık eti) ve yöntem farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

4.4. Deneysel Grupların Mikrobiyal Florasında Meydana Gelen Değişimler

Mezbahada kesimi yapılan hayvanlardan elde edilen etin, satışa ve tüketiciye sunulmadan önce belli bir süre muhafaza edilmesi gereklidir. Bu süreçte, bozulmaya neden olabilecek saprofit mikroorganizmalar etin yüzeyinde çoğalabilmekte, bunun sonucunda ise etlerde mikrobiyal bozulmalar meydana gelebilmektedir. Etin depolanması ve muhafazası esnasında yaygın olarak tespit edilen saprofit bakteriler arasında *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *laktik asit bakterileri* ve *Brochothrix* (Gram pozitif bakteriler) ile *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Psychrobacter*, *Moraxella* ve Enterobacteriaceae (Gram negatif bakteriler) grubu mikroorganizmalar yer almaktadırlar. Bir gıda maddesinde bulunan mikroorganizmaların tür ve sayısı birçok faktörden etkilenmektedir. Ancak nem, sıcaklık, pH değeri ve besin öğeleri ana faktörler olarak kabul edilmektedir (Gürbüz, 2023). Etlerin muhafaza öncesi farklı işlemlere (paketlenme, dinlendirme, ozon uygulama vb) tabi tutulması neticesinde mikrobiyal florada da farklılıklar meydana gelebilmektedir.

Başlangıçta (hammadde) 5,57 log₁₀kob/g tespit edilen TMAB sayısının ozon uygulanan bütün gruplarda önemli düzeyde azaldığı, muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün gruplarda TMAB sayısında artışların olduğu, en fazla TMAB sayısındaki artışın kontrol grubunda meydana geldiği görülmüştür. Ozon uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde gruplar arası; başlangıç, uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün grupların günler arası TMAB sayılarında tespit edilen farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.2; p<0,05).

Ozon uygulaması sonrasında bütün ozon uygulanan deneysel numunelerin TMAB sayılarında log 2 düzeyinde azalma meydana geldiği saptanmış ve bu dönemde gruplar arası farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.2; p<0,05). Araştırmada kullanılan hammaddenin başlangıçta sahip olduğu 5.57 log₁₀kob/g TMAB sayısının ozon uygulanan gruplarda 3,26-3,99 log kob/g seviyelerine kadar düştüğü en fazla düşüşün 10 dakika 0,5 ppm uygulanan numunelerde meydana geldiği bunu sırasıyla 20 dakika 0,5 ppm, 10 dakika 0,6 ppm ve 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerin takip ettiği gözlemlenmiştir. Ozon uygulaması yapılan bütün gruplarda TMAB sayısının başlangıçta sahip olunan

değerden yaklaşık 2 logaritmik birim düzeylerinde azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Muhafaza periyodu dikkate alındığında muhafazanın 7. ve 14. günlerinde ozon uygulanan numunelerin TMAB sayısının kontrol grubundan daha düşük olduğu, muhafazanın 14. gününde ozon uygulanmayan kontrol grubu numunelerin sahip olduğu TMAB sayısının 8,18 log₁₀ kob/g seviyesine ulaştığı ve limitleri aştığı, ozon uygulanan numunelerin ise TMAB sayısının bu süreçte kabul edilebilir seviyelerde olduğu görülmüştür. Bu durum ozonun mikroorganizmalar üzerine inhibe edici etkisinin olduğunu göstermektedir. Khadre ve ark (2001) ozonun, bakteri, fungus, protozoa, virüs ile bakteriyel ve fungal sporlara karşı güçlü ve geniş spektrumlu bir antimikrobiyal ajan olduğunu belirtmektedirler. Ozonun antimikrobiyal etkisi mikroorganizmaların hücrelerini parçalayarak hücre yapısını bozması, bu esnada hücrenin enzim sistemini etkileyip hücre solunumunu durdurması ve nihayetinde mikroorganizmaların ölümünün gerçekleşmesi ile sonlanmaktadır.

Yapılan birçok araştırma ozonun mikroorganizmalar üzerine inaktive edici etkisinin olduğunu göstermektedir. Gorman ve ark (1995), sığır eti adipoz dokuları üzerinde 35°C de su ve %0,5 ozon kullanarak yaptıkları çalışmada 1,49 log kob/cm² aerobik bakteri sayısında azalma sağladıklarını bildirmişlerdir. Gorman ve ark (1995) ozonlanmış suyun tek başına veya asetik asit ve laktik asit içeren organik asitler gibi sanitizerlerle birlikte kullanımının karkaslardaki mikrobiyal yükü azalttığını; Reagan ve ark (1996), 2,3 ppm ozon uygulanan sığır karkaslarında aerobik bakteri sayısının 1,3 log kob/cm² civarında azaldığını; Jaksch ve ark (2004) ozon uygulaması yapılan domuz etlerinde mikrobiyal gelişmenin azaldığını ve buna bağlı olarak ürünlerin raf ömrünün uzadığını; Jeong ve ark (2007), farklı sürelerde ozon uygulaması yaparak 4°C' de 20 gün vakum ambalajlayarak depoladıkları domuz etlerinde 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 geldiğini bildirmişlerdir. Sheldon ve Brown (1986) 4°C de depolanan ve ozonla muamele edilmiş kanatlı karkaslarının mikrobiyal yükünün ozon muamelesi yapılmamış soğutulmuş karkaslara göre daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, ozon içeren soğutulmuş suya daldırılan tavuk karkaslarının mikrobiyal yükünde, işlem görmeyen karkaslara kıyasla 2 logaritmik birim azalma olduğunu belirtmişlerdir. Rice (2001) tavuk karkasları üzerine 6,0-8,0 mg/l konsantrasyonunda ozon püskürterek yaptığı çalışmada karkas üzerindeki toplam bakteri yükünün azaldığını belirtmiştir. Coll Cardenas ve ark (2011) 3 saat, 0-

4 °C’de ozon uygulamasının sığır eti örneklerinde renk değişikliği ya da ransidite oluşmadan toplam aerobik mezofilik mikroorganizma sayılarında 0,5 log döngüde azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir. El- Dahshan ve ark (2013) soğutulmuş tavuk karkaslarında 20 dakika 40, 60, 70 ppm ozon gazı uygulamasının 4 ± 1 °C de depolanan tavuk göğüs etlerinde toplam aerobik bakteri sayısı, koliform ve toplam küf miktarını etkili bir şekilde azalttığını ve raf ömrünü 9 günden fazla uzattığını ileri sürmüşlerdir. Torlak ve ark (2013) ozon uygulamalarının mikrobiyal flora üzerinde etkili olduğunu 1,8-2,7 log düzeyinde düşüşlere neden olduğunu belirtmişlerdir. Kalchayanand ve ark (2019), taze etlerde sulu ozon sprey soğutma uygulamasının aerobik bakteri sayısını (0,99 log) önemli derecede ($p \leq 0,05$) azalttığını tespit etmişlerdir. Kalchayanand ve ark (2020) taze etlere ozon uygulamasıyla birlikte UVC ışınlamasının taze sığır eti yüzeyindeki patojen ve aerobik bakteri popülasyonunu azalttığını ifade etmişlerdir. Abed Allah ve Abed Ali Al-obaidi (2020), ozona maruz kalma süresinin (10, 15, 20 dk) sığır ve koyun eti bakteri florası üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada, ozon uygulamasından önce toplam bakteri sayısının (5,30-5,51 log kob/g) olduğunu, 10 dk ozon uygulanan etlerde 2-4,8 log kob/g, 15 dk ozon uygulaması ile 1,2 log kob/g düzeyinde düştüğünü ileri sürmüşlerdir. Ali ve ark (2022), bakteri penetrasyonunun (*A. hydrophila*, *Listeria monocytogenes*, *Y. enterocolitica*) sağlandığı sığır eti numunelerinde ozon uygulamasının (0,5 ppm; 15, 30, 45 dk) bakteri yükü üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, 0,5 ppm ozon konsantrasyonunun et bloklarındaki bakteri sayısını azaltmada oldukça etkili olduğu bulunmuştur. Megahed ve ark (2018a, 2018b) ise bakteri yükünün ozon uygulamasının mikrobiyal öldürme kapasitesi üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu; bakteri yükü ile azalma oranı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırma sonuçları ile yukarıda belirtilen araştırma sonuçları karşılaştırıldığında ozon uygulamasının farklı materyallerde olsa bile numunelerin TMAB yükünü etkili bir şekilde azalttığı, sonuçların literatür verileriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Pseudomonas cinsi bakteriler, Pseudomonadaceae familyasına ait gram negatif basillerdir. Toprak, su ve çürümekte olan organik maddelerde yaygın olarak bulunurlar. Bu bakteriler, polar flagellalara sahiptir, hareketlidir ve şekerleri fermente etmeyen non-fermentatif özellik gösterirler. Zorunlu aerobtur. Bundan dolayı, sadece oksijenli ortamlarda üreyebilirler. *Pseudomonas* bakterileri, özellikle düşük

sıcaklıklarda çoğalma yetenekleriyle, soğukta muhafaza edilen et ve et ürünlerinde diğer bakterilere göre daha büyük öneme sahiptirler. Bu özellikleri nedeniyle, gıda endüstrisinde önemli sorunların oluşumuna neden olabilirler. Çünkü bu bakterilerin gıdalarda çoğalması gıdaların bozulmasına neden olabileceği gibi halk sağlığı problemlerine de sebebiyet verebilir. Bu nedenle bu bakterilerin kontrolü ve önlenmesi oldukça önemlidir (İnal 1990, Akan ve Gürbüz 2016).

Pseudomonas cinsi bakteriler buzdolabı sıcaklığında depolanan gıdalardaki bozulmaların önemli bir nedenidir. Özellikle bu bakteriler, buzdolabında birkaç gün depolanmış taze etlerde mikrobiyal floranın büyük bir çoğunluğunu oluştururlar. Raf ömrünün başlangıcında genellikle sınırlı olmakla beraber, yüksek su aktivitesi, nötre yakın pH, uygun sıcaklık ve oksijen koşullarında hızla çoğalabilirler.

Pseudomonas' lar lipolitik (yağ parçalayan) ve proteolitik (protein parçalayan) aktiviteleri nedeniyle gıda maddelerinde istenmeyen tat, renk ve koku değişimlerine yol açabilirler. Bu özellikler, özellikle taze etler gibi protein ve yağ içeren gıdalarda kalite kayıplarının oluşumuna neden olabilir. Bu bakterilerin hızla çoğalması, gıdalardaki bozulma sürecini hızlandırmakta ve tüketime uygunluğunu azaltabilmektedir. Bütün bu nedenlerden dolayı *Pseudomonas*' ların izolasyonu ve sayımı, taze etler ve diğer gıdalardaki kalite kriterlerini belirlemede önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Solberg ve ark 1972; Jeppesen 1995).

Başlangıçta (hammadde) 5,308 log₁₀kob/g tespit edilen *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayılarının ozon uygulanan bütün gruplarda önemli düzeyde azaldığı, muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün gruplarda *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayılarında artışların olduğu, en fazla *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayılarında artışların kontrol grubunda meydana geldiği görülmüştür. Ozon uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde gruplar arası; başlangıç, uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün grupların günler arası *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayılarında tespit edilen farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.3; p<0,05).

Ozon uygulama sonrasında bütün ozon uygulanan deneysel numunelerin *Pseudomonas* cinsi bakterilerin sayısında 2-3 logaritmik birim düzeyinde azalma meydana geldiği saptanmış ve bu dönemde gruplar arası farklılıkların istatistiki açıdan

önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.3; $p < 0,05$). Araştırmada kullanılan hammaddenin başlangıçta sahip olduğu 5,30 log₁₀kob/g *Pseudomonas* sayısının ozon uygulanan gruplarda 2,21-3,75 log kob/g seviyelerine kadar düştüğü, en fazla düşüşün 20 dakika 0,5 ppm uygulanan numunelerde meydana geldiği bunu sırasıyla 10 dakika 0,5 ppm, 10 dakika 0,6 ppm ve 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerin takip ettiği gözlemlenmiştir. 20 dakika 0,5 ppm uygulanan numunelerde 3 logaritmik, diğer ozon uygulanan gruplarda *Pseudomonas* sayısının başlangıçta sahip olunan değerden yaklaşık 2 logaritmik birim düzeylerinde azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Muhafaza periyodu dikkate alındığında muhafazanın 7. ve 14. günlerinde ozon uygulanan numunelerin *Pseudomonas* sayısının kontrol grubundan daha düşük olduğu, muhafazanın 14. gününde ozon uygulanmayan kontrol grubu numunelerin sahip olduğu *Pseudomonas* sayısının 6,53 log₁₀ kob/g seviyesine ulaştığı ve limitleri zorladığı TMAB sayısı ile orantılı olarak arttığı, ozon uygulanan numunelerin ise *Pseudomonas* sayısının bu süreçte kabul edilebilir seviyelerde olduğu görülmüştür. Bu durum ozonun *Pseudomonas* cinsi mikroorganizmalar üzerine de inhibe edici etkisinin olduğunu göstermektedir.

Ozon, mikrobiyal hücre ve membranları yok ederek, enzim sistemlerini oksitleyerek ve hücresel solunumu durdurarak mikrobiyal aktiviteyi durdurur (Alparslan ve ark 2012). Ozon gram negatif ve gram pozitif bakterilere karşı etkili olmakla birlikte virüslere ve protozoalara karşı da oldukça etkilidir (Greene ve ark 1993). Yapılan birçok araştırmada ozon uygulamalarının *Pseudomonas*, cinsi bakteriler üzerine inaktive edici etkisi belirlenmiştir. Kim ve Yousef (2000) ozon gazının *P. fluorescens* ve *L. mesenteroides* üzerine etkisinin olduğunu, <2 mg/l ozon uygulamasının *Pseudomonas* ve *Candida. scotti* sayısında azalmalar meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

Ünal (2017) ozon uygulamasının, soğukta muhafaza edilen tavuk göğüs etlerinde mikrobiyolojik kalite özelliklerindeki değişimler üzerine etkisini incelediği çalışmasında, genel olarak ozon uygulanmış grupların toplam aerobik psikrofilik bakteri (TAPB), laktik asit bakteri (LAB) ve Enterobacteriaceae sayılarının kontrol grubundan daha düşük olduğunu ve ozonun mikrobiyal gelişimi baskıladığını bildirmiştir. Muhlisin ve ark (2016) ozon gazı uygulanmış tavuk ve ördek göğüs

etlerinde soğuk depolama sürecinde koliform, aerobik ve anaerobik bakteri miktarlarının ozon etkisi ile azaldığını tespit etmişlerdir.

Gertzou ve ark (2017) taze tavuk butlarına ozon uygulaması ve vakum paketlemenin birlikte kullanımının raf ömrüne katkısını belirlemeyi amaçladıkları çalışmalarında, 2, 5 ve 10 mg/L dozlarında ozon kullanmışlardır. Araştırmacılar ozon uygulaması yapılan butlar PA/PE vakum paketleri kullanılarak vakum ambalajlanmış ve 4 ± 1 °C de 16 gün süreyle depolamışlardır. Mikrobiyolojik olarak (TVC, *Pseudomonas* spp., LAB, küf ve maya ve Enterobacteriaceae) değerlendirilmiştir. Yüksek doz ozon uygulamasının mikrobiyal popülasyonu kontrol etmede daha efektif olduğunu bildirmişlerdir.

Al Haddad ve ark (2005) yaptıkları çalışmada, soğutulmuş tavuk göğüs etlerinde 2000 ppm 30 dk ozon uygulaması sonrasında % 70 CO₂: %30 N₂; 7°C de depolama, 2000 ppm 15 dk ozon uygulaması sonrasında % 70 CO₂: %30 N₂ 7°C de depolama proseslerini uygulamışlardır. >2000 ppm 30 dk uygulama yaptıkları grupta *S. Infantis* sayısında %97, *P. Aeruginosa* sayısında ise %95 azalma tespit etmişlerdir.

Kalchayanand ve ark (2020) taze etlere ozon uygulamasıyla birlikte UVC ışın uygulamasının taze sığır eti yüzeyindeki patojen ve aerobik bakteri popülasyonunu azalttığını ifade etmişlerdir

Abed Allah ve Abed Ali Al-obaidi (2020), ozona maruz kalma süresinin (10, 15, 20 dk) sığır ve koyun eti bakteri miktarı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada, başlangıçta psikrofilik bakteri sayısının 3,1-3,3 log kob/g arasında değiştiğini, 10 dk ozon uygulanan etlerde psikrofilik bakteri sayısının 1,8-1,9 log kob/g seviyesinde azaldığını ileri sürmüşlerdir.

Jindal ve ark (1995), mikrobiyal güvenliği artırmak ve raf ömrünü uzatmak için soğutma öncesi tavuk karkaslarına 4 °C’ de 0,44-0,54 ppm 45 dk ozon uygulaması yapmışlardır. Araştırmacılar *P. aeruginosa*, Gram negatif ve Gram pozitif bakteri seviyelerinin 0,38; 1,11 ve 1,14 log azaldığını tespit etmişler ve ozon uygulaması ile tavuk karkaslarının raf ömrünün 2 gün arttığını bildirmişlerdir.

Ali ve ark (2022), bakteri penetrasyonunun (*A. hydrophila*, *L. monocytogenes*, *Y. enterocolitica*) sağlandığı sığır eti numunelerinde ozon uygulamasının (0,5 ppm;

15, 30, 45 dk) bakteri yükü üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çalışmada, 0,5 ppm ozon konsantrasyonunun et bloklarındaki bakteri sayısını azaltmada oldukça etkili olduğunu, her bir zaman periyodunda gram negatif bakteri sayısının 3 log kob/ml, Gram pozitif bakteri sayısının 2 log kob/ml azaldığını, başlangıç bakteri sayısından 5 log kob/ml azalmaya ulaşmak için 45 dk uygulama yapılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Araştırmacılar ozonlanmış suyun antibakteriyel aktivitesinin gram negatif bakteriler üzerinde Gram pozitif bakteri türlerinden daha etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Devatkal ve ark (2023) et ürünleri ve ekipmanlardan izole edilen bakteriler (örn: *Staphylococcus* spp., *Bacillus* spp., *E. coli*, *Enterobacter* spp., *Proteus* spp., *Providencia* spp., *Pseudomonas* spp.) üzerine ozon gazının etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada 0,1 mg/kg ozon gazını 0; 0,5; 1; 2; 4; 8 ve 15 dakika süreyle uygulamışlardır. Tüm test bakterilerinin ozon uygulamasına duyarlı olduğu ve 15 dk ozon uygulanmasında belirtilen mikroorganizmaların önemli düzeyde etkilendiklerini belirtmişlerdir.

Araştırmada ozon gazı uygulamasından sonra *Pseudomonas* spp. cinsi bakterileri sayılarının önemli düzeyde azalmasının, yapılan diğer çalışmalarla uyumlu olduğu bu grup mikroorganizma üzerine ozon gazının inhibe edici etkisinin bulunduğu teyit edilmiştir.

Enterobacteriaceae familyası bakterileri, gıda mikrobiyolojisini çok yakından ilgilendiren bakteri grubunu oluşturmaktadırlar. Bu grupta bulunan koliform bakteriler, fekal koliformlar, *E. coli* (tip 1), *E. coli* O157:H7 serotipi, *Salmonella*, *Shigella* ve *Y. enterocolitica* pek çok gıda mikrobiyolojisi laboratuvarındaki rutin analizlerde aranmakta ve/veya sayımları yapılmaktadır. Bunların dışında toplam Enterobacteriaceae sayımı da hijyen göstergesi olarak her geçen gün önemini artırmaktadır.

Başlangıçta (hammadde) 3,21 log₁₀kob/g tespit edilen Enterobacteriaceae grubu mikroorganizma sayılarının ozon uygulanan bütün gruplarda önemli düzeyde azaldığı, muhafazanın 7. gününde 10 dakika 0,5 ppm ve 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde bu grup mikroorganizma sayısında artışların meydana geldiği, muhafazanın 14. gününde ozon uygulanan deneysel numunelerde üremenin oldukça

düştüğü hatta 10 ve 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan gruplar ile 20 dakika 0,5 ppm ozon uygulanan gruplarda üremenin görülmediği tespit edilmiştir. Kontrol grubu numunelerinde ise muhafaza periyodu süresince kısmi artışlar meydana gelmekle birlikte muhafazanın 14. gününde başlangıca göre bu grup mikroorganizma sayısında azalma olduğu görülmüştür. Ozon uygulaması sonrasında, muhafazanın 7. ve 14. günlerde gruplar arası meydana gelen farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3.4; $p<0,05$). Diğer taraftan 10 dakika süre 0,6 ppm ozon uygulanan grup hariç diğer bütün gruplarda Enterobacteriaceae grubu mikroorganizma sayılarında günler arası farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.4; $p<0,05$).

Ozon uygulaması sonrasında bütün ozon uygulanan deneysel numunelerin Enterobacteriaceae familyası bakteri sayılarında 2-3 logaritmik birim düzeyinde azalma meydana geldiği saptanmış ve bu dönemde gruplar arası farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.4; $p<0,05$). Araştırmada kullanılan hammaddenin başlangıçta sahip olduğu $3,21 \log_{10} \text{kob/g}$ Enterobacteriaceae sayısının ozon uygulanan gruplarda 0,50-1,70 log kob/g seviyelerine kadar düştüğü, en fazla düşüşün 10 dakika 0,5 ppm uygulanan numunelerde meydana geldiği bunu sırasıyla 10 dakika 0,6 ppm, 20 dakika 0,5 ppm ve 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerin takip ettiği gözlemlenmiştir. 10 dakika 0,5 ppm ve 10 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde 3 logaritmik birim, diğer ozon uygulanan gruplarda Enterobacteriaceae sayısının başlangıçta sahip olunan değerden yaklaşık 2 logaritmik birim düzeylerinde azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu familyaya ait mikroorganizmaların muhafaza periyodunun 14. gününde ozon uygulanmayan kontrol grubunda da 1 logaritmik birim seviyesinde düştüğü müşahade edilmiştir. Muhafaza periyodu dikkate alındığında muhafazanın 7. ve 14. günlerinde ozon uygulanan numunelerin Enterobacteriaceae sayısının kontrol grubundan daha düşük olduğu, muhafazanın 14. gününde ozon uygulanmayan kontrol grubu numunelerinde Enterobacteriaceae sayısının $2,88 \log_{10} \text{kob/g}$ seviyesinde bulunduğu ozon uygulanan gruplarda ise üreme görülmediği veya bu familyaya ait mikroorganizma sayısının oldukça düştüğü gözlemlenmiştir. Bu familyaya ait mikroorganizmaların uygulama yöntemlere bağlı olarak gruplar arası ve günler arası meydana gelen farklılıklarında istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.4; $p<0,05$). Bu durum ozonun Enterobacteriaceae familyası mikroorganizmalar üzerine de inhibe edici etkisinin

olduğunu, bununla birlikte kontrol grubu numunelerinde bu familyaya ait mikroorganizma sayılarının da azalmasının ozon dışında etin iç faktörleri (pH, a_w) ve ortam şartlarının etkisiyle de meydana gelebileceğini de göstermektedir. Bu durum birçok araştırmacının da (Campbell ve ark 2001; Ahnström ve ark 2006; Kahraman ve Gürbüz 2022) ifade ettikleri gibi rutubet düzeyindeki azalmaya bağlı olarak a_w miktarının düşmesi ve mikroorganizmaların gelişmelerinin baskılanması ile açıklanabilmektedir. Yapılan bazı araştırmalarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Ünal (2017), ozonlu suyla muamele, modifiye atmosferde ambalajlama, su tutucu kombine kullanımının soğukta muhafaza edilen tavuk göğüs etlerinde mikrobiyolojik kalite özelliklerindeki değişimler üzerine etkisini incelediği çalışmasında, genel olarak ozon uygulanmış grupların toplam aerobik psikrofilik bakteri (TAPB), laktik asit bakteri (LAB) ve Enterobacteriaceae sayılarının kontrol grubundan daha düşük olduğunu ve mikrobiyal gelişimi baskıladığını bildirmiştir.

Gertzou ve ark (2017) taze tavuk butlarına ozon uygulaması ve vakum paketlenmenin birlikte kullanımının raf ömrüne katkısının araştırıldığı çalışmada, 2, 5 ve 10 mg/L dozlarında ozon kullanılmıştır. Ozon uygulaması yapılan butlar PA/PE vakum paketleri kullanılarak vakum ambalajlanmış ve 4 ± 1 °C de 16 gün süreyle muhafaza altına almışlardır. Mikrobiyolojik olarak total canlı mikroorganizma (TVC), *Pseudomonas* spp., LAB, küf ve maya ve Enterobacteriaceae familyasına ait mikroorganizmalar değerlendirilmiştir. Araştırmacılar yüksek doz ozon uygulamasının mikrobiyal popülasyonu kontrol etmede daha efektif ve etkili olduğunu bildirmişlerdir. Devatkal ve ark (2023) et ürünleri ve ekipmanlarda izole edilen bakteriler (örn: *Staphylococcus* spp., *Bacillus* spp., *E.coli*, *Enterobacter* spp., *Proteus* spp., *Providencia* spp., *Pseudomonas* spp.) üzerine ozon gazının etkisinin araştırıldığı çalışmada 0,1 mg/kg ozon gazı 0; 0,5; 1; 2; 4; 8 ve 15 dakika süreyle uygulanmıştır. Tüm test bakterilerinin ozon uygulamasına duyarlı olduğu ve 15 dk ozon uygulanmasında *Proteus* spp., *Providencia* spp., *Enterococcus* spp., *Citrobacter* spp. ve *Staphylococcus* spp. sayılarında sırasıyla 4,9; 5,1; 4,5 ve 5,8 log₁₀ azalma olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada deneysel numunelerde *E. coli* varlığı ve ozon uygulamalarının etkisi araştırılmıştır. Başlangıç numunelerinde >10 kob/g olarak belirlenen *E.coli*'nin ozon uygulamaları sonrasında üremediği görülmüştür. Sadece kontrol grubu

numunelerinde muhafazanın 7. ve 14. günlerinde de >10 kob/g düzeyinde *E. coli* varlığı tespit edilmiştir. Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Tebliği'ne (2011) göre et ve et ürünlerinde *E. coli* 'nin bulunmaması gerekmektedir. *E.coli* üzerine ozonun etkisi birçok araştırmada ortaya konulmuştur.

Ewell (1946) 0,5 ve 3 mg/l ozon gazı kullanımının et yüzeyinde *E.coli* sayısını %50 azalttığını; Reagan ve ark (1996), *E.coli* inoküle edilen ve ozon ile işlem gören dana kıymalarında *E. coli* sayısının azaldığını; Stivarious ve ark (2002) %1 ozon gazı ve su banyosu ile 7 ve 15 dk muamele edilen parçalamadan önce temizlenmiş ette, 15 dk'lık uygulamanın *E. coli*, *S. Typhimurium*, koliform ve toplam aerobik bakteri sayısını azalttığını; Hierholzer ve ark (1993), tavuk karkaslarının soğutma suyunda ozon kullanımının *E. coli*'yi inhibe ettiğini; Coll Cardenas ve ark (2011) aynı konsantrasyonda ozon gazı ile muamele edilen sığır eti örneklerinde en yüksek mikrobiyal inhibisyonun 0°C de ve 24 saatlik uygulama gruplarında gözlemlendiğini, *E. coli* ve toplam aerobik mezofilik heterotrofik mikroorganizma sayılarında sırasıyla 0,7 ve 2,0 log₁₀ döngülük bir azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Kalchayanand ve ark (2019), taze etlerde geleneksel sprej soğutma uygulaması ile sulu ozon sprej soğutma uygulamasının *E. coli* ve aerobik bakteri üzerine etkisini değerlendirdikleri çalışmada, sulu ozon sprej soğutma uygulamasının aerobik bakteride etkisiz olan sprej soğutma karşısında taze et yüzeyinde *E. coli* (1,49 log) ve aerobik bakteri sayısını (0,99 log) önemli derecede ($p \leq 0,05$) azalttığını tespit etmişlerdir.

Novak ve Yuan (2003) inoküle edilmiş sığır etlerine 45 ve 55 °C 'de 3 ppm sulu ozon 5 dk uygulanması ile *C. perfringens*, *E. coli* ve *L. monocytogenes* miktarlarında sırasıyla 1,28; 0,85 ve 1,09 log azalma gözlemlediklerini bildirmişlerdir.

Jindal ve ark (1995), mikrobiyal güvenliği artırmak ve raf ömrünü uzatmak için soğutma öncesi tavuk karkaslarına 4 °C' de 0,44-0,54 ppm 45 dk ozon uygulaması yapmışlardır. Uygulama sonrası ozonun etkisi ile aerobik koloni, koliform ve *E. coli* sayılarında sırasıyla 1,11; 0,91 ve 0,90 log dan fazla azalma olduğunu bildirmişlerdir.

Hecer ve ark (2007), iki antimikrobiyal (ozon ve klor) uygulamanın iç çıkarma sonrası broiler karkasları üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada, broiler karkaslarına sırayla, 1,5 ppm ve 30 ppm 7 dk ozon ve klor (sodyum hipoklorit,

NaHClO) uygulamışlardır. Başlangıçta *E. coli* üremesi ozon uygulamasından sonra gözlenmemiştir.

Cho ve ark (2014), 7 log kob/g *Escherichia coli* O157:H7 ile kontamine olmuş Hanwoo sığır etini 3 gün boyunca 4°C'de ozona (10×10^{-6} kg O₃ h⁻¹) maruz bırakmışlardır. *E. coli* konsantrasyonunun uygulama sonrasında 0,53 log₁₀ kob/g azaldığı tespit edilmiştir.

Vargas ve ark (2021), ticari sığır eti işleme tesisinde ozonlu su ve laktik asit kullanımının etlerin doğal mikrobiyotası üzerindeki antimikrobiyal etkinliğini inceledikleri çalışmada baş, kalp ve karaciğer sakatatlarını kullanmışlardır. Uygulama sonrası kullanılan sakatatlarda *E. coli* sayısının sırayla 0,75; 0,62 ve 1,25 log kob/g azaldığını belirtmişlerdir.

McMillin ve Michel (2000), *E. coli* inoküle edilip ozonlama işlemi yapılan kıyma üzerinde yaptıkları çalışmada uygulama sonrası mikroorganizmanın miktarında azalma olduğunu ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar yüksek ozon konsantrasyonları kullanmışlardır. 500, 3500 ve 5000 ppm ozon uygulamasıyla *E.coli* sayımlarında (sırayla 1,07; 7,49; $10,70 \times 10^{-3}$ kg/m³) 2,0 log₁₀ döngülük azalma meydana geldiğini ve ozon konsantrasyonu arttıkça etkinliğinin de artacağını ileri sürmüşlerdir.

Araştırmada *Salmonella* türleri hammadde dahil olmak üzere uygulamanın hiçbir aşamasında tespit edilememiştir. Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Tebliği'ne (2011) göre et ve et ürünlerinde *Salmonella* spp.'nin bulunmaması gerekmektedir.

4.5.Deneysel Numunelerde Renk Değişimleri

Deneysel numunelerin başlangıç, ozon uygulaması ve muhafaza periyodu süresince renk analizleri Minolta marka kromametre (CR-400 model, Konica Minolta, Osaka, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir.

Deneysel numunelerin L* değerleri incelendiğinde 22,98-37,11 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç hammaddede tespit edilen L* değerinin ozon uygulama sonrasında kısmi azalma ve artışlar gösterdiği ancak bu değişimin gruplar arası istatistiki açıdan önemli olmadığı ($p>0,05$), ancak muhafazanın 7. ve 14. günlerinde belirlenen L* değerlerinde gruplar arası farklılıkların önemli

olduğu görülmüştür (Tablo 3.5; $p<0,05$). Başlangıç hammadde, uygulama sonrası, 7. ve 14. günler kıyaslandığında ise bütün grupların L^* değerlerinin farklılık gösterdiği ($p<0,05$), hammadde ve uygulama sonrası elde edilen L^* değerlerinin birbirleriyle, aynı şekilde muhafazanın 7. ve 14. günlerinde elde edilen verilerin de birbirleriyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

Deneyssel numunelerin a^* değerleri incelendiğinde 7,27-21,18 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç hammaddede tespit edilen a^* değerinin ozon uygulama sonrasında kısmi azalmalar gösterdiği ancak bu değişimin gruplar arası istatistiki açıdan önemli olmadığı ($p>0,05$), ancak muhafazanın 7. ve 14. günlerinde belirlenen a^* değerlerinde gruplar arası farklılıkların önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.5; $p<0,05$). Başlangıç hammadde, uygulama sonrası, 7. ve 14. günler kıyaslandığında ise bütün grupların a^* değerlerinin farklılık gösterdiği ($p<0,05$), hammadde ve uygulama sonrası elde edilen a^* değerlerinin birbirleriyle, aynı şekilde muhafazanın 7. ve 14. günlerinde elde edilen verilerin de birbirleriyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

Deneyssel numunelerin b^* değerleri incelendiğinde 7,18-16,36 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç hammaddede tespit edilen b^* değerinin ozon uygulama sonrasında kısmi azalmalar gösterdiği ancak bu değişimin ve muhafazanın 14. gününde elde edilen verilerin gruplar arası istatistiki açıdan önemli olmadığı ($p>0,05$), ancak muhafazanın 7. gününde belirlenen a^* değerlerinde gruplar arası farklılıkların önemli olduğu görülmüştür (Tablo 3.5; $p<0,05$). Başlangıç hammadde, uygulama sonrası, 7. ve 14. günler kıyaslandığında ise bütün grupların b^* değerlerinin farklılık gösterdiği ($p<0,05$), hammadde ve uygulama sonrası elde edilen a^* değerlerinin birbirleriyle, aynı şekilde muhafazanın 7. ve 14. günlerinde elde edilen verilerin de birbirleriyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

Farklı dozaj ve sürelerde ozon uygulamasına tabi tutulan deneyssel numunelerin başlangıç parlaklık (L^*), kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) düzeylerinin uygulama sonrası ve muhafaza süresince gözlemlenen değişimlere ait istatistiksel sonuçlar Tablo 3.5'te, sonuçların grafiksel gösterimi Grafik 3.7; Grafik 3.8. ve Grafik 3.9'da verilmiştir.

Deneyssel numunelerin L^* değerleri incelendiğinde 22,98-37,11 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç hammaddede tespit edilen L^*

değerinin ozon uygulama sonrasında kısmi azalma ve artışlar gösterdiği ancak bu değişimin gruplar arası farklılıkların önemli olmadığı ($p>0,05$), ancak muhafazanın 7. ve 14. günlerinde belirlenen L^* değerlerinde gruplar arası farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3.5; $p<0,05$). Başlangıç hammadde, uygulama sonrası, 7. ve 14. günler kıyaslandığında ise bütün grupların L^* değerlerinin farklılık gösterdiği ($p<0,05$), hammadde ve uygulama sonrası elde edilen L^* değerlerinin birbirleriyle, aynı şekilde muhafazanın 7. ve 14. günlerinde elde edilen verilerinde birbirleriyle benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

Başlangıçta (hammadde) 37,04 tespit edilen L^* değeri ozon uygulama sonrasında 37,11- 35,91 arasında tespit edilmiştir. Uygulama öncesi ve sonrasında önemli bir farklılık meydana gelmezken, gruplar arası L^* değerlerinde de istatistiksel herhangi bir farklılık görülmemiştir (Tablo 3.5; $p>0,05$). Muhafazanın 7 ve 14. günlerinde sırasıyla en yüksek L^* değerine (28,02; 27,96) ozon uygulanmayan kontrol grubu numunelerin sahip olduğu, muhafazanın bu süreçlerinde gruplar arası önemli farklılıkların olduğu ($p<0,05$) gözlemlenmiştir. Başlangıç (hammadde), ozon uygulama sonrası, muhafazanın 7. ve 14. günleri karşılaştırıldığında günler arası farklılıkların önemli olduğu, hammadde ve ozon uygulama sonrasında L^* değerleri bakımından benzerlik gösterdiği, 7. ve 14. günlerden farklılık gösterdiği, 7. ve 14. günlerde tespit edilen L^* değerlerinin ise bütün gruplarda benzer oldukları gözlemlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç (hammadde) L^* değerleriyle 14. gündeki L^* değerleri kıyaslandığında bütün uygulamalarda L^* değerinin önemli derecede düştüğü en az değişimin ise kontrol grubu numunelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kısmen ozonun etkisinden oluşabileceği gibi kontrol grubundaki numunelerin L^* değerlerinin de düşmesi dikkate alındığında etin pH değeri ve depolama şartlarından (sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı) veya depolama süresince etin nem kaybetmesine bağlı olarak kurumasından da kaynaklanabilir. Etlerin L^* değerlerindeki farklılıklar çoğu araştırmacı tarafından farklı etkenlere bağlı olarak açıklanmaktadır. Kim ve Hunt (2011), daha fazla rutubet içeren etlerin ışığı daha fazla yansıttığını, bu nedenle daha yüksek L^* değerine sahip olduğunu açıklamaktadırlar. Araştırmacılar, et yüzeyinin kuruması sonucunda ışığın absorbe edildiğini ve bu nedenle rengin daha koyu kırmızı olarak algılandığını belirtmektedirler.

Brewer ve ark (2001) etin parlaklık derecesini gösteren L^* değerinin etin oksijenlenme süresinden etkilenmediğini ve etin pH değeri ile yakın ilişki içinde

olduğunu bildirmişlerdir. Öte yandan Joo ve ark (1999), et L* değerlerindeki varyasyonun yaklaşık %65'inin sarkoplazmik proteinlerin çözünürlüğündeki değişikliklerden kaynaklanabileceğini öne sürmüşlerdir.

Brewer ve ark (2001), etin parlaklık düzeyini gösteren L* değerinin, etin oksijenasyon süresinden etkilenmediğini, ancak etin pH değeri ile sıkı bir etkileşim içerisinde olduğunu ifade etmişlerdir. Diğer taraftan Joo ve ark (1999), etin L* değerindeki değişimlerin yaklaşık %65'inin sarkoplazmik proteinlerin çözünürlüğündeki değişimlerden kaynaklanabileceğini öne sürmüşlerdir.

Ozonun en belirgin etkisi et örneklerinin yüzey renginde meydana getirdiği değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Clavijo (2005) ozonlanmış kısmen kurutulmuş tavuk etindeki L* ve b* değerlerinde azalma olduğunu bildirmiştir. Bu sonuçlar, ozonun etin yüzey renginde meydana getirdiği değişiklikleri vurgulamaktadır.

Gertzou ve ark (2017), tüm tavuk budu örneklerinin renk değerlerini incelediklerinde parlaklığı ifade eden L* değerinin depolamanın 16. gününe kadar azaldığını ve bu da ürünün renginin daha belirsiz hale geldiğinin bir göstergesi olduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda ozon uygulanmış sığır eti (Coll Cárdenas ve ark 2011, Cho ve ark 2014) ve tavuk göğüs örneklerinin (Muhlisin ve ark 2015) L*, a* ve b* değerlerinde önemli değişiklikler tespit edilmiştir. Muhlisin ve ark (2015) ozon uygulanmış tavuk göğüs etleri 3 gün depolama süresince L* ve b* değerlerinde bir etki görülmediğini bildirmişlerdir. Stivarius ve ark (2002) kıymanın L* değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. L* değerlerindeki artışların ozonun ağartma etkisinin bir sonucu olabileceği ve ayrıca et yüzeyindeki bağ doku içeriği zengin protein film tabakasının kısmen denatürasyonu nedeniyle daha açık renklerin görülmesinin mümkün olabileceği ifade edilmiştir.

Başlangıçta (hammadde) 21,18 tespit edilen a* değeri ozon uygulama sonrasında 20,71- 21,11 arasında tespit edilmiştir. Uygulama öncesi ve sonrasında önemli bir farklılık meydana gelmezken, gruplar arası a* değerlerinde de istatistiksel herhangi bir farklılık görülmemiştir (Tablo 3.5; p>0,05). Muhafazanın 7 ve 14. günlerinde sırasıyla en yüksek a* değerine (14.61; 12.14) 10 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerin sahip olduğu, muhafazanın bu süreçlerinde gruplar arası önemli farklılıkların oluştuğu (p<0,05) gözlemlenmiştir. Başlangıç (hammadde), ozon

uygulama sonrası, muhafazanın 7. ve 14. günleri karşılaştırıldığında günler arası farklılıkların önemli olduğu, hammadde ve ozon uygulama sonrasının a^* değerleri bakımından benzerlik gösterdiği, 7. ve 14. günlerden farklılık gösterdiği, 7. ve 14. günlerde tespit edilen a^* değerlerinin ise bütün gruplarda benzer oldukları gözlemlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç (hammadde) a^* değerleriyle 14. gündeki a^* değerleri kıyaslandığında bütün uygulamalarda a^* değerinin önemli derecede düştüğü en az değişimin ise 10 dakika 0,6ppm ozon uygulanan numunelerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kısmen ozonun etkisinden oluşabileceği gibi kontrol grubundaki numunelerin a^* değerlerinin de önemli oranda düşmesi dikkate alındığında etin pH değeri ve depolama şartlarından (sıcaklık, bağıl nem, rüzgâr hızı) veya depolama süresince etin nem kaybetmesine bağlı olarak kurmasından da kaynaklanabilir. Etlerin a^* değerlerindeki farklılıklar birçok araştırmacı tarafından farklı etkenlere bağlı olarak açıklanmaktadır. Hunt (1991), renk ölçüm sisteminde etin kırmızılık düzeyinin göstergesi olan a^* değerinin, etin oksijenasyon süresi ile yakından ilişkili olduğunu; bu durumun miyoglobinin oksidasyon ve redüksiyon aşamalarının etin pH değeri ile doğrudan etkileşim içerisinde olmasının bir sonucu olarak ortaya çıktığını belirtmektedir. Coll Cardenas ve ark (2011) 0°C ve 4°C’de 3 saat boyunca sürekli olarak ozon uygulaması yapılan etlerde yüzey rengi parametrelerinin kontrol grubu ile karşılaştırıldıklarında önemli ölçüde değişmediğini ($p>0,05$), 24 saat boyunca ozon uygulaması yapılan etlerde ise yüzey rengi önemli ölçüde değiştiğini bildirmişlerdir ($p<0,05$). Araştırmacılar a^* parametresinin miyoglobin ve oksimiyoglobinin metmiyoglobine oksidasyonu nedeniyle kontrol grubu örneğine göre azaldığını, a^* parametresinin azalmasının oksimiyoglobin pigmentinin kaybindan kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Aynı görüşler Unda ve ark (1989) tarafından da ileri sürülmüştür. Araştırmacılar ozon uygulaması yapılan etlerde depolama sürecinde a^* değerinin azaldığını bildirmişlerdir. Bekhit ve ark (2013) ozon gazı maruziyeti ile miyoglobin ve oksimiyoglobinin, metmiyoglobine oksidasyonu sonucunda a^* değerinin azalabileceğini, ozon ve diğer reaktif oksijen türlerinin güçlü oksidanlar olduğunu, lipid ve miyoglobin oksidasyonunu başlattıklarını belirtmektedirler. Mancini ve Hunt (2005) Miyoglobinin oksidasyonu ile metmyoglobinin oluştuğunu, bu dönüşümün düşük kırmızılık ile karakterize olduğunu belirtmektedirler. Gimenez ve ark (2021) sığır etlerine uygulanan ozonun toplam renk farkını önemli ölçüde ($p<0,05$) etkilediğini tespit etmişlerdir. Uygulama yoğunluğu arttıkça ΔE^* değerlerinin tüm olgularda arttığı miyoglobin ve oksimiyoglobinin metmyoglobine oksidasyonu

nedeniyle ozon kullanıldığında a^* (kırmızı/yeşil koordinatlar) değerlerinin azaldığı bildirmişlerdir. Muhlisin ve ark (2016), ozon uygulamasının ördek ve tavuk göğüs etlerinin depolama boyunca a^* değerini önemli derecede azalttığını tespit etmişlerdir. Qian ve ark (2022), ozon gazı uygulamasının somon balığının kalite ve mikrobiyal flora üzerine etkisini araştırdıkları çalışmalarında ozonlama işleminin tüm örneklerin a^* değerinde depolama süresince hafif bir düşüşe yol açtığını bildirmişlerdir.

Başlangıçta (hammadde) 16,36 tespit edilen b^* değeri ozon uygulama sonrasında 15,53- 16,34 arasında tespit edilmiştir. Uygulama öncesi ve sonrasında önemli bir farklılık meydana gelmezken, gruplar arası b^* değerlerinde de istatistiksel herhangi bir farklılık görülmemiştir (Tablo 3.5; $p>0,05$). Muhafazanın 7.gününde en yüksek b^* değerine (12,56) ozon uygulanmayan kontrol grubu numunelerinin sahip olduğu bu süreçte gruplar arası farklılıkların olduğu (Tablo 3.5; $p<0,05$) gözlemlenmiştir. Muhafazanın 14. gününde ise en yüksek b^* değeri (9,73) 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde, en düşük değer ise (7,18) 20 dakika 0,5 ppm ozon uygulanan numunelerde tespit edilmiştir. Muhafazanın 14. gününde gözlemlenen farklılıkların istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür ($p>0,05$; Çizelge 3.5). Başlangıç (hammadde), ozon uygulama sonrası, muhafazanın 7. ve 14. günleri karşılaştırıldığında günler arası farklılıkların önemli olduğu, hammadde ve ozon uygulama sonrasında b^* değerleri bakımından benzerlik gösterdiği, 7. ve 14. günlerden farklılık gösterdiği, 7. ve 14. günlerde tespit edilen b^* değerlerinin ise bütün gruplarda benzer oldukları gözlemlenmiştir (Tablo 3.5). Başlangıç (hammadde) b^* değerleriyle 14. gündeki b^* değerleri kıyaslandığında bütün uygulamalarda b^* değerinin önemli derecede düştüğü tespit edilmiştir. Numunelerin muhafazanın 14. gününde sahip oldukları b^* değeri bakımından gruplar arası farklılıkların olmaması ozon uygulamasının b^* değeri üzerine olan etkisini tartışmalı hale getirmektedir. Bu değişim muhtemelen etin iç faktörlerinden, uygulanan yöntemlerden, araştırmalarda farklı materyallerin kullanılmasından veya depolama sürecinde deneysel numunelerde meydana gelen kurumlardan kaynaklanabilir. Muhlisin ve ark (2015), ozon uygulanmış tavuk göğüs etleri 3 gün depolama boyunda L^* ve b^* değerlerinde bir etki görülmediğini bildirmişlerdir. Cho ve ark (2014) ozon uygulamalarının çeşitli et örneklerinin b^* değerlerini net bir şekilde etkilemediğini rapor etmişlerdir. Ayrancı ve ark (2020), hindi etinin renk değerleri üzerinde ozonun çarpıcı bir etkisinin bulunduğunu ozonla işlem görmüş tüm numunelerin L^* değerlerinin, işlem görmemiş

numunelerden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar işlem süresinin artmasıyla birlikte tüm örneklerde L* değerlerinin yükseldiğini, 8 saat ozon uygulanan numunelerin a* değerlerinde, işlem görmeyen numunelere göre yaklaşık altı kat kayıp meydana geldiğini, örneklerin b* değerlerinde bazı değişiklikler gözlenmesine rağmen 2; 4; 6; 8 saat işlem gören örnekler ile işlem yapılmayan örneklerin b* değerleri arasındaki anlamlı bir farkın oluşmadığını ($p > 0,05$) ileri sürmüşlerdir.



5.SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada ozonun olumlu özellikleri dikkate alınarak kırmızı eti (*M.longissimus lumborum*) farklı ozon uygulamalarına (0,5 ve 0,6 ppm ozon 10 ve 20 dakika) tabi tutarak soğukta muhafaza süresince pH, su aktivitesi (a_w), renk (L^* , a^* , b^*), TBARs (lipid oksidasyonu) ve mikrobiyolojik (toplam mezofilik aerobik mikroorganizma, *Pseudomonas* spp., Enterobacteriaceae, *E coli*, Salmonella spp.) kalite niteliklerinde, meydana gelebilecek değişimler araştırılmıştır. Araştırma sonucu elde edilen bulgulara ilişkin sonuçlar;

- Ozon uygulama sonrasında numunelerin pH değerlerinde kısmi azalma ve artışlar görülmüştür. Numunelerin başlangıç pH değerleri ile uygulama sonrası ve muhafazanın 7. ve 14. günleri karşılaştırıldığında başlangıçta 5,45 olarak tespit edilen pH değerlerinin muhafazanın 14. gününde en düşük 5,57, en yüksek 5,80 düzeylerine yükseldiği tespit edilmiştir.

- Numunelerin a_w değerleri ozon uygulama sonrasında 0,993-0,995 arasında değişiklik gösterdiği; numunelerin su aktivitesi değerlerinin 14. günde başlangıç seviyesine göre önemli düzeyde düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. 14. günde en düşük su aktivitesi değerine (0,882) kontrol grubu numuneleri sahip olduğu, ozon uygulanan grupların su aktivitesi değerlerinin ise muhafazanın 14. gününde 0,883-0,895 aralığında olduğu görülmüştür.

- Ozon uygulama sonrasında TBARs değerinde en fazla değişimin 20 dakika süreyle 0,6 ppm ozon uygulanan grupta meydana gelmiş ve 2,73 mgMDA/kg seviyesine ulaşmıştır. Bunu sırasıyla 10 dakika 0,5 ppm, 20 dakika 0,5 ppm ve 10 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan gruplar izlemiştir. Bu süreçte en düşük değer kontrol grubu numunelerinde tespit edilmiştir. Ozon uygulanan numunelerin soğukta muhafazasının 7. gününde en yüksek değere 10 dakika süreyle 0,6 ppm uygulanan numunelerde ulaşılmıştır. Muhafazanın 14. gününde ise 1,12-2,05 mgMDA/kg aralığında TBARs değerleri bulunmuş, en yüksek TBARs değerinin 20 dakika süreyle 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde tespit edilmiştir. Bu değerlerin (20 dakika 0,6 ppm uygulanan grup hariç) tüketiciler açısından sığır eti için kabul edilen ransidite üst limitinden (2-2,5 mg MDA/kg) (Gomez ve ark 2014, Dominguez ve ark 2019), daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte kontrol grubu numunelerinin sahip

olduğu TBARs değerinin ozon uygulanan gruplardan daha düşük olması, ozon uygulama dozajı ve süresinin TBARs değerleri üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir.

- Başlangıçta (hammadde) 5,57 log₁₀kob/g tespit edilen TMAB sayısının ozon uygulanan bütün gruplarda önemli düzeyde azaldığı, muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün gruplarda TMAB sayısında artışların olduğu, en fazla TMAB sayısındaki artışın kontrol grubunda meydana geldiği görülmüştür.

- Başlangıçta (hammadde) 5,308 log₁₀kob/g tespit edilen *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayıları ozon uygulanan bütün gruplarda önemli düzeyde azaldığı, muhafazanın 7. ve 14. günlerinde bütün gruplarda *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayılarında artışların olduğu, en fazla *Pseudomonas* spp. grubu mikroorganizma sayılarında artışların kontrol grubunda meydana geldiği görülmüştür.

- Başlangıçta (hammadde) 3,21 log₁₀kob/g tespit edilen Enterobacteriaceae grubu mikroorganizma sayıları ozon uygulanan bütün gruplarda önemli düzeyde azaldığı, muhafazanın 7. gününde 10 dakika 0,5 ppm ve 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde bu grup mikroorganizma sayısında artışların meydana geldiği, muhafazanın 14. gününde ozon uygulanan deneysel numunelerde üremenin oldukça düştüğü hatta 10 ve 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan gruplar ile 20 dakika 0,5 ppm ozon uygulanan gruplarda üremenin görülmediği tespit edilmiştir. Kontrol grubu numunelerinde ise muhafaza periyodu süresince kısmi artışlar meydana gelmekle birlikte muhafazanın 14. gününde başlangıca göre bu grup mikroorganizma sayısında azalma olduğu görülmüştür.

- Başlangıç numunelerinde >10 kob/g olarak belirlenen *E.coli*'nin ozon uygulamaları sonrasında üremediği görülmüştür. Sadece kontrol grubu numunelerinde muhafazanın 7.ve14. günlerinde de >10 kob/g düzeyinde *E.coli* varlığı tespit edilmiştir.

- Araştırmada *Salmonella* türleri hammadde dahil olmak üzere uygulamanın hiçbir aşamasında tespit edilememiştir.

- Başlangıçta (hammadde) 37,04 tespit edilen L* değeri ozon uygulama sonrasında 37,11- 35,91 arasında tespit edilmiştir. Uygulama öncesi ve sonrasında

önemli bir farklılık meydana gelmezken, gruplar arası L^* değerlerinde de farklılık görülmemiştir. Muhafazanın 7 ve 14. günlerinde sırasıyla en yüksek L^* değerine ozon uygulanmayan kontrol grubu numunelerin sahip olduğu, muhafazanın bu süreçlerinde gruplar arası önemli farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir.

- Başlangıçta (hammadde) 21,18 tespit edilen a^* değeri ozon uygulama sonrasında 20,71- 21,11 arasında tespit edilmiştir. Uygulama öncesi ve sonrasında önemli bir farklılık meydana gelmezken, gruplar arası a^* değerlerinde de istatistiksel herhangi bir farklılık görülmemiştir. Başlangıç (hammadde) a^* değerleriyle 14. gündeki a^* değerleri kıyaslandığında bütün uygulamalarda a^* değerinin önemli derecede düştüğü en az değişimin ise 10 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerinde olduğu tespit edilmiştir.

- Başlangıçta (hammadde) 16,36 tespit edilen b^* değeri ozon uygulama sonrasında 15,53- 16,34 arasında tespit edilmiştir. Uygulama öncesi ve sonrasında önemli bir farklılık meydana gelmezken, gruplar arası b^* değerlerinde de istatistiksel herhangi bir farklılık görülmemiştir. Muhafazanın 14. gününde ise en yüksek b^* değeri (9,73) 20 dakika 0,6 ppm ozon uygulanan numunelerde, en düşük değer ise (7,18) 20 dakika 0,5 ppm ozon uygulanan numunelerde tespit edilmiştir.

Araştırma sonucunda, kırmızı et örneklerinde, farklı süre ve dozlarda uygulanan ozonun, mikroflorayı azaltıcı bir etkiye sahip olduğu, bu açıdan kırmızı etlerin mikrobiyal bozulmaların engellenmesi, ürün raf ömrünün uzatılması hatta patojen bakteriler üzerine olası inaktif etki bakımından halk sağlığının korunması bakımından faydalı olabileceği kanaatini oluşturmuştur.

Ozonun, numunelerin pH ve su aktivitesi değerleri üzerine önemli bir etkisinin bulunmadığı, bu parametrelerin ozonun yanı sıra diğer iç ve dış etkenler ile birlikte değerlendirilmesinin daha objektif sonuçlar vereceği ön görülmüştür.

Etin rengi hem tüketici açısından hem de etin duyuşal nitelikleri bakımından özel bir önem arz etmektedir. Her ne kadar bulgular ozon gazının renk parametreleri üzerine kısmi etkisinin olabileceğini gösterse de renk oluşumunda ve rengin sürekliliğinin korunmasında ozon gazı ile birlikte diğer parametrelerin de dikkate alınarak değerlendirme yapılmasının daha doğru olacağı kanaatini oluşturmuştur.

Araştırmanın en tartışmalı kısmını ozon uygulamaları ve bu uygulamalara bağlı olarak TBARs değerlerinde meydana gelen değişiklikler oluşturmaktadır. Deneysel numunelerin TBARs değerlerinin ozon uygulamasından hemen sonra önemli derecede artış göstermesi kırmızı et için üst limit değerleri aşması, muhafaza süresince azalmaların meydana gelmesi ve kabul edilebilir sınırlarda veri elde edilmesi nedeniyle TBARs değerlerinin duysal parametreler ile değerlendirilmesinin gerekliliğini zorunlu kılmaktadır.



6.KAYNAKLAR

- Abed Allah MA, Abed Ali Al-obaidi D, 2020, Effects of gaseous ozone exposure time on bacterial counts in red meat. *Plant Archives*. Volume 20, 2, 3845-3850,
- Ahnström ML, Seyfert M, Hunt MC, Johnson DE, 2006. Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. *Meat Science*,73, 674–679.
- Akan İM, Gürbüz Ü. 2016. Isolation and identification of *Pseudomonas* species in meat and meat product and cold storage depots. *Eurasian J Vet Sci*, 32, 4, 268-277.
- Al Haddad KSH, Al Qassemi RAS, Robinson RK, 2005. The use of gaseous ozone and gas packaging to control populations of *Salmonella* infantis and *Pseudomonas aeruginosa* on the skin of chicken portions. *Food Control*, 16, 405– 410,
- Ali MM, Al-Mousawi MR, Aljabawi RAA, 2022. Studying the penetration ability of various pathogenic bacteria into raw beef meat surface and the antibacterial effect of ozonated water. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 16, 2, 1252-1262.
- Alonso-Calleja C, Martínez-Fernandez B, Prieto M, Capita R, 2004. Microbiological quality of vacuum-packed retail ostrich meat in Spain. *Food Microbiology*, 21, 2, 241-246.
- Alparslan Y, Baygar T, Yıldız D, 2012. Su ürünleri işleme tesislerinde ozon ve önemi. *Electronic Journal of Food Technologies*, 7, 24-31.
- AMSA, 2012. Meat Color Measurement Guidelines. Erişim tarihi 23 Aralık 2023, <https://meatscience.org/publications-resources/printed-publications/amsa-meat-color-measurement-guidelines>.
- Ayrancı UG, Özünlü O, Ergezer H, Karaca H, 2020, Effects of ozone treatment on microbiological quality and physicochemical properties of turkey breast meat, *Ozone: Science & Engineering*, 42,1, 95-103.
- Babic J, Cantalejo MJ, Arroqui C, 2009. The effects of freeze-drying process parameters on Broiler chicken breast meat. *LWT e Food Science and Technology*, 42, 8, 1325-1334.
- Babucçu O, 2011. Ozon terapi mit ve gerçek. *Türk Plastik ve Rekonstrüktif ve Estetik Cerrahi Dergisi*, 19, 105-110.
- Barreiro M, Sandoval B, 2006. Operaciones de conservacion de alimentos por bajas temperaturas, Ed: Pacheco C, firsth edition, Venezuela, Equinoccio, p. 57.
- Barriga ML, Trachy G, Willomot C ve Simard RE, 1991. Microbial changes in shredded iceberg lettuce stored under controlled atmospheres. *Journal of Food Science*, 56, 6, 1586-1588.
- Bekhit AEDA, Hopkins DL, Fahri FT, Ponnamm Palam EN, 2013. Oxidative processes in muscle systems and fresh meat: Sources, markers, and remedies. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 12, 565-597.
- Beltran FJ, Garcia-Araya JF, Rivas J, Alvarez PM, Rodriguez E. 2000, Ozone remediation of some phenol compounds present in food processing wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 35, 681-699.
- Beltran FJ, García-Araya JF, Alvarez PM. 2001. pH sequential ozonation of domestic and wine-distillery wastewaters. *Water Research*, 35, 929-936.
- Benitez FJ, Real FJ, Acero JL, Garcia J, Sanchez M. 2003. Kinetics of the ozonation and aerobic biodegradation of wine vinasses in discontinuous and continuous processes. *Journal of Hazardous Materials B*,101, 203–218.
- Bott TR, 1991. Ozone as a disinfectant in process plant. *Food Control*, 2, 1, 45-49.
- Botta C, Ferrocino I, Cavallero MC, Riva S, Giordano M, Coccolin L, 2018. Potentially active spoilage bacteris community during the storage of vacuum packaged beefsteaks treated with aqueous ozone and electrolyzed water. *International Journal of Food Microbiology*, 266, 337-345.

- Brewer MS, Zhu LG, Bidner B, Meisinger DJ, Mckeith FK, 2001. Measuring pork color: effects of blooming time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. *Meat Science*, 57,2, 169–176.
- Canizares P, Lobato J, Paz R, Rodrigo MA, Saez C. 2007. Advanced oxidation processes for the treatment of olive-oil mills wastewater. *Chemosphere*, 67, 832–838.
- Cantalejo MJ, Zouaghi F, Arnedo IP, 2016. Combined effects of ozone and freeze-drying on the shelf life of Broiler chicken meat. *LWT-Food Science and Technology* 68, 400-407.
- Campbell RE, Hunt MC, Levis P, Chambers E, 2001. Dry-aging effects on palatability of beef longissimus muscle. *Journal of Food Science*, 66, 2, 196-199.
- Castillo A, Mckenzie KS, Lucia LM, Acuff GR, 2003. Ozone treatment for reduction of escherichia coli o157: h7 and salmonella serotype typhimurium on beef carcass surfaces. *Journal of Food Protection* 66, 5, 775–79.
- Chand R, Bremner DH, Namkung KC, Collier PJ, Gogate PR. 2007. Water disinfection using the novel approach of ozone and a liquid whistle reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 35, 357–364.
- Chang YH, Sheldon BW, 1989. Application of Ozone with Physical Waste Water Treatments to Recondition Poultry Process Waters, *Poultry Science*, 68, 8, 1078-1087.
- Chen HC, Huang SH, Moody MW, Jiang ST, 1992. Bacteriocidal and mutagenic effects of ozone on shrimp (*Penaeus monodon*) meat. *Journal of Food Science*, 57, 4, 923–927.
- Chen HH, Chiu EM, Huang JR, 1997. Colour and gel-forming properties of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) as related to washing conditions. *J. Food Sci*, 62, 985-991.
- Cho Y, Muhlisin JHC, Hahn TW, Lee SK, 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, 525-532.
- Choe E, Min DB, 2005. Chemistry and reactions of reactive oxygen species in food. *J. Food Science*. 70, 142-159.
- Clavijo C, 2005. Development of a new raw meat product from Broiler chicken breast meat after ozonation, partial dehydration and vacuum packaging. PhD Thesis. Pamplona, Spain (in Spanish): Public University of Navarre.
- Coll Cardenas F, 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.
- Çatal H, İbanoğlu Ş. 2010, Gıdaların Ozonlanması. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5, s. 47-55.
- Çiçek U, Karabıyıklı Ş, Çabuk D, İyiekmekçi B, Kurbandurdiyev H, Cevahiroğlu H. 2013. Dana Etinin Bazı Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Farklı Ambalajlama Yöntemleri ve Depolama Süresinin Etkisi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*. 30, 2, 62-70.
- Devatkal SK, Kumar C, Juneja V, Inbaraj S, 2023. Effect of aqueous ozone on inactivation of bacteria isolated from the meat products and equipment. *Biologia*, 78, 3295-3304.
- Doğruer Y. 2009. Et Bilimi. Ders Notları. Selçuk Üniversitesi Basımevi. Konya.
- Dokuzlu C, 2006. Kesimhanelerde Broiler Karkasların Mikrobiyal Yükü Üzerine Ozon ve Klor Uygulamalarının Etkileri. *Uludag Univ. J. Fac. Vet. Med*, 25, 1-2, 7-11.
- Dominguez R, Pateiro M, Gagaoua M, Barba FJ, Zhang W, José M. Lorenzo JM. 2019. A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*. 8, 429.
- El Dahshan HA, Hafez TA, EL- Ghayat HA, 2013. “Effect of Ozone on Preservation of Chilled Chicken.” *Assiut Vet. Med. J* 59, 136, 22–26.
- Ensoy Ü, Coşar B, 2006. Yüksek basınç uygulamalarının et ve et ürünlerinin duyuusal, fiziksel ve biyokimyasal özellikleri üzerine etkileri. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23, 2, 1-7.

- Eriksson M, 2005. Ozone chemistry in aqueous solution-ozone decomposition and stabilization. licentiate thesis, School of Chemical Science and Engineering (CHE), Royal Institute of Technology, Sweden.
- Ewell AW, 1946. Recent ozone investigation. J. Appl. Physics., 17, 908-911
- Faustman, C, Sun Q, Mancini R, Suman SP, 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: mechanistic bases and control. Meat Science 86, 86–94.
- Feiner G, 2006. Meat Products Handbook, Practical Science and Technology, 1st Edition - September 29.
- Fontes B , Heimbecker AMC, Brito GS, Costa SF, Heijden IM, Levin AS, Rasslan S, 2012. Effect of low-dose gaseous ozone on pathogenic bacteria. Fontes et al. BMC Infectious Diseases , 12, 358.
- Food and Drug Administration (FDA) BAM, 2001. Bacteriological analytical manual, Aerobic plate count, Chapter 3, January 2001 edition.
- Fournaud J, Lauret R, 1972. Influence of ozone on the surface microbial flora of beef during refrigeration and thawing. Technologia Alimentari, 6, 12.
- Fox JB Jr, 1987. The pigments of meat. In: The Science of Meat and Meat Products,. Ed. Price JF, Schweigert BS, 3rd ed. Food and Nutrition Press, Inc., Wesport, CT, p. 193-216.
- Gertzou IN, Karabagias IK, Drosos PE, Riganakos KA, 2017. Effect of combination of ozonation and vacuum packaging on shelf life extension of fresh chicken legs during storage under refrigeration. Journal of Food Engineering 213, 18–26.
- Gimenez B, Graiver N, Giannuzzi L, Zaritzky N, 2021. Treatment of beef with gaseous ozone: Physicochemical aspects and antimicrobial effects on heterotrophic microflora and listeria monocytogenes. Food Control 121 107602.
- Gomez I, Beriain MJ, Sarriès MV, Insausti K, Mendizabal JA, 2014. Low-fat beef patties with augmented omega-3 fatty acid and CLA levels and influence of grape seed extract. Journal of Food Science, 79, 11, 2368-2376.
- Gorman BM, Sofos JN, Morgan JB, Schmidt GR, Smith GC, 1995. Evaluation of hand-trimming various sanitizing agents and hot water spray washing as decontamination interventions for beef brisket adipose tissue. Journal of Food Protection, 58, p. 899-907.
- Gökalg HY, Kaya M., Tülek Y, Zorba Ö, 2015. Et ürünlerinde kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama klavuzu. 6.Baskı. Atatürk Üniv. Yayın No:751. Ziraat Fak. Yay. No:318. Ders Kitapları Serisi. No:69. Erzurum, s.151-155.
- Graham DM, 1997. Use of ozone for food processing. food technology, 51, 72-75.
- Graham DM, 2000, Ozone as an antimicrobial agent for the treatment, storage and processing of foods in gas and aqueous phases. Direct Food Additive Petition, FDA, Department of Health and Human Services, Washington, DC 20204.
- Grass ML, Vidal D, Betoret N, Chiralt A ve Fito P, 2003. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. Journal of Food Engineering, 56, 2-3, 279-284.
- Greene AK, Few BK ve Serafini JC, 1993. A Comparison of ozonation and chlorination for the disinfection of stainless steel surfaces. J. Diet. Sci., 76, 3617- 3620,
- Greer GG, Jones SDM, 1989. Effects of ozone on beef carcass shrinkage, muscle quality and bacterial spoilage, Can. Inst. Food Sci. Technol. J. Vol. 22, No. 2, 156-160,
- Gürbüz Ü. 2023. “Mezbaha Bilgisi ve Pratik Et Muayenesi” Nobel Akademik Yayınları. Konya.
- Güvenç H, Gürbüz Ü, 2023. Soğuk ve donmuş muhafazanın etin bazı kalite niteliklerine etkisi. Editör: Demirel, S.” Sağlık Bilimlerinde Yenilikçi Çalışmalar”. Duvar Yayınları, İzmir. s. 909-940.
- Güzel Seydim ZB, Greene AK, Seydim AC, 2004. Use of ozone in the food industry. Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 37, 453–460.

- Hecer C, Balci F, Udum CD, 2007. The effects of ozone and chlorine applications on microbiological quality of chickens during processing. J. Biol. Environ. Sci., 13, 131-138.
- Heldman, DR, Lund DB, 2006. Food dehydration. in: handbook of food engineering, okos, MR, (chief ed.), CRC press, New York, the USA, p. 601-744.
- Heng S, Yeung KL, Djafer M, Schrotter JC. 2007. A novel membrane reactor for ozone water treatment. Journal of Membrane Science, 289, 67–75.
- Herbold K, Flehmig B ve Botzenhart K, 1989. comparison of ozone inactivation, in flowing water, of hepatitis a virus, poliovirus 1, and indicator organisms. Appl Environ Microbiol, 55, 2949-2953.
- Hierholzer RH, Waldroup AL, Forsythe Miller MJ, 1993. Recycling of poultry chill water using ozone. Journal of Applied Poultry Science Research, 2, 330-336.
- Hugas M, Garriga M, Monfort J,M, 2002. New Mild Technologies in Meat Processing: High Pressure as a Model Technology. Meat Sci., 62, 358-371.
- Hunt MC, 1991. American meat science association committee on guidelines for meat color evaluation. Proc. Recip. Meth. Conf., 44, 1–14.
- International Organization for Standardization, ISO 16649-2:2001, Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs- Horizontal Method for Enumeration of β -glucuronidase Positive Escherichia coli- Part 2: Colony - Count Technique at 44°C Using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl β -d-glucuronide.
- International Organization for Standardization, TS EN ISO 13720:2011; Et ve et ürünleri- *Pseudomonas* spp. Sayımı.
- International Organization for Standardization, TS ISO 21528-2, 2017. Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal methods for the detection and enumeration of Enterobacteriaceae - Part 2, Colony count method.
- International Organization for Standardization, ISO 6579-1;2017 Microbiology of the food chain -- Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella* -- Part 1: Detection of *Salmonella* spp.
- İleri Ç ve Sezen İY , 2003. Düşük konsantrasyonlu ozonun candida albicans üzerine olan etkisi. Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi 01, 12, 1- 6.
- İnal T, 1990, Süt ve süt ürünlerinin hijyen ve teknolojisi. Final Ofset, İstanbul, s. 1108.
- İnal Ş. Biyometri. Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Basım Ünitesi, Konya, 2005.
- Jacqueline IK, 1981. Kirk-othmer encyclopedia of chemical tecnology. 3rd ed. John Wiley & Sons.
- Jaksch D, Margesin R, Mikoviny T, Skalny JD, Hartungen E, Schinner F, Mason NJ and Märk TD, 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. İnternational Journal of Mass Spectrometry, 239, 209-214.
- Jeong, JY, Kim CR, Kim KH, Moon SJ, Kook K, Kang SN, 2007. Microbiyal and physiochemical characteristics of pork lion cuts treated with ozone gas during storage. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 27, 1, 80-86
- Jeppesen C, 1995. “Media for Aeromonas spp., Plesiomonas shigelloides, *Pseudomonas* spp. From Food and Environment”, International Journal of Food Microbiology, 26, 25-41.
- Jindal V, Waldrou AL, Forsythe RH, Miller MJ, 1995. Ozone and improvement of quality and shelf life of poultry producer. J. Appl. Poult. Res., 4, 3, 239-242.
- Joo ST, Kauffman RG, Kim BC, Park GB, 1999. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and waterholding capacity in porcine longissimus muscle. Meat Science, 52, 291– 297.
- Kaess G, Weidemann JF, 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.

- Kahraman HA, Gürbüz Ü, 2019. Effects of three aging methods on the Longissimus lumborum muscle from Holstein-Friesian steers. *Med. Weter.* 75, 3, 179-184.
- Kalay B, 2006. Sulu çözeltilerden Cu^{+2} 'nin kaolinit yüzeyine adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, s. 7.
- Kalchayanand N, Worlie D, Wheeler T, 2019. A Novel Aqueous Ozone Treatment as A Spray Chill Intervention against *Escherichia Coli* O157: H7 on Surfaces of Fresh Beef. *Journal of Food Protection* 82, 11, 1874–78.
- Kalchayanand N, Bosilevac JM, King DA, Wheeler TL, 2020. Evaluation of UVC Radiation and a UVC-Ozone Combination as Fresh Beef Interventions against Shiga Toxin–Producing *Escherichia coli*, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* and Their Effects on Beef Quality. *Journal of food protection*. Vol. 83, 9, 1520-1529.
- Kanaan MHG, 2018. Antibacterial Effect of Ozonated Water against Methicillin-resistant *Staphylococcus Aureus* Contaminating Chicken Meat in Wasit Province, Iraq. *Veterinary World* 11, 1445–53.
- Kanaan MHG, Abdullah SS, 2021. Evaluation of aqueous Ozone as a method to combat multidrug resistant *Staphylococcus aureus* tainting cattle meat sold in Wasit marketplaces. *Mansoura Veterinary Medical Journal*, 22, 3, 117-1223
- Kaothien P, Jhala R, Dave R, Julson JL, Muthukumarappan K, Henning D, 2001. Effectiveness of ozone for controlling *Listeria monocytogenes* in ready to eat-cured ham presented at the 23-27 June Inst. of Food technology. Ann Meeting, New orleans, LA.
- Karabudak E. 2002. Etlerdeki Lipid Peroksidasyonunun Bir Ürünü Olarak Malonaldehid ve Ölçüm Yöntemleri. *J Nutr and Diet* 3 1, 1, 43-48.
- Karaca H, 2006. Meyve ve sebze islemede ozon uygulamaları, Doktora Semineri, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 1-28,
- Karaca H, Velioğlu YS. 2007. Ozone Applications in Fruit and Vegetable Processing. *Food Reviews International*, 23, 91–106.
- Karakaya M, Caner C, Sarıçoban C, 2004. Et Teknolojisinde Yüksek Hidrostatik Basınç Kullanımı. *Gıda*, 29, 6, 465–470,
- Karamah EF, Wajdi N, 2018. Application of ozonated water to maintain the quality of chicken meat: effect of exposure time, temperature, and ozon concentration. *E3S Web of Conferences*, 67, 04044.
- Khadre MA, Yousef AE, Kim JG. 2001. Microbiological aspects of ozone applications in food: A review. *J. Food Sci.* 66, 1242–1252.
- Kim JG, Yousef AE, Dave S. 1999a. Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods: A Review. *Journal of Food Protection*, 62, 1071–1087.
- Kim JM, Wei CI, Huang TS, Lin WF, Tamplin ML ve Bartz JA, 1999b. Growth and Survival of *Salmonella* Montevideo on Tomatoes and Disinfection with Chlorinated Water. *Journal of Food Protection*, 58, 829-836.
- Kim JG, Yousef AE, 2000, Inactivation kinetics of foodborne spoilage and pathogenic bacteria by ozone. *J. Food Sci.* 65, 521-528.
- Kim MJ, Shin HS, 2011. “Effect of Treatment with Ozonated Water on Shelf Life of Refrigerated Meat.” *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 31, 617–23.
- Kim YHB, Hunt MC, 2011. Advance technology to improve meat color. Ed: Joo ST. In: *Control of Meat Quality Kerala, India: Research Signpost*. p. 31–60
- Kim S.J, Cho, A.R, Han J. 2013. Antioxidant and antimicrobial activities of leafy green vegetable extracts and their applications to meat product preservation. *Food Control*, 29, 112–120,
- Komanapalli IR ve Lau BHS, 1998. Inactivation of Bacteriophage λ , *Candida Albicans* and *Escherichia Coli* by Ozone. *Appl Microbiol Biotechnol* , 49, 766-769.
- Kuşçu A ve Pazır F, 2004. Gıda Endüstrisinde ozon uygulamaları. *Gıda Teknolojisi*, 29, 2, 123-129.

- Lambooij E, Potgieter CM, Britz CM, Nortjé GL, Pieterse C, 1999. Effects of electrical and mechanical stunning methods on meat quality in ostriches. *Meat Science*, 52, 3, 331-337.
- Leh F, 1973. Ozone, Properties, Toxicity, and Applications. *J Chem Ed*, 50, 6, 404-405.
- Leistner L, 1992. Food preservation by combined methods. *Food Research International*, 25, 151-158.
- Leusink J, Karf G, 2000, Efficacy of gaseous ozone against generic *E. coli* in ground beef. Ozone Solutions Inc. Erişim tarihi 15 Kasım 2023, Erişim adresi [http://www. Ozonesolutions.com](http://www.Ozonesolutions.com).
- Liberti L, Notarnicola M, 1999. Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. *Water Sci. Tech*, 40, 235-245.
- Lyu, F, Shen K, Ding Y, and Ma X, 2016. Effect of pretreatment with carbon monoxide and ozone on the quality of vacuum packaged beef meats. *Meat Science*, 117, 137-146.
- Mancini RA, Hunt MC, 2005. Current research in meat color: review. *Meat Sci.* 71, 100-121.
- Manousaridis G, Nerantzaki A, Paleologos EK, Tsiotsias A, Savvaidis IN, Kontominas MG, 2005. Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels. *Food Microbiol*, 22, 1-9.
- Maris P, Nash B, Blakistone B, Yuan J, Bolton G, 2000, Evaluation of ozone as a disinfecting agent to enhance the quality and extend the shelf life of raw, vacuum-packed fish. A seafood technology research project funded by the North Carolina Fishery Resource Grant Program. FRG 99- ST- 04.
- Marquenie D, Lammetyn J, Geeraerd AH, Soontjens C, Van Impre JF, Nicolai BM, Michels CW. 2002. Inactivation of conidia of *botrytis cinerea* and *monilinia fructigena* using UV-C and heat treatment. *Internat. J. Food Microbiol.* 74, 27-35.
- Martinez-Sanchez A, Allende A, Bennett RN, Ferreres F ve Gil MI, 2006. Microbial, nutritional and sensory quality of rocket leaves as affected by different sanitizers. *Postharvest Biology and Technology*, 42, 1, 86-97.
- Matlok N, Zapalowska A, Dural B, Balawejder M, 2023. Effect of ozon treatment on shelf life of poultry meat in the logistic chain. *Acta Universitatis Cibiniensis Series E. Food Technology Vol. XXVII*, 1.
- McMillin K, Michel M, 2000, Reduction of *E. coli* in ground beef with gaseous ozone. *Louisiana Agriculture*, 43,3, 35.
- Megahed A, Aldridge B, Lowe J, 2018a. The microbial killing capacity of aqueous and gaseous ozone on different surfaces contaminated with dairy cattle manure. *Plos One*, 13,5, 0196555.
- Megahed A, Aldridge B, Lowe J, 2018b. Evaluation of the decontamination power of aqueous and gaseous ozone on various contaminated surfaces with cattle manure containing *Salmonella*. *J. Adv. Dairy Res.* 6, 205.
- Megahed A, Aldridge B, Lowe J, 2020, Antimicrobial efficacy of aqueous ozone and ozone-lactic acid blend on salmonella-contaminated chicken drumstick using multiple sequential soaking and spraying approaches. *Front. Microbiol*, 11, 1-11.
- Mercogliano R, Felice A, Murru N, Santonicola S, Cortesi ML, 2014. Ozone decontamination of poultry meat and biogenic amines as quality index. *J Food Process Technol*, 5, 3.
- Meunier L, Canonica S, Von Gunten U, 2006. Implications of sequential use of UV and ozone for drinking water quality. *Water Research*, 40, 1864-1876.
- Monteagudo JM, Carmona M, Duran A. 2005. Photo-fenton-assisted ozonation of p-Coumaric acid in aqueous solution. *Chemosphere*, 60, 1103-1110,
- Mor-Mur M, Yuste J, 2003. High pressure processing applied to cooked sausage manufacture: Physical Properties and Sensory Analysis. *Meat Science*, 65, 1187-1191.
- Muhlisin Cho YJ, Cho JH, Hahn TW, Lee SK, 2015. Bacterial counts and oxidative properties of chicken breast inoculated with *Salmonella* Typhimurium exposed to gaseous ozone. *Journal of Food Safety*, 35, 137-144.

- Muhlisin M, Utama DT, Lee JH, Choi, and Lee SK, 2016. Effects of gaseous ozone exposure on bacterial counts and oxidative properties in chicken and duck breast meat. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* 36, 405–11.
- Muthukumar A, Muthuchamy M, 2013. Optimization of ozone in gaseous phase to inactivate *Listeria monocytogenes* on raw chicken samples. *Food Research International*, 54, 1128-1130.
- Naito S, Takahara H, 2006. Ozone contribution in food industry in Japan. *Ozone: Science & Engineering*, 28, 6, 425-429.
- Novak JS, Yuan JTC, 2003. Viability of *Clostridium Perfringens*, *Escherichia Coli*, and *Listeria Monocytogenes* Surviving Mild Heat or Aqueous Ozone Treatment on Beef Followed by Heat, Alkali, or Salt Stress. *Journal of Food Protection* 66, 382–89.
- Novak JS, Yuan JTC, 2004. Increased Inactivation of Ozone-treated *Clostridium Perfringens* Vegetative Cells and Spores on Fabricated Beef Surfaces Using Mild Heat. *Journal of Food Protection* 67, 342–46.
- Obuz E, Akkaya L, Gök V, Dikeman ME, 2014. Effects of blade tenderization, aging method and aging time on meat quality characteristics of *Longissimus lumborum* steaks from cull Holstein cows. *Meat Science*, 96, 3, 1227-1232.
- Okayama T, Iwanaga S, Mitsui Y, Isayama T, Houzouji T, Muguruma M. 2002. Effect of ozon treatment on metmyoglobin formation and lipid oxidation on beef”, 48 th ICOMST Rome, vol.1.
- Orta de Velasquez MT, Rojas-Valencia MN, Reales-Pineda AC. 2006. Evaluation of phytotoxic elements, trace elements and nutrients in a standardized crop plant, irrigated with raw wastewater treated by APT and ozone. *Water Science & Technology*, 54, 165–173.
- Özay G, Pala M, Saygı B, 1993. Bazı gıdaların su aktivitesi yönünden incelenmesi. *Gıda Dergisi*, 18, 6, s. 397-404.
- Öztan A, 2008. Et bilimi ve teknolojisi. 6.Baskı, Filiz Matbaacılık San. Tic. Ltd.Şti, Ankara.
- Pascual A, Llorca I ve Canut A (2007). Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends in Food Science and Technology*, 18, 29-35.
- Patil S, Bourke P, Frias JM, Tiwari BK, Cullen PJ. 2009. Inactivation of *Escherichia coli* in orange juice using ozone. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10, 551–557.
- Perry JJ, Yousef AE, 2011. Decontamination of raw foods using ozone- based sanitization techniques. *Annual Rev. food Sci., Technol.*, 2, 281-298.
- Piachin T, Trachoo N, 2011. Effect of ozone and potassium lactate on lipid oxidation and survival of *Salmonella typhimurium* on fresh pork. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS* 14, 3, p. 236–40.
- Pohlman FW, Stivarius MR, McElyea KS, Johnson ZB, Johnson MG, 2002. The effects of ozone, chlorine dioxide, cetylpyridinium chloride and trisodium phosphate as multiple antimicrobial interventions on microbiological, instrumental color, and sensory color and odor characteristics of ground beef, *Meat Science* 61, 307–13.
- Pryor WA, Das B ve Church DF, 1992. The ozonation of unsaturated fatty acids, aldehydes and hydrogen peroxide as products and possible mediators of ozone toxicity. *Chem Res Toxicol.*, 4, 341-348.
- Qian YF, Zhang JJ, Liu CC, Erthjerg P, 2022. Effects of gaseous ozone treatment on the quality and microbial community of salmon (*Salmo salar*) during cold storage. *Food Control*, 142, 109217.
- Rasanayagam V, 2006. Optimization ozone application to increase the selective reactivity. Division 15c Bioengineering poster session, IFT annual meeting.
- Reagan JO, Acuff GA, Buege DR, Buyck MJ, Dikson JS, Kastner CL, Marsden JL, Morgan JB, Nickelson R, Smith GC, Sofos JN, 1996. Trimming and washing of beef carcasses as a method of improving the microbiological quality of meat. *Journal of Food Protection*, 59, 7, 751-756.
- Restaino L, Erampton, EW, and Hemphill JB, 1995. Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms. *Appl. Environ. Microb.* 61, 3471-3475.

- Rice RG, 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 London, UK, 1–19.
- Rodgers SL, Cash JN, Siddiq M, Ryser ET. 2004. Acomparision of different chemical sanitizers for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in solution and on apples, strawberries, lettuce and cantaloupe. *J. Food Prot.* 67, 721–731.
- Rödel W, Ponert H, Leistner L, 1975. Werbetter aw-Wert-Messer zur Bestimmung der Wasseraktivitat (aw-wert) von Fleisch und Fleischwaren. *Fleischwirtsch.* 55,4, 557-558.
- Röhrle FT, Moloney AP, Osorio MT, Luciano G, Priolo A, Caplan P, Monahan FJ, 2011. Carotenoid, colour and reflectance measurements in bovine adipose tissue to discriminate between beef from different feeding system. *Meat Science*, 88, 347-353.
- Savaş E, Tavşanlı H, Gökgözoğlu İ, 2014. Gıda endüstrisinde ozon uygulamaları. *Türk Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2, 3, 122-127.
- Sekhon, RK, Schiling MW, Philips TW, Aikins RMJ, Hasan MM, Nannapaneni R, And Mikel WB, 2010. Effects of carbon dioxide and ozone treatments on the volatile composition and sensory quality of dry-cured ham. *J. Food Sci.* 75, 452–458.
- Sheldon BW, Brown AL, 1986. Efficacy of ozone as a disinfectant for poultry carcasses and chill water. *J. Food Sci.* 51, p. 305-309.
- Simons LK, Sanguasri P, 1997. Advances in the washing of minimally processed vegetables. *Food Australia*, 49, 2, 75-80,
- Skog LJ, Chu CL, 2001. Effect of ozone on qualities of fruits vegetables in cold storage. *Canadian Journal of Plant Science*, 81, 773-778.
- Solberg M, O'leary VS, Riha WE, 1972. New medium for the isolation and enumeration of pseudomonads. *Applied Microbiology*, 24, 4, 544-550.
- Stivarius MR, Pohlman FW, Mc Elyea KS, Apple JK. 2002. Microbial, instrumental color and odor characteristics of ground beef produced from beef trimmings treated with ozone or chlorine dioxide. *Meat Science*, 60, 299.
- Susilo A, Evanuarini H, Apriliani MW, 2021. Effects of ozone and ultraviolet on physical and oxidative properties in edible coating's chicken breast meat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak (JITEK)*, vol, 16, no, 3.
- Şanal İS, Çalimli A, 2000, Yüksek hidrostatik basınç teknolojisi ve gıda endüstrisinde uygulamaları. *Gıda*, 25, 3.
- Tarladgis BG, Watts BM, Younathan MT, Dugan L, 1960, A distillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 37,1, 44-48.
- Tekin ME. Örneklerle bilgisayarda istatistik. 2. Baskı. Selçuk Üniversitesi Basımevi. 2010.
- Tetik N, Topuz A, Turhan İ, Karhan M. 2006. Meyve ve sebzelerin işlenmesi ve muhafazasında ozon uygulamaları. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*; 24-26 Mayıs, Bolu. 281-283.
- Thanomsab B, Anupunpisit V, Chanphetch S, Watcharachaipong T, Poonkhum R ve Srisukonth C, 2002. Effects of ozone treatment on cell growth and ultrastructural changes in bacteria. *J Gen Appl Microbiol.*, 48, 193-199.
- Torlak E, Sert D, Ulca U. 2013. Efficacy of gaseous ozone against *Salmonella* and microbial population on dried oregano. *International Journal of Food Microbiology*. 165, 3, 1, 276-280,
- Trespacios P, Pla R, 2007. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels. *Food Chem.*, 100, 264-272.
- Trindade MA, Kushida MM, Montes Villanueva ND, Dos Pereira DUS, and Oliveira de CEL, 2012. Comparison of ozone and chlorine in low concentrations as sanitizing agents of chicken carcasses in the water immersion chiller. *Journal of Food Protection* 75, 1139–43.
- Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Tebliği, 2011. Ek-2 Üretim Hijyeni Kriterleri/Et ve et ürünleri. 29.12.2011 tarih ve 28157 numaralı resmî gazete.

- Unda JR, Molins RA, Zamojcin CA, 1989. Sanitation of fresh rib eye steaks with chlorine dioxide generating binary systems. *Journal of Food Science*, 54, 1, 7-10,
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1999. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. Office of Water. EPA 815-R 99 014, http://www.epa.gov/safewater/mdbp/alternative_disinfectants_guidance.pdf.
- Uradzinski J, Wysok B, Bielicki Z, Gomołka Pawlicka M, 2005. Ozonation as an alternative method of disinfecting knives for use in meat processing. *Bull Vet Inst Pulawy*, 49, 399-402.
- Ünal D, 2017. Ozon Uygulaması ve oksijen tutucu kullanımının modifiye atmosferde ambalajlanan tavuk etinin kalitesi üzerine etkileri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Vargas DA, Casas DE, Randazzo E, Lynn D, Echeverry A, Brashears MM, Sanchez-Plata MX, Miller MF, 2021. In-plant validation of novel on-site ozone generation technology (bio-safe) compared to lactic acid beef carcasses and trim using natural microbiota and *salmonella* and *e. coli* o157:h7 surrogate enumeration. *Foods*, 10, 1002.
- Victorin K, 1992. Review of the genotoxicity of ozone. *Mutat Res.*, 277, 221-238.
- Von Gunten U. 2003a. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. *Water Research*, 37, 1443–1467.
- Von Gunten U. 2003b. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. *Water Research*, 37, 1469–1487.
- Wu J, Doan H, 2005. Disinfection of recycled red-meat-processing wastewater by ozone. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80, 7, 828-833.
- Yang PPW, Chen TC, 1979. Effects of ozone treatment on microflora of poultry meat. *Journal of Food Processing and Preservation*. 3, p. 177-185.
- Yıldırım Y, 1981. Et ve ürünlerinin su aktivitesi (aw) değerleri ve önemi. Erişim tarihi 25 Eylül 2016. Erişim adresi, <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/11/571/7241.pdf>.
- Yıldırım Y, 1992. Et endüstrisi, 4.Baskı, Kozan Ofset, s. 38-348, Ankara
- Zhang L, Wang Z, Song Y, Li M, Yu Q, 2020, Quality of vacuum packaged beef as affected by aqueous ozone and sodium citrate treatment. *International Journal of Food Properties*, 23, 1, 1475-1489.
- Zorba Ö, Kurt Ş, 2005. Yüksek basınç uygulamalarının et ve et ürünleri kalitesi üzerine etkisi. *YYÜ. Vet. Fak. Derg.*, 16, 1, 71-76.
- Zouaghi F, Cantalejo MJ, 2016. Study of modified atmosphere packaging on the quality of ozonated freeze-dried chicken meat. *Meat Science* 119, 123-131.

7.EKLER

EK -A: Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Etik Kurul Kararı



EK -B: Tez ile İlgili Fotoğraflar



Şekil EK-B 1. Ozon Jeneratörü



Şekil EK-B 2. Hava Ozon Ölçüm Cihazı



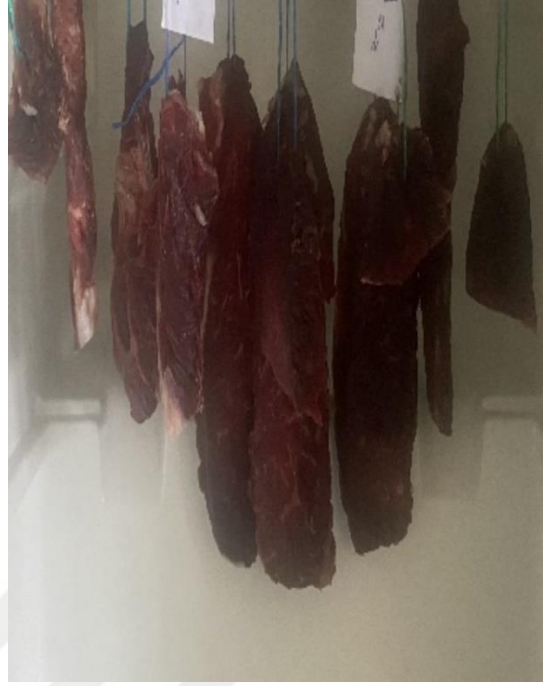
Şekil EK-B 3. Muhafaza Dolabı



Şekil EK-B 4. Deneysel Et Numuneleri



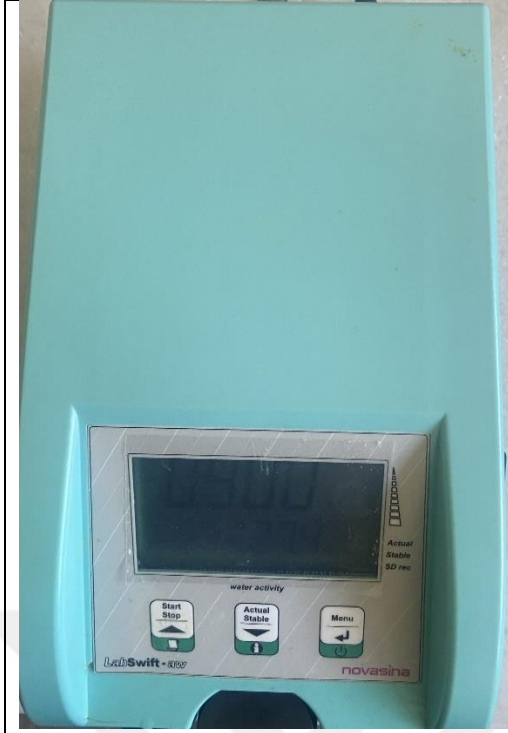
Şekil **EK-B 5.** Deneysel Et Numuneleri (Ozonlama sonrası)



Şekil **EK-B 6.** Deneysel Et Numuneleri (7.gün)



Şekil **EK-B 7.** Deneysel Et Numuneleri (14.gün)



Şekil EK-B 8. Su Aktivitesi (aw) Cihazı



Şekil EK-B 9. Renk Ölçüm Cihazı



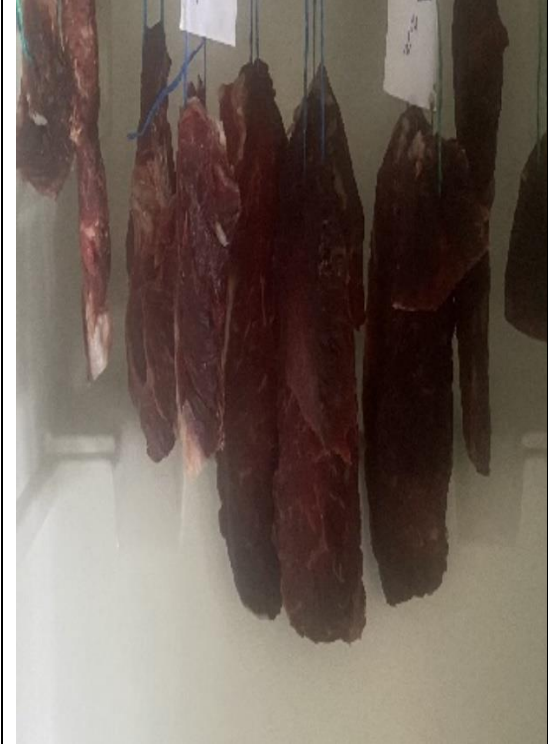
Şekil EK-B 10. Mikrobiyolojik Analizler (Ön hazırlık)



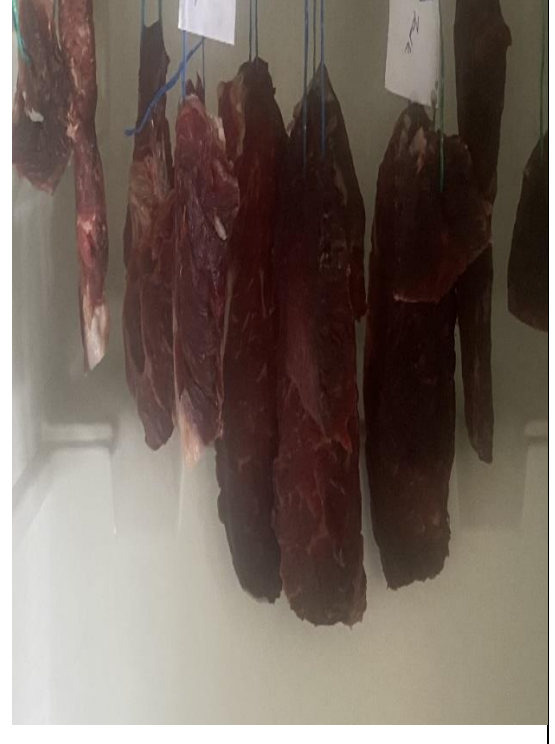
Şekil 7. Deneysel Et Numuneleri (Ozon Uygulama Öncesi)



Şekil 8. Ozonlama Sonrası



Şekil 9. Muhafazanın 7. Günü



Şekil 10. Muhafazanın 14. Günü

EK- C: Turnitin Raporu

ORJİNALLIK RAPORU			
%15	%14	%5	%
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ
BİRİNCİL KAYNAKLAR			
1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%9	
2	www.researchgate.net İnternet Kaynağı	%2	
3	acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	%1	
4	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%1	
5	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	%1	
6	beslenmevediyetdergisi.org İnternet Kaynağı	<%1	
7	chefalikara.blogspot.com İnternet Kaynağı	<%1	
8	www.mikrobiyoloji.org İnternet Kaynağı	<%1	
9	www.duvaryayinlari.com İnternet Kaynağı	<%1	

8.ÖZGEÇMİŞ

