T. C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OZON GAZI UYGULAMASI İLE ÇİLEKLERİN DÜŞÜK SICAKLIKTA DEPOLAMA SÜRESİNİN UZATILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET BOR

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Muharrem ERGUN

BİNGÖL-2026

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OZON GAZI UYGULAMASI İLE ÇİLEKLERİN DÜŞÜK SICAKLIKTA DEPOLAMA SÜRESİNİN UZATILMASI

Prof. Dr. Muharrem ERGUN danışmanlığında, Mehmet BOR tarafından hazırlanan bu çalışma 27/07/2026 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Muharrem ERGUN	*İmza*	:
Üye	: Prof. Dr. Mehmet SÜTYEMEZ	*İmza*	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah OSMANOĞLU	*İmza*	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun ...../ ...../ ……..….. tarih ve . . . . . / . . . . nolu kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Murat DENER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, gaz halindeki ozon uygulamalarının soğukta depolanan 'Albion' çileklerinin hasat sonrası kalite özellikleri ve mikrobiyal gelişimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Hasat sonrası kayıpların azaltılması ve çevre dostu koruma teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik yürütülen bu çalışmanın, meyve ve sebzelerin muhafazası alanındaki bilimsel çalışmalara katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Bu araştırmanın planlanması, yürütülmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve tez yazım sürecinin her aşamasında bilgi, deneyim ve değerli önerileriyle bana yol gösteren danışmanım Prof. Dr. Muharrem ERGUN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Bilimsel bakış açısını, yapıcı eleştirilerini ve desteğini her zaman yanımda hissetmem, bu çalışmanın tamamlanmasında büyük önem taşımıştır.

Çalışmanın yürütülmesi sırasında katkı sağlayan, laboratuvar ve arazi çalışmalarında destek veren başta Nazan ERGUN olmak üzere tüm akademik ve idari personele teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her koşulda yanımda olan sevgili aileme en içten teşekkürlerimi sunarım. Gösterdikleri sabır, anlayış ve güven, bu çalışmanın tamamlanmasındaki en önemli güç kaynaklarımdan biri olmuştur. Bu çalışmanın, hasat sonrası fizyolojisi ve muhafaza teknolojileri alanında yapılacak gelecekteki araştırmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Mehmet BOR

Bingöl 2026

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ iv
ŞEKİLLER LİSTESİ vi
TABLOLAR LİSTESİ viii
ÖZET ix
ABSTRACT x
1. GİRİŞ 1
2. KAYNAK ÖZETLERİ 6
3. MATERYAL VE YÖNTEM 14
3.1. Bitki Materyali 14
3.2. Ozon Uygulamaları 15
3.3. Paketleme ve Depolama Koşulları 15
3.4. Ağırlık Kaybı (%) 16
3.5. Meyve Sertliği 17
3.6. Elektrolit Sızıntısı 18
3.7. Solunum Hızı 18
3.8. Renk Ölçümleri 19
3.9. Meyve Püresinin Hazırlanması 20
3.10. Toplam Suda Çözünür Kuru Madde (TSÇKM) 20
3.11. pH 20
3.12. Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP) 20
3.13. Titre Edilebilir Asitlik (TA) 21

3.14. Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri Sayısı.....21
3.15. Deney Tasarımı ve İstatistiksel Analiz.....22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....23
4.1. Bulgular.....23
4.1.1. Meyve Eti Sertliği.....23
4.1.2. Ağırlık Kaybı.....26
4.1.3. Solunum Hızı.....27
4.1.4. L* Açıklık (Aydınlık) Renk Değeri.....29
4.1.5. a* (Kırmızı-Yeşil) Renk Değeri.....30
4.1.6. b* (Sarı-Mavi) Renk Değeri.....32
4.1.7. Elektrolit Sızıntısı (%).....33
4.1.8. Toplam Suda Çözünür Kuru Madde (TSÇKM).....35
4.1.9. pH Değeri.....36
4.1.10. Titre Edilebilir Asitlik (TA).....38
4.1.11. Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP).....39
4.1.12. Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri Sayısı.....41
4.2. Tartışma.....42
4.2.1. Genel Bakış ve Kalite Parametreleri Arasındaki Karşılıklı İlişkiler.....42
4.2.2. Meyve Eti Sertliği ve Ağırlık Kaybı.....43
4.2.3. Solunum Hızı, Ozon Hormezisi ve Renk Özellikleri.....45
4.2.4. Elektrolit Sızıntısı, pH, Titre Edilebilir Asitlik ve Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli.....48
4.2.5. Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri Sayıları ve Pratik Sonuçlar.....51
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....54
KAYNAKLAR.....57
EKLER.....64
Ek A.....64

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ANOVA	: Varyans analizi (Analysis of variance)
CRD	: Tesadüf parselleri deneme deseni (Completely randomized design)
EC	: Elektriksel iletkenlik (Electrical conductivity)
EL	: Elektrolit sızıntısı (Electrolyte leakage)
HSD	: Dürüst önemli fark testi (Honestly significant difference)
ORP	: Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (Oxidation–reduction potential)
PCA	: Plate count agar
PET	: Polietilen tereftalat
ppm	: Milyonda bir (Parts per million)
SD	: Standart sapma (Standard deviation)
SH	: Solunum hızı
TA	: Titre edilebilir asitlik (Titratable acidity)
TAMB	: Toplam aerobik mezofilik bakteri
TSÇKM	: Toplam suda çözünür kuru madde
CFU	: Koloni oluşturan birim (Colony forming unit)
log CFU g^{-1}	: Gram başına logaritmik koloni oluşturan birim
CO_2	: Karbondioksit
O_2	: Oksijen
O_3	: Ozon
L*	: Açıklık (Lightness) değeri
a*	: Kırmızı (+) – yeşil (−) renk ekseni
b*	: Sarı (+) – mavi (−) renk ekseni
°C	: Santigrat derece
%	: Yüzde
g	: Gram
kg	: Kilogram
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
L	: Litre

N	: Newton
h	: Saat
dk	: Dakika
mV	: Milivolt

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Çilek meyvelerinin hasat edilmesi ……..	14
Şekil 3.2.	PET kaplara yerleştirilen ve 4 ± 1 °C sıcaklık ile %70 ± 5 bağıl nem koşullarında depolanan çilek meyveleri……..…….....	16
Şekil 3.3.	Çilek meyvelerinde meyve eti sertliğinin belirlenmesi ……	17
Şekil 4.1.	4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarının (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) meyve sertliği üzerine etkisi	23
Şekil 4.2.	4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı ağırlık kaybında meydana gelen değişimler……..	26
Şekil 4.3.	4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı solunum hızındaki değişimler…….	27
Şekil 4.4.	4.4 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı L* açıklık (aydınlık) değerindeki değişimler…….	29
Şekil 4.5.	4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı a* (kırmızı–yeşil) renk değerindeki değişimler…….	30
Şekil 4.6.	4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı b* (sarı–mavi) renk değerindeki değişimler…….	32
Şekil 4.7.	4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı elektrolit sızıntısındaki değişimler…….	33
Şekil 4.8.	4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı toplam suda çözünür kuru madde (TSÇKM) değerindeki değişimler……	35
Şekil 4.9.	4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı pH değerindeki değişimler…	36

Şekil 4.10. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı titre edilebilir asitlik (TA) değerindeki değişimler……. 38
Şekil 4.11. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) değerindeki değişimler……... 39
Şekil 4.12. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarının (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı (log_{10} KOB g^{-1}) üzerine etkisi……. 41

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Farklı ozon uygulamaları ve depolama süresinin çilek meyvelerinin kalite parametreleri üzerine etkisi (ortalama ± standart sapma)…….. 24

Tablo A.1. Ozon uygulaması ve depolama süresinin çilek kalite parametreleri üzerindeki etkilerine ilişkin iki yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçlar…… 64

OZON GAZI UYGULAMASI İLE ÇİLEKLERİN DÜŞÜK SICAKLIKTA DEPOLAMA SÜRESİNİN UZATILMASI

ÖZET

Çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.), hızlı meyve eti yumuşaması, yüksek solunum hızı, su kaybı ve mikrobiyal bozulmaya yatkınlığı nedeniyle hasat sonrası raf ömrü oldukça kısa olan bir meyvedir. Kimyasal koruyuculara alternatif olarak kalıntı bırakmayan hasat sonrası teknolojilere olan ilgi giderek artmaktadır. Bu teknolojiler arasında ozon, güçlü antimikrobiyal etkisi ve uygulama sonrasında hızla oksijene parçalanarak kalıntı bırakmaması nedeniyle umut verici bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, gaz halindeki ozon uygulamalarının soğukta depolanan 'Albion' çileklerinin hasat sonrası kalite özellikleri ve mikrobiyal gelişimi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Taze hasat edilen 'Albion' çilekleri 0 (kontrol), 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm gaz halindeki ozona 15 dakika süreyle maruz bırakılmış ve 4 ± 1 °C'de 10 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresince meyve sertliği, ağırlık kaybı, solunum hızı, renk parametreleri (L*, a* ve b*), elektrolit sızıntısı, toplam çözünür kuru madde, pH, titre edilebilir asitlik ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli belirlenmiş, depolama sonunda ise toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı analiz edilmiştir. Veriler iki yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiş, ortalamalar Tukey'in HSD testi kullanılarak %5 önem düzeyinde karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar, ozon uygulamasının etkisinin uygulama dozuna bağlı olduğunu göstermiştir. Meyve sertliği, renk parametreleri, elektrolit sızıntısı, toplam çözünür kuru madde, pH, titre edilebilir asitlik ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli ozon uygulamalarından önemli düzeyde etkilenmemiştir ($p > 0,05$). Ağırlık kaybı depolama süresi boyunca artmış, ancak uygulamalar arasında anlamlı farklılık belirlenmemiştir. Buna karşılık, solunum hızı ozon dozundan önemli ölçüde etkilenmiş; 2,0 ppm uygulaması kontrol grubuna göre daha düşük solunum hızı göstermiştir ($p < 0,05$). Mikrobiyolojik analizler de 2,0 ppm ozon uygulamasının toplam aerobik mezofilik bakteri sayısını kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde azalttığını ortaya koymuştur ($p < 0,05$). Buna karşın, 0,5 ve 1,0 ppm uygulamaları kontrol ve 2,0 ppm uygulamaları arasında istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir.

Sonuç olarak, 2,0 ppm gaz halindeki ozon uygulaması, temel kalite özelliklerini olumsuz etkilemeden solunum hızını ve mikrobiyal gelişimi baskılayarak test edilen dozlar arasında en etkili uygulama olmuştur. Elde edilen bulgular, 2,0 ppm gaz halindeki ozonun soğukta depolanan 'Albion' çileklerinin raf ömrünü uzatmak ve mikrobiyal güvenliğini artırmak amacıyla çevre dostu ve kalıntı bırakmayan etkili bir hasat sonrası teknoloji olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çilek, ozon işlemi, hasat sonrası kalite, solunum hızı, mikrobiyal sayım, soğuk depolama, raf ömrü, Fragaria × ananassa.

EXTENDING THE STORAGE LIFE OF STRAWBERRIES AT LOW TEMPERATURES USING OZONE GAS TREATMENT

ABSTRACT

Strawberry (Fragaria × ananassa Duch.) is a highly perishable fruit characterized by rapid softening, high respiration rate, moisture loss, and susceptibility to microbial spoilage, all of which significantly limit its postharvest shelf life. The use of residue-free preservation technologies has gained increasing attention as an alternative to conventional chemical treatments. Among these technologies, ozone has emerged as a promising postharvest treatment due to its strong antimicrobial properties and rapid decomposition into oxygen without leaving harmful residues. This study aimed to evaluate the effects of gaseous ozone treatments on the postharvest quality and microbial status of strawberry cv. Albion during refrigerated storage.

Freshly harvested Albion strawberries were treated with gaseous ozone at concentrations of 0 (control), 0.5, 1, and 2 ppm and stored at 4 °C for 10 days. During storage, physicochemical and physiological quality parameters including firmness, weight loss, respiration rate, color values (L*, a*, and b*), electrolyte leakage, pH, titratable acidity (TA), and oxidation–reduction potential (ORP) were evaluated. In addition, total aerobic mesophilic bacterial count was determined at the end of storage to assess microbial quality. Statistical analysis was performed using two-way analysis of variance (ANOVA), and mean comparisons were conducted using Tukey's HSD test at $p < 0.05$.

The results showed that ozone treatment had selective and concentration-dependent effects on postharvest quality. Firmness, color parameters (L*, a*, and b*), electrolyte leakage, pH, titratable acidity, and ORP were not significantly affected by ozone treatment ($p > 0.05$). Weight loss increased significantly with storage duration, but no significant differences were observed among ozone treatments. Respiration rate was significantly influenced by ozone treatment, with the 2-ppm treatment showing significantly lower respiration compared with the control ($p < 0.05$), indicating reduced metabolic activity during storage. Microbial analysis revealed that the 2-ppm ozone treatment significantly reduced total aerobic mesophilic bacterial counts compared with the control ($p < 0.05$), whereas 0.5 and 1 ppm treatments did not differ significantly from either group.

In conclusion, gaseous ozone treatment at 2 ppm provided the most effective preservation among the tested concentrations by reducing respiration rate and microbial growth without negatively affecting major quality attributes. These findings suggest that 2 ppm gaseous ozone has strong potential as an effective residue-free postharvest technology for extending shelf life and improving microbial safety of Albion strawberries during refrigerated storage.

Keywords: Strawberry, ozone treatment, postharvest quality, respiration rate, microbial counts, cold storage, shelf life, *Fragaria × ananassa*.

1. GİRİŞ

Çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.), çekici görünümü, kendine özgü aroma ve lezzeti, yüksek besin değeri ve tüketici tarafından yaygın olarak tercih edilmesi nedeniyle dünya genelinde ekonomik açıdan en önemli üzümsü meyvelerden biridir. Parlak kırmızı rengi, dengeli tatlılık-asitlik profili ve sulu dokusu sayesinde hem taze tüketimde hem de işlenmiş ürünlerde önemli bir pazar payına sahiptir. Bunun yanında çilek; C vitamini, folatlar, diyet lifi, antosiyaninler, flavonoidler, fenolik asitler ve diğer fenolik bileşikler bakımından zengin olup yüksek antioksidan kapasiteye sahiptir. Bu biyoaktif bileşikler oksidatif stresin azaltılmasına katkıda bulunmakta ve kardiyovasküler hastalıklar, bazı kanser türleri ve kronik inflamasyon gibi çeşitli hastalıkların önlenmesiyle ilişkilendirilmektedir (Giampieri vd. 2015; Miller vd. 2019). Son yıllarda sağlıklı beslenmeye yönelik farkındalığın artmasıyla birlikte taze ve yüksek kaliteli çileğe olan küresel talep sürekli artış göstermektedir.

Yüksek ekonomik ve besinsel değerine rağmen çilek, hasattan sonra en hızlı kalite kaybına uğrayan meyvelerden biridir. İnce ve hassas epidermis yapısı, yüksek su içeriği, yoğun metabolik aktivitesi, yüksek solunum hızı ve mekanik zararlara karşı duyarlılığı nedeniyle hasat sonrası raf ömrü oldukça sınırlıdır (Kader, 2002). Koruyucu mumsu bir kabuğa sahip olmaması nedeniyle meyve yüzeyinden gerçekleşen su kaybı kısa sürede buruşma, parlaklığın azalması ve pazarlanabilirliğin düşmesine neden olmaktadır. Bunun yanında pektin, selüloz ve hemiselüloz gibi hücre duvarı polisakkaritlerinin poligalakturonaz, pektin metilesteraz ve selülaz gibi enzimler tarafından parçalanması sonucu meyve eti hızla yumuşamakta ve doku bütünlüğü bozulmaktadır (Brummell, 2006; Vicente vd. 2007).

Çileğin hasat sonrası fizyolojisinde önemli rol oynayan bir diğer süreç solunumdur. Çilek klimakterik olmayan bir meyve olmasına rağmen hasattan sonra metabolik faaliyetlerini sürdürmekte ve yüksek solunum hızı nedeniyle depolanmış karbonhidratlar ile organik asitleri hızla tüketmektedir. Solunumun devam etmesi yaşlanma sürecini hızlandırırken meyvenin sertliğinin azalmasına, tat ve aroma bileşiminde değişikliklere ve genel kalite kaybına yol açmaktadır. Solunum sırasında oluşan reaktif oksijen türlerinin artması ise

hücre zarlarında oksidatif hasarı hızlandırarak pigmentlerin parçalanmasına ve renk değişimlerine neden olabilmektedir. Bu nedenle solunum hızının kontrol altına alınması, çileklerin depolama ömrünü uzatmada temel hedeflerden biri olarak kabul edilmektedir.

Hasat sonrası kalite kayıplarının önemli bir bölümü mikrobiyal bozulmadan kaynaklanmaktadır. Yüksek nem içeriği, yumuşak doku yapısı ve besin maddelerince zengin olması nedeniyle çilekler bakteri ve fungal patojenlerin gelişimi için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Özellikle *Botrytis cinerea* tarafından oluşturulan gri küf hastalığı dünya genelinde çileklerde en önemli hasat sonrası hastalık olarak kabul edilmektedir. Bunun yanında *Rhizopus stolonifer* başta olmak üzere çeşitli fungal patojenler ve bakteriler de depolama süresince önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Romanazzi vd. 2013; Feliziani ve Romanazzi, 2016). Soğuk depolama koşullarında dahi mikrobiyal gelişim tamamen durdurulamamakta ve uygun olmayan depolama koşullarında hasat sonrası kayıplar bazı tedarik zincirlerinde %30–40 düzeyine ulaşabilmektedir (Ali vd. 2018).

Çileklerin muhafazasında en yaygın uygulama soğuk hava depolamasıdır. Düşük sıcaklıklar solunum hızını azaltmakta, yaşlanma süreçlerini yavaşlatmakta ve birçok mikroorganizmanın gelişimini baskılamaktadır. Ancak soğuk depolama tek başına uzun süreli kalite koruması için çoğu zaman yeterli değildir. Özellikle uluslararası ticaretin gelişmesiyle birlikte depolama ve taşıma sürelerinin uzaması, yalnızca düşük sıcaklığın yeterli olmadığı durumları ortaya çıkarmış ve raf ömrünü uzatabilecek ilave hasat sonrası teknolojilere olan gereksinimi artırmıştır.

Geleneksel olarak hasat sonrası çürümeyi azaltmak amacıyla çeşitli fungisitler ve kimyasal dezenfektanlar kullanılmaktadır. Bununla birlikte kimyasal kalıntılar, çevresel etkiler, direnç gelişimi ve tüketicilerin doğal ürünlere yönelik artan beklentileri, kalıntı bırakmayan alternatif teknolojilerin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir (Tzortzakis ve Chrysargyris, 2017). Bu kapsamda modifiye atmosfer paketleme, yenilebilir kaplamalar, UV-C uygulamaları, soğuk plazma ve ozon teknolojileri son yıllarda hasat sonrası araştırmalarında önemli ilgi gören yöntemler arasında yer almaktadır.

Bu teknolojiler içerisinde ozon, güçlü oksidasyon kapasitesi ve geniş spektrumlu antimikrobiyal etkisi nedeniyle dikkat çekmektedir. Üç atomlu oksijen molekülünden

oluşan ozon, hücre zarındaki lipitleri oksitleyerek, hücre duvarı bütünlüğünü bozarak, protein ve enzimleri denatüre ederek ve nükleik asitlere zarar vererek mikroorganizmaların inaktivasyonunu sağlamaktadır (Khadre vd. 2001; Kim vd. 2003). Ozonun en önemli avantajlarından biri ise uygulama sonrasında kısa sürede tekrar oksijene dönüşmesi ve ürün üzerinde herhangi bir zararlı kimyasal kalıntı bırakmamasıdır (Karaca ve Velioglu, 2007). Bu özelliği nedeniyle ozon, sürdürülebilir ve çevre dostu bir hasat sonrası koruma teknolojisi olarak değerlendirilmektedir.

Çeşitli araştırmalar, ozon uygulamasının taze meyve ve sebzelerde mikrobiyal yükü azaltabildiğini, çürümeyi geciktirebildiğini ve uygun koşullarda raf ömrünü uzatabildiğini göstermektedir (Horvitz ve Cantalejo, 2014; Pandiselvam vd. 2019; Botondi vd. 2021). Çileklerde gerçekleştirilen çalışmalarda da ozon uygulamalarının mikrobiyal gelişimi baskıladığı, yaşlanma sürecini yavaşlattığı ve görsel kaliteyi koruyabildiği bildirilmiştir (Maryem vd. 2021). Bununla birlikte ozonun etkinliği sabit olmayıp, uygulanan doz, maruz kalma süresi, uygulama yöntemi, depolama koşulları ve meyvenin fizyolojik özellikleri gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, ozon uygulamalarında ürün kalitesini korurken mikrobiyal gelişimi en etkin şekilde baskılayacak optimum uygulama koşullarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Ozonun biyolojik etkileri çoğunlukla doz bağımlıdır. Düşük ve orta düzeyde uygulanan ozon, meyve dokularında kontrollü bir oksidatif uyarı oluşturarak antioksidan savunma sistemlerini aktive edebilmektedir. "Hormesis" olarak tanımlanan bu olgu, düşük düzeydeki stres faktörlerinin organizmada koruyucu mekanizmaları harekete geçirmesi esasına dayanmaktadır (Chirumbolo vd. 2023). Ozon uygulamasına bağlı olarak süperoksit dismutaz, katalaz ve peroksidaz gibi antioksidan enzimlerin aktivitelerinde meydana gelen artış, reaktif oksijen türlerinin kontrol altında tutulmasına katkı sağlayarak hücresel redoks dengesinin korunmasına yardımcı olabilmektedir. Bu durum, membran bütünlüğünün korunması, yaşlanmanın geciktirilmesi ve kalite özelliklerinin daha uzun süre muhafaza edilmesi açısından önem taşımaktadır.

Buna karşılık, optimum seviyenin üzerinde uygulanan ozon, yararlı etkiler göstermek yerine bitki dokularında oksidatif strese neden olabilmektedir. Aşırı oksidatif stres; lipit peroksidasyonu, hücre zarı bütünlüğünün bozulması, pigmentlerin parçalanması,

enzimatik aktivitelerde düzensizlikler ve yaşlanma süreçlerinin hızlanması ile sonuçlanarak ürün kalitesinin düşmesine yol açabilmektedir (Horvitz ve Cantalejo, 2014). Bu nedenle ozon uygulamalarında amaç, antimikrobiyal etkinliği en üst düzeye çıkarırken meyve dokularında herhangi bir fizyolojik zarar oluşturmayan uygun doz ve uygulama süresini belirlemektir.

Ozon uygulamalarının başarısını belirleyen bir diğer önemli unsur ise meyve çeşididir. Çilek çeşitleri; meyve sertliği, epidermis kalınlığı, solunum hızı, antioksidan kapasitesi, hücre duvarı yapısı ve oksidatif strese karşı toleransları bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. Bu fizyolojik ve yapısal farklılıklar, aynı ozon uygulamasına verilen yanıtın çeşitler arasında değişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, bir çilek çeşidinde elde edilen sonuçların doğrudan diğer çeşitlere genellenmesi her zaman mümkün değildir. Bu nedenle, ticari öneme sahip her çeşidin hasat sonrası ozon uygulamalarına verdiği yanıtın ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ticari üretimde yaygın olarak yetiştirilen çeşitlerden biri olan 'Albion', iri meyveli yapısı, parlak görünümü, yüksek meyve sertliği, uzun hasat dönemi ve taşıma dayanıklılığı nedeniyle taze tüketim pazarında önemli bir yere sahiptir. Meyve kalitesini uzun süre koruyabilmesi ve yüksek tüketici kabulüne sahip olması nedeniyle birçok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de üretimi giderek artmaktadır. Bununla birlikte, ticari önemine rağmen 'Albion' çeşidinin gaz halindeki ozon uygulamalarına verdiği hasat sonrası fizyolojik ve mikrobiyolojik yanıtlar konusunda mevcut bilgiler sınırlıdır. Literatürde yer alan çalışmaların önemli bir bölümü farklı çilek çeşitleri üzerinde yürütülmüş olup, 'Albion' çeşidine ilişkin kapsamlı çalışmaların sayısı oldukça azdır.

Çeşit farklılıklarının yanı sıra ozonun uygulanma şekli de hasat sonrası başarıyı önemli ölçüde etkilemektedir. Önceki araştırmalarda çoğunlukla ozonlu su ile yıkama veya kısa süreli fumigasyon uygulamaları değerlendirilmiştir. Buna karşın gaz halindeki ozon, depolama ortamında daha homojen dağılması, meyve yüzeyine doğrudan temas edebilmesi, ilave su kullanımını gerektirmemesi ve yeniden kontaminasyon riskini azaltması gibi önemli avantajlara sahiptir.

Ayrıca gaz formunda uygulanan ozon, ticari soğuk hava depolarına daha kolay entegre edilebilmesi nedeniyle büyük ölçekli depolama sistemleri açısından da uygulama potansiyeli yüksek bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Ancak gaz halindeki ozonun farklı konsantrasyonlarda çilek kalitesi üzerindeki etkilerini ortaya koyan çalışmalar hâlen sınırlıdır.

Bu bilgi eksiklikleri dikkate alındığında, gaz halindeki ozonun farklı dozlarda uygulanmasının soğukta depolanan 'Albion' çileklerinin kalite özellikleri ve mikrobiyal gelişimi üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak ortaya konulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle kalite kaybına neden olmadan mikrobiyal gelişimi baskılayabilecek optimum ozon konsantrasyonunun belirlenmesi, bu teknolojinin ticari uygulamaya aktarılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın amacı, 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan 'Albion' çileklerinde farklı konsantrasyonlardaki (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) gaz halindeki ozon uygulamalarının fizikokimyasal, fizyolojik ve mikrobiyolojik kalite özellikleri üzerine etkilerini belirlemektir. Bu kapsamda meyve sertliği, ağırlık kaybı, solunum hızı, renk parametreleri (L*, a* ve b*), elektrolit sızıntısı, toplam çözünür kuru madde, pH, titre edilebilir asitlik, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısındaki değişimler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların, çileklerde kalıntı bırakmayan hasat sonrası koruma teknolojilerinin geliştirilmesine katkı sağlaması ve ticari soğuk depolama uygulamalarında gaz halindeki ozon kullanımına yönelik bilimsel altyapıyı güçlendirmesi beklenmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çilek (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), yüksek su içeriği, ince epidermal yapısı ve yoğun solunum metabolizması nedeniyle hasattan sonra kalite kayıplarına en duyarlı meyvelerden biridir. Düşük pH değerine sahip olmasına rağmen yüksek nem içeriği ve zengin besin bileşimi, özellikle bakteri, maya ve küflerin gelişimi için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Bu nedenle hasat sonrası dönemde meydana gelen mikrobiyal bozulmalar, su kaybı, yumuşama, renk değişimleri ve biyokimyasal kalite kayıpları çileğin raf ömrünü önemli ölçüde sınırlandırmaktadır (Chaulagain vd. 2022). Soğukta depolama, çileğin metabolik aktivitesini yavaşlatarak raf ömrünü uzatmasına rağmen mikrobiyal gelişmeyi tamamen engelleyememektedir (Park vd. 2005). Son yıllarda tüketicilerin kimyasal kalıntı içermeyen ürünlere yönelik taleplerinin artmasıyla birlikte, çevre dostu ve güvenli hasat sonrası muhafaza teknolojilerine olan ilgi önemli ölçüde artmıştır.

Bu teknolojiler arasında yer alan ozon (O_3), güçlü oksitleyici özelliği sayesinde bakteri, maya ve küfler üzerinde geniş spektrumlu antimikrobiyal etki göstermektedir. Ozon uygulaması sonrasında molekülün kısa sürede oksijene (O_2) parçalanması herhangi bir kimyasal kalıntı bırakmamasını sağlamakta ve bu özelliği sayesinde geleneksel dezenfektanlara çevre dostu bir alternatif oluşturmaktadır (Glowacz vd. 2015; Liu vd. 2021; Xue vd. 2022). Meyve ve sebzelerde gerçekleştirilen çok sayıda araştırma, uygun dozlarda uygulanan ozonun mikrobiyal yükü azaltırken kalite özelliklerini koruyabildiğini göstermektedir (Fan, 2021). Bununla birlikte ozonun etkinliği; uygulama şekli (gaz veya sulu ozon), konsantrasyon, uygulama süresi, depolama sıcaklığı ve ürün çeşidine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebilmektedir.

Çileklerde gerçekleştirilen birçok araştırmada ozon uygulamasının toplam aerobik bakteri, maya ve küf gelişimini sınırlandırdığı, meyve sertliğini koruduğu ve depolama süresince antioksidan kapasitenin devamlılığına katkı sağladığı bildirilmiştir (Contigiani vd. 2018; Contigiani vd. 2020; Maryam vd. 2021; Panou vd. 2021). Bununla birlikte bazı araştırmacılar yüksek doz ozon uygulamalarının askorbik asit kaybına, aroma bileşenlerinde azalmaya ve renk parametrelerinde olumsuz değişikliklere neden

olabileceğini belirtmiştir (Öztekin, 2018; Nayak vd. 2020; Macías-Gallardo vd. 2023). Bu farklı sonuçlar, optimum ozon dozunun belirlenmesinin ürün çeşidi ve uygulama koşullarına bağlı olduğunu göstermektedir.

Pérez vd. (1999), gaz halindeki ozonun çilek meyvelerinin hasat sonrası kalitesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Araştırmada 'Camarosa' çeşidi çilekler 0,35 ppm ozon atmosferinde 2 °C'de üç gün süreyle depolanmış, ardından raf ömrü koşullarında kalite değişimleri değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda ozon uygulamasının mantar kaynaklı çürümeyi önemli düzeyde azaltmadığı belirlenmiştir. Buna karşın C vitamini içeriğinin kontrol grubuna göre yaklaşık üç kat daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ancak uçucu aroma bileşenlerinde yaklaşık %40 oranında azalma meydana gelmesi, ozonun kalite üzerindeki etkisinin yalnızca koruyucu olmadığını, özellikle aroma bileşenleri açısından olumsuz sonuçlar oluşturabileceğini göstermiştir. Araştırmacılar, gaz ozon uygulamalarında doz ve uygulama süresinin dikkatle optimize edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Nadas vd. (2003), ozonla zenginleştirilmiş atmosferin *Botrytis cinerea* gelişimi ile çileklerin depolama performansı üzerine etkilerini incelemiştir. 'Camarosa' çeşidi çilekler 1,5 μL L^{-1} ozon içeren atmosferde 2 °C'de üç gün süreyle depolanmıştır. Sonuçlar, ozon uygulamasının çürük oluşumunu, ağırlık kaybını ve meyve yumuşamasını azaltarak hasat sonrası kaliteyi iyileştirdiğini göstermiştir. Bununla birlikte araştırmacılar aroma bileşenlerinde belirgin kayıplar meydana geldiğini de bildirmiştir. Bu çalışma, gaz ozonun mikrobiyal gelişimi baskılama açısından etkili olmasına rağmen kalite özellikleri üzerindeki etkisinin tüm parametreler açısından aynı düzeyde olumlu olmayabileceğini ortaya koymuştur.

Bilkar ve Demirci (2007), gaz ozon uygulamasının çilek ve frambuaz yüzeyinde bulunan *Salmonella* ile *Escherichia coli* O157:H7'nin inaktivasyonu üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada farklı basınç ve uygulama süreleri değerlendirilmiş, basınçlı ozon ile vakum uygulamasının birlikte kullanıldığı sistem en başarılı sonuçları vermiştir. Çileklerde toplam mikrobiyal popülasyonda yaklaşık 3 log düzeyinde azalma sağlanmıştır. Araştırmacılar, ozonun özellikle gıda güvenliği açısından önemli patojenlerin kontrolünde etkili bir alternatif dezenfeksiyon yöntemi olabileceğini belirtmiştir.

Tiwari vd. (2009), farklı ozon konsantrasyonlarının çilek suyundaki antosiyaninler, askorbik asit ve renk özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada %1,6–7,8 arasında değişen ozon konsantrasyonları uygulanmış ve uygulama süresi artırıldıkça biyoaktif bileşiklerde önemli kayıplar meydana geldiği belirlenmiştir. Özellikle en yüksek dozda gerçekleştirilen 10 dakikalık uygulamada antosiyanin içeriği yaklaşık %98, askorbik asit ise %85 oranında azalmıştır. Ayrıca renk parametrelerinde de belirgin değişiklikler gözlenmiştir. Araştırma sonuçları, yüksek ozon dozlarının antioksidan bileşiklerin oksidatif parçalanmasına neden olabileceğini, buna karşılık düşük doz uygulamalarının kalite üzerindeki etkisinin daha sınırlı olduğunu göstermiştir.

Aday vd. (2014), farklı konsantrasyonlardaki sulu ozon uygulamalarının çileklerin depolama kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada 0,075, 0,15 ve 0,25 ppm konsantrasyonlarında ozonlu su iki ve beş dakika süreyle uygulanmış, daha sonra meyveler soğuk depolama koşullarında muhafaza edilmiştir. Araştırma sonuçları, ozon dozunun kalite özellikleri üzerinde belirleyici bir faktör olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle 0,075 ve 0,15 ppm uygulamalarının pH, titre edilebilir asitlik, suda çözünür kuru madde miktarı ve meyve sertliği gibi kalite özelliklerini koruduğu belirlenmiştir. Buna karşılık 0,25 ppm ozon uygulamasında kalite kayıplarının arttığı ve meyve dokusunda olumsuz değişimlerin meydana geldiği bildirilmiştir. Ayrıca tüm ozon uygulamalarının küf gelişimini kontrol grubuna göre önemli ölçüde sınırlandırdığı belirtilmiştir. Araştırmacılar, düşük konsantrasyondaki ozon uygulamalarının kalite kaybına neden olmadan mikrobiyal gelişimi baskılayabileceğini vurgulamıştır.

Aday ve Caner (2014), ozon uygulamasını ultrason ve klor dioksit gibi farklı dezenfeksiyon yöntemleriyle karşılaştırarak çileklerin hasat sonrası muhafazasındaki etkinliğini değerlendirmiştir. Araştırmada 0,075 ppm konsantrasyonda beş dakika süreyle uygulanan ozon tek başına ve diğer yöntemlerle kombine edilerek incelenmiştir. Tek başına ozon uygulamasının meyve yüzeyinde hafif beyazlatıcı bir etki oluşturduğu belirlenirken, ultrason ve klor dioksit ile kombine uygulamaların kalite özelliklerini daha başarılı şekilde koruduğu saptanmıştır. Özellikle sertlik, pH ve suda çözünür kuru madde miktarı bakımından kombine uygulamaların üstün performans gösterdiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, farklı dezenfeksiyon teknolojilerinin birlikte kullanılmasının ozon uygulamalarının etkinliğini artırabileceğini ifade etmiştir.

Morais vd. (2015), düşük maliyetli bir ozon jeneratörü kullanılarak üretilen gaz ozonun çileklerin depolama performansı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Ozon uygulaması 20 dakika süreyle gerçekleştirilmiş ve meyveler 4 °C'de 15 gün boyunca depolanmıştır. Çalışma sonucunda gaz ozon uygulamasının toplam mikrobiyal yükü önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Bunun yanında suda çözünür kuru madde, titre edilebilir asitlik, toplam fenolik madde ve askorbik asit içeriğinde kontrol grubuna kıyasla önemli bir kalite kaybı gözlenmemiştir. Araştırmacılar, gaz ozon teknolojisinin yalnızca yüksek maliyetli endüstriyel sistemlerde değil, düşük maliyetli uygulamalarda da başarıyla kullanılabileceğini ve ekonomik açıdan uygulanabilir bir hasat sonrası muhafaza yöntemi olduğunu bildirmiştir.

Contigiani vd. (2018), ozon uygulamasının çileklerin depolama süresince fiziksel kalite özellikleri ile mikrobiyal gelişim üzerine etkilerini incelemiştir. Araştırmada ozon uygulamasının meyve sertliğinin korunmasına katkı sağladığı ve depolama süresince meydana gelen kalite kayıplarını yavaşlattığı belirlenmiştir. Ayrıca toplam aerobik bakteri ile maya-küf gelişiminin kontrol grubuna göre önemli ölçüde baskılandığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, uygun dozlarda uygulanan ozonun kaliteyi korurken mikrobiyal güvenliği artırabildiğini ve çileklerin ticari raf ömrünün uzatılmasına katkı sağlayabileceğini ifade etmiştir.

Chen vd. (2019), ozon uygulamasının çileklerde fenolik metabolizma üzerine etkilerini proteomik analizlerle değerlendirmiştir. Çalışmada 5 ppm gaz ozon uygulanan meyvelerde toplam fenolik madde, flavonoid ve antosiyanin içeriklerinin kontrol grubuna göre arttığı belirlenmiştir. Proteomik analizler, bu artışın fenilpropanoid metabolizmasında görev alan enzimlerin ekspresyonundaki değişimlerle ilişkili olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, ozonun yalnızca antimikrobiyal bir uygulama olmadığını, aynı zamanda bitki savunma mekanizmalarını uyararak antioksidan metabolizmasını da aktive edebileceğini ileri sürmüştür.

Contigiani vd. (2020), ozon uygulamasının çileklerde antioksidan sistem üzerine etkilerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda ozon uygulamasının depolama süresince toplam fenolik bileşiklerin ve antioksidan kapasitenin korunmasına katkı sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca ozon uygulanan meyvelerde oksidatif stresin daha düşük düzeyde gerçekleştiği ve buna

bağlı olarak kalite kayıplarının yavaşladığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, uygun dozlarda uygulanan ozonun kontrollü bir oksidatif uyarı oluşturarak bitkinin doğal savunma mekanizmalarını aktive ettiğini ve bu durumun hasat sonrası kaliteyi olumlu yönde etkilediğini ifade etmiştir.

Nayak vd. (2020), 0,1 ppm konsantrasyonundaki sulu ozon uygulamasının 'Winter Dawn' çeşidi çileklerin fiziksel ve biyokimyasal kalite özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Meyvelere iki dakika süreyle uygulanan ozon işlemi sonrasında hem soğuk depolama hem de oda sıcaklığındaki kalite değişimleri değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, ozon uygulamasının ağırlık kaybını yaklaşık %21 oranında azalttığını, meyve sertliğini %19 oranında koruduğunu ve renk değişimini yaklaşık %46 oranında sınırlandırdığını göstermiştir. Ayrıca ozon uygulanan gruplarda çürük gelişiminin belirgin şekilde azaldığı belirlenmiştir. Araştırmacılar, düşük doz sulu ozon uygulamasının çileklerde kalite özelliklerini korurken mikrobiyal bozulmayı da geciktirebildiğini bildirmiştir.

Maryam vd. (2021), ozon uygulamasının çileklerin kalite özellikleri ve mikrobiyal güvenliği üzerine etkilerini değerlendirmiştir. Çalışmada ozon uygulanan meyvelerde toplam aerobik bakteri ve maya-küf sayılarının kontrol grubuna göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca meyve sertliği, antioksidan aktivite ve askorbik asit içeriğinin depolama süresince daha iyi korunduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, uygun dozlarda uygulanan ozonun hem kalite özelliklerinin korunmasına hem de raf ömrünün uzatılmasına katkı sağlayabilecek etkili bir hasat sonrası muhafaza yöntemi olduğunu ifade etmiştir.

Panou vd. (2021), gaz ozon ile ısı uygulamasının birlikte kullanılmasının çileklerin depolama performansı üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada 0,5, 1,0 ve 1,5 ppm konsantrasyonlarında gaz ozon uygulanmış ve bazı gruplar ilave ısı işlemiyle desteklenmiştir. Araştırma sonuçları, özellikle 1,0 ppm ozon ile ısı uygulamasının birlikte kullanıldığı gruplarda meyve sertliği, renk özellikleri ve suda çözünür kuru madde miktarının daha başarılı şekilde korunduğunu göstermiştir. Duyusal değerlendirmelerde ise en yüksek tüketici kabulünün 0,5 ppm ozon ve ısı kombinasyonunda elde edildiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, gaz ozonun tek başına etkili olmakla birlikte uygun destek uygulamalarıyla birlikte kullanıldığında daha başarılı sonuçlar verebileceğini belirtmiştir.

Macías-Gallardo vd. (2023), gaz ozon uygulamasının çileklerin hasat sonrası kalite özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada farklı ozon uygulamalarının depolama süresince meyvelerin fiziksel, kimyasal ve duyusal kalite özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda ozon uygulamasının oksidatif enzim aktivitelerini baskılayarak renk değişimlerini geciktirdiği ve meyvelerin daha uzun süre canlı görünümünü korumasına katkı sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, toplam çözünür kuru madde miktarı ve duyusal kalite parametrelerinde uygulama dozuna bağlı değişimler gözlenmiştir. Araştırmacılar, ozonun kalite üzerindeki etkisinin uygulama konsantrasyonu ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişebileceğini, optimum dozun aşılması durumunda duyusal kalite üzerinde olumsuz etkilerin ortaya çıkabileceğini bildirmiştir.

Gonçalves-Magalhães vd. (2025), ozonlu sis (ozonated mist) uygulamasının organik olarak yetiştirilen Albion çeşidi çileklerin mikrobiyolojik güvenliği ve hasat sonrası kalite özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Araştırmada 20 ve 40 mg L^{-1} konsantrasyonlarında ozonlu sis uygulamaları 5 ve 10 dakika süreyle gerçekleştirilmiş, ayrıca ozonlu su uygulaması ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Meyveler 5 °C sıcaklıkta dokuz gün boyunca depolanmış ve depolama süresince ağırlık kaybı, sertlik, pH, titre edilebilir asitlik, renk parametreleri ile toplam aerobik mezofilik bakteri, maya ve küf gelişimi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, özellikle 20 mg L^{-1} konsantrasyonda beş dakikalık ozonlu sis uygulamasının mikrobiyal gelişimi en etkili şekilde baskıladığını ve meyvelerin dış görünümünü en iyi koruyan uygulama olduğunu göstermiştir. Bu uygulamada aerobik mezofilik bakteri sayısı yaklaşık 1,71 log CFU g^{-1}, maya ve küf sayısı ise yaklaşık 2,06 log CFU g^{-1} azalmıştır. Buna karşın daha yüksek konsantrasyon ve daha uzun uygulama süresinin bazı örneklerde yüzey hasarına bağlı kalite kayıplarına neden olabileceği bildirilmiştir. Araştırmacılar, ozonlu sis teknolojisinin uygun uygulama koşulları sağlandığında çileklerin raf ömrünü uzatabilecek etkili bir alternatif olduğunu belirtmiştir.

Lemic vd. (2025), gaz ozon uygulamasının çilek, ahududu ve yaban mersininin depolama performansı üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada herhangi bir ön dezenfeksiyon uygulanmayan meyveler 10, 20, 30 ve 60 dakika süreyle gaz ozona maruz bırakılmış ve depolama süresince doğal mikrobiyal flora ile çürüme gelişimi değerlendirilmiştir. Çileklerde en başarılı sonuç 10 dakikalık ozon uygulamasında elde edilmiş, ilk

değerlendirmede çürüme oranı kontrol grubundaki %67,5 seviyesinden %43,3'e düşmüştür. Depolamanın onuncu gününde de en düşük çürüme oranı aynı uygulamada belirlenmiştir. Buna karşılık 60 dakikalık uzun süreli ozon uygulamalarının kaliteyi olumsuz etkileyebildiği bildirilmiştir. Araştırmacılar, gaz ozon uygulamalarında yalnızca konsantrasyonun değil, uygulama süresinin de başarı açısından kritik bir faktör olduğunu vurgulamıştır.

Sitoe vd. (2026), meyve ve sebzelerde ozon teknolojisinin hasat sonrası uygulamalarını kapsamlı biçimde değerlendiren bir derleme çalışması yayımlamıştır. Araştırmada gaz ozon, ozonlu su ve ozonlu sis uygulamalarının mikrobiyal kontaminasyonun azaltılması, pestisit kalıntılarının parçalanması ve fizyolojik yaşlanmanın yavaşlatılması üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Derleme sonuçlarına göre ozon, güçlü oksitleyici özelliği sayesinde geniş spektrumlu antimikrobiyal etki göstermekte ve uygulama sonrasında hızla oksijene dönüşmesi nedeniyle herhangi bir toksik kalıntı bırakmamaktadır. Bununla birlikte araştırmacılar, ozonun etkinliğinin ürün türü, uygulama yöntemi, konsantrasyon, sıcaklık ve maruz kalma süresine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca ticari uygulamalarda maksimum başarı sağlanabilmesi için her ürün grubu için optimum uygulama koşullarının belirlenmesine yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu ifade edilmiştir.

Zardzewiały vd. (2026), farklı gaz ozon dozlarının çileklerin kalite özellikleri ve mikrobiyolojik güvenliği üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada 'Polka' çeşidi çilekler 10 ve 50 ppm konsantrasyonlarında gaz ozon ile 10 ve 20 dakika süreyle muamele edilmiş ve meyveler yedi gün boyunca soğuk depolama koşullarında muhafaza edilmiştir. Depolama süresince su kaybı, sertlik, C vitamini, toplam fenolik madde, antioksidan kapasite, solunum metabolizması ve mikrobiyolojik kalite birlikte değerlendirilmiştir. Sonuçlar, gaz ozon uygulamasının meyvelerde CO_2 ve etilen üretimini azaltarak olgunlaşma sürecini yavaşlattığını göstermiştir. Özellikle 50 ppm uygulamasında toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında yaklaşık 1,86 log CFU g^{-1}, maya ve küf popülasyonunda ise yaklaşık 0,97 log CFU g^{-1} azalma belirlenmiştir. Ayrıca C vitamini ve antioksidan aktivitenin daha yüksek düzeyde korunduğu, meyve sertliği üzerinde ise olumsuz bir etki oluşmadığı bildirilmiştir. Araştırmacılar, uygun doz ve uygulama süresi seçildiğinde gaz ozonun kalite özelliklerini korurken mikrobiyal gelişimi

baskılayabildiğini ve çileklerin ticari raf ömrünü uzatmada etkili bir teknoloji olduğunu ifade etmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, ozon uygulamasının çileklerin hasat sonrası muhafazasında önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Çalışmaların büyük çoğunluğu ozonun toplam aerobik bakteri, maya ve küf gelişimini baskılayarak mikrobiyal bozulmayı azalttığını ve böylece raf ömrünü uzattığını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte kalite özellikleri üzerindeki etkiler konusunda tam bir görüş birliği bulunmamaktadır. Bazı araştırmalarda ozonun sertlik, renk, antioksidan kapasite ve fenolik bileşiklerin korunmasına katkı sağladığı bildirilirken, bazı çalışmalarda özellikle yüksek doz veya uzun süreli uygulamalarda aroma bileşenleri, askorbik asit ve duyusal kalite üzerinde olumsuz etkiler gözlenmiştir. Bu farklılıkların; kullanılan çilek çeşidi, ozonun uygulama şekli (gaz, sulu ozon veya ozonlu sis), uygulama dozu, maruz kalma süresi ve depolama koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca mevcut çalışmaların önemli bir kısmı yalnızca belirli kalite parametreleri veya mikrobiyolojik değişimler üzerine odaklanmış olup, fizyolojik, fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri aynı deneysel sistem içerisinde birlikte değerlendiren araştırmaların sayısı sınırlıdır. Özellikle gaz halindeki ozonun farklı konsantrasyonlarının **Albion** çeşidi çileklerde solunum hızı, ağırlık kaybı, renk özellikleri, elektrolit sızıntısı, pH, titre edilebilir asitlik, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli ve toplam aerobik mezofilik bakteri gelişimi üzerindeki etkilerini bütüncül olarak inceleyen çalışmalar oldukça yetersizdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Bitki Materyali

Bu çalışmada, ‘Albion’ çeşidi çilek (*Fragaria x ananassa* Duch.) meyveleri kullanılmıştır. Meyveler, Bingöl il merkezinde (38°54′31.05″ K, 40°28′29.20″ D), deniz seviyesinden yaklaşık 1.093 m yükseklikte bulunan, standart ticari yetiştirme uygulamalarına göre yönetilen 3 yıllık ticari bir çilek plantasyonundan hasat edilmiştir. Hasat, 4 Haziran 2026 tarihinde 08:00–09:00 saatleri arasında, yaklaşık 20 °C ortam sıcaklığında elle gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).

Şekil 3.1. Çilek meyvelerinin hasat edilmesi

Meyve yüzeyinin %90'ından fazlası kırmızı renge ulaşmış olan meyveler tam olgunluk döneminde kabul edilerek çalışmaya dâhil edilmiştir. Plantasyondan toplam 27 kg çilek hasat edilmiş ve meyveler hasattan sonraki 5 dakika içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır. Laboratuvarda meyveler yeniden seçime tabi tutulmuş; hastalık belirtisi, böcek zararı, mekanik hasar, şekil bozukluğu veya diğer görsel kusurlara sahip meyveler deney dışı

bırakılmıştır. Çalışmada, boyut, renk ve olgunluk bakımından homojen özellik gösteren meyveler kullanılmıştır.

3.2. Ozon Uygulamaları

Ayıklama ve seçimin ardından çilek meyveleri rastgele dört uygulama grubuna ayrılmıştır: kontrol (0 ppm ozon), 0,5 ppm ozon, 1,0 ppm ozon ve 2,0 ppm ozon. Ozon uygulamaları, laboratuvar koşullarında (22 ± 1 °C ve %60 ± 5 bağıl nem) gerçekleştirilen 50 L hacminde, hava sızdırmaz plastik bir hazne içerisinde uygulanmıştır.

Her uygulama için hazneye yaklaşık 5,5 kg çilek meyvesi yerleştirilmiştir. Ozon gazı, 10 g h^{-1} üretim kapasitesine sahip bir ozon jeneratörü (BM Airclean, Bornova, İzmir, Türkiye) kullanılarak üretilmiş ve bir hortum aracılığıyla hazne içerisine verilmiştir. Hazne içerisindeki ozon konsantrasyonu, meyve seviyesine yerleştirilen bir ozon ölçer (Dienmern Instrument Co., Çin) ile sürekli izlenmiştir. Hedeflenen ozon konsantrasyonuna (0,5, 1,0 veya 2,0 ppm) ulaşıldığında ozon jeneratörü durdurulmuş ve haznenin hava çıkışı kapatılarak istenen gaz konsantrasyonu korunmuştur.

Meyveler, belirlenen ozon konsantrasyonlarına 15 dakika süreyle maruz bırakılmıştır. Kontrol grubundaki meyveler ise aynı süre boyunca aynı haznede ozon uygulanmaksızın bekletilmiştir. Uygulamanın tamamlanmasının ardından tüm meyveler hazneden çıkarılmış ve depolama ile kalite analizlerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

3.3. Paketleme ve Depolama Koşulları

Ozon uygulamasının ardından çilek meyveleri, 1 L hacminde ticari polietilen tereftalat (PET) kapaklı kaplara (PSK-1000-18, Petsa Plastik, Türkiye) paketlenmiştir. Her PET kaba 12 adet meyve yerleştirilmiş ve sınırlı gaz değişimini sağlamak amacıyla kapaklara 5 mm çapında üç adet havalandırma deliği açılmıştır.

Deneme, dört ozon uygulaması (0, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) ve her uygulama için beş tekerrür olacak şekilde yürütülmüştür. Her bir PET kap deneysel birim (tekerrür) olarak kabul edilmiş, kap içerisindeki meyveler ise kalite analizlerinde alt tekerrür olarak değerlendirilmiştir. Paketlemenin ardından örnekler, 4 ± 1 °C sıcaklıkta, %70 ± 5 bağıl

nemde ve karanlık koşullarda 10 gün süreyle depolanmıştır (Şekil 3.2). Kalite değerlendirmeleri depolamanın 0., 2., 4., 6., 8. ve 10. günlerinde gerçekleştirilmiştir.

Meyve sertliği ve diğer fizikokimyasal özelliklerin belirlenmesine yönelik tahribatlı analizlerde, her örnekleme zamanında farklı PET kaplardaki meyveler kullanılmıştır. Buna karşılık, ağırlık kaybı, renk parametreleri ve solunum hızı gibi tahribatsız ölçümler, aynı PET kaplar üzerinde depolama süresi boyunca tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.2. PET kaplara yerleştirilen ve 4 ± 1 °C sıcaklık ile %70 ± 5 bağıl nem koşullarında depolanan çilek meyveleri

3.4. Ağırlık Kaybı (%)

Meyve ağırlık kaybı, depolamanın 2., 4., 6., 8. ve 10. günlerinde belirlenmiştir. Bu amaçla, her tekerrür için beş meyve içeren PET kaplar depolamanın başlangıcında (0. gün) dijital hassas terazi (Superior Mini-I, maksimum kapasite 3000 g, hassasiyet 0,1 g) ile tartılmış ve başlangıç ağırlıkları (A_0) referans değer olarak kaydedilmiştir.

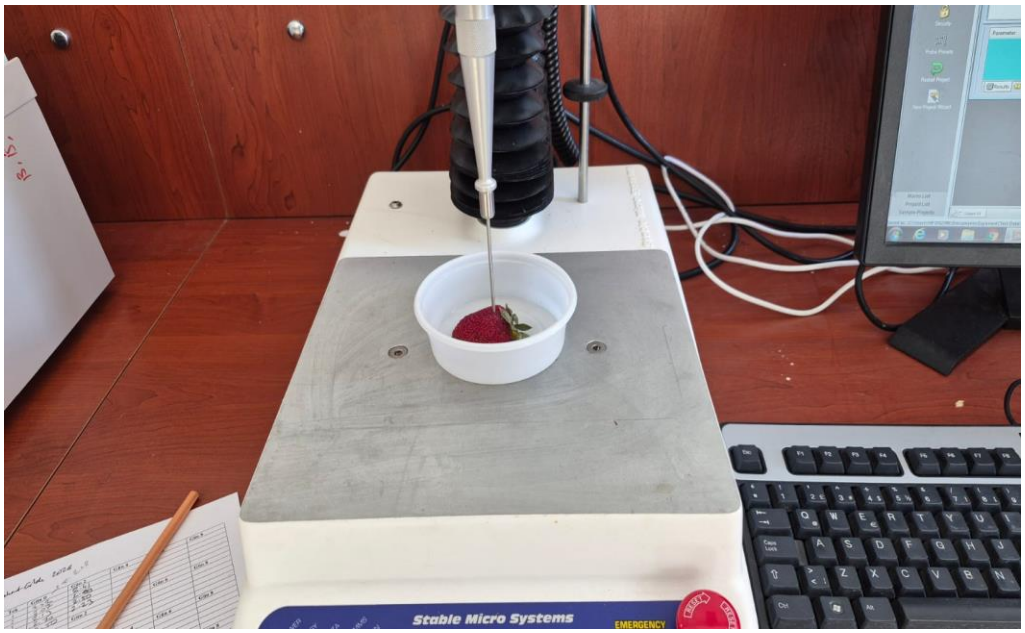
Aynı PET kaplar her örnekleme gününde yeniden tartılarak ilgili depolama günündeki ağırlıkları (A_t) belirlenmiştir. Meyve ağırlık kaybı (%) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{Ağırlık kaybı (\%)} = [(A_0 - A_t) / A_0] \times 100 \quad (3.1)$$

Burada, A_0 depolama başlangıcındaki (0. gün) ağırlığı, A_t ise ilgili depolama gününde ölçülen ağırlığı ifade etmektedir.

3.5. Meyve Sertliği

Meyve sertliği, depolamanın 0., 2., 4., 6. 8 ve 10 günlerinde, 5 kg kapasiteli yük hücresi ve 2 mm çapında, 76 mm uzunluğunda silindirik paslanmaz çelik prob ile donatılmış bir doku analizörü (TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Birleşik Krallık) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümler, her meyvenin en geniş ekvatoral bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Prob, 0,5 mm s^{-1} test hızıyla meyve dokusuna 1 cm derinliğe kadar nüfuz ettirilmiş ve maksimum penetrasyon kuvveti kaydedilmiştir (Şekil 3.3.). Sonuçlar Newton (N) cinsinden ifade edilmiştir. Her tekerrürde (PET kap) rastgele seçilen beş meyve analiz edilmiş, her meyveden bir ölçüm alınmıştır.



Şekil 3.3. Çilek meyvelerinde meyve eti sertliğinin belirlenmesi

3.6. Elektrolit Sızıntısı

Elektrolit sızıntısı (EL), depolamanın 0., 2., 4., 6., 8. ve 10. günlerinde hücre zarı bütünlüğünün bir göstergesi olarak belirlenmiştir. Her tekerrürden rastgele seçilen beş meyvenin orta et bölgesinden, çift bıçaklı bir kesici yardımıyla 1 × 1 × 1 cm boyutlarında doku örnekleri alınmıştır. Doku örnekleri, yüzeye yapışmış elektrolitleri uzaklaştırmak amacıyla saf su ile nazikçe durulanmış ve 40 mL saf su içeren 50 mL'lik Falcon tüplerine aktarılmıştır.

Tüpler, çalkalanmaksızın yaklaşık 22 ± 1 °C'de bekletilmiş ve çözeltinin elektriksel iletkenliği (EC), örneklerin suya daldırılmasından 30 saniye (EC_{30} s) ve 30 dakika (EC_{30} min) sonra bir iletkenlik ölçer (AT-510 Otomatik Potansiyometrik Titratör) kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra tüpler, hücrelerin tamamen parçalanmasını sağlamak amacıyla −26 °C'de bir gece boyunca dondurulmuştur. Ertesi gün örnekler oda sıcaklığında tamamen çözüldükten sonra çözeltinin son elektriksel iletkenliği ($EC_{dondurulmuş}$) ölçülmüştür.

Elektrolit sızıntısı (%) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$EL\ (\%) = [(EC_{30\ dakika} - EC_{30\ saniye}) / (EC_{dondurulmuş} - EC_{30\ saniye})] \times 100 \quad (3.2)$$

Burada $EC_{30\ saniye}$, doku örneklerinin saf suya daldırılmasından 30 saniye sonra ölçülen elektriksel iletkenliği; $EC_{30\ dakika}$, 30 dakikalık inkübasyon sonunda ölçülen elektriksel iletkenliği; EC ($_{dondurulmuş}$) ise örneklerin dondurulup çözdürüldükten sonra ölçülen toplam elektriksel iletkenliği ifade etmektedir.

3.7. Solunum Hızı

Solunum hızı, depolamanın 0., 2., 4., 6., 8. ve 10. günlerinde bir gaz analizörü (Gaspace Advance GS3/L, Systech Instruments Ltd., Birleşik Krallık) kullanılarak belirlenmiştir. Meyveler 1 L hacminde hava geçirmez kaplara yerleştirilmiş ve kaplar, üst boşlukta solunum gazlarının birikmesini sağlamak amacıyla depolama sıcaklığında 24 saat süreyle bekletilmiştir.

İnkübasyon süresinin sonunda kapların üst boşluğundaki CO_2 konsantrasyonu (%) gaz analizörü ile ölçülmüştür. Başlangıç atmosferik CO_2 konsantrasyonu (%0,03) dikkate alınarak meyvelerin net CO_2 üretimi hesaplanmıştır. Solunum hızı aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir:

$$SH\ (mL\ CO_2\ kg^{-1}\ h^{-1}) = [((CO_2 - 0{,}03) \times (1000 - A)) / (A \times 24)] \times 1000 \quad (3.3)$$

Burada;

- SH, solunum hızını (mL CO_2 kg^{-1} h^{-1}),
- CO_2, inkübasyon sonunda ölçülen üst boşluk karbondioksit konsantrasyonunu (%),
- 0,03, başlangıç atmosferik CO_2 konsantrasyonunu (%),
- A, kap içerisindeki meyvelerin toplam ağırlığını (g),
- 1000 − A, meyve yoğunluğunun yaklaşık 1 g mL^{-1} olduğu varsayımına göre hesaplanan üst boşluk hacmini (mL),
- 24, inkübasyon süresini (saat)

ifade etmektedir.

Üst boşluk hacminin hesaplanmasında, meyve yoğunluğunun yaklaşık 1 g mL^{-1} olduğu ve dolayısıyla meyve hacminin kütlesine eşit olduğu varsayılmıştır (1 g ≈ 1 mL). Sonuçlar mL CO_2 kg^{-1} h^{-1} olarak ifade edilmiştir.

3.8. Renk Ölçümleri

Meyve yüzey rengi, depolamanın 0., 2., 4., 6., 8. Ve 10. günlerinde taşınabilir bir kolorimetre (LS173 Colorimeter, Shenzhen Linshang Technology Co., Ltd., Çin) kullanılarak belirlenmiştir. Cihaz, CIE L*a*b* renk sisteminde çalışmakta olup D65 standart ışık kaynağı, 10° standart gözlemci ve D/8° ölçüm geometrisine sahiptir. Ölçümlere başlamadan önce cihaz, üretici tarafından sağlanan standart beyaz kalibrasyon plakası kullanılarak kalibre edilmiştir.

Renk ölçümleri, depolama süresi boyunca aynı meyveler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her meyvenin en geniş ekvatoral bölgesinden tek noktadan ölçüm alınmış ve renk koordinatları; açıklık (L*), kırmızı-yeşil ekseni (a*) ve sarı-mavi ekseni (b*) olarak kaydedilmişti

3.9. Meyve Püresinin Hazırlanması

Her örnekleme tarihinde (0., 2., 4., 6., 8. ve 10. günler), her tekerrüre ait bir PET kaptaki tüm meyveler alınarak homojen bir püre elde edilinceye kadar bir homojenizatör ile öğütülmüştür. Hazırlanan meyve püresi, toplam çözünür kuru madde (TÇKM), pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ve titre edilebilir asitlik (TA) analizlerinde kullanılmıştır. Analizler, püre hazırlandıktan hemen sonra gerçekleştirilmiştir.

3.10. Toplam Suda Çözünür Kuru Madde (TSÇKM)

Toplam suda çözünür kuru madde (TSÇKM) miktarı, dijital bir refraktometre (DR600, KRÜSS GmbH, Hamburg, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir. Hazırlanan meyve püresinden birkaç damla cihazın prizmasına damlatılmış ve ölçüm oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, yüzde (% TSÇKM) olarak ifade edilmiştir.

3.11. pH

Meyve püresinin pH değeri, dijital bir pH metre (HI 2211, Hanna Instruments, Romanya) kullanılarak belirlenmiştir. pH elektrodu doğrudan meyve püresine daldırılmış ve ölçüm değeri sabitlendikten sonra pH kaydedilmiştir. Ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

3.12. Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP)

Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), otomatik potansiyometrik titratör (AT-510, Kyoto Electronics Manufacturing Co. Ltd., Japonya) kullanılarak doğrudan meyve püresinde belirlenmiştir. ORP elektrodu meyve püresine daldırılmış ve ölçüm değeri sabitlendikten sonra sonuçlar kaydedilmiştir. Tüm ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar milivolt (mV) cinsinden ifade edilmiştir.

3.13. Titre Edilebilir Asitlik (TA)

Titre edilebilir asitlik (TA), otomatik potansiyometrik titratör (AT-510, Kyoto Electronics Manufacturing Co. Ltd., Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Her analiz için 6 mL meyve suyu 50 mL saf su ile seyreltilmiş ve 0,1 N NaOH çözeltisi ile pH 8,2 son noktasına kadar titre edilmiştir. Titre edilebilir asitlik, aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmış ve sitrik asit eşdeğeri (%) olarak ifade edilmiştir:

$$TA\ (\%) = (V \times N \times 0{,}064 \times 100) / S \quad (3.4)$$

Burada;

- V, titrasyon sırasında harcanan NaOH hacmini (mL),
- N, NaOH çözeltisinin normalitesini (0,1 N),
- 0,064, sitrik asidin eşdeğerlik faktörünü,
- S, analizde kullanılan meyve suyu hacmini (6 mL)

ifade etmektedir.

3.14. Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri Sayısı

Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı (TAMB), depolamanın 10. gününde International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF, 2011) tarafından önerilen yöntem esas alınarak belirlenmiştir. Bu amaçla, aseptik koşullarda alınan 5 g çilek örneği, 45 mL steril %1 (a/h) NaCl çözeltisi aktarılmış ve yaklaşık 30 saniye homojenize edilerek başlangıçta 10^{-1} seyreltisi hazırlanmıştır. Daha sonra steril %1 NaCl çözeltisi kullanılarak 10^{-4}'e kadar seri ondalık seyreltiler hazırlanmıştır.

Uygun seyreltilerden alınan 0,1 mL örnekler Plate Count Agar (PCA; Merck, Darmstadt, Almanya) besiyeri yüzeyine yayılmış ve plaklar 30 °C'de 48 saat aerobik koşullarda inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda gelişen koloniler sayılmış ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı, taze ağırlık başına logaritmik koloni oluşturan birim olarak log CFU g^{-1} şeklinde ifade edilmiştir.

3.15. Deney Tasarımı ve İstatistiksel Analiz

Deneme, dört ozon uygulaması (0, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) ve her uygulama için beş tekerrür olacak şekilde tesadüf parselleri deneme desenine (Completely Randomized Design, CRD) göre yürütülmüştür. Ozon uygulaması ve depolama süresi (0., 2., 4., 6., 8. ve 10. günler) araştırmanın iki ana faktörünü oluşturmuş olup, deney 4 × 6 faktöriyel düzende değerlendirilmiştir.

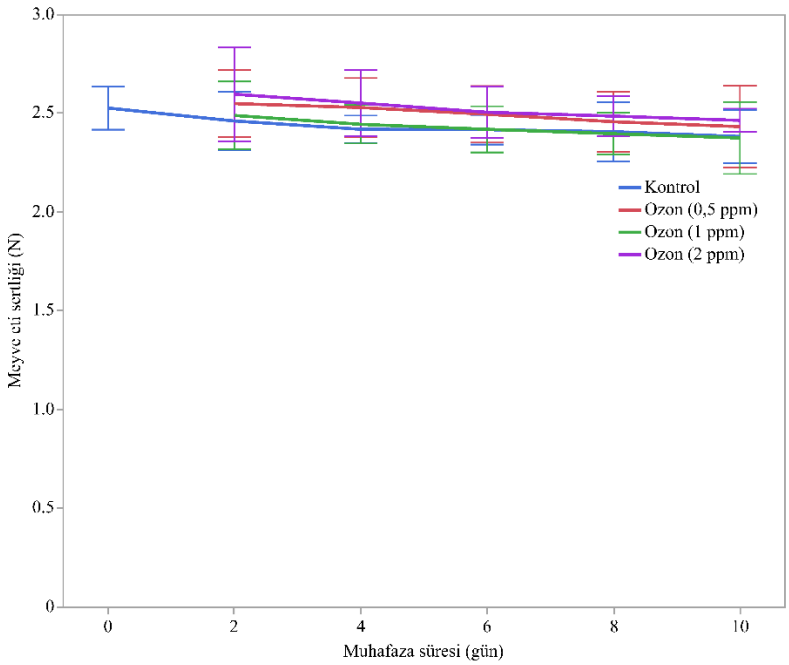
Elde edilen veriler, ozon uygulaması, depolama süresi ve bu iki faktörün etkileşiminin etkilerini belirlemek amacıyla iki yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Analizlerden önce verilerin normallik ve varyans homojenliği varsayımları kontrol edilmiştir. İstatistiksel analizler JMP® Pro 19 (SAS Institute Inc., Cary, NC, ABD) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ortalamalar arasındaki farklılıklar anlamlı bulunduğunda, karşılaştırmalar %5 önem düzeyinde Tukey'in Dürüst Önemli Fark (Honestly Significant Difference, HSD) çoklu karşılaştırma testi ile yapılmıştır. Sonuçlar ortalama ± standart sapma (SD) olarak sunulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

4.1.1. Meyve Eti Sertliği



Şekil 4.1. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarının (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) meyve sertliği üzerine etkisi

*Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (±SD) göstermektedir.

4 ± 1 °C'de depolama sırasında farklı ozon konsantrasyonlarının uygulandığı çilek meyvelerinin sertliğinde meydana gelen değişimler Şekil 4.1 ve Tablo 4.1'de verilmiştir. Depolama öncesinde meyvelerin ortalama sertliği 2,66 N olarak belirlenmiştir.

Depolama süresince meyve sertliği tüm uygulamalarda sınırlı değişim göstermiş ve değerler 2,38 ile 2,60 N arasında değişmiştir. Kontrol grubunda sertlik 0. günde 2,53 ± 0,11 N iken depolamanın 10. gününde 2,38 ± 0,14 N'ye gerilemiştir. Benzer şekilde, 0,5 ppm ozon uygulamasında sertlik değerleri 2,43–2,55 N, 1,0 ppm uygulamasında 2,38–2,49 N ve 2,0 ppm uygulamasında ise 2,47–2,60 N aralığında belirlenmiştir.

İki yönlü varyans analizi sonuçları, ne ozon uygulamasının ($F = 0,4941$; $p = 0,6918$) ne de depolama süresinin ($F = 0,1154$; $p = 0,9750$) meyve sertliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi de anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Tukey'in HSD çoklu karşılaştırma testi sonucunda uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0,05$).

Sonuç olarak, 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle gerçekleştirilen depolama boyunca gaz halindeki ozon uygulamaları, test edilen konsantrasyonlarda çilek meyvelerinin sertliğini önemli düzeyde etkilememiştir.

Tablo 4.1. Farklı ozon uygulamaları ve depolama süresinin çilek meyvelerinin kalite parametreleri üzerine etkisi (ortalama ± standart sapma)

Uygulama	Gün	Sertlik (N)	Ağırlık kaybı (%)	CO_2 (mL kg^{-1} h^{-1})	L*	a*	b*	ES (%)	TSÇKM (%)	pH	TA (%)	ORP (mV)	Log KOB
Kontrol	0	2,53 ± 0,11	–	–	27,73 ± 2,31	31,04 ± 4,87	15,79 ± 1,26	15,05 ± 0,27	6,06 ± 0,23	3,69 ± 0,09	1,24 ± 0,12	199,75 ± 2,36	–
	2	2,46 ± 0,15	0,36 ± 0,10	7,78 ± 1,26 a	29,92 ± 2,03	31,69 ± 4,48	14,17 ± 1,97	13,11 ± 5,21	5,93 ± 0,50	3,49 ± 0,05	1,09 ± 0,06	199,80 ± 1,30	–
	4	2,42 ± 0,07	0,57 ± 0,17	9,38 ± 0,82 a	28,83 ± 1,52	30,66 ± 2,93	12,76 ± 1,52	13,24 ± 1,35	5,60 ± 0,65	3,47 ± 0,04	0,95 ± 0,04	200,60 ± 2,41	–
	6	2,42 ± 0,07	0,89 ± 0,22	9,69 ± 0,60 a	28,91 ± 1,85	30,61 ± 4,52	13,26 ± 3,60	15,42 ± 0,61	5,68 ± 0,46	3,43 ± 0,05	0,93 ± 0,07	203,20 ± 1,92	–
	8	2,41 ± 0,15	1,12 ± 0,31	10,14 ± 0,58 a	29,08 ± 1,65	29,65 ± 4,38	12,86 ± 4,70	16,67 ± 2,55	5,60 ± 0,34	3,44 ± 0,06	0,90 ± 0,05	203,40 ± 2,88	–
	10	2,38 ± 0,14	1,45 ± 0,39	10,42 ± 0,63 a	28,27 ± 2,23	29,54 ± 3,01	13,03 ± 1,14	20,03 ± 1,80	5,70 ± 0,20	3,58 ± 0,03	0,91 ± 0,04	203,40 ± 1,52	4,36 ± 0,07 a
Ozon (0,5 ppm)	0	–	–	–	24,97 ± 2,74	28,92 ± 4,29	14,71 ± 3,72	–	–	–	–	–	–
	2	2,55 ± 0,17	0,40 ± 0,10	8,93 ± 1,13 a	27,11 ± 5,01	30,39 ± 1,56	13,14 ± 1,01	12,10 ± 1,19	6,00 ± 0,26	3,53 ± 0,03	0,96 ± 0,04	200,00 ± 2,00	–
	4	2,53 ± 0,15	0,74 ± 0,20	9,81 ± 0,94 a	27,77 ± 1,93	29,40 ± 0,54	11,72 ± 2,26	13,36 ± 3,27	5,90 ± 0,52	3,47 ± 0,07	0,92 ± 0,08	201,20 ± 1,79	–
	6	2,50 ± 0,14	1,06 ± 0,38	10,21 ± 1,07 a	28,29 ± 1,36	29,47 ± 2,88	12,45 ± 3,46	15,45 ± 4,41	5,90 ± 0,57	3,41 ± 0,10	0,89 ± 0,10	203,00 ± 3,39	–
	8	2,46 ± 0,15	1,46 ± 0,54	10,71 ± 0,98 a	28,55 ± 1,41	29,52 ± 2,77	12,36 ± 2,81	16,94 ± 1,41	5,83 ± 0,49	3,44 ± 0,08	0,89 ± 0,09	203,20 ± 4,32	–
	10	2,43 ± 0,21	1,82 ± 0,71	10,84 ± 0,89 a	27,99 ± 2,01	28,59 ± 1,81	13,01 ± 2,81	20,29 ± 2,84	5,88 ± 0,38	3,54 ± 0,09	0,89 ± 0,04	203,20 ± 2,39	4,22 ± 0,08 ab
Ozon (1 ppm)	0	–	–	–	26,52 ± 2,46	29,98 ± 2,45	17,00 ± 2,25	–	–	–	–	–	–
	2	2,49 ± 0,17	0,41 ± 0,12	8,23 ± 1,10 ab	28,25 ± 2,68	30,57 ± 1,42	16,12 ± 2,19	13,67 ± 3,50	6,18 ± 0,51	3,37 ± 0,07	0,98 ± 0,05	206,25 ± 1,50	–
	4	2,45 ± 0,10	0,66 ± 0,19	9,78 ± 1,53 ab	27,31 ± 2,08	29,55 ± 5,05	14,12 ± 4,58	13,81 ± 2,92	5,95 ± 0,48	3,35 ± 0,02	0,98 ± 0,07	207,60 ± 2,88	–
	6	2,42 ± 0,12	0,99 ± 0,39	9,94 ± 1,90 ab	27,84 ± 1,73	29,87 ± 3,35	13,60 ± 2,76	15,82 ± 3,88	5,93 ± 0,63	3,34 ± 0,02	0,96 ± 0,07	207,20 ± 2,17	–

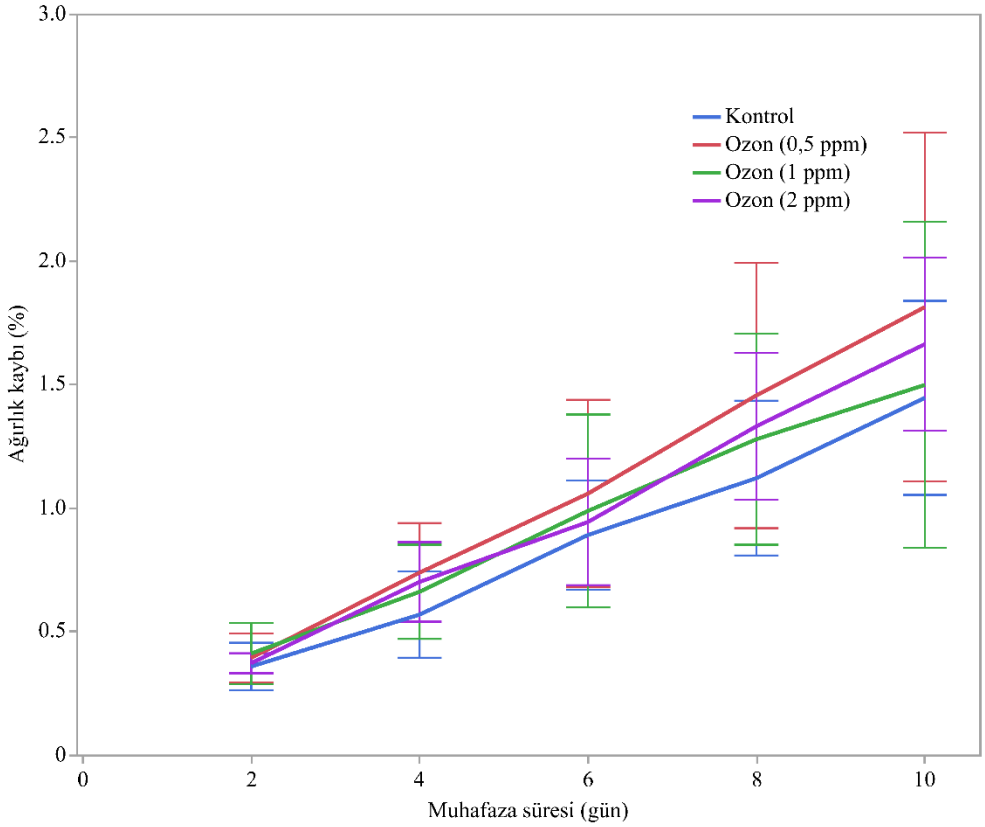
Tablo 4.1 (Devam). Farklı ozon uygulamaları ve depolama süresinin çilek meyvelerinin kalite parametreleri üzerine etkisi (ortalama ± standart sapma)

Uygulama	Gün	Sertlik (N)	Ağırlık kaybı (%)	CO_2 (mL kg^{-1} h^{-1})	L*	a*	b*	ES (%)	TSÇKM (%)	pH	TA (%)	ORP (mV)	Log KOB
	8	2,40 ± 0,11	1,28 ± 0,43	10,26 ± 1,56 ab	27,75 ± 2,00	30,20 ± 2,17	13,23 ± 1,58	17,79 ± 0,99	5,80 ± 0,45	3,40 ± 0,06	0,89 ± 0,05	206,40 ± 2,61	–
	10	2,38 ± 0,18	1,50 ± 0,66	10,48 ± 1,98 ab	27,35 ± 4,16	29,75 ± 2,69	13,87 ± 3,59	20,09 ± 1,74	5,78 ± 0,31	3,48 ± 0,11	0,91 ± 0,04	207,40 ± 1,52	4,18 ± 0,09 ab
Ozon (2 ppm)	0	–	–	–	26,10 ± 2,30	32,07 ± 2,92	15,78 ± 2,08	–	–	–	–	–	–
	2	2,60 ± 0,24	0,37 ± 0,04	7,23 ± 0,99 b	28,96 ± 1,07	33,02 ± 0,63	15,67 ± 1,87	12,40 ± 2,26	5,88 ± 0,28	3,41 ± 0,09	1,00 ± 0,04	206,00 ± 1,41	–
	4	2,55 ± 0,17	0,70 ± 0,16	7,29 ± 2,24 b	28,31 ± 1,11	31,27 ± 4,32	15,06 ± 3,09	14,02 ± 2,12	5,66 ± 0,36	3,38 ± 0,07	0,92 ± 0,02	206,00 ± 2,00	–
	6	2,51 ± 0,13	0,95 ± 0,26	7,61 ± 1,88 b	28,71 ± 1,77	30,67 ± 2,00	14,35 ± 1,85	15,57 ± 2,19	5,70 ± 0,20	3,36 ± 0,05	0,88 ± 0,06	205,80 ± 2,86	–
	8	2,49 ± 0,10	1,33 ± 0,30	8,00 ± 2,12 b	28,79 ± 0,56	30,92 ± 5,90	14,32 ± 1,44	18,11 ± 2,59	5,68 ± 0,22	3,43 ± 0,04	0,90 ± 0,05	204,80 ± 2,77	–
	10	2,47 ± 0,06	1,67 ± 0,35	8,47 ± 1,87 b	28,28 ± 2,01	30,48 ± 4,27	14,45 ± 2,61	19,90 ± 2,46	5,68 ± 0,28	3,50 ± 0,04	0,90 ± 0,09	205,60 ± 1,52	4,02 ± 0,12 b

Değerler ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Aynı sütunda, aynı depolama günü için farklı küçük harflerle (a, ab, b vb.) gösterilen ortalamalar, Tukey'in (HSD) çoklu karşılaştırma testine göre istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0,05$). Meyve sertliği, ağırlık kaybı, renk parametreleri (L*, a* ve b*), elektrolit sızıntısı (EL), toplam suda çözünür kuru madde (TSÇKM), pH, titre edilebilir asitlik (TA) ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) bakımından ozon uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık belirlenmemiştir ($p > 0,05$). Buna karşılık, solunum hızı (CO_2 üretimi) ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı (log CFU g^{-1}) açısından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir ($p < 0,05$).

Kısaltmalar: CO_2, karbondioksit üretimi (solunum hızı); L*, CIE açıklık (aydınlık) değeri; a*, CIE kırmızı-yeşil renk koordinatı (pozitif değerler kırmızılığı, negatif değerler yeşilliği gösterir); b*, CIE sarı-mavi renk koordinatı (pozitif değerler sarılığı, negatif değerler maviliği gösterir); EL, elektrolit sızıntısı; TSÇKM, toplam suda çözünür kuru madde; TA, titre edilebilir asitlik; ORP, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli; CFU, koloni oluşturan birim; $\log_{10}$ CFU g^{-1}, gram taze ağırlık başına logaritmik koloni oluşturan birim.

4.1.2. Ağırlık Kaybı



Şekil 4.2. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı ağırlık kaybında meydana gelen değişimler

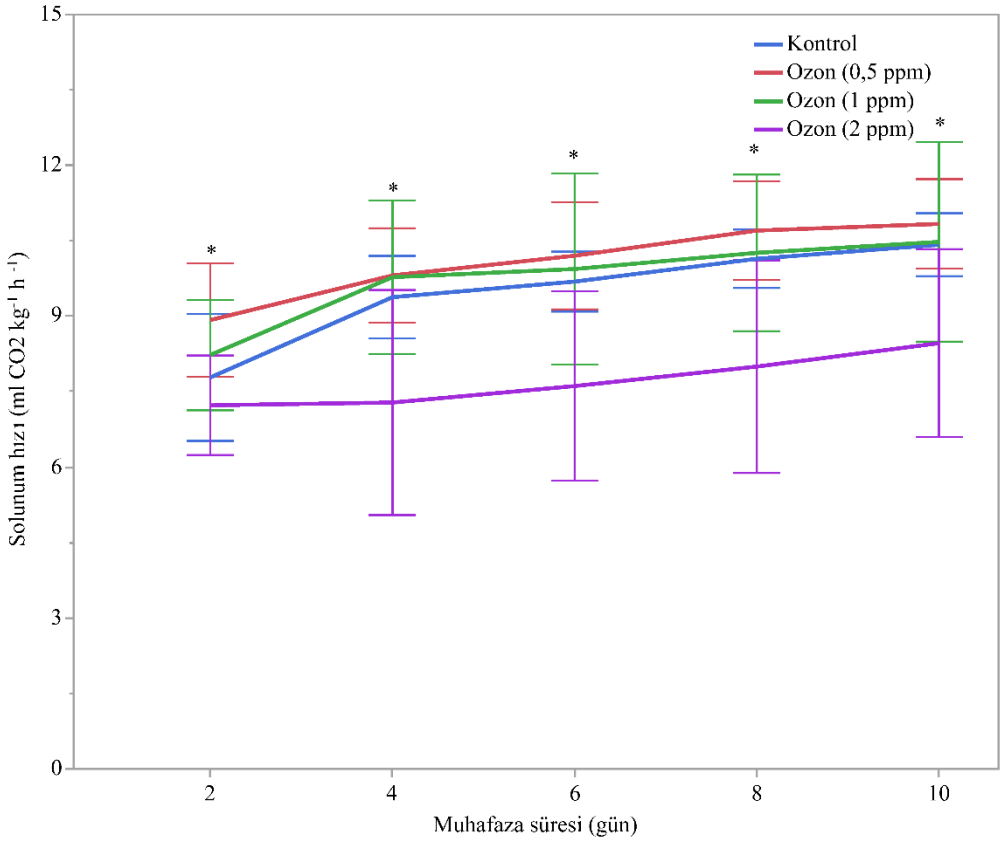
*Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir.

4 °C'de depolama sırasında farklı ozon konsantrasyonlarıyla muamele edilen çilek meyvelerindeki ağırlık kaybındaki değişiklikler Şekil 4.2 ve Tablo 4.1'de sunulmuştur. Tüm muamelelerde depolama süresince ağırlık kaybı giderek artmıştır.

Kontrol grubunda, ağırlık kaybı 2. günde %0,36 ± 0,10'dan 10. günde %1,45 ± 0,39'a yükselmiştir. 0,5 ppm ozon uygulamasında, ağırlık kaybı 2. günde %0,40 ± 0,10'dan 10. günde %1,82 ± 0,71'e yükselmiştir. 1 ppm ozon uygulamasında, ağırlık kaybı 2. günde %0,41
± 0,12'den 10. günde %1,50 ± 0,66'ya yükselmiştir. Benzer şekilde, 2 ppm ozon uygulamasında ağırlık kaybı, 2. günde %0,37 ± 0,04'ten 10. günde %1,67 ± 0,35'e yükselmiştir.

İki yönlü ANOVA analizi, ozon uygulamasının ağırlık kaybı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermiştir ($F = 0,4852$, $p = 0,6976$). Bununla birlikte, depolama süresi ağırlık kaybını anlamlı şekilde etkilemiştir ($F = 3,7546$, $p = 0,0261$). Genel model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($F = 2,9119$, $p = 0,0390$). Tukey'in HSD testi, ozon uygulamaları arasında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir ($p > 0,05$).

4.1.3. Solunum Hızı



Şekil 4.3. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı solunum hızındaki değişimler

*Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir. Aynı depolama gününde uygulamalar arasında istatiksel olarak anlamlı farklılığı göstermektedir ($p < 0,05$).

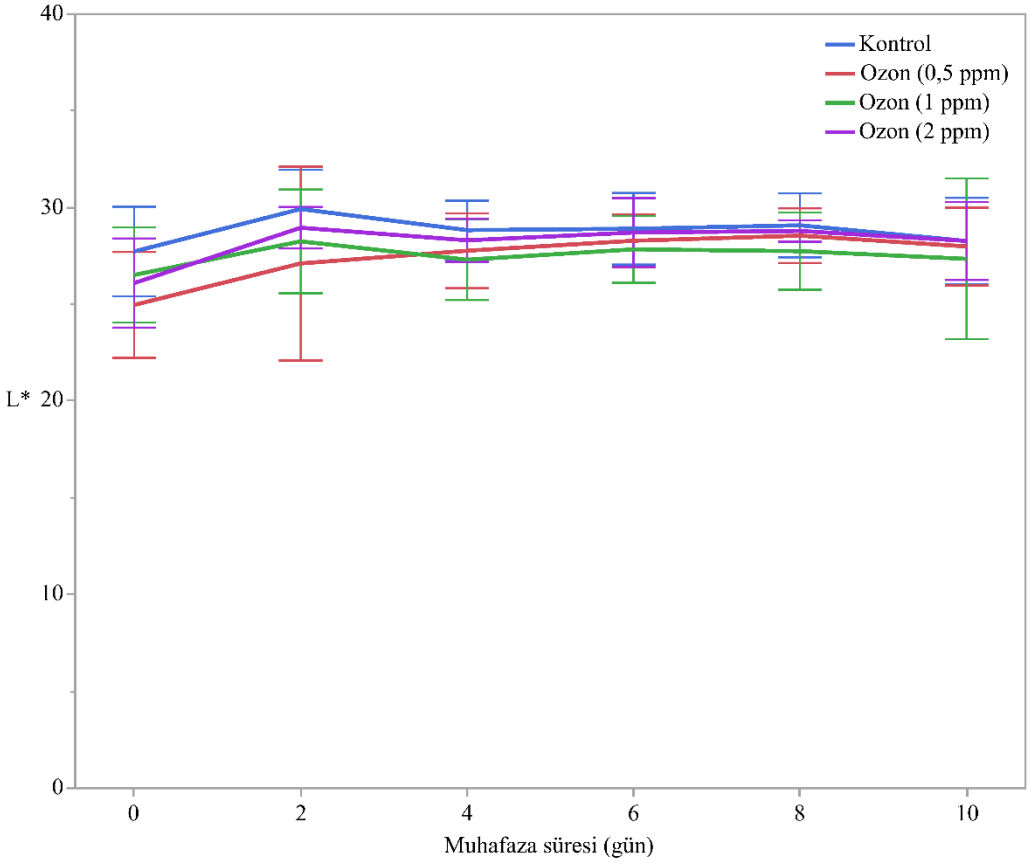
4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına bağlı solunum hızındaki (CO_2 üretimi) değişimler Şekil 4.3 ve Tablo A.1'de verilmiştir.

Depolamanın 10. gününde solunum hızı kontrol grubunda 10,42 ± 0,63 mL CO_2 kg^{-1} h^{-1}, 0,5 ppm ozon uygulamasında 10,84 ± 0,89 mL CO_2 kg^{-1} h^{-1}, 1,0 ppm ozon uygulamasında 10,48 ± 1,98 mL CO_2 kg^{-1} h^{-1} ve 2,0 ppm ozon uygulamasında 8,47 ± 1,87 mL CO_2 kg^{-1} h^{-1} olarak belirlenmiştir. Depolama süresi boyunca 2,0 ppm ozon uygulanan meyveler, diğer uygulamalara göre sayısal olarak daha düşük solunum hızı değerleri göstermiştir.

İki yönlü varyans analizi, ozon uygulamasının solunum hızı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir ($F = 3,7134$; $p = 0,0353$). Buna karşın, depolama süresinin etkisi ($F = 0,1841$; $p = 0,9431$) ve ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$). Tukey'in HSD testi sonucunda, 2,0 ppm ozon uygulanan meyvelerin solunum hızının 0,5 ppm ozon uygulanan meyvelere göre anlamlı düzeyde daha düşük olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Buna karşılık, kontrol grubu ile diğer ozon uygulamaları arasında ve 1,0 ppm ile 2,0 ppm uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p > 0,05$).

Sonuç olarak, test edilen ozon konsantrasyonları arasında yalnızca 2,0 ppm ozon uygulaması, 0,5 ppm uygulamasına kıyasla çilek meyvelerinin solunum hızını anlamlı düzeyde azaltmıştır.

4.1.4. L* Açıklık (Aydınlık) Renk Değeri



Şekil 4.4. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı L* açıklık (aydınlık) değerindeki değişimler

*Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir. L *:0 = siyah, 100 = beyaz.

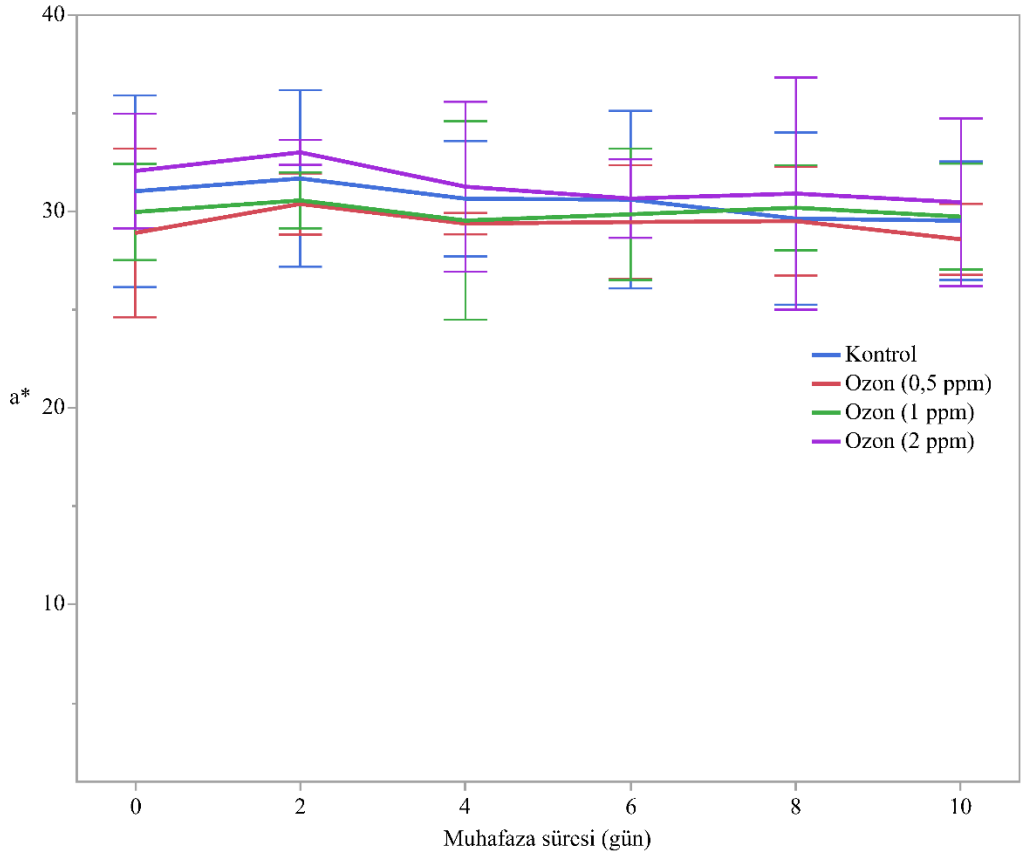
4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına bağlı L* (açıklık) değerindeki değişimler Şekil 4.4 ve Tablo 4. 1'de verilmiştir.

Depolamanın başlangıcında L* değerleri kontrol, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm ozon uygulamalarında sırasıyla 27,73 ± 2,31, 24,97 ± 2,74, 26,52 ± 2,46 ve 26,10 ± 2,30 olarak belirlenmiştir. Depolamanın 10. gününde ise bu değerler sırasıyla 28,27 ± 2,23, 27,99 ± 2,01, 27,35 ± 4,16 ve 28,28 ± 2,01 olarak ölçülmüştür. Depolama süresince tüm uygulamalarda L* değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

İki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, ne ozon uygulamasının (F = 2,6544; p = 0,0863) ne de depolama süresinin (F = 1,1115; p = 0,3874) L* değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmuştur. Ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlı değildir (p > 0,05). Tukey'in HSD testi sonucunda uygulamalar arasında L* değeri bakımından anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir (p > 0,05).

Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan ozon konsantrasyonları, 4 ± 1 °C'de depolama süresince çilek meyvelerinin L* (açıklık) değerini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkilememiştir.

4.1.5. a* (Kırmızı-Yeşil) Renk Değeri



Şekil 4.5. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı a* (kırmızı–yeşil) renk değerindeki değişimler

Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir. a: Pozitif değerler kırmızılığı, negatif değerler ise yeşilliği göstermektedir.

4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına bağlı a* (kırmızı–yeşil) renk değerindeki değişimler Şekil 4.5 ve Tablo 4. 1'de verilmiştir. a* değerinin pozitif olması kırmızılığı, negatif olması ise yeşilliği ifade etmektedir.

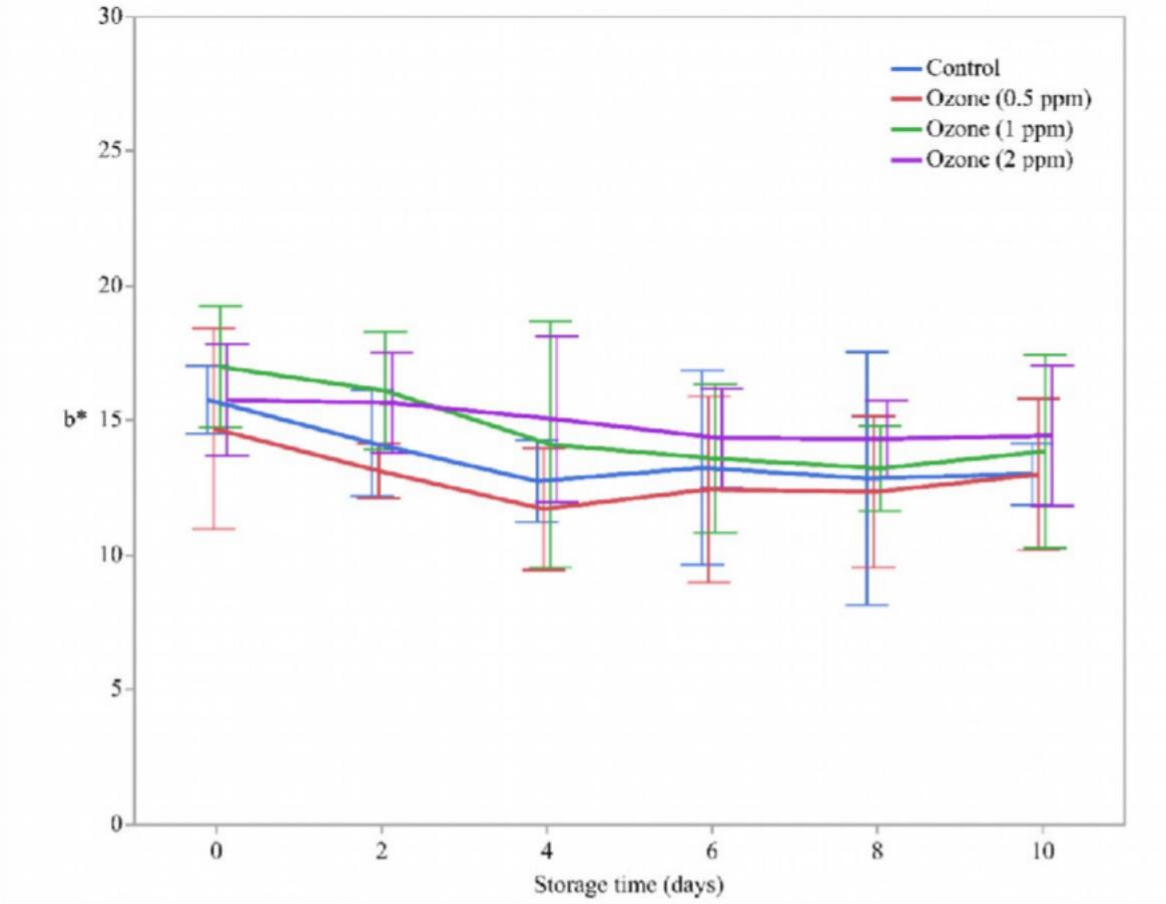
Depolamanın başlangıcında a* değerleri kontrol, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm ozon uygulamalarında sırasıyla 31,04 ± 4,87, 28,92 ± 4,29, 29,98 ± 2,45 ve 32,07 ± 2,92 olarak belirlenmiştir. Depolamanın 10. gününde ise bu değerler sırasıyla 29,54 ± 3,01, 28,59 ± 1,81, 29,75 ± 2,69 ve 30,48 ± 4,27 olarak ölçülmüştür. Depolama süresince tüm uygulamalarda a* değerlerinde belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

İki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, ne ozon uygulamasının ($F = 0,1105$; $p = 0,9526$) ne de depolama süresinin ($F = 0,8189$; $p = 0,5329$) a* değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmuştur. Ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0,05$). Tukey'in HSD testi sonucunda uygulamalar arasında a* değeri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0,05$).

Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan ozon konsantrasyonları, 4 ± 1 °C'de depolama süresince çilek meyvelerinin a* (kırmızı–yeşil) renk değerini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkilememiştir.

Genel olarak, ozon uygulaması ve depolama süresi, soğuk hava deposunda depolama sırasında çilek meyvelerinin yüzeyindeki kızarıklığı önemli ölçüde etkilememiştir.

4.1.6. b* (Sarı-Mavi) Renk Değeri



Şekil 4.6. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı b* (sarı–mavi) renk değerindeki değişimler

Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir. b: Pozitif değerler sarılığı, negatif değerler ise maviliği göstermektedir.

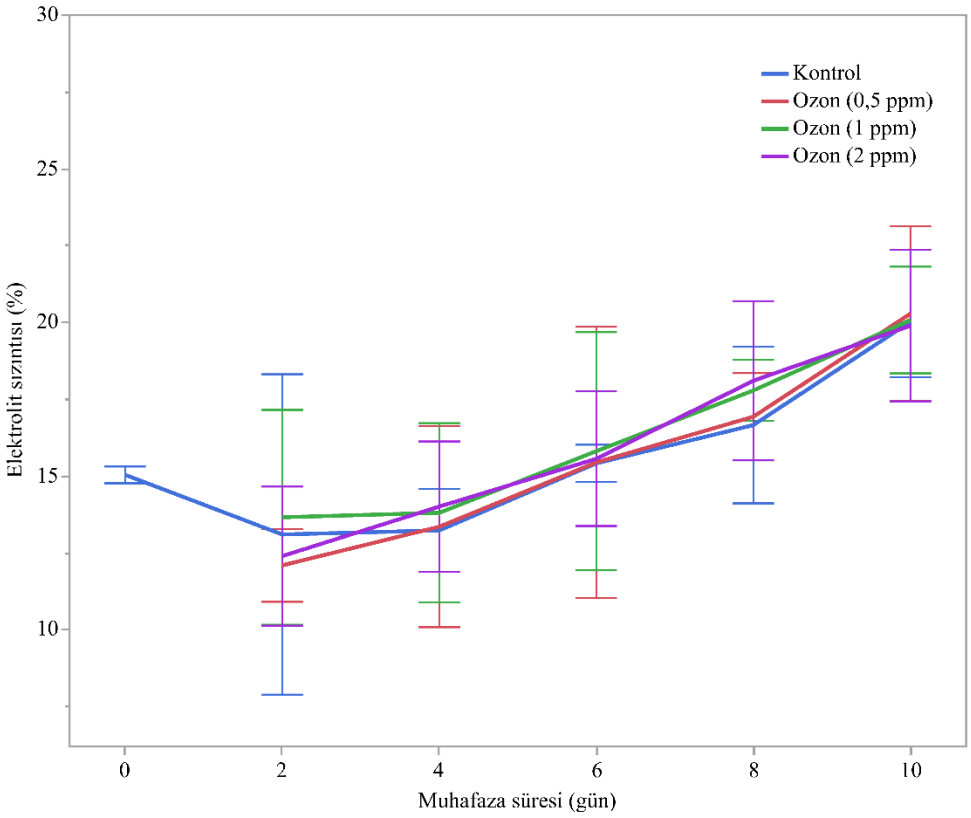
4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına bağlı b* (sarı–mavi) renk değerindeki değişimler Şekil 4.6 ve Tablo 4. 1'de verilmiştir. b* değerinin pozitif olması sarılığı, negatif olması ise maviliği ifade etmektedir.

Depolamanın başlangıcında b* değerleri kontrol, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm ozon uygulamalarında sırasıyla 15,79 ± 1,26, 14,71 ± 3,72, 17,00 ± 2,25 ve 15,78 ± 2,08 olarak belirlenmiştir. Depolamanın 10. gününde ise bu değerler sırasıyla 13,03 ± 1,14, 13,01 ± 2,81, 13,87 ± 3,59 ve 14,45 ± 2,61 olarak ölçülmüştür. Depolama süresince tüm uygulamalarda b* değerlerinde hafif bir azalma eğilimi gözlenmiş olmakla birlikte, uygulamalar arasında belirgin bir farklılık oluşmamıştır.

İki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, ne ozon uygulamasının ($F = 0{,}0073$; $p = 0{,}9991$) ne de depolama süresinin ($F = 1{,}1996$; $p = 0{,}3514$) b* değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmuştur. Ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0{,}05$). Tukey'in HSD testi sonucunda uygulamalar arasında b* değeri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0{,}05$).

Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan ozon konsantrasyonları, 4 ± 1 °C'de depolama süresince çilek meyvelerinin **b*** (sarı–mavi) renk değerini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkilememiştir.

4.1.7. Elektrolit Sızıntısı (%)



Şekil 4.7. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı elektrolit sızıntısındaki değişimler

*Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir.

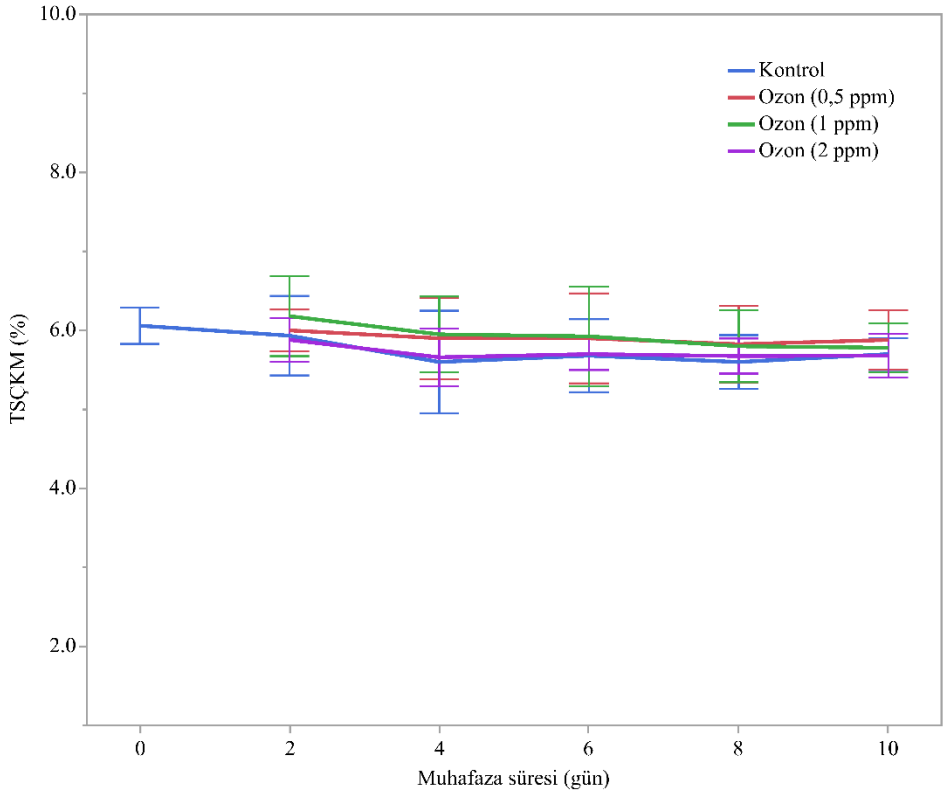
4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına bağlı elektrolit sızıntısı (%) değerindeki değişimler Şekil 4.7 ve Tablo 4.1'de verilmiştir. Elektrolit sızıntısı değerleri yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

Depolamanın başlangıcında (0. gün) elektrolit sızıntısı değeri kontrol grubunda %15,05 ± 0,27 olarak belirlenmiştir. Depolamanın 10. gününde elektrolit sızıntısı değerleri kontrol, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm ozon uygulamalarında sırasıyla %20,03 ± 1,80, %20,29 ± 2,84, %20,09 ± 1,74 ve %19,90 ± 2,46 olarak ölçülmüştür. Depolama süresince tüm uygulamalarda elektrolit sızıntısı değerlerinde artış eğilimi gözlenmiş, uygulamalar arasında belirgin bir farklılık oluşmamıştır.

İki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, depolama süresi elektrolit sızıntısı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmuştur ($F = 15,8380$; $p < 0,0001$). Buna karşılık, ozon uygulamasının elektrolit sızıntısı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($F = 3,9303$; $p = 0,8930$). Ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlı değildir ($F = 0,0884$; $p = 1,0000$). Tukey'in HSD testi sonucunda, her bir uygulama grubunda depolamanın son günlerindeki elektrolit sızıntısı değerlerinin başlangıç depolama günlerine göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$).

Sonuç olarak, depolama süresi boyunca elektrolit sızıntısı değerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış meydana gelmiş, buna karşın uygulanan ozon konsantrasyonları çilek meyvelerinin elektrolit sızıntısı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmamıştır.

4.1.8. Toplam Suda Çözünür Kuru Madde (TSÇKM)



Şekil 4.8. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı toplam suda çözünür kuru madde (TSÇKM) değerindeki değişimler

*Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir.

4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına bağlı toplam suda çözünür kuru madde (TSÇKM) değerindeki değişimler Şekil 4.8 ve Tablo 4. 1'de verilmiştir.

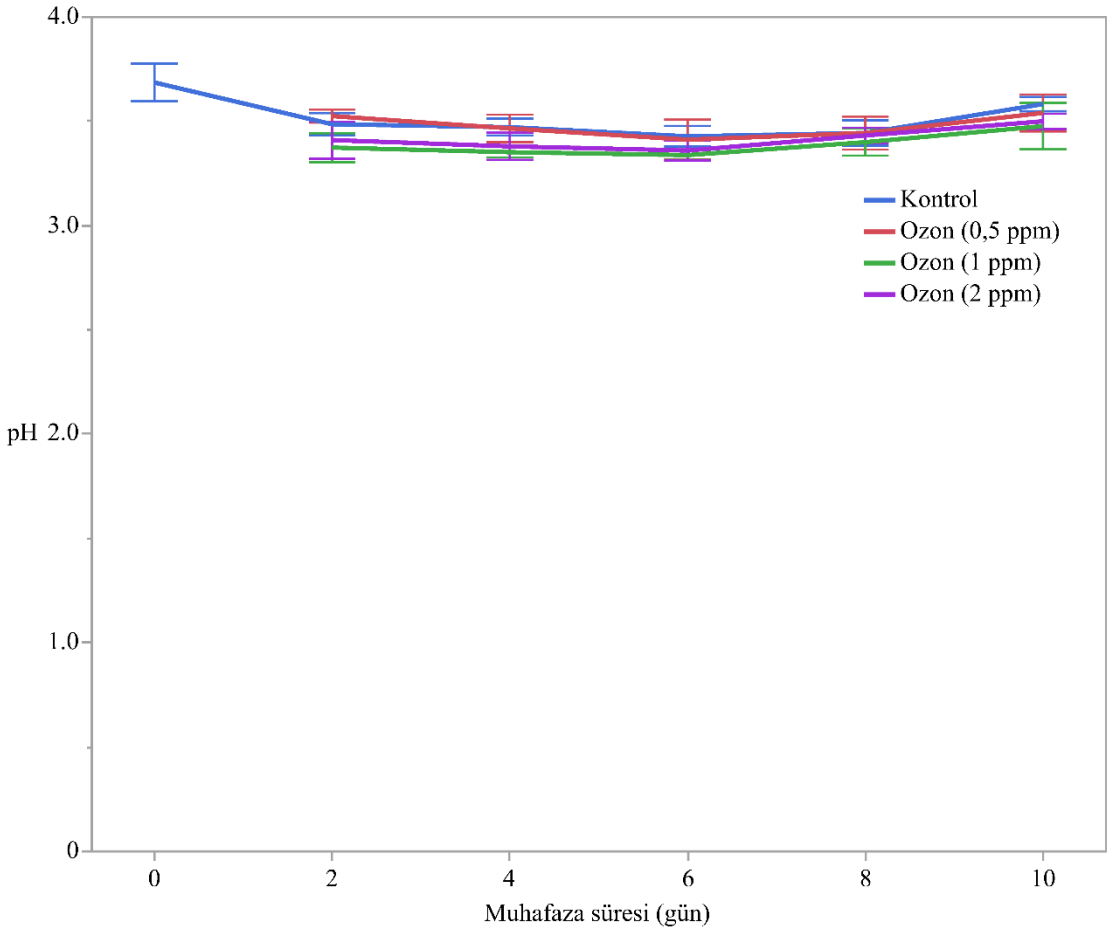
Depolamanın başlangıcında (0. gün) TSÇKM değeri kontrol grubunda %6,06 ± 0,23 olarak belirlenmiştir. Depolamanın 10. gününde TSÇKM değerleri kontrol, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm ozon uygulamalarında sırasıyla %5,70 ± 0,20, %5,88 ± 0,38, %5,78 ± 0,31 ve %5,68 ± 0,28 olarak ölçülmüştür. Depolama süresince TSÇKM değerlerinde küçük değişimler gözlenmekle birlikte, uygulamalar arasında belirgin bir farklılık oluşmamıştır.

İki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, ne ozon uygulamasının ($F = 0,5658$; $p = 0,6459$) ne de depolama süresinin ($F = 0,1021$; $p = 0,9800$) TSÇKM üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmuştur. Ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi de

istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0,05$). Tukey'in HSD testi sonucunda uygulamalar arasında TSÇKM bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0,05$).

Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan ozon konsantrasyonları, 4 ± 1 °C'de depolama süresince çilek meyvelerinin toplam suda çözünür kuru madde (TSÇKM) içeriğini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkilememiştir.

4.1.9. pH Değeri



Şekil 4.9. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı pH değerindeki değişimler

*Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir.

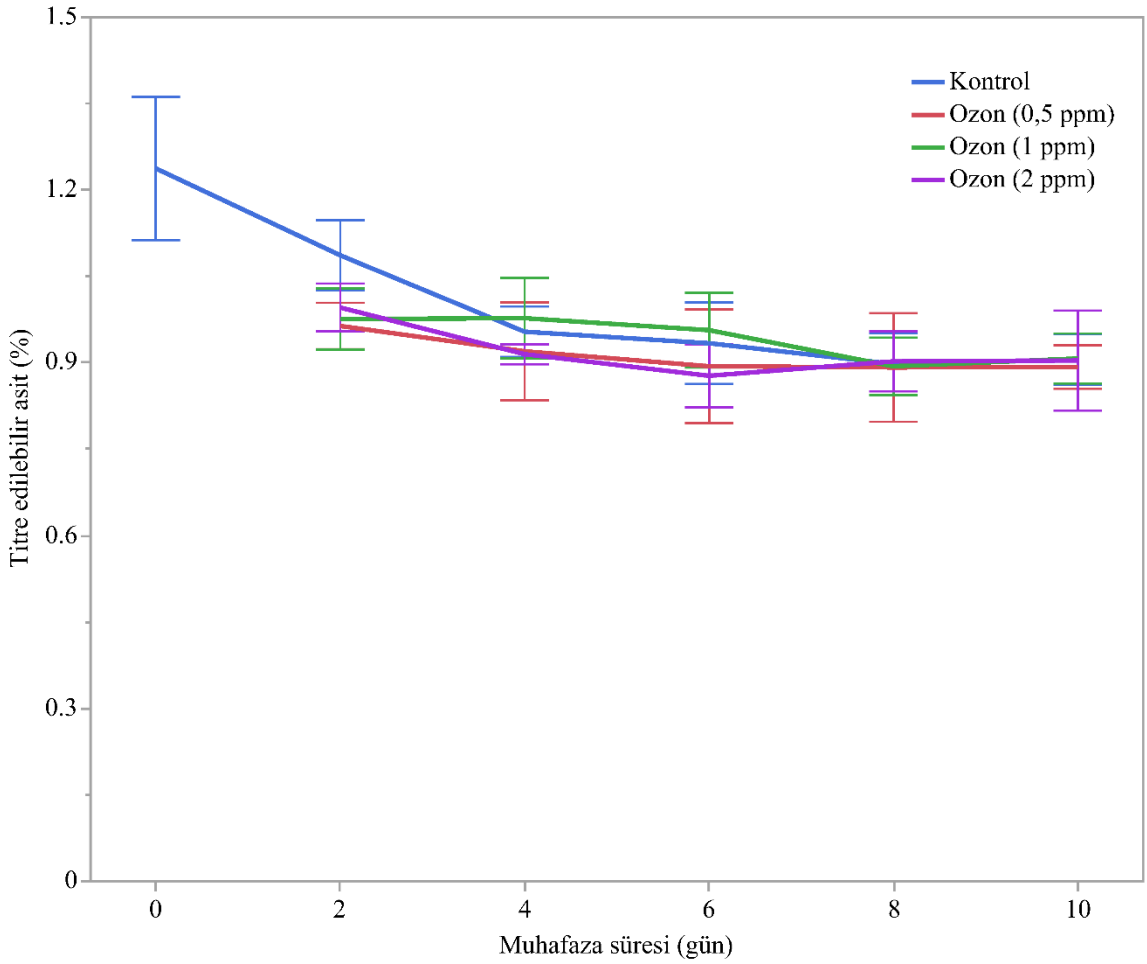
4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına bağlı pH değerindeki değişimler Şekil 4.9 ve Tablo 4. 1'de verilmiştir.

Depolamanın başlangıcında (0. gün) pH değeri kontrol grubunda 3,69 ± 0,09 olarak belirlenmiştir. Depolamanın 10. gününde pH değerleri kontrol, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm ozon uygulamalarında sırasıyla 3,58 ± 0,03, 3,54 ± 0,09, 3,48 ± 0,11 ve 3,50 ± 0,04 olarak ölçülmüştür. Depolama süresince tüm uygulamalarda pH değerlerinde hafif bir azalma eğilimi gözlenmiştir.

İki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, depolama süresi pH üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olmuştur ($F = 3,1766$; $p = 0,0445$). Buna karşılık, ozon uygulamasının pH üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($F = 2,4261$; $p = 0,1059$). Ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0,05$). Tukey'in HSD testi sonucunda uygulamalar arasında pH değeri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0,05$).

Sonuç olarak, depolama süresi boyunca pH değerinde hafif ancak istatistiksel olarak anlamlı bir değişim meydana gelmiş, buna karşın uygulanan ozon konsantrasyonları çilek meyvelerinin pH değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmamıştır.

4.1.10. Titre Edilebilir Asitlik (TA)



Şekil 4.10. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı titre edilebilir asitlik (TA) değerindeki değişimler

*Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir.

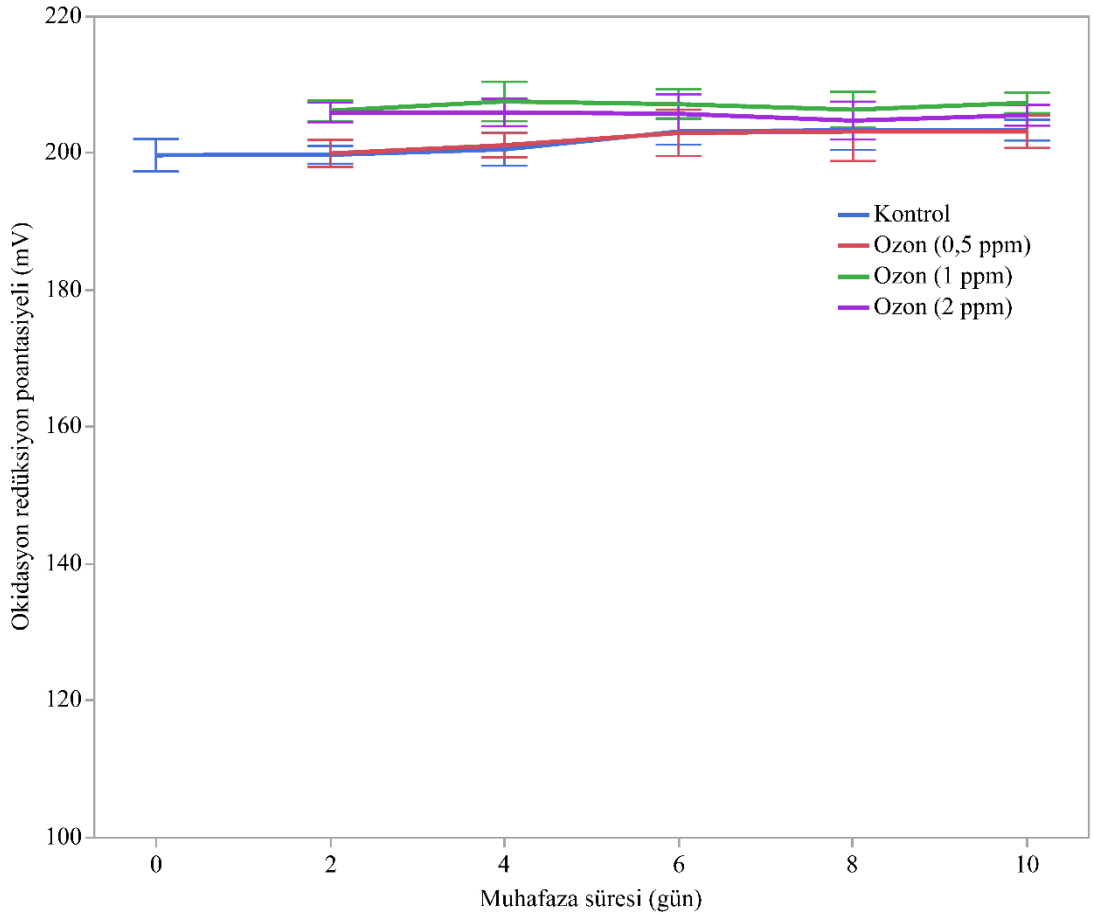
4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına bağlı titre edilebilir asitlik (TA) değerindeki değişimler Şekil 4.10 ve Tablo 4. 1'de verilmiştir. TA değerleri sitrik asit eşdeğeri (%) olarak ifade edilmiştir.

Depolamanın başlangıcında (0. gün) TA değeri kontrol grubunda %1,24 ± 0,12 olarak belirlenmiştir. Depolamanın 10. gününde TA değerleri kontrol, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm ozon uygulamalarında sırasıyla %0,91 ± 0,04, %0,89 ± 0,04, %0,91 ± 0,04 ve %0,90 ± 0,09 olarak ölçülmüştür. Depolama süresince tüm uygulamalarda TA değerlerinde azalma eğilimi gözlenmiştir.

İki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, ne ozon uygulamasının ($F = 0,9688$; $p = 0,4332$) ne de depolama süresinin ($F = 2,8712$; $p = 0,0598$) TA değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmuştur. Ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0,05$). Tukey'in HSD testi sonucunda uygulamalar arasında TA değeri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0,05$).

Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan ozon konsantrasyonları, 4 ± 1 °C'de depolama süresince çilek meyvelerinin titre edilebilir asitlik (TA) değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmamıştır.

4.1.11. Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP)



Şekil 4.11. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) bağlı oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) değerindeki değişimler

*Çizgiler ortalama değerleri, dikey hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir.

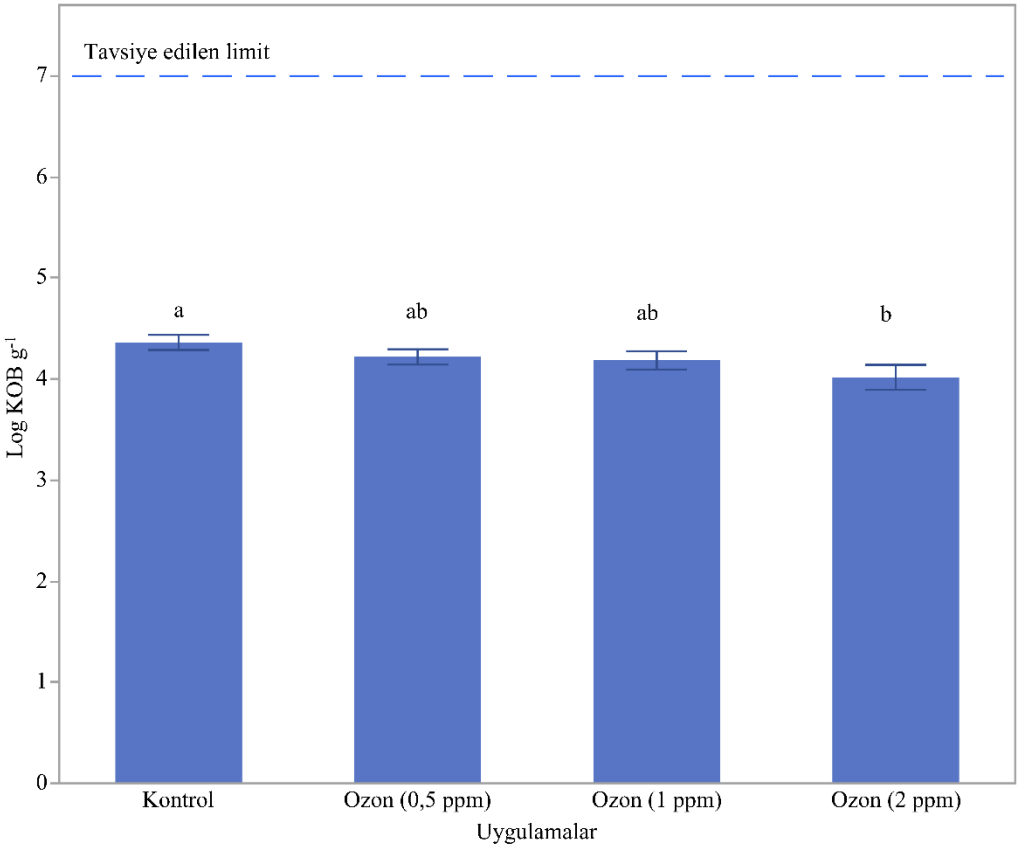
4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarına bağlı oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) değerindeki değişimler Şekil 4.11 ve Tablo 4. 1'de verilmiştir. ORP değerleri milivolt (mV) cinsinden ifade edilmiştir.

Depolamanın başlangıcında (0. gün) ORP değeri kontrol grubunda 199,75 ± 2,36 mV olarak belirlenmiştir. Depolamanın 10. gününde ORP değerleri kontrol, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm ozon uygulamalarında sırasıyla 203,40 ± 1,52, 203,20 ± 2,39, 207,40 ± 1,52 ve 205,60 ± 1,52 mV olarak ölçülmüştür. Depolama süresince tüm uygulamalarda ORP değerlerinde hafif bir artış eğilimi gözlenmiştir.

İki yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, ne ozon uygulamasının ($F = 2,3676$; $p = 0,1117$) ne de depolama süresinin ($F = 0,2709$; $p = 0,8921$) ORP değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmuştur. Ozon uygulaması × depolama süresi etkileşimi de istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p > 0,05$). Tukey'in HSD testi sonucunda uygulamalar arasında ORP değeri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0,05$).

Sonuç olarak, bu çalışmada uygulanan ozon konsantrasyonları, 4 ± 1 °C'de depolama süresince çilek meyvelerinin oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmamıştır.

4.1.12. Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri Sayısı



Şekil 4.12. 4 ± 1 °C'de 10 gün süreyle depolanan çilek meyvelerinde farklı ozon uygulamalarının (0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı (log_{10} KOB g^{-1}) üzerine etkisi

*Sütunlar ortalama değerleri, hata çubukları ise standart sapmayı (± SD) göstermektedir. Farklı harflerle gösterilen ortalamalar Tukey (HSD) testine göre istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0,05$).

Farklı ozon konsantrasyonları (0, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm) uygulanan çilek meyvelerinin toplam aerobik mezofilik bakteri (TAMB) sayıları, 4 ± 1 °C'de 10 gün depolama sonunda belirlenmiş olup sonuçlar Şekil 4.12 ve Tablo 4. 1'de verilmiştir. Sonuçlar log KOB g^{-1} taze ağırlık (ta) olarak ifade edilmiştir.

Depolamanın sonunda TAMB değerleri kontrol, 0,5, 1,0 ve 2,0 ppm ozon uygulamalarında sırasıyla 4,36 ± 0,07, 4,22 ± 0,08, 4,18 ± 0,09 ve 4,02 ± 0,12 log KOB g^{-1} ta olarak belirlenmiştir. Ozon konsantrasyonu arttıkça toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında azalma eğilimi gözlenmiş, en düşük değer 2,0 ppm ozon uygulamasında elde edilmiştir.

Tek yönlü varyans analizi (ANOVA), ozon uygulamasının toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğunu göstermiştir ($F = 6,9161$; $p = 0,0130$). Tukey' (HSD) testine göre 2,0 ppm ozon uygulaması, kontrol grubuna kıyasla toplam aerobik mezofilik bakteri sayısını anlamlı düzeyde azaltmıştır ($p = 0,0083$). Buna karşın, 0,5 ve 1,0 ppm ozon uygulamaları ile kontrol grubu arasında ve bu uygulamaların kendi aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir ($p > 0,05$). Tukey HSD gruplandırmasına göre kontrol grubu a, 2,0 ppm uygulaması b, 0,5 ve 1,0 ppm uygulamaları ise ab grubunda yer almıştır.

Sonuç olarak, 2,0 ppm gaz halindeki ozon uygulaması, temel kalite özelliklerini olumsuz etkilemeden çilek meyvelerindeki toplam aerobik mezofilik bakteri yükünü önemli ölçüde azaltmış ve depolama sonunda en etkili antimikrobiyal uygulama olarak belirlenmiştir.

4.2. Tartışma

4.2.1. Genel Bakış ve Kalite Parametreleri Arasındaki Karşılıklı İlişkiler

Bu çalışmada, 4 ± 1 °C'de 10 gün boyunca depolanan ‘Albion’ çileklerinde farklı konsantrasyonlarda (0,1, 1 ve 2 ppm) uygulanan gaz halindeki ozonun hasat sonrası kalite parametreleri, fizyolojik değişimler ve mikrobiyal gelişim üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, gaz halindeki ozonun meyve kalitesi üzerinde tüm kalite özelliklerini kapsayan genel bir koruyucu etki göstermediğini, bunun yerine belirli fizyolojik ve mikrobiyolojik süreçleri seçici olarak etkilediğini ortaya koymuştur. Depolama süresince meyve eti sertliği, ağırlık kaybı, renk parametreleri (L*, a* ve b*), elektrolit sızıntısı, suda çözünür kuru madde miktarı (TSÇKM), pH, titre edilebilir asitlik (TA) ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) bakımından ozon uygulamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmemiştir. Buna karşın, solunum hızı ve mikrobiyal yük ozon uygulamasından anlamlı düzeyde etkilenmiş; özellikle 2 ppm ozon uygulaması en düşük CO_2 üretimi ve mikrobiyal sayım değerlerini sağlamıştır. Bu sonuçlar, araştırmanın yürütüldüğü koşullar altında gaz halindeki ozonun, kalite özelliklerini doğrudan değiştiren genel bir muhafaza yöntemi olmaktan ziyade, meyvenin metabolik aktivitesini ve mikrobiyal gelişimini düzenleyen bir uygulama olarak işlev gördüğünü göstermektedir.

Bu kapsamda gaz halindeki ozon, güçlü oksitleyici özelliği, geniş spektrumlu antimikrobiyal etkisi ve uygulama sonrasında hızla oksijene parçalanarak ürün üzerinde kalıntı bırakmaması nedeniyle hasat sonrası koruma teknolojileri arasında önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Khadre vd. 2001; Karaca ve Velioğlu, 2007). Bununla birlikte ozonun biyolojik etkileri uygulama dozuna bağlı olarak değişmektedir. Düşük ve orta düzeydeki ozon konsantrasyonları antioksidan savunma mekanizmalarını uyararak yaşlanma süreçlerini yavaşlatabilirken, yüksek dozlar oksidatif strese, hücre zarı hasarına, pigment bozulmasına ve doku zararına neden olabilmektedir (Horvitz ve Cantalejo, 2014; Tzortzakis ve Chrysargyris, 2017; Li vd. 2026). Bu çalışmada elde edilen bulgular da ozonun doza bağlı etkisini desteklemektedir. Özellikle 2 ppm ozon uygulaması, meyvenin fizikokimyasal kalite özelliklerinde herhangi bir olumsuz değişikliğe yol açmaksızın solunum hızını ve mikrobiyal gelişimi anlamlı düzeyde azaltmıştır. Bu durum, soğukta depolanan 'Albion' çeşidi çileklerde 2 ppm gaz halindeki ozon uygulamasının mikrobiyolojik kaliteyi iyileştirirken temel kalite özelliklerini koruyabildiğini ve ticari hasat sonrası uygulamalar açısından uygun bir konsantrasyon olabileceğini düşündürmektedir.

4.2.2. Meyve Eti Sertliği ve Ağırlık Kaybı

Bu çalışmada gaz halindeki ozon uygulamalarının depolama süresince 'Albion' çileklerinin meyve sertliği üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi belirlenmemiştir. Tüm uygulamalarda depolama süresine bağlı olarak sertlik değerleri kademeli şekilde azalmış olmakla birlikte, kontrol grubu ile ozon uygulamaları arasında anlamlı farklılık oluşmamıştır. Meyve sertliği, çileğin hasat sonrası kalitesini belirleyen temel kalite kriterlerinden biri olup, tüketicinin tazelik, tekstür ve genel kabul algısını doğrudan etkilemektedir. Depolama süresince meydana gelen yumuşama; pektik maddelerin depolimerizasyonu, hemiselülozun parçalanması ve orta lamellanın zayıflaması sonucu hücre duvarı bütünlüğünün bozulmasıyla ilişkilidir (Brummell, 2006; Vicente vd. 2007). Bu süreçte poligalakturonaz, pektin metilesteraz, β-galaktosidaz ve selülaz gibi hücre duvarını parçalayan enzimler önemli rol oynamaktadır (Lika vd. 2026).

Ozon uygulamalarının sertlik üzerinde anlamlı bir değişime neden olmaması, bu çalışmada kullanılan 0,1–2 ppm gaz halindeki ozon konsantrasyonlarının hücre duvarı yıkımından

sorumlu enzimatik süreçleri baskılamak için yeterli olmadığını düşündürmektedir. Benzer şekilde Nadas vd. (2003) ile Rocculi vd. (2005), gaz halindeki ozonun çilekte sertliğin korunması üzerinde sınırlı veya değişken etkiler gösterdiğini bildirmiştir. Bununla birlikte, literatürde ozonun sertliği koruyabildiğini bildiren çalışmalar da bulunmaktadır. Bu farklılıkların; ozon dozu, uygulama süresi, uygulama şekli, depolama koşulları ve özellikle kullanılan çeşidin fizyolojik özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada gözlenen sınırlı etkinlik, kullanılan 'Albion' çeşidinin karakteristik özellikleriyle de ilişkili olabilir. 'Albion', nispeten yüksek doku sertliğine, iyi taşıma dayanımına ve uzun raf ömrüne sahip bir çeşit olarak bilinmektedir. Hücre duvarı yapısı daha sağlam olan çeşitlerde hasat sonrası uygulamaların oluşturduğu değişimlerin daha sınırlı düzeyde ortaya çıkması beklenmektedir. Dolayısıyla, sertlikte anlamlı bir değişimin gözlenmemesi yalnızca ozon uygulamasının etkisizliğiyle değil, aynı zamanda çeşidin doğal depolama dayanıklılığıyla da açıklanabilir.

Depolama süresince tüm uygulamalarda ağırlık kaybı düzenli olarak artmış, ancak ozon uygulamaları bu parametre üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşturmamıştır. Bu durum, ağırlık kaybının temel belirleyicisinin ozon uygulaması değil, depolama süresince devam eden su kaybı olduğunu göstermektedir. Çileklerde ağırlık kaybı esas olarak terleme, daha düşük düzeyde ise solunum nedeniyle meydana gelmektedir (Ben-Yehoshua, 1987; Kader, 2002). İnce kütikula tabakası ve yüksek yüzey alanı/hacim oranı nedeniyle çilekler, soğuk depolama koşullarında dahi hızlı su kaybeden meyveler arasında yer almaktadır. Bu durum zamanla buruşma, parlaklık kaybı, tekstürel bozulma ve pazarlanabilirliğin azalmasıyla sonuçlanmaktadır.

Depolama süresince ağırlık kaybındaki sürekli artış, çileğin bilinen hasat sonrası fizyolojisiyle uyumlu olup önceki çalışmaların bulgularını desteklemektedir (Mahajan vd. 2014; Ali vd. 2018). Ozon uygulamalarının ağırlık kaybını azaltmaması ise gaz halindeki ozonun terleme hızını veya meyve dokularından su buharı difüzyonunu doğrudan etkilemediğini göstermektedir. Nitekim ozon, su kaybını sınırlandıran fiziksel bir bariyer oluşturmaktan ziyade oksidatif süreçleri ve mikrobiyal gelişimi düzenleyen bir teknoloji olarak etki göstermektedir. Horvitz ve Cantalejo (2014) da benzer şekilde, ozonun tek başına uygulandığında su kaybını kontrol etmede sınırlı başarı sağladığını, buna karşın

modifiye atmosfer paketleme, yenilebilir kaplamalar ve nem kaybını azaltan diğer koruma teknolojileriyle birlikte kullanıldığında etkinliğinin arttığını bildirmiştir. Bu nedenle, gaz halindeki ozonun çileklerde mikrobiyal kaliteyi iyileştirmesine ve metabolik aktiviteyi düzenlemesine rağmen, tek başına uygulandığında depolama süresince meydana gelen su kaybını azaltmada yeterli olmadığı söylenebilir.

4.2.3. Solunum Hızı, Ozon Hormezisi ve Renk Özellikleri

Ölçülen kalite parametreleri arasında ozon uygulamasına en belirgin yanıt veren değişkenlerden biri solunum hızı olmuştur. Elde edilen sonuçlar, 2 ppm gaz halindeki ozon uygulamasının kontrol grubuna kıyasla solunum hızını istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalttığını, buna karşılık 0,5 ve 1 ppm uygulamalarının ise anlamlı bir etki oluşturmadığını göstermiştir. Solunum, hasat sonrası fizyolojinin temel metabolik süreçlerinden biri olup, depolanmış karbonhidratlar, organik asitler ve diğer rezerv bileşiklerin oksidasyonu yoluyla hücresel enerji üretimini sağlar. Bu nedenle solunum hızındaki artış, enerji rezervlerinin daha hızlı tükenmesine, oksidatif stresin artmasına ve yaşlanma süreçlerinin hızlanmasına neden olarak ürünün raf ömrünü sınırlandırmaktadır (Fonseca vd. 2002; Kader ve Saltveit, 2002). Dolayısıyla solunum hızının azaltılması, hasat sonrası kaliteyi korumaya yönelik uygulamalarda önemli bir fizyolojik gösterge olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada yalnızca 2 ppm ozon uygulamasında gözlenen solunum hızındaki anlamlı azalma, bu konsantrasyonun metabolik aktiviteyi baskılayarak yaşlanma sürecini yavaşlatabildiğini düşündürmektedir. Solunumun azalması, hücresel substratların daha yavaş tüketilmesi ve biyokimyasal bozunmanın gecikmesi nedeniyle genellikle raf ömrünün uzamasıyla ilişkilendirilmektedir. Benzer şekilde, farklı çilek çeşitleri ve diğer taze ürünlerde gerçekleştirilen çalışmalarda da uygun dozlarda uygulanan ozonun solunum hızını düşürdüğü ve yaşlanmaya bağlı kalite kayıplarını geciktirdiği bildirilmiştir (Zhang vd. 2011; Zhang vd. 2020). Bu bulgular, ozonun yalnızca antimikrobiyal bir dezenfektan değil, aynı zamanda hasat sonrası metabolizmayı düzenleyebilen fizyolojik bir etmen olarak da değerlendirilebileceğini göstermektedir.

İki ppm ozon uygulamasıyla gözlenen bu etkinin altında birden fazla mekanizmanın rol oynayabileceği düşünülmektedir. Bunlardan biri, yüzey mikroflorasının baskılanmasına

bağlı olarak meyvede oluşan biyotik stresin azalmasıdır. Mikroorganizmalar konukçu dokuda savunma tepkilerini uyararak metabolik aktiviteyi ve dolayısıyla solunum hızını artırabilmektedir. Ozonun mikrobiyal yükü azaltması, bu stres yükünün hafiflemesine ve solunum gereksiniminin azalmasına katkıda bulunmuş olabilir. Diğer olası mekanizma ise ozonun doğrudan oksidatif sinyal yollarını etkilemesidir. Ozon uygulaması sırasında oluşan reaktif oksijen türleri (ROS), yüksek düzeylerde hücresel hasara neden olabilmelerine rağmen kontrollü seviyelerde çeşitli savunma mekanizmalarının aktive edilmesinde sinyal molekülü olarak görev yapmaktadır (Apel ve Hirt, 2004; Sharma vd. 2012).

Bu durum, ozonun hormetik etkisiyle açıklanabilir. Hormesis, düşük veya orta düzeydeki stres faktörlerinin organizmada koruyucu mekanizmaları uyardığı, buna karşılık yüksek düzeydeki stresin zararlı etkilere yol açtığı iki fazlı biyolojik yanıtı ifade etmektedir (Duarte-Sierra vd. 2020). Meyvelerde uygun dozlarda uygulanan ozonun süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidaz ve askorbat-glutatyon döngüsü gibi antioksidan savunma sistemlerini aktive ederek oksidatif strese karşı toleransı artırdığı ve yaşlanma süreçlerini yavaşlatabildiği bildirilmektedir (Wang vd. 2023). Bu çalışmada 0,5 ve 1 ppm uygulamalarında solunum hızında anlamlı bir değişiklik gözlenmemesi, bu dozların fizyolojik yanıt oluşturmak için yetersiz kaldığını düşündürmektedir. Buna karşılık 2 ppm uygulaması, görünür kalite kayıplarına neden olmadan metabolik aktivitenin baskılanmasını sağlayacak düzeyde bir oksidatif uyarı oluşturmuş görünmektedir. Nitekim aynı uygulamada sertlik, renk ve diğer fizikokimyasal kalite parametrelerinde istatistiksel olarak anlamlı bir olumsuzluk belirlenmemiştir. Bu durum, 2 ppm gaz halindeki ozonun, bu çalışmanın koşulları altında 'Albion' çeşidinin fizyolojik tolerans sınırları içerisinde kaldığını ve metabolik düzenleme açısından uygun bir doz olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar, ozon uygulamalarında etkinliğin büyük ölçüde doz optimizasyonuna bağlı olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

Çeşit özellikleri de ozona verilen fizyolojik yanıtın belirlenmesinde önemli rol oynayabilir. 'Albion' çeşidi, nispeten yüksek meyve sertliği, iyi taşıma dayanıklılığı ve uzun raf ömrü ile bilinen bir çilek çeşididir. Bu doğal dayanıklılık, ozonun oluşturduğu oksidatif stresi daha etkin şekilde tolere etmesini sağlamış olabilir. Bu nedenle ozon uygulaması metabolik süreçleri düzenleyebilmiş, ancak hücresel bütünlüğü bozacak düzeyde oksidatif hasara yol

açmamıştır. Solunum hızındaki belirgin değişime karşın diğer kalite özelliklerinin büyük ölçüde korunmuş olması, bu fizyolojik dayanıklılığın bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Renk, taze çileklerde tüketici tercihlerini belirleyen en önemli kalite kriterlerinden biridir. Meyvenin karakteristik parlak kırmızı rengi büyük ölçüde pelargonidin türevlerinden oluşan antosiyanin pigmentlerinden kaynaklanmaktadır (Giampieri vd. 2012; Dzhanfezova vd. 2020). Mevcut çalışmada L* (açıklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) değerlerinde depolama süresince küçük dalgalanmalar gözlenmesine rağmen, ozon uygulamalarının bu parametreler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi belirlenmemiştir. L* değerlerinin korunması, ozon uygulamasının yüzey kararması veya renk solması gibi istenmeyen değişimlere neden olmadığını göstermektedir. Benzer şekilde a* değerlerinin stabil kalması, meyvenin karakteristik kırmızı renginin ve antosiyanin pigmentlerinin büyük ölçüde korunduğunu düşündürmektedir. b* değerlerinde anlamlı bir değişim görülmemesi ise sarı renk bileşenlerinin ve genel renk dengesinin depolama boyunca muhafaza edildiğini göstermektedir.

Antosiyaninler güçlü antioksidan özelliklerine sahip olmalarına rağmen oksidatif bozunmaya duyarlı bileşiklerdir ve yüksek düzeyde ozon maruziyeti pigment parçalanmasına bağlı renk kayıplarına neden olabilmektedir (Ashraf vd. 2026). Buna karşın bu çalışmada renk parametrelerinin korunmuş olması, uygulanan ozon dozlarının pigment stabilitesini bozacak kritik eşik değerin altında kaldığını göstermektedir. Bu sonuç, orta düzeyde ozon uygulamalarının görsel kaliteyi korurken mikrobiyal güvenliği artırabildiğini bildiren önceki çalışmalarla da uyumludur (Horvitz ve Cantalejo, 2014; Nadas vd. 2021). Ayrıca çileklerin doğal olarak yüksek miktarda fenolik bileşikler, flavonoidler ve askorbik asit içermesi, ozon kaynaklı oksidatif stresin sınırlandırılmasına ve pigment bütünlüğünün korunmasına katkı sağlamış olabilir (Aaby vd. 2007; Giampieri vd. 2012).

Ticari açıdan değerlendirildiğinde, mikrobiyal gelişimi baskılayan uygulamaların meyvenin görsel kalitesini olumsuz etkilememesi büyük önem taşımaktadır. Taze pazarda tüketici tercihleri büyük ölçüde dış görünüşe bağlı olduğundan, renk bozulmasına neden olan uygulamaların ticari uygulanabilirliği sınırlı kalmaktadır. Bu çalışmada 2 ppm gaz

halindeki ozon uygulamasının, renk parametrelerini korurken solunum hızını azaltması ve mikrobiyal gelişimi baskılaması, söz konusu dozun hasat sonrası kalite yönetimi açısından umut verici bir uygulama olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, farklı çilek çeşitleri, depolama süreleri ve uygulama koşullarında optimum ozon dozunun değişebileceği göz önünde bulundurulmalı; ticari uygulamalar için doz, maruz kalma süresi ve çeşit özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, gaz halindeki ozonun hasat sonrası muhafazada etkin ve güvenilir bir teknoloji olarak kullanılabilmesi için uygulama koşullarının ürün ve çeşide özgü olarak optimize edilmesi önem taşımaktadır.

4.2.4. Elektrolit Sızıntısı, pH, Titre Edilebilir Asitlik ve Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli

Elektrolit sızıntısı (ES), hasat sonrası depolama sürecinde hücre zarı bütünlüğünün korunma düzeyini değerlendirmede yaygın olarak kullanılan fizyolojik göstergelerden biridir. Hücre zarının yapısal bütünlüğünün bozulması, iyonların hücre dışına difüzyonunu artırarak ES değerlerinde yükselmeye neden olmaktadır. Bu nedenle ES'deki değişimler, yaşlanma süreci ve hücresel hasarın güvenilir göstergeleri olarak kabul edilmektedir (Blum ve Ebercon, 1981; Bajji vd. 2002).

Bu çalışmada depolama süresi boyunca tüm uygulamalarda ES değerleri düzenli olarak artmış, ancak ozon uygulamalarının ES üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi belirlenmemiştir. Depolama süresine bağlı olarak gözlenen artış, çilek meyvelerinde doğal yaşlanma süreci boyunca meydana gelen membran bozulmasının ilerlediğini göstermektedir. Buna karşın, 0,5–2 ppm konsantrasyonlarında uygulanan gaz halindeki ozonun hücre zarı bütünlüğünü ne koruyucu ne de bozucu yönde anlamlı bir etki oluşturmadığı anlaşılmaktadır.

Hasat sonrası dönemde hücre zarlarında meydana gelen yapısal değişimler büyük ölçüde oksidatif stres, lipid peroksidasyonu ve membran bileşenlerinin enzimatik parçalanması sonucunda gelişmektedir. Bu süreçler membran geçirgenliğini artırarak hücre içi elektrolitlerin dış ortama sızmasına neden olmaktadır (Blum ve Ebercon, 1981; Bajji vd. 2002). Çalışmamızda depolama süresi boyunca gözlenen EL artışı, bu doğal yaşlanma mekanizmasıyla uyumlu bulunmuştur.

Ozonun membran bütünlüğü üzerindeki etkisi literatürde konsantrasyona bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Düşük ve orta dozlarda ozon, antioksidan savunma sistemlerini aktive ederek oksidatif hasarı sınırlandırabilirken, yüksek dozlarda membran fosfolipitlerindeki doymamış yağ asitlerini oksitleyerek membran geçirgenliğini artırabilmektedir (Horvitz ve Cantalejo, 2014). Bu çalışmada EL bakımından uygulamalar arasında anlamlı farklılıkların bulunmaması, kullanılan ozon dozlarının çilek dokuları açısından fizyolojik olarak güvenli sınırlar içerisinde kaldığını ve membran lipidlerinde belirgin oksidatif hasar oluşturmadığını göstermektedir.

Bu sonuçlar, çalışmada belirlenen solunum hızı bulgularıyla da uyumludur. Her ne kadar 2 ppm ozon uygulaması solunum hızını önemli ölçüde azaltmış olsa da bu metabolik yavaşlama membran bütünlüğünde ölçülebilir değişikliklere yansımamıştır. Dolayısıyla gaz halindeki ozonun 'Albion' çileğinde daha çok metabolik faaliyetler üzerinde etkili olduğu, buna karşılık hücresel yapısal bütünlüğü büyük ölçüde koruduğu söylenebilir. Bu durum, ozonun hasat sonrası kaliteyi iyileştirirken doku bütünlüğünü olumsuz etkilemediğini göstermesi bakımından ticari uygulamalar açısından önem taşımaktadır.

Depolama süresince pH değerlerinde yalnızca sınırlı değişimler gözlenmiş ve ozon uygulamaları pH üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmamıştır. Benzer şekilde, titre edilebilir asitlik (TA) tüm uygulamalarda depolama boyunca kademeli olarak azalmış, ancak uygulamalar arasında anlamlı farklılık belirlenmemiştir. Bu sonuçlar, gaz halindeki ozonun 10 günlük depolama süresi boyunca 'Albion' çileğinde organik asit metabolizmasını önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir.

Çilek meyvesinde sitrik asit başta olmak üzere malik asit gibi organik asitler, meyvenin tatlılık-asitlik dengesini belirleyen temel bileşenlerdir ve duyusal kalite üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Kårlund vd. 2015). Hasat sonrası depolama sırasında organik asitler solunum metabolizmasında substrat olarak kullanıldığından, zamanla TA değerlerinde azalma ve pH'da hafif yükselmeler meydana gelmektedir (Wills vd. 1998; Famiani vd. 2015). Çalışmamızda gözlenen TA azalması da bu fizyolojik süreçle uyumludur.

Her ne kadar 2 ppm ozon uygulaması solunum hızını önemli ölçüde azaltmış olsa da bu etkinin organik asitlerin tüketimini istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yavaşlatacak kadar

güçlü olmadığı görülmektedir. Bunun temel nedeni, solunumdaki azalmanın toplam organik asit rezervleri üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olması olabilir. Ayrıca organik asit metabolizması yalnızca solunum hızına bağlı olmayıp çeşit, hasat olgunluğu, depolama sıcaklığı ve atmosfer bileşimi gibi çok sayıda faktör tarafından kontrol edilmektedir. Albion çeşidinin hasat sonrası kalite özelliklerini uzun süre koruyabilen bir çeşit olması da ozon kaynaklı olası değişimlerin sınırlı kalmasına katkı sağlamış olabilir.

Elde edilen bulgular, ozon uygulamalarının pH ve titre edilebilir asitlik üzerinde sınırlı etki gösterdiğini bildiren önceki çalışmalarla uyumludur (Karaca ve Velioglu, 2007; Amarjit Singh vd. 2025). Ticari açıdan değerlendirildiğinde, asitlik parametrelerinin korunması önemli bir avantajdır. Organik asitlerin muhafaza edilmesi yalnızca meyvenin karakteristik lezzetinin korunmasını sağlamakla kalmayıp, düşük pH'nın birçok bozulma etmeninin gelişimini baskılaması nedeniyle mikrobiyal stabilitenin sürdürülmesine de katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla ozon uygulamasının antimikrobiyal etkisini lezzet özelliklerini değiştirmeden gerçekleştirebildiği söylenebilir.

Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), biyolojik sistemlerde oksidan ve antioksidan bileşenler arasındaki dengeyi yansıtan önemli bir redoks göstergesidir (Sies vd. 2024). Güçlü bir oksitleyici olan ozonun teorik olarak ORP değerlerini artırması beklenebilmesine rağmen, bu çalışmada depolama süresi boyunca ORP değerleri büyük ölçüde sabit kalmış ve uygulamalar arasında anlamlı farklılık belirlenmemiştir.

Bu durum, ozonun oluşturduğu olası oksidatif etkinin kısa süreli olduğunu ve çilek dokusunun güçlü antioksidan savunma sistemi tarafından hızla dengelendiğini düşündürmektedir. Çilek meyveleri askorbik asit, antosiyaninler, flavonoidler ve fenolik bileşikler bakımından zengin olup, bu antioksidanlar reaktif oksijen türlerini etkili biçimde uzaklaştırarak redoks homeostazının korunmasına katkı sağlamaktadır (Giampieri vd. 2012; Aaby vd. 2018). Dolayısıyla ozon uygulamasının başlangıçta oluşturduğu oksidatif etkinin kalıcı bir redoks değişikliğine dönüşmediği anlaşılmaktadır.
ORP'nin değişmemesi aynı zamanda uygulanan ozon dozlarının fizyolojik açıdan güvenli olduğunu da göstermektedir. Daha yüksek düzeyde oksidatif stres oluşması durumunda ORP'de belirgin artışlarla birlikte membran hasarı, pigment parçalanması ve kalite kayıplarının ortaya çıkması beklenirdi. Ancak bu çalışmada söz konusu olumsuzlukların

hiçbirinin gözlenmemesi, Albion çileğinin gaz halindeki ozon uygulamasını önemli bir oksidatif dengesizlik oluşturmadan tolere edebildiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, biyolojik sistemlerde redoks homeostazının antioksidan savunma mekanizmaları tarafından sıkı biçimde düzenlendiğini bildiren çalışmalarla da uyumludur (Apel ve Hirt, 2004; Halliwell ve Gutteridge, 2015).

Genel olarak değerlendirildiğinde, elektrolit sızıntısı, pH, titre edilebilir asitlik ve ORP sonuçları gaz halindeki ozon uygulamasının soğukta depolanan Albion çileklerinde membran bütünlüğünü, organik asit metabolizmasını ve genel redoks dengesini önemli ölçüde değiştirmediğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, çalışmanın genelinde gözlenen temel eğilimi desteklemektedir. Ozon uygulaması geniş kapsamlı fizikokimyasal değişiklikler oluşturmaktan ziyade seçici fizyolojik etkiler meydana getirmiştir. Özellikle metabolik aktivite ve mikrobiyal gelişim üzerinde olumlu etkiler sağlanırken, meyvenin temel kalite özellikleri büyük ölçüde korunmuştur. Bu seçici etki, gaz halindeki ozonun meyvenin içsel kalite özelliklerini olumsuz etkilemeden raf ömrünü uzatabilecek güvenilir bir hasat sonrası muhafaza teknolojisi olabileceğini göstermektedir.

4.2.5. Toplam Aerobik Mezofilik Bakteri Sayıları ve Pratik Sonuçlar

Mikrobiyal bozulma, çileklerde hasat sonrası kalite kayıplarını sınırlayan en önemli faktörlerden biridir. Yüksek su aktivitesi, hassas epidermal yapısı ve karbonhidratlar ile organik asitler bakımından zengin dokusu nedeniyle çilekler, hem bakteriler hem de fungal patojenler için uygun bir gelişme ortamı oluşturmaktadır (Romanazzi vd. 2013; Feliziani ve Romanazzi, 2016). Özellikle *Botrytis cinerea, Rhizopus stolonifer* ve çeşitli aerobik bakteriler, depolama süresince çürüme gelişimini hızlandırarak pazarlanabilir ürün miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Soğuk depolama koşulları mikrobiyal gelişimi yavaşlatsa da tamamen engelleyememekte ve mikrobiyal kontaminasyon raf ömrünü belirleyen temel sınırlayıcı faktörlerden biri olmaya devam etmektedir (Priyadarshi vd. 2024).

Bu çalışmada, toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı yalnızca 2 ppm gaz halindeki ozon uygulamasında istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azalmış, 0,5 ve 1 ppm uygulamaları ise kontrol grubundan farklılık göstermemiştir. Bu sonuç, ozonun antimikrobiyal etkinliğinin belirgin biçimde konsantrasyona bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Daha düşük dozların

çilek yüzeyindeki baskın mikrobiyal popülasyonları baskılamak için yeterli oksidatif stres oluşturamadığı, buna karşın 2 ppm konsantrasyonunun mikrobiyal yükü azaltacak eşik değere ulaştığı anlaşılmaktadır. Benzer şekilde, ozonun etkinliğinin uygulama dozu, maruz kalma süresi, bağıl nem ve hedef mikroorganizmanın fizyolojik özelliklerine bağlı olduğu daha önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Khadre vd. 2001; Kim vd. 2003; Karaca ve Velioglu, 2014; Horvitz ve Cantalejo, 2014; Palumbo vd. 2022).

Ozonun antimikrobiyal etkisi, yüksek oksidasyon potansiyelinden kaynaklanmaktadır. Hücre zarı lipitlerinin oksidasyonu, hücre duvarı bütünlüğünün bozulması, enzim ve proteinlerin oksidatif inaktivasyonu ile nükleik asitlerde meydana gelen hasar, mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerini durdurarak hücre ölümüne neden olmaktadır (Khadre vd. 2001; Kim vd. 2003). Bitki dokularıyla karşılaştırıldığında mikroorganizmaların antioksidan savunma kapasitesinin daha sınırlı olması, uygun dozlarda uygulanan ozonun meyve dokusuna zarar vermeden mikrobiyal popülasyonları seçici olarak baskılayabilmesini açıklamaktadır.

Çalışmada elde edilen mikrobiyolojik bulgular, solunum hızında gözlenen değişimlerin yorumlanmasına da katkı sağlamaktadır. Mikrobiyal kolonizasyonun artması, konukçu dokuda savunma mekanizmalarını aktive ederek reaktif oksijen türlerinin oluşumunu ve metabolik enerji gereksinimini artırabilmektedir. Dolayısıyla 2 ppm ozon uygulamasında mikrobiyal yükün azalması, yalnızca doğrudan ozon etkisiyle değil, aynı zamanda mikrobiyal kaynaklı stresin azalmasına bağlı olarak solunum hızının düşmesine de katkı sağlamış olabilir. Bu durum, hasat sonrası fizyolojik süreçler ile mikrobiyal aktivite arasındaki karşılıklı ilişkinin önemini göstermektedir.

Bu çalışmanın dikkat çekici yönlerinden biri, 2 ppm ozon uygulamasının antimikrobiyal etkinliği ile kalite özelliklerinin korunmasını birlikte sağlayabilmesidir. Mikrobiyal popülasyonda anlamlı azalma sağlanmasına rağmen sertlik, renk, elektrolit sızıntısı, pH, titre edilebilir asitlik ve oksidasyon-redüksiyon potansiyelinde istatistiksel olarak anlamlı değişiklikler meydana gelmemiştir. Hasat sonrası teknolojiler açısından değerlendirildiğinde bu durum önemli bir avantajdır; çünkü ideal bir muhafaza yöntemi yalnızca mikrobiyal gelişimi baskılamakla kalmamalı, aynı zamanda ürünün fiziksel, kimyasal ve duyusal özelliklerini de koruyabilmelidir.

Bu seçici etki, çilek dokusunun güçlü antioksidan savunma sistemiyle açıklanabilir. Çilek meyveleri askorbik asit, antosiyaninler ve fenolik bileşikler bakımından zengin olup, bu bileşikler ozonun oluşturduğu oksidatif stresin tamponlanmasına katkıda bulunmaktadır (Aaby vd. 2007; Giampieri vd. 2012). Buna karşılık, mikroorganizmaların oksidatif hasara karşı savunma mekanizmaları daha sınırlı olduğundan, ozon uygulamasına karşı daha duyarlı oldukları bilinmektedir. Bu fizyolojik farklılık, ozonun mikrobiyal yükü azaltırken meyve dokusunda belirgin kalite kaybı oluşturmamasını açıklayan temel mekanizmalardan biri olarak değerlendirilebilir.

Pratik açıdan değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular gaz halindeki ozonun ‘Albion’ çileğinde hasat sonrası muhafaza amacıyla uygulanabilecek çevre dostu ve kalıntı bırakmayan bir teknoloji olduğunu göstermektedir. Geleneksel kimyasal fungisit kullanımının giderek sınırlandığı ve tüketicilerin kalıntısız ürünlere yöneldiği günümüzde, oksijene hızla parçalanması, geniş spektrumlu antimikrobiyal etkinlik göstermesi ve mevcut soğuk depolama sistemlerine kolaylıkla entegre edilebilmesi nedeniyle ozon ticari uygulamalar açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, gaz halindeki ozon uygulaması ‘Albion’ çileğinde konsantrasyona bağlı ve seçici bir etki göstermiştir. Fizikokimyasal kalite özelliklerinin büyük ölçüde korunmasına karşın, özellikle 2 ppm konsantrasyonu mikrobiyal yükü ve solunum hızını anlamlı düzeyde azaltmıştır. Bu sonuçlar, uygun dozda uygulanan gaz halindeki ozonun meyvenin içsel kalite özelliklerini korurken mikrobiyal bozulmayı sınırlandırabileceğini ve böylece raf ömrünün uzatılmasına katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, farklı çilek çeşitlerinde, daha uzun depolama sürelerinde ve farklı ozon uygulama protokollerinde benzer etkinliğin doğrulanması için ileri çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, 4 °C'de 10 gün süreyle depolanan 'Albion' çileklerinde 0,5, 1 ve 2 ppm gaz halindeki ozon uygulamalarının hasat sonrası kalite özellikleri ile mikrobiyolojik kalite üzerine etkilerini değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, gaz halindeki ozonun etkisinin konsantrasyona bağlı olduğunu ve uygulamanın özellikle metabolik aktivite ile mikrobiyal gelişim üzerinde seçici etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur.

Uygulanan ozon konsantrasyonları sertlik, renk parametreleri (L*, a* ve b*), elektrolit sızıntısı, pH, titre edilebilir asitlik ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişikliğe neden olmamıştır. Benzer şekilde, depolama süresince meydana gelen ağırlık kaybı esas olarak depolama süresinden etkilenmiş, ozon uygulamasının bu parametre üzerindeki etkisi anlamlı bulunmamıştır. Bu sonuçlar, araştırmada kullanılan gaz halindeki ozon dozlarının meyvenin fiziksel ve kimyasal kalite özelliklerini koruduğunu ve kalite kayıplarına neden olmadığını göstermektedir.

Buna karşılık, solunum hızı ve toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı ozon uygulamasına anlamlı düzeyde yanıt vermiştir. Özellikle 2 ppm gaz halindeki ozon uygulaması, kontrol grubuna kıyasla solunum hızını önemli ölçüde azaltmış ve mikrobiyal yükü istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşürmüştür. Solunum hızındaki azalmanın, meyvede metabolik aktivitenin yavaşlatılması ve yaşlanma sürecinin geciktirilmesi açısından olumlu bir gösterge olduğu değerlendirilmektedir. Aynı zamanda mikrobiyal popülasyondaki azalma, gaz halindeki ozonun etkin bir yüzey dezenfeksiyonu sağlayarak ürün güvenliği ve raf ömrünün uzatılmasına katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Araştırma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, 2 ppm gaz halindeki ozon uygulamasının kalite özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden fizyolojik aktiviteyi baskıladığı ve mikrobiyal gelişimi sınırlandırdığı belirlenmiştir.

Bu durum, 2 ppm dozunun incelenen uygulama koşulları altında en uygun ozon konsantrasyonu olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, gaz halindeki ozonun kalıntı bırakmayan, çevre dostu ve ticari uygulamaya uygun alternatif bir hasat sonrası muhafaza yöntemi olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, bu çalışmanın sonuçları yalnızca 'Albion' çeşidi, 4 °C depolama sıcaklığı ve 10 günlük muhafaza süresi ile sınırlıdır. Bu nedenle elde edilen bulguların farklı üretim ve depolama koşullarına genellenebilmesi için ilave araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu kapsamda gelecekte yapılacak çalışmalarda aşağıdaki konuların araştırılması önerilmektedir:

- Farklı çilek çeşitlerinde gaz halindeki ozon uygulamalarının etkinliğinin karşılaştırılması ve çeşit × ozon etkileşimlerinin belirlenmesi.
- 10 günden daha uzun depolama sürelerinde ozonun kalite, raf ömrü ve mikrobiyal gelişim üzerine etkilerinin incelenmesi.
- Daha düşük (0,25 ppm gibi) ve daha yüksek (>2 ppm) ozon konsantrasyonları ile farklı uygulama sürelerinin ve uygulama sıklıklarının optimize edilmesi.
- Gaz halindeki ozonun modifiye atmosferde paketleme (MAP), kontrollü atmosfer depolama (KA), yenilebilir kaplamalar, UV-C, sıcak su uygulamaları ve doğal antimikrobiyal bileşikler gibi diğer hasat sonrası teknolojilerle birlikte kullanımının araştırılması.
- Ozon uygulamalarının askorbik asit, toplam fenolik madde, antosiyaninler, antioksidan kapasite ve aroma bileşenleri gibi besinsel ve fonksiyonel kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi.
- Ozonun antioksidan enzim sistemi (SOD, CAT, POD, APX vb.) ile oksidatif stres göstergeleri (MDA, H_2O_2 ve reaktif oksijen türleri) üzerindeki etkilerinin moleküler ve biyokimyasal düzeyde araştırılması.
- Gaz halindeki ozonun maya-küf florası, *Botrytis cinerea* gibi önemli hasat sonrası patojenler ve doğal mikrobiyota üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak değerlendirilmesi.
- Farklı sıcaklık ve bağıl nem koşullarında ozon uygulamasının etkinliğinin belirlenmesi ve soğuk zincirin farklı aşamalarındaki performansının incelenmesi.

- Ticari ölçekte ozon uygulamalarının ekonomik fizibilitesi, enerji tüketimi, işletme maliyeti ve yatırım geri dönüş süresinin değerlendirilmesi.
- Tüketici kabulü açısından renk, aroma, tat, doku ve genel beğeni gibi duyusal özelliklerin ozon uygulaması sonrasında ayrıntılı olarak analiz edilmesi.

Sonuç olarak, bu çalışma gaz halindeki ozonun, özellikle 2 ppm konsantrasyonunda uygulandığında, 'Albion' çileğinde kalite özelliklerini korurken metabolik aktiviteyi azaltan ve mikrobiyal gelişimi baskılayan etkili bir hasat sonrası muhafaza yöntemi olduğunu göstermiştir. Uygun doz ve uygulama koşullarının optimize edilmesiyle birlikte gaz halindeki ozonun sürdürülebilir, kalıntısız ve çevre dostu bir koruma teknolojisi olarak ticari çilek muhafazasında önemli bir alternatif oluşturabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Aaby, K., Wrolstad, R. E., Ekeberg, D., and Skrede, G. (2007). Polyphenol Composition and Antioxidant Activity in Strawberry Purees; Impact of Achene Level and Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *55*(13), 5156–5166. https://doi.org/10.1021/jf070467u

Aday, M. S., and Caner, C. (2014). Individual and combined effects of ultrasound, ozone and chlorine dioxide on strawberry storage life. LWT - Food Science and Technology, 57(1), 344–351. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.01.006

Alexandre, E. M. C., Santos-Pedro, D. M., Brandão, T. R. S., and Silva, C. L. M. (2011). Influence of aqueous ozone, blanching and combined treatments on microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress. Journal of Food Engineering, 105(2), 277–282. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.032

Ali, A., Yeoh, W. K., Forney, C., and Siddiqui, M. W. (2018). Advances in postharvest technologies to extend the storage life of minimally processed fruits and vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58(15), 2632–2649. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1339180

Amarjit Singh, N., Nickhil, C., Monika Devi, L., and Deka, S. C. (2025). Ozone Technology in Agriculture: A Sustainable Approach for Preserving Fruits, Vegetables, and Grains. Ozone: Science and Engineering, 47(5), 504–534. https://doi.org/10.1080/01919512.2025.2522097

Apel, K., and Hirt, H. (2004). Reactıve Oxygen Specıes: Metabolism, Oxidative Stress, and Signal Transduction. Annual Review of Plant Biology, 55(Volume 55, 2004), 373–399. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701

Ashraf, J., Hussain, Z., Javed, H. U., Tufail, T., and He, L. (2026). Packaging Strategies for Anthocyanin Stability and Nutritional Quality in Postharvest Fruit: Mechanisms and Emerging Technologies. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 25(3), e70502. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70502

Bajji, M., Kinet, J. M., and Lutts, S. (2002). The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. Plant Growth Regulation, 36(1), 61–70. https://doi.org/10.1023/A:1014732714549

Ben-Yehoshua, S., and Rodov, V. (2002). Transpiration and Water Stress. In Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables (2nd ed.). CRC Press.

Bialka, K. L., and Demirci, A. (2007). Utilization of Gaseous Ozone for the Decontamination of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella on Raspberries and Strawberries. Journal of Food Protection, 70(5), 1093–1098. https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.5.1093

Blum, A., and Ebercon, A. (1981). Cell Membrane Stability as a Measure of Drought and Heat Tolerance in Wheat1. Crop Science, 21(1), 43–47. https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100010013x

Brummell, D. A. (2006). Cell wall disassembly in ripening fruit. Functional Plant Biology, 33(2), 103–119. https://doi.org/10.1071/FP05234

Chaulagain, M., Dhakal, A., Adhikari, A., and Oli, D. (2022). Value Chaın Analysıs Of Strawberry In Nuwakot Dıstrıct. Reviews In Food and Agriculture, 3(1), 01–05. https://doi.org/10.26480/rfna.01.2022.01.05

Chen, C., Zhang, H., Dong, C., Ji, H., Zhang, X., Li, L., Ban, Z., Zhang, N., and Xue, W. (2019). Effect of ozone treatment on the phenylpropanoid biosynthesis of postharvest strawberries. RSC Advances, 9(44), 25429–25438. https://doi.org/10.1039/c9ra03988k

Chirumbolo, S., Tirelli, U., Franzini, M., Pandolfi, S., Ricevuti, G., Vaiano, F., and Valdenassi, L. (2023). Ozone in the adjunct medical treatment. The round personality of a molecule with hormetic properties. Human and Experimental Toxicology, 42, 09603271231218926. https://doi.org/10.1177/09603271231218926

Contigiani, E. V., Jaramillo-Sánchez, G., Castro, M. A., Gómez, P. L., and Alzamora, S. M. (2018). Postharvest Quality of Strawberry Fruit (Fragaria x Ananassa Duch cv. Albion) as Affected by Ozone Washing: Fungal Spoilage, Mechanical Properties, and Structure. Food and Bioprocess Technology, 11(9),1639–1650. https://doi.org/10.1007/s11947-018-21270

Contigiani, E. V., Kronberg, M. F., Jaramillo Sánchez, G., Gómez, P. L., García-Loredo, A. B., Munarriz, E., and Alzamora, S. M. (2020). Ozone washing decreases strawberry susceptibility to Botrytis cinerea while maintaining antioxidant, optical and sensory quality. Heliyon, 6(11). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05416

Duarte-Sierra, A., Tiznado-Hernández, M. E., Jha, D. K., Janmeja, N., and Arul, J. (2020). Abiotic stress hormesis: An approach to maintain quality, extend storability, and enhance phytochemicals on fresh produce during postharvest. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19(6), 3659–3682. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12628

Dzhanfezova, T., Barba-Espín, G., Müller, R., Joernsgaard, B., Hegelund, J. N., Madsen, B., Larsen, D. H., Martínez Vega, M., and Toldam-Andersen, T. B. (2020). Anthocyanin profile, antioxidant activity and total phenolic content of a strawberry (Fragaria × ananassa

Duch) genetic resource collection. Food Bioscience, 36, 100620. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100620

Famiani, F., Battistelli, A., Moscatello, S., Cruz-Castillo, J. G., and Walker, R. P. (2015). The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: Occurrence, metabolism and factors affecting their contents - a review. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 21(2), 97–128. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.01.004

Fan, X. (2021). Gaseous ozone to preserve quality and enhance microbial safety of fresh produce: Recent developments and research needs. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(5), 4993–5014. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12796

Feliziani, E., and Romanazzi, G. (2016). Postharvest decay of strawberry fruit: Etiology, epidemiology, and disease management. Journal of Berry Research, 6(1), 47–63. https://doi.org/10.3233/JBR-150113

Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., and Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: A review. Journal of Food Engineering, 52(2), 99–119. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6

Giampieri, F., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparrini, M., Alvarez-Suarez, J. M., Afrin, S., Bompadre, S., Quiles, J. L., Mezzetti, B., and Battino, M. (2015). Strawberry as a health promoter: An evidence based review. Food and Function, 6(5), 1386–1398. https://doi.org/10.1039/c5fo00147a

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., and Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. Nutrition, 28(1), 9–19. https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009

Glowacz, M., Colgan, R., and Rees, D. (2015). The use of ozone to extend the shelf-life and maintain quality of fresh produce. Journal of the Science of Food and Agriculture, 95(4), 662–671. https://doi.org/10.1002/jsfa.6776

Gonçalves-Magalhães, C., D'Antonino Faroni, L. R., Cecon, P. R., de Alencar, E. R., Silva, M. V. de A., Aparecida Zinato Rodrigues, A., da Piedade Edmundo Sitoe, E., and da Graça Lurdes Langa Massango, H. (2025). Potential of Ozonated Mist for Microbiological Disinfection and Preservation of the Physicochemical Quality of Strawberries. Ozone: Science and Engineering, 47(3), 263–277. https://doi.org/10.1080/01919512.2025.2454934

Halliwell, B., and Gutteridge, J. M. C. (2015). Free Radicals in Biology and Medicine. Oxford University Press.

Horvitz, S., and Cantalejo, M. J. (2014). Application of Ozone for the Postharvest Treatment of Fruits and Vegetables. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 54(3), 312–339. https://doi.org/10.1080/10408398.2011.584353

Kader, A. A. (Ed.). (2002). Postharvest technology of horticultural crops (3. ed). Univ. of California, Agriculture and Natural Resources Communication Services.

Kader, A. A., and Saltveit, M. E. (2002). Respiration and Gas Exchange. In Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables (2nd ed.). CRC Press.

Karaca, H., and Velioglu, Y. S. (2007). Ozone Applications in Fruit and Vegetable Processing. Food Reviews International, 23(1), 91–106. https://doi.org/10.1080/87559120600998221

Kårlund, A., Hanhineva, K., Lehtonen, M., Karjalainen, R. O., and Sandell, M. (2015). Nontargeted Metabolite Profiles and Sensory Properties of Strawberry Cultivars Grown both Organically and Conventionally. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63(3), 1010–1019. https://doi.org/10.1021/jf505183j

Khadre, M. a., Yousef, A. E., and Kim, J.-G. (2001). Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. Journal of Food Science, 66(9), 1242–1252. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15196.x

Kim, J.-G., Yousef, A. E., and Khadre, M. A. (2003). Ozone and its current and future application in the food industry. In Advances in Food and Nutrition Research (Vol. 45, pp. 167–218). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S1043-4526(03)45005-5

Lemic, D., Zorić, B., Novak, A., Ivić, D., Galešić, M. A., and Viric Gasparic, H. (2025). The Effectiveness of Ozone Technology Application in Extending the Shelf Life of Berry Fruit. Applied Fruit Science, 67(1), 35. https://doi.org/10.1007/s10341-025-01278-x

Li, T., Zheng, P., Li, X., Lu, Y., Şen, A., Siriwattananon, L., Wu, X., Zhang, L., Zhang, N., Dong, C., Ji, H., and Chen, C. (2026). Advances in Ozone Oxidation Technology: Mechanisms, Applications, and Challenges in Postharvest Fruit Preservation. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 25(2), e70437. https://doi.org/10.1111/1541-4337.70437

Lika, R., Socheata, C., and Sokra, I. (2026). Regulatory role of cell wall–modifying enzymes in fruit softening and texture development: A comprehensive review. https://doi.org/10.5281/ZENODO.17958893

Liu, C., Chen, C., Jiang, A., Zhang, Y., Zhao, Q., and Hu, W. (2021). Effects of aqueous ozone treatment on microbial growth, quality, and pesticide residue of fresh-cut cabbage. Food Science and Nutrition, 9(1), 52–61. https://doi.org/10.1002/fsn3.1870

Macías-Gallardo, F., Barajas-Díaz, C. G.-M., Mireles-Arriaga, A. I., and Ozuna, C. (2023). Strawberry Variety Influences the Effectiveness of Postharvest Treatment with Gaseous Ozone: Impact on the Physicochemical, Microbiological, and Bioactive Properties of the Fruit. Processes, 11(2), 346. https://doi.org/10.3390/pr11020346

Mahajan, P. V., Caleb, O. J., Singh, Z., Watkins, C. B., and Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences, 372(2017), 20130309. https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309

Maryam, A., Anwar, R., Malik, A. U., Raheem, M. I. U., Khan, A. S., Hasan, M. U., Hussain, Z., and Siddique, Z. (2021). Combined aqueous ozone and ultrasound application inhibits microbial spoilage, reduces pesticide residues and maintains storage quality of strawberry fruits. Journal of Food Measurement and Characterization, 15(2), 1437–1451. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00735-3

Miller, K., Feucht, W., and Schmid, M. (2019). Bioactive Compounds of Strawberry and Blueberry and Their Potential Health Effects Based on Human Intervention Studies: A Brief Overview. Nutrients, 11(7), 1510. https://doi.org/10.3390/nu11071510

Morais, M. L., Alvinhão, J. E. O., Franco, D. V., Silva, E. D. B., and Pinto, N. A. V. D. (2015). Applıcatıon Of Ozone Aımıng To Keep The Qualıty Of Strawberrıes Usıng A Low Cost Reactor. Revista Brasileira de Fruticultura, 37, 559–567. https://doi.org/10.1590/0100-2945-181/14

Nadas, A., Olmo, M., and García, J. m. (2003). Growth of Botrytis cinerea and Strawberry Quality in Ozone-enriched Atmospheres. Journal of Food Science, 68(5), 1798–1802. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12332.x

Nayak, S. L., Sethi, S., Sharma, R. R., Sharma, R. M., Singh, S., and Singh, D. (2020). Aqueous ozone controls decay and maintains quality attributes of strawberry (Fragaria × ananassa Duch.). Journal of Food Science and Technology, 57(1), 319–326. https://doi.org/10.1007/s13197-019-04063-3

Öztekin, S. (2018). Application of Ozone as a Postharvest Treatment. In Emerging Postharvest Treatment of Fruits and Vegetables. Apple Academic Press.

Palumbo, M., Attolico, G., Capozzi, V., Cozzolino, R., Corvino, A., de Chiara, M. L., Pace, B., Pelosi, S., Ricci, I., Romaniello, R., and Cefola, M. (2022). Emerging Postharvest Technologies to Enhance the Shelf-Life of Fruit and Vegetables: An Overview. Foods, 11(23), 3925. https://doi.org/10.3390/foods11233925

Pandiselvam, R., Subhashini, S., Banuu Priya, E. P., Kothakota, A., Ramesh, S. V., and Shahir, S. (2019). Ozone based food preservation: A promising green technology for enhanced food safety. Ozone: Science and Engineering, 41(1), 17–34. https://doi.org/10.1080/01919512.2018.1490636

Panou, A. A., Akrida-Demertzi, K., Demertzis, P., and Riganakos, K. A. (2021). Effect of Gaseous Ozone and Heat Treatment on Quality and Shelf Life of Fresh Strawberries during Cold Storage. International Journal of Fruit Science, 21(1), 218–231. https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1866735

Park, S., Stan, S. D., Daeschel, M. A., and Zhao, Y. (2005). Antifungal Coatings on Fresh Strawberries (Fragaria × ananassa) to Control Mold Growth During Cold Storage. Journal of Food Science, 70(4). https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07189.x

Pérez, A. G., Sanz, C., Ríos, J. J., Olías, R., and Olías, J. M. (1999). Effects of Ozone Treatment on Postharvest Strawberry Quality. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47(4), 1652–1656. https://doi.org/10.1021/jf980829l

Perkins-Veazie, P. (1995). Growth and Ripening of Strawberry Fruit. In J. Janick (Ed.), Horticultural Reviews (1st ed., pp. 267–297). Wiley. https://doi.org/10.1002/9780470650585.ch8

Priyadarshi, R., Jayakumar, A., De Souza, C. K., Rhim, J., and Kim, J. T. (2024). Advances in strawberry postharvest preservation and packaging: A comprehensive review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 23(4), e13417. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13417

Rocculi, P., Romani, S., Dalla Rosa, M., Tonutti, P., and Bacci, A. (2005). ınfluence of ozonated water on the structure and some quality parameters of whole strawberries in modified atmosphere packaging (MAP). Acta Horticulturae, (682), 1781–1788. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.682.238

Romanazzi, G., Feliziani, E., Santini, M., and Landi, L. (2013). Effectiveness of postharvest treatment with chitosan and other resistance inducers in the control of storage decay of strawberry. Postharvest Biology and Technology, 75, 24–27. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.07.007

Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., and Pessarakli, M. (2012). Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. Journal of Botany, 2012, 1–26. https://doi.org/10.1155/2012/217037

Sies, H., Mailloux, R. J., and Jakob, U. (2024). Fundamentals of redox regulation in biology. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 25(9), 701–719. https://doi.org/10.1038/s41580-024-00730-2

Sitoe, E. da P. E., Faroni, L. R. D., Lima, C. M. G., Leite, N. N., Morais, R. A., Pacheco, F. C., Machado, B. D. P., Santana, R. F., and Rocha, R. A. da. (2026). Exploiting Ozone for post-Harvest Preservation of Fruits and Vegetables: Application Techniques, Quality Effects, and Regulatory Frameworks. Food Reviews International, 42(3), 1692–1723. https://doi.org/10.1080/87559129.2025.2525424

Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Patras, A., Brunton, N., and Cullen, P. J. (2009). Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. Food Chemistry, 113(4), 1119–1126. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.085

Tzortzakis, N., and Chrysargyris, A. (2017). Postharvest ozone application for the preservation of fruits and vegetables. Food Reviews International, 33(3), 270–315. https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1175015

Vicente, A. R., Saladié, M., Rose, J. K., and Labavitch, J. M. (2007). The linkage between cell wall metabolism and fruit softening: Looking to the future. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87(8), 1435–1448. https://doi.org/10.1002/jsfa.2837

Wang, Y., Niu, Y., Ye, L., Shi, Y., and Luo, A. (2023). Ozone treatment modulates reactive oxygen species levels in kiwifruit through the antioxidant system: Insights from transcriptomic analysis. Journal of Plant Physiology, 291, 154135. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2023.154135

Wills, R. B. H. (Ed.). (1998). Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals (4th ed). UNSW Press ; Cab International.

Xue, W., Macleod, J., and Blaxland, J. (2023). The Use of Ozone Technology to Control Microorganism Growth, Enhance Food Safety and Extend Shelf Life: A Promising Food Decontamination Technology. Foods, 12(4), 814. https://doi.org/10.3390/foods12040814

Zardzewiały, M., Basara, O., Kapusta, I., Balawejder, M., and Gorzelany, J. (2026). Application of Gaseous Ozone to Enhance Quality and Microbiological Safety of Strawberries. Molecules, 31(1), 42. https://doi.org/10.3390/molecules31010042

Zhang, H., Li, K., Zhang, X., Dong, C., Ji, H., Ke, R., Ban, Z., Hu, Y., Lin, S., and Chen, C. (2020). Effects of ozone treatment on the antioxidant capacity of postharvest strawberry. RSC Advances, 10(63), 38142–38157. https://doi.org/10.1039/d0ra06448c

Zhang, X., Zhang, Z., Wang, L., Zhang, Z., Li, J., and Zhao, C. (2011). Impact of ozone on quality of strawberry during cold storage. Frontiers of Agriculture in China, 5(3), 356–360. https://doi.org/10.1007/s11703-011-1053-y

EKLER

Ek A.

Tablo 0.1. Ozon uygulaması ve depolama süresinin çilek kalite parametreleri üzerindeki etkilerine ilişkin iki yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçlar

Değişken	Varyasyon kaynağı	SD	Kareler toplamı	Ortalama kare	F değeri	p-değeri	İstatiksel anlamlılık
Sertlik (N)	Uygulama	3	0,041111	0,013704	0,4941	0,6918	ns
	Gün	4	0,012806	0,003201	0,1154	0,9750	ns
	Model	7	0,052868	0,007553	0,2723	0,9554	ns
	Hata	15	0,416028	0,027735			
	D. toplam	22	0,468896				
Kilo Kaybı (%)	Uygulama	3	0,176482	0,058827	0,4852	0,6976	ns
	Gün	4	1,820943	0,455236	3,7546	0,0261	*
	Model	7	2,471371	0,353053	2,9119	0,0390	*
	Hata	15	1,818690	0,121246			
	D. toplam	22	4,290061				
Solunum Hızı (mL CO_2 kg^{-1} h^{-1})	Uygulama	3	22,981640	7,660547	3,7134	0,0353	*
	Gün	4	1,519151	0,379788	0,1841	0,9431	ns
	Model	7	49,389638	7,055663	3,4202	0,0217	*
	Hata	15	30,944249	2,062950			
	D. toplam	22	80,333887				
L* (Açıklık)	Uygulama	3	18,319965	6,106655	2,6544	0,0863	ns
	Gün	4	10,228315	2,557079	1,1115	0,3874	ns
	Model	7	23,262339	3,323191	1,4445	0,2594	ns
	Hata	15	34,509235	2,300616			
	D. Toplam	22	57,771574				
a* (Kırmızılık)	Uygulama	3	4,596222	1,532074	0,1105	0,9526	ns
	Gün	4	45,407509	11,351877	0,8189	0,5329	ns
	Model	7	72,178250	10,311179	0,7438	0,6400	ns
	Hata	15	207,933090	13,862206			
	D. toplam	22	280,111350				
b* (Sarılık)	Uygulama	3	0,285671	0,095224	0,0073	0,9991	ns
	Gün	4	62,204754	15,551189	1,1996	0,3514	ns
	Model	7	171.121	21.3902	3.2627	0.8885	ns
	Hata	22	256,925723				
	D. toplam	22	321,289465				

Tablo 0.2 (Devam). Ozon uygulaması ve depolama süresinin çilek kalite parametreleri üzerindeki etkilerine ilişkin iki yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçlar

Elektrolit Sızıntısı (%)	Uygulama	3	12,441610	4,147203	0,4887	0,6953	ns
	Gün	4	113,762510	28,440628	3,3515	0,0378	*
	Model	7	124,726340	17,818049	2,0997	0,1079	ns
	Hata	15	127,289990	8,485999			
	D. toplam	22	252,016330				
Çözünür Katı Madde İçeriği (SSC %)	Uygulama	3	0,360095	0,120032	0,5658	0,6459	ns
	Gün	4	0,086623	0,021656	0,1021	0,9800	ns
	Model	7	0,487438	0,069634	0,3282	0,9290	ns
	Hata	15	3,182127	0,212142			
	D. toplam	22	3,669565				
pH	Uygulama	3	0,036353	0,012118	2,4261	0,1059	ns
	Gün	4	0,063464	0,015866	3,1766	0,0445	*
	Model	7	0,090463	0,012923	2,5874	0,0579	ns
	Hata	15	0,074919	0,004995			
	D. toplam	22	0,165383				
Titrasyonla Belirlenen Asitlik (%)	Uygulama	3	0,009014	0,003005	0,9688	0,4332	ns
	Gün	4	0,035618	0,008905	2,8712	0,0598	ns
	Model	7	0,055428	0,007918	2,5532	0,0604	ns
	Hata	15	0,046520	0,003101			
	D. toplam	22	0,101948				
ORP (mV)	Uygulama	3	68,983856	22,994619	2,3676	0,1117	ns
	Gün	4	10,525522	2,631381	0,2709	0,8921	ns
	Model	7	117,534580	16,790654	1,7288	0,1767	ns
	Hata	15	145,682810	9,712187			
	D. toplam	22	263,217390				
Log KOB	Uygulama	3	0,179753	0,059918	6,9161	0,0130	*
	Hata	8	0,069308	0,008664			
	D. toplam	11	0,249062				

ns = anlamlı değil ($p > 0,05$); * = $p < 0,05$ düzeyinde anlam