

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI ET ÖRNEKLERİNİN ATMOSFERİK VE MODİFİYE
ATMOSFER PAKETLENMESİNDE KULLANILAN TAZELİK
İNDİKATÖRÜ DOĞAL VE YAPAY BOYALAR**

DOKTORA TEZİ

ORHAN ÖZÜNLÜ

DENİZLİ, ARALIK - 2023

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**FARKLI ET ÖRNEKLERİNİN ATMOSFERİK VE MODİFİYE
ATMOSFER PAKETLENMESİNDE KULLANILAN TAZELİK
İNDİKATÖRÜ DOĞAL VE YAPAY BOYALAR**

DOKTORA TEZİ

ORHAN ÖZÜNLÜ

DENİZLİ, ARALIK - 2023

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
Koordinasyon Birimi tarafından 2021FEBE054 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

ORHAN ÖZÜNLÜ

ÖZET

FARKLI ET ÖRNEKLERİNİN ATMOSFERİK VE MODİFİYE ATMOSFER PAKETLENMESİNDE KULLANILAN TAZELİK İNDİKATÖRÜ DOĞAL VE YAPAY BOYALAR

DOKTORA TEZİ
ORHAN ÖZÜNLÜ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. HALUK ERGEZER)

DENİZLİ, ARALIK - 2023

Bu çalışmada, farklı hayvan etlerinin (dana kıyması, tavuk göğüs filetosu ve alabalık filetosu) paketlenmesinde (modifiye atmosfer ve atmosferik oksijen) tüketicilerin dikkatini çekebilen ve akıllı etiket olarak tarif edilen doğal (nar, şalgam ve kırmızılahana suyu) ve yapay (metil kırmızısı ve bromokresol yeşili) boya katkılı kağıt (Whatman no:1 filtre kağıdı) tipi pH indikatörlerinin üretimi gerçekleştirilerek ürün paketleri üzerinde yazılı olan son kullanma tarihi ile kıyaslanabilmesi amaçlanmıştır. Atmosferik oksijenle paketlenen örnekler 10 gün, modifiye atmosferde paketlenen örnekler (dana kıyması: %70 O₂, %20 CO₂ ve %10 N₂; tavuk göğüs filetosu ve alabalık filetosu: %30 CO₂ ve %70 N₂) ise 20 gün süreyle buzdolabı koşullarında (4°C) muhafaza edilmiş ve depolama boyunca hem atmosferik oksijenle paketlenen hem de modifiye atmosferde paketlenen örneklerin fizikokimyasal (pH, renk, a_w, lipid ve protein oksidasyonu, TVB-N ve uçucu aromatik bileşikler) ve mikrobiyolojik (toplam psikrofilik aerobik, toplam koliform ve toplam koliform canlı sayımı) özelliklerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Ayrıca, örneklerin paketlenmesinde kullanılan akıllı etiketlerin renklerinde meydana gelen değişiklikler (akıllı bir telefon yardımıyla) incelenmiştir. Depolama boyunca hem atmosferik hem de modifiye atmosferde paketlenen örneklerin pH değerinde ve toplam mikroorganizma sayılarında (toplam psikrofilik, toplam koliform ve toplam maya-küf) önemli artışlar yaşanmış (P<0,05) ve buna bağlı olarak indikatörlerin renklerinde önemli değişiklikler gözlenmiştir. Depolama boyunca hem atmosferik oksijenle hem de modifiye atmosferde paketlenen et örneklerinin kırmızılık (a*) değerlerinde önemli düşüşler (P<0,05) görülürken et örneklerinin TBARS değerlerinde, karbonil içeriklerinde ve sarılık (b*) değerlerinde önemli artışların yaşandığı tespit edilmiştir (P<0,05).

ANAHTAR KELİMELER: Raf ömrü, Oksidasyon, Dana Kıyması, Tavuk Göğüs Filetosu, Alabalık Filetosu, İndikatör, Akıllı Paketleme

ABSTRACT

FRESHNESS INDICATOR NATURAL AND ARTIFICIAL DYES USED IN ATMOSPHERIC AND MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING OF DIFFERENT MEAT SAMPLES

PH.D THESIS

ORHAN ÖZÜNLÜ

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
FOOD ENGINEERING**

(SUPERVISOR:DOÇ. DR. HALUK ERGEZER)

DENİZLİ, DECEMBER 2023

In this study, we are aimed to develop various pH-sensitive indicator labels prepared by adsorbing onto Whatman filter paper (no:1) using natural (pomegranate juice, red cabbage extract, turnip juice) and synthetic dyes (bromocresol green and methyl red solution) that both could attract the attention of consumers to the freshness of the packaged meat samples (beef mince, chicken breast, and trout fillet), and could be compare the expiration date written on the product samples. The meat samples packaged with air oxygen were stored for 10 days at 4°C, while the packaged meat samples under modified atmosphere packaging (for beef mince: %70 O₂, %20 CO₂, and %10 N₂; for chicken breast and trout fillet: %30 CO₂ and %70 N₂) were stored for 20 days at refrigerated storage, and the physicochemical (pH, instrumental color value, a_w, lipid and protein oxidation, TVB-N content and volatile aromatic compounds), and microbiological (total psychrophilic aerobic, total coliform and total mold-yeast viable count) properties in the packaged meat samples were carried out during storage periods. Moreover, the color changes that occurred in the indicator labels were recorded simultaneously using a smart mobile phone over storage time. Throughout storage, significant increases were observed in pH value and total microorganisms (total psychrophilic, total coliform and total yeast-mold) of the both air oxygen and modified atmosphere packaged meat samples (P<0,05), and the indicator labels were exhibited important color changes depending on pH value and microbiological activity. During the storage periods, while the redness (a*) values of the all samples were statistically decreased (P<0,05), the TBARS value, carbonyl content and yellowness (b*) values of the all samples were significantly increased (P<0,05).

KEYWORDS: Shelf Life, Oxidation, Beef Mince, Chicken Breast Fillet, Trout Fillet, Indicator, Smart Packaging

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	x
SEMBOL LİSTESİ.....	xii
ÖNSÖZ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1 Et Üretimi ve Etin Beslenme Açısından Önemi.....	5
2.2 Etin Bozulması	7
2.2.1 Fiziksel Bozulma.....	7
2.2.2 Kimyasal Bozulma	7
2.2.2.1 Lipid Oksidasyonu	7
2.2.2.2 Protein Oksidasyonu	9
2.2.2.3 Enzimatik Bozulma.....	10
2.2.3 Mikrobiyal Bozulma.....	11
3. ET PAKETLEME YÖNTEMLERİ	14
3.1 Atmosferik Oksijenle Paketleme	14
3.2 Vakum Paketleme	15
3.3 Modifiye Atmosferde Paketleme	17
3.4 Yenilebilir Film ve Kaplamalarla Paketleme	20
3.5 Biyobazlı Nanokompozitler	21
3.6 Sous-Vide Paketleme	23
3.7 Aktif Paketleme	24
3.7.1 Oksijen Tutucular	25
3.7.2 Karbondioksit Düzenleyiciler	27
3.7.3 Nem Tutucular	31
3.7.4 Antioksidan Paketleme	31
3.7.5 Antimikrobiyal Paketleme	33
3.8 Akıllı Paketleme	34
3.8.1 Barkodlar	35
3.8.2 RFID (Radio frequency identification) Etiketleri	36
3.8.3 Zaman-Sıcaklık Göstergeleri	37
3.8.4 Gaz Göstergeleri.....	39
3.8.5 Tazelik Göstergeleri	40
3.8.6 Patojen Göstergeler	41
3.8.6.1 Etlerin Akıllı Paketlenmesinde Kullanılan Bileşikler.....	42
3.8.6.1.1 Antosiyaninler	42
3.8.6.1.2 Klorofiller.....	45
3.8.6.1.3 Karotenoidler.....	46
3.8.6.1.4 Betalainler	46
3.8.6.1.5 Sentetik Boyalar	47
3.8.7 Literatür Özeti.....	48
4. MATERYAL VE METOT.....	51

4.1. Materyal	51
4.2. Boyar Maddelerin Elde Edilmesi	51
4.2.1. Nar Suyu	51
4.2.2. Şalgam Suyu	52
4.2.3. Kırmızı Lahana Suyu	52
4.3. pH İndikatörlerin Üretimi	53
4.3.1. Doğal Boyar Maddeler Kullanılarak pH İndikatörlerin Üretimi	53
4.3.2. Sentetik Boyar Maddeler Kullanılarak pH İndikatörlerin Üretimi	53
4.4. Etlerin Paketlenmesi	54
4.4.1. Atmosferik Oksijenle Paketleme	54
4.4.2. Modifiye Atmosferde Paketleme	54
4.5. Analizler	55
4.5.1. Doğal Boya Çözeltilerinde Gerçekleştirilen Analizler	55
4.5.1.1. Toplam Fenolik Madde Miktarı	55
4.5.1.2. DPPH ile Antiradikal Aktivite Analizi	56
4.5.1.3. Toplam Antosiyaninlerin Belirlenmesi	57
4.5.2. Et Örneklerinde Gerçekleştirilen Analizler	58
4.5.2.1. Nem Miktarı	58
4.5.2.2. Yağ Miktarı	59
4.5.2.3. Protein Miktarı	60
4.5.2.4. Kül Miktarı	61
4.5.2.5. Karbonhidrat Miktarı	62
4.5.2.6. Renk Ölçümü	62
4.5.2.7. pH Ölçümü	63
4.5.2.8. Su Aktivitesi Tayini	64
4.5.2.9. TBARS Değeri	64
4.5.2.10. Karbonil İçeriği	65
4.5.2.11. Mikrobiyolojik Analizler	66
4.5.2.12. Toplam Uçucu Bazik Nitrojen (TVB-N) Miktarı	69
4.5.2.13. GC-MS ile Uçucu Aromatik Bileşen Analizi	69
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	71
5.1 Farklı pH'lara Ayarlanmış Doğal ve Yapay Boyar Maddelerin Renginde Meydana Gelen Değişimler	71
5.1.1 Farklı pH'lara Ayarlanmış Hicaz Nar Suyunun Renginde Meydana Gelen Değişiklikler	71
5.1.2 Farklı pH'lara Ayarlanmış Kırmızı lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler	73
5.1.3 Farklı pH'lara Ayarlanmış Şalgam Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler	76
5.1.4 Farklı pH'lara Ayarlanmış Bromkresol Yeşili Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler	78
5.1.5 Farklı pH'lara Ayarlanmış Metil Kırmızısı Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler	80
5.2 Doğal Boyar Maddelerin Toplam Fenolik Madde, DPPH ile Antiradikal Aktivite ve Toplam Antosiyanin Miktarı Sonuçları	82
5.3 Atmosferik Oksijenle Paketlenen Örneklerin Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	85
5.3.1 Dana Kıymasının Atmosferik Oksijenle Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi	85

5.3.2	Tavuk Göğüs Filetolarının Atmosferik Oksijenle Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi.....	88
5.3.3	Alabalık Filetolarının Atmosferik Oksijenle Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi.....	90
5.3.4	Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Et Örneklerinin Kimyasal Bileşim Sonuçları	92
5.3.5	Renk Değerleri (L*, a* ve b*) Sonuçları.....	94
5.3.5.1	Dana Kıymasının Renk Değeri Sonuçları	94
5.3.5.2	Tavuk Göğsü Filetolarının Renk Değeri Sonuçları	97
5.3.5.3	Alabalık Filetolarının Renk Değeri Sonuçları.....	100
5.3.6	pH Sonuçları	102
5.3.6.1	Dana Kıymasının pH Sonuçları.....	102
5.3.6.2	Tavuk Göğsü Filetolarının pH Sonuçları	104
5.3.6.3	Alabalık Filetolarının pH Sonuçları.....	105
5.3.7	Su Aktivitesi (a _w) Sonuçları.....	107
5.3.7.1	Dana Kıymalarının Su Aktivitesi Sonuçları.....	107
5.3.7.2	Tavuk Göğsü Filetolarının Su Aktivitesi Sonuçları.....	109
5.3.7.3	Alabalık Filetolarının Su Aktivitesi Sonuçları	110
5.3.8	Et Örneklerinin TBARS ve Karbonil İçeriği Sonuçları	112
5.3.9	Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	118
5.3.9.1	Dana Kıymasının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları.....	119
5.3.9.2	Tavuk Göğsü Filetolarının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	121
5.3.9.3	Alabalık Filetolarının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları.....	123
5.3.10	Toplam Uçucu Bazik Nitrojen (TVB-N) Miktarı Sonuçları.....	126
5.3.11	Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları.....	129
5.3.11.1	Dana Kıymalarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları.....	131
5.3.11.2	Tavuk Göğsü Filetolarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları.....	133
5.3.11.3	Alabalık Filetolarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları.....	134
5.4	Modifiye Atmosferde Paketlenen Örneklerin Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	137
5.4.1	Dana Kıymasının Modifiye Atmosferde Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi ...	137
5.4.2	Tavuk Göğüs Filetolarının Modifiye Atmosferde Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi.....	139
5.4.3	Alabalık Filetosunun Modifiye Atmosferde Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi.....	140
5.4.4	Renk Değerleri (L*, a* ve b*) Sonuçları.....	142
5.4.4.1	Dana Kıymasının Renk Değeri Sonuçları	142
5.4.4.2	Tavuk Göğsü Filetolarının Renk Değeri Sonuçları	145
5.4.4.3	Alabalık Filetolarının Renk Değeri Sonuçları.....	148
5.4.5	pH Sonuçları	151
5.4.5.1	Dana Kıymasının pH Sonuçları.....	151

5.4.5.2	Tavuk Göğsü Filetolarının pH Sonuçları	153
5.4.5.3	Alabalık Filetolarının pH Sonuçları.....	154
5.4.6	Su Aktivitesi Sonuçları.....	156
5.4.6.1	Dana Kıymasının Su Aktivitesi Sonuçları	156
5.4.6.2	Tavuk Göğsü Filetolarının Su Aktivitesi Sonuçları.....	157
5.4.6.3	Alabalık Filetolarının Su Aktivitesi Sonuçları	159
5.4.7	Et Örneklerinin TBARS Değeri ve Karbonil İçeriği Sonuçları	160
5.4.8	Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	165
5.4.8.1	Dana Kıymasının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları.....	165
5.4.8.2	Tavuk Göğsü Filetolarının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları	168
5.4.8.3	Alabalık Filetolarının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları.....	171
5.4.9	Toplam Uçucu Bazik Nitrojen Miktarı (TVB-N) Analiz Sonuçları.....	173
5.4.10	Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları.....	176
5.4.10.1	Dana Kıymasının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları.....	176
5.4.10.2	Tavuk Göğsü Filetolarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları.....	178
5.4.10.3	Alabalık Filetolarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları.....	181
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	184
7.	KAYNAKLAR	194
8.	EKLER	252

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Vitsab Checkpoint® Zaman Sıcaklık Gösterge Etiketi.	37
Şekil 3.2: Mitsubishi Gaz Kimyasal Şirketi Trarafından Ageless Eye® İsimli Bir Oksijen Göstergesi.	38
Şekil 3.3: Gıdalarda Bulunan Önemli Antosiyaninlerin Kimyasal Yapıları	41
Şekil 3.4: Gıdalarda Bulunan Önemli Antosiyaninlerin Kimyasal Yapıları	45
Şekil 3.5: Betalainlerin Genel Yapısı	46
Şekil 3.6: Bazı Sentetik Boyaların Farklı pH Koşullarındaki Renkleri.	48
Şekil 4.1: Santrifüj Cihazı.	52
Şekil 4.2: Modifiye Atmosferde Paketleme Cihazı.....	55
Şekil 4.3: Modifiye Atmosferde Kullanılan Gaz Tüpleri	55
Şekil 4.4: Gallik Asit Kalibrasyon Eğrisi.	56
Şekil 4.5: Nem Tayininde Kullanılan Etüv.....	58
Şekil 4.6: Döner Buharlaştırıcı.....	59
Şekil 4.7: Yarı Otomatik Protein Tayini Cihazı.....	61
Şekil 4.8: Kül Fırını.	62
Şekil 4.9: Renk Ölçüm Cihazı.....	63
Şekil 4.10: pH Metre	63
Şekil 4.11: Su Aktivitesi Cihazı.....	64
Şekil 4.12: Spektrofotometre.	65
Şekil 4.13: Homojenizatör.	65
Şekil 4.14: Eppendorf Tüpleri İçin Santrifüj Cihazı	66
Şekil 4.15: Otoklav.....	68
Şekil 4.16: Mikrodalga Fırını.	68
Şekil 4.17: Toplam Psikrofilik Bakteri Sayımında Kullanılan İnkübatör.	68
Şekil 4.18: Toplam Koliform Bakteri Sayımında Kullanılan İnkübatör	68
Şekil 4.19: Toplam Maya-Küf Sayımında Kullanılan İnkübatör.....	69
Şekil 5.1: Farklı pH'lara Ayarlanmış Hicaz Nar Suyunun Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.	71
Şekil 5.2: Farklı pH'larda Nar Ekstraktının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.	72
Şekil 5.3: Farklı pH'larda Mor Patates Ekstraktının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler	72
Şekil 5.4: Farklı pH Aralığında Siyah Havuç Suyunun Renginde Meydana Gelen Değişiklikler	73
Şekil 5.5: Farklı pH'lara Ayarlanmış Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	74
Şekil 5.6: pH: 4 ile 10 Aralığında Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	74
Şekil 5.7: pH: 1 ile 13 Aralığında Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler	75
Şekil 5.8: pH: 3 ile 10 Aralığında Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler	75
Şekil 5.9: Farklı pH Koşullarında Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	75

Şekil 5.10: Farklı pH'lara Ayarlanmış Şalgam Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	76
Şekil 5.11: Farklı pH'lara Ayarlanmış Yaban Mersini Ekstraktının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	77
Şekil 5.12: Farklı pH'lara Ayarlanmış Karadut Ekstraktının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	77
Şekil 5.13: Farklı pH'lara Ayarlanmış Siyah Havuç Ekstraktının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	78
Şekil 5.14: Farklı pH'lara Ayarlanmış Bromkresol Yeşili Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	79
Şekil 5.15: pH: 3 ile 8 Aralığında Bromkresol Yeşili Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	79
Şekil 5.16: Farklı pH'lara Ayarlanmış Bromtimol Mavisini Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	80
Şekil 5.17: Farklı pH'lara Ayarlanmış Metil Kırmızısı Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	81
Şekil 5.18: pH: 6,4 ile 10,1 Aralığında Metil Kırmızısı Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	81
Şekil 5.19: Farklı pH'lara Ayarlanmış Bromkresol Yeşili-Metil Kırmızısı Boyası Karışımının (3:2) Renginde Meydana Gelen Değişiklikler.....	82
Şekil 5.20: Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Dana Kıymalarının Aletsel Renk Değerinde (L*, a* ve b*) Meydana Gelen Değişiklikler.....	95
Şekil 5.21: Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Tavuk Göğsü Filetolarının Aletsel Renk Değerinde (L*, a* ve b*) Meydana Gelen Değişiklikler.....	98
Şekil 5.22: Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Alabalık Filetolarının Aletsel Renk Değerinde (L*, a* ve b*) Meydana Gelen Değişiklikler.....	100
Şekil 5.23: Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Dana Kıymalarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	103
Şekil 5.24: Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Tavuk Göğsü Filetolarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	105
Şekil 5.25: Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Alabalık Filetolarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	106
Şekil 5.26: Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Dana Kıymalarının Su Aktivitesi (a _w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	108
Şekil 5.27: Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Tavuk Göğsü Filetolarının Su Aktivitesi (a _w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	109
Şekil 5.28: Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Alabalık Filetolarının Su Aktivitesi (a _w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	111
Şekil 5.29: Depolama Boyunca (4°C, 10 gün) Atmosferik Oksijen Altında Paketlenmiş Farklı Et Örneklerinin TBARS Değerinde (mg	

	malondialdehit/kg) ve Karbonil İçeriğinde (nmol karbonil/mg protein) Meydana Gelen Değişiklikler.....	113
Şekil 5.30:	Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Dana Kıymalarının Aletsel Renk Değerinde (L*, a* ve b*) Meydana Gelen Değişiklikler.....	143
Şekil 5.31:	Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Tavuk Göğsü Filetolarının Aletsel Renk Değerinde (L*, a* ve b*) Meydana Gelen Değişiklikler.....	146
Şekil 5.32:	Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Alabalık Filetolarının Aletsel Renk Değerinde (L*, a* ve b*) Meydana Gelen Değişiklikler.....	149
Şekil 5.33:	Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Dana Kıymalarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	152
Şekil 5.34:	Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Tavuk Göğsü Filetolarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	153
Şekil 5.35:	Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Alabalık Filetolarını pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	155
Şekil 5.36:	Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Dana Kıymalarının Su Aktivitesi (a _w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	156
Şekil 5.37:	Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Tavuk Göğsü Filetolarının Su Aktivitesi (a _w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	158
Şekil 5.38:	Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Alabalık Filetolarının Su Aktivitesi (a _w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler.....	159
Şekil 5.39:	Depolama Boyunca (4°C, 20 gün) Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Farklı Et Örneklerinin TBARS Değerinde (mg malondialdehit/kg) ve Karbonil İçeriğinde (nm karbonil/mg prtein) Meydana Gelen Değişiklikler.....	161

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Bozulma veya patojen karakterli bakterilerin üretmiş oldukları bileşikler.....	13
Tablo 3.1: Bazı et ve ürünlerinin modifiye atmosferde paketlenmesinde kullanılan gaz bileşimleri	18
Tablo 3.2: Et ve ürünlerinde ticari olarak kullanılan oksijen tutucu sistemler.	25
Tablo 3.3: Et ve ürünlerine uygulanan ticari olarak temin edilebilen karbondioksit jeneratörleri.	29
Tablo 3.4: Gıda endüstrisinde kullanılan barkod sistemleri.....	34
Tablo 3.5: Antosiyanin bileşimini oluşturan önemli bileşikler.	43
Tablo 3.6: Bazı antosiyanince zengin meyve ve sebzelerin farklı pH koşullarındaki renkleri.	44
Tablo 5.1: İndikatör üretiminde kullanılan doğal boyar maddelerin TFMM, DPPH ile antiradikal aktivite ve TAM sonuçları	83
Tablo 5.2: Akıllı etiketlere verilen kodların açılımı	85
Tablo 5.3: Depolama boyunca (4°C, 10 gün) dana kıymasının atmosferik oksijenle paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler	87
Tablo 5.4: Depolama boyunca (4°C, 10 gün) tavuk göğüs filetoalarının atmosferik oksijenle paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler.....	89
Tablo 5.5: Depolama boyunca (4°C, 10 gün) alabalık filetoalarının atmosferik oksijenle paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler.....	91
Tablo 5.6: Dana kıyması, tavuk göğsü ve alabalık filetoalarının kimyasal bileşimi.....	92
Tablo 5.7: Dana kıymalarının buzdolabı koşullarında (4°C±1°C) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler.....	119
Tablo 5.8: Tavuk göğsü filetoalarının buzdolabı koşullarında (4°C±1°C) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler... ..	122
Tablo 5.9: Alabalık filetoalarının buzdolabı koşullarında (4°C±1°C) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler... ..	124
Tablo 5.10: Atmosferik oksijenle paketlenen farklı et örneklerinin depolanması sırasında (4°C, 10 gün) TVB-N değerlerinde (mg/100 g) meydana gelen değişiklikler.....	127
Tablo 5.11: Atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları.....	132
Tablo 5.12: Atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğsü filetoalarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları.	134
Tablo 5.13: Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetoalarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları.....	136

Tablo 5.14: Depolama boyunca (4°C, 20 gün) dana kıymasının modifiye atmosferde (%70 O ₂ + %20 CO ₂ + %10 N ₂) paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler.	138
Tablo 5.15: Depolama boyunca (4°C, 20 gün) tavuk göğüs filetosunun modifiye atmosferde (%30 CO ₂ + %70 N ₂) paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler	140
Tablo 5.16: Depolama boyunca (4°C, 20 gün) alabalık filetolarının modifiye atmosferde (%30 CO ₂ + %70 N ₂) paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler.	141
Tablo 5.17: Dana kıymalarının buzdolabı koşullarında (4°C±1°C) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler	166
Tablo 5.18: Tavuk göğsü filetolarının buzdolabı koşullarında (4°C±1°C) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler.....	168
Tablo 5.19: Alabalık filetolarının buzdolabı koşullarında (4°C±1°C) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler	171
Tablo 5.20: Modifiye atmosferde paketlenen farklı et örneklerinin depolanması sırasında (4°C, 20 gün) TVB-N değerlerinde meydana gelen değişiklikler.....	173
Tablo 5.21: Modifiye atmosferde paketlenen dana kıymaların uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları.....	178
Tablo 5.22: Modifiye atmosferde paketlenen tavuk göğsü filetolarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları.	180
Tablo 5.23: Modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetolarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları.....	183

SEMBOL LİSTESİ

°C	: Santigrat
TFMM	: Toplam fenolik madde
ppm	: parts per million (milyonda bir)
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
DPPH	: DPPH ile antiradikal aktivite değeri
TAM	: Toplam antosiyanin miktarı
rpm	: round per minute (devir/dakika)
L*	: Aletsel parlaklık değeri
a*	: Aletsel kırmızılık değeri
b*	: Aletsel sarılık değeri
pH	: Aktif asitlik (hidrojen iyonu konsantrasyonunun negatif logaritması)
g	: Gram
mg	: Miligram
µg	: Mikrogram
kg	: Kilogram
DK	: Dana kıyması
TGF	: Tavuk göğsü filetosu
AF	: Alabalık filetosu
TBARS	: Tiyobarbutirik asit reaktif maddeler
MA	: Malondialdehit
a_w	: Su aktivitesi
TPAC	: Toplam psikrofilik aerobik canlı sayısı
TKBS	: Toplam koliform bakteri sayısı
MK	: Maya-küf sayısı
TVB-N	: Toplam uçucu bazik nitrojen
O₂	: Oksijen
CO₂	: Karbondioksit
N₂	: Azot
Ar	: Argon
CO	: Karbonmonoksit

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve birikimleriyle tecrübelerini aktaran danışmanım Doç. Dr. Haluk Ergezer hocama, tez çalışmam sürecinde maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim annem Şükran Özünü'ye ve babam (merhum) Erdal Özünü'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarına fikirleri ile yön veren ve bazı analizlerin gerçekleştirilmesinde önemli katkıları bulunan Prof. Dr. Ramazan Gökçe, Prof. Dr. Hakan Karaca, Doç. Dr. Emin Burçin Özvural ve Dr. Öğr. Üyesi Ceyda Söbeli hocalarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tezimin deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen başta Gıda Yüksek Mühendisi Durdali İnce olmak üzere Gıda Yüksek Mühendisi ve Gıda Mühendisi arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Projeyi maddi açıdan destekleyen Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve doktora çalışmalarım süresince burs desteği sağlayan TÜBİTAK 2211/A Genel Yurtiçi Doktora Burs Programı ve YÖK 100/2000 Öncelikli Alan (Yenilikçi Gıda İşleme Teknolojileri ve Gıda Biyoteknolojisi) doktora burs programına teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yeterli ve dengeli beslenebilmesi için vücudun gereksinim duyduğu makro besin öğeleri olan karbonhidrat, yağ ve proteini belirli sınırlar içerisinde tüketmesi gerekir. Bu açıdan, et ve ürünlerinin yeterli ve dengeli beslenme anlayışı içerisinde önemli bir yeri vardır. Et; değişik türden proteinler, farklı nitelikteki lipidler, vitaminler (özellikle A ve B vitamini) ve mineraller (demir ve çinko gibi) açısından oldukça zengin bir gıdadır. Ayrıca, etin besleyici değeri konusunda üretici ve tüketicilerin giderek artan bir farkındalığa sahip olduğu görülmektedir. Çoğu gelişmiş ülkede gelir düzeyinin yükselmesiyle birlikte güvenilir ve kaliteli et teminine yönelik talep de artmaktadır. Ancak, et içermiş olduğu bazı bileşenler (su, kan, doymamış yağ asidi vb.) nedeniyle sınırlı bir raf ömrüne sahiptir. Dolayısıyla bu ürünlerin farklı teknolojik işlemlerden geçirilip porsiyonlandıktan sonra çeşitli ambalaj materyalleriyle paketlenip tüketim aşamasına kadar soğuk zincir altında ya da donmuş olarak muhafaza edilmesi gerekmektedir. Her ne kadar et ve ürünlerin paketlenmesiyle ürünün raf ömrü uzatılmış olsa da oksidasyon, enzimatik ve mikrobiyal faaliyetler hali hazırda devam etmektedir (Juang ve diğ., 2016; Saucier, 2016; Woraprayote ve diğ., 2016).

Et, lipid açısından oldukça zengin bir gıdadır. Özellikle tavuk ve balık etlerinin doymamış yağ asitlerince zengin olduğu ve bu ürünlerin depolanması veya çeşitli işlemlerden geçirilmesi sırasında (boyut küçültme, ısıl işlem, ışınlama, tuzlama, yüksek basınç gibi işlemler) ortaya çıkan en önemli sorunun oksidasyon olduğu bilinmektedir. Lipid ve protein oksidasyonu, gıdalarının kalite karakteristiklerinde (esansiyel yağ asitlerinde ve aminoasitlerde azalmalar, aminoasitlerin çözünürlüğünde kayıplar, dokusal değişiklikler, duysal açıdan tat ve kokuda istenmeyen bileşiklerin oluşumu vb.) olumsuz birtakım değişikliklere neden olmaktadır. Canlı hayvanlarda mevcut antioksidan enzimler (süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve katalaz) aracılığıyla oksidatif reaksiyonlar engellenebilmektedir. Yine hayvanların beslenmeleri sırasında aldıkları çeşitli maddeler (C ve E vitamini) solunum reaksiyonları sırasında ortaya çıkan reaktif oksijen türlerine karşı antioksidan etki gösterip oksidatif bozulmayı engellemektedir. Ancak, kesimi takiben dolaşımın

durması ile birlikte hayvanı oksidasyona karşı koruyan antioksidan mekanizma da devre dışı kalmaktadır. Bilim insanları post mortem oksidasyonu engellemek için çeşitli stratejiler geliştirmektedirler (Ergezer, 2013; Faustman ve diğ., 2010; Nam ve diğ., 2006). Bu stratejilerin;

- Et ürünlerinin üretimi sırasında çeşitli antioksidan maddeler kullanmak,
- Etlere paketlenmesinde ambalaj materyalinin çeşitli katmanlarına antioksidan maddelerin lamine edilmesi,
- Geleneksel paketleme yöntemleriyle (vakum ve modifiye atmosferde paketleme) modern paketleme (aktif paketleme) yöntemlerinin kombineli bir şekilde kullanımı şeklinde uygulandığı görülmektedir.

Her ne kadar gıdalarda oksidasyonu engellemek için çeşitli antioksidan maddelerinin kullanıldığına dair pek çok çalışma olsa da son yıllarda birçok araştırmacının etlerde oksidasyonu engellemek için çeşitli paketleme yöntemlerini özellikle de aktif paketlemeyi araştırma konuları içerisine dahil ettiği görülmektedir (Ahmed ve diğ., 2017; Fang ve diğ., 2017; Kerry ve diğ., 2006; McMillin, 2017; Pereira de Abreu ve diğ., 2012; Realini ve Marcos, 2014).

Geçmişte, etlerin raf ömrünü uzatabilmek için çok basit ve pasif koruma yöntemleri uygulanırken (vakum ve modifiye atmosferde paketleme) günümüzde ise bu geleneksel yöntemlerin ötesine geçen aktif ve akıllı paketleme yöntemlerinin et endüstrisinde kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Aktif paketleme yöntemlerinin etin duyu özelliklerini (renk, lezzet, aroma gibi.) büyük ölçüde koruduğu, üreticiler için ciddi ekonomik kayıp olan sızıntı suyu miktarını azalttığı ve ürünün raf ömrünü de nispeten uzattığı tespit edilmiştir (Holman ve diğ., 2017). Aktif paketleme yöntemlerinde genellikle çeşitli oksijen tutucular, antimikrobiyal filmler, karbondioksit emiciler, nem düzenleyiciler/tutucular gibi çeşitli maddelerin ambalaj materyaline lamine edilerek kullanıldığı görülmektedir (Ahmed ve diğ., 2017; Fang ve diğ., 2017). Ancak, aktif paketleme yöntemleri üzerine daha fazla çalışmanın yapılması ve ekonomik açıdan üretim maliyetlerinin düşürülmesi gerekmektedir (McMillin, 2017).

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de tüketicilerin raftaki gıdalar hakkındaki bilgisi ve bilinç düzeyi oldukça sınırlıdır. Bu nedenle bilim insanları özellikle raf ömrü sınırlı et ve ürünleri gibi gıda maddelerinde tüketicileri daha fazla, net ve çarpıcı bir şekilde bilgilendirmek üzere çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Bu kapsamda da etiket üzerinde raf ömrünü renk skalaları ile gösteren çeşitli akıllı paketlenme yöntemlerinin geliştirildiği belirtilmektedir (Choi ve diğ., 2017; Özünlü ve Ergezer, 2022).

Akıllı paketlenme, ambalajlanmış gıdanın tutulduğu çevreyi veya gıdanın bazı kalite karakteristiklerini gösteren çeşitli indikatör (sızıntı, tazelik, sıcaklık-zaman indikatörleri) ve sensörlerin (gaz, biyosensörler, floresans bazlı gaz ve nano sensörler) kullanıldığı bir paketlenme yöntemidir. Ayrıca gıda paketi üzerine yerleştirilen çeşitli etiketler (barkodlar, RFID) sayesinde ürünlerin izlenebilirliği sağlanmaktadır. Dolayısıyla bu durum hem üreticilere hem de tüketicilere gıda ürünü hakkında çeşitli bilgiler sunarak ürünün güvenilirliğini artırmaktadır (Fang ve diğ., 2017; Kerry ve diğ., 2006; Yam ve diğ., 2005).

Et kalitesinin belirlenmesinde her ne kadar kromatografik, spektrofotometrik, mikrobiyolojik ve geleneksel yöntemler önemli bir rol oynasa da son zamanlarda kalite belirleme tekniklerine alternatif olarak doğal bitki ekstraktı veya kimyasal boya katkılı (bromokresol yeşili, metil kırmızısı gibi) çeşitli indikatörlerin (jel film veya kâğıt şeklinde) ve bunların yanında da çeşitli sensör ve biyosensörlerin kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Ayrıca çeşitli firmaların (Fresh Tag, Ageless, Mitsubishi gibi çeşitli firmalar) ticari olarak geliştirdikleri indikatörler de bulunmaktadır (Chen ve diğ., 2019; Zhang ve diğ., 2019). Bu indikatörlerin çevre dostu olmaları ve gıda ürünüyle reaksiyona girip herhangi bir toksik bileşik oluşturmamaları nedeniyle kullanımı giderek yaygın hale gelmektedir. Literatür incelendiğinde, farklı pH koşullarında renk değiştiren ve doğal katkılı boya olan antosiyaninlerin daha çok tercih edildiği görülmektedir. Bu bağlamda, kırmızı lahana, nar, üzüm gibi çeşitli meyvelerden antosiyaninlerin ekstrakte edilerek et ve ürünlerinin paketlenmesinde (film veya kâğıt şeklinde) indikatör olarak kullanıldığı gözlenmektedir (Reyes ve Zevallos, 2007).

Antosiyaninler, flavonoidler ailesinin üyesi olan, suda çözünebilir, bitkilerin çiçek, yaprak, kök gibi çeşitli kısımlarında doğal olarak bulunabilen ve bitkilerin

kırmızı, mor, mavi gibi çeşitli renklerde görünmesini sağlayan bileşiklerdir (Chandrasekhar ve diğ., 2012).

Bu çalışmada, farklı hayvan etlerinin (dana, tavuk ve alabalık eti) paketlenmesinde (modifiye atmosfer ve atmosferik oksijen) tüketicilerin dikkatini çekebilen ve akıllı etiket olarak tarif edilen doğal (nar, şalgam ve kırmızı lahana suyu) ve yapay (metil kırmızısı ve bromokresol yeşili) renk maddesi katkılı pH indikatörlerinin üretimi gerçekleştirilerek ürün paketleri üzerinde yazılı olan son kullanma tarihine alternatif olabilme potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Et Üretimi ve Etin Beslenme Açısından Önemi

İnsanoğlunun yeterli ve dengeli beslenebilmesi için karbonhidrat, yağ ve protein kaynaklarını belirli sınırlar çerçevesinde tüketmesi gerekir. Yeterli ve dengeli beslenme için bireyin kilogram başına günlük ortalama 0,8-1 g protein alması tavsiye edilmekle birlikte bu miktarın en az 1/3'ünün hayvansal kökenli olması gerekmektedir. Et, vücut için gerekli olan protein, esansiyel doymamış yağ asitleri, çeşitli vitamin (A ve B vitamini) ve minerallerce (demir, çinko, potasyum, sodyum vb.) zengin, besleyici bir gıda olup hayvansal protein ihtiyacının karşılanması açısından önemli bir kaynaktır (Williams, 2007).

Ülkemizde, 2016 verilerine göre, 956.180 ton sığır, 5470 ton manda, 266.675 ton koyun ve 75.322 ton keçi olmak üzere toplamda 1.303.648 ton kırmızı et üretilmiştir. 2016-2022 yılları arasında Türkiye'de üretilen kırmızı et miktarının kademeli bir şekilde arttığı ve 2022 yılında 1.572.747 ton sığır, 13.586 ton manda, 489.354 ton koyun ve 115.938 ton keçi olmak üzere toplamda 2.191.625 ton kırmızı etin üretildiği belirtilmiştir (TÜİK, 2023). Diğer taraftan, ülkemizde 2016 yılında yıllık kişi başı kırmızı et tüketimi 15 kg iken 2017 yılına gelindiğinde ise bu rakam 14,1 kg seviyesine gerilemiştir. 2017-2019 yıllarında kırmızı et tüketimi kişi başına 14,1 kg'dan 14,5 kg'a yükselmiştir. 2020 yılında pandemi nedeniyle sağlıklı veri alınmadığından bu yıla ait kişi başı kırmızı et tüketim miktarına ulaşılammıştır. 2019 yılından itibaren ise, yıllık kişi başına düşen kırmızı et tüketiminin kademeli bir şekilde arttığı ve 2022 yılında bu rakamın 14,79 kg'a ulaştığı görülmüştür (TÜİK, 2023).

Tavuk eti, kasaplık büyükbaş ve küçükbaş hayvan etlerine kıyasla bağ doku ve yağ açısından fakir protein açısından ise daha zengin bir gıdadır. Yine, tavuk eti kırmızı ete göre daha düşük kalorili olup, B grubu vitamin ve minerallerce (potasyum, magnezyum, fosfor vb.) daha zengin olmasından dolayı özellikle sporcu diyetlerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Milani ve diğ., 2020; Shipman ve Durmus, 2017; Tomasevic ve diğ., 2019).

2016-2018 yılları arasındaki TÜİK verilerine göre ülkemizdeki tavuk eti üretim miktarları önce 1.879.018 (2016 yılı) tondan 2.136.734 tona (2017 yılı) daha sonra ise 2.156.671 tona (2018 yılı) ulaşmıştır. 2018 yılından 2021 yılına kadar tavuk eti üretim miktarı %0,95 azalarak 2.136.263 tona gerilemiştir. 2021 yılı itibariyle toplam tavuk eti üretimi 2.245.770 ton olarak açıklanmıştır. 2022 yılına gelindiğinde, bir önceki yıla nazaran daha fazla tavuk etinin üretildiği (2.417.995 ton) belirtilmiştir. Ülkemizde kişi başına düşen tavuk eti tüketim miktarları incelendiğinde, 2016 yılında 20,01 kg, 2017 yılında 21,73 kg, 2018 yılında ise 20,89 kg olarak açıklanmıştır. 2019 yılında ise, bir önceki yıla nazaran kişi başına düşen yıllık tavuk eti tüketim miktarı 20,89 kg'dan 20,47 kg'a gerilemiştir. 2019 yılından itibaren kişi başına düşen yıllık tavuk eti miktarının önce 20,50 kg'a (2020 yılı) sonra 20,68 kg'a (2021 yılı) daha sonra ise 21,95 kg'a (2022 yılı) yükseldiği belirtilmiştir (TÜİK, 2023).

Balık eti, üstün besleyici değere sahip olmasının yanı sıra, tavuk ve dana etinden daha fazla doymamış yağ asidi içeren, esansiyel yağ asitleri ile esansiyel aminoasitlerce de zengin bir protein kaynağıdır. Ayrıca, balık eti kırmızı ve beyaz ete nazaran daha kolay sindirilebilir niteliktedir. Dolayısıyla biyolojik değeri oldukça yüksek olan balık etinin özellikle çocukların gelişimine önemli katkıda bulunduğu bildirilmektedir. Diğer yandan, balık etinin bileşiminde yer alan omega-3 yağ asitlerinin (eikosapentaenoik asit ve dokosaheksaenoik asidinden) kalp damar hastalıklarının önlenmesinde oldukça etkili olduğu belirtilmektedir (Gogus ve Smith, 2010, Harlıoğlu, 2010; Merdzhanova ve diğ., 2013).

Türkiye İstatistik Kurumu'ndan elde edilen bilgilere göre; 2016 yılında 548.629 ton balık üretimi gerçekleşirken 2017 yılında bu değer % 4,91 artarak 575.574 tona yükselmiştir. 2018 yılı verileri incelendiğinde ise, bir önceki yıla oranla balık eti üretimi %1,98 oranında azalarak 564.168 tona gerilemiştir. 2019 yılı itibariyle toplam balık eti üretimi 776.700 ton olarak açıklanmıştır. 2020 yılına gelindiğinde, bir önceki yıla nazaran daha düşük miktarda balık etinin üretildiği (743.471 ton) belirtilmiştir. 2020 yılından itibaren ise toplam balık eti üretimi önce % 2,92 oranında artışla 765.144 tona (2021 yılı) ve daha sonra ise % 4,64 artışla 800.678 tona (2022 yılı) ulaşmıştır. Bu bağlamda, 2016-2022 yılları arasında da balık eti üretim miktarının artışına paralel olarak kişi başına düşen yıllık balık eti tüketim miktarının da kademeli bir şekilde arttığı (5,4 kg'dan 7,3 kg'a) belirtilmiştir (TÜİK, 2023).

2.2 Etin Bozulması

Et, yüksek oranda protein, su, vitamin ve minerale sahip olmasının yanında içerdiği doymamış yağ asitlerinden dolayı kimyasal ve mikrobiyolojik bozulmaya oldukça yatkın bir gıdadır. Genel olarak, etlerde bozulma fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olmak üzere üç farklı kategoriye ayrılmaktadır (Bayrakal, 2016).

2.2.1 Fiziksel Bozulma

Etlerdeki fiziksel bozulma fiziksel değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Özellikle ette meydana gelen renk değişiklikleri fiziksel bozulmayı tetikleyen ana etkenlerden biridir. Et renk pigmenti olan myoglobin oksimiyoglobine veya metmyoglobine dönüşümü fiziksel bir bozulma örneğidir. Ayrıca, etlerin dondurulması esnasında hava hızı, bağıl nem ve sıcaklık parametrelerinin iyi ayarlanamaması durumunda et yüzeyinde don yanığı olarak tarif edilen kahverengi lekeler, et içinde iri buz kristallerin oluşumu, tat ve aroma kaybı gibi çeşitli problemlerin açığa çıkmasına neden olmaktadır (Bayrakal, 2016).

2.2.2 Kimyasal Bozulma

2.2.2.1 Lipid Oksidasyonu

Lipid oksidasyonu, trigliseritlere bağlı veya serbest formdaki tekli ve/veya çoklu doymamış yağ asitlerinden reaktif oksijen türleri aracılığı ile bir hidrojen atomunun koparılması sonucunda oluşan lipid radikallerinin atmosferik oksijen ile reaksiyona girerek oksidasyonu başlattığı ve devam ettirdiği bir reaksiyondur. Zincir şeklinde süregelen bu karmaşık reaksiyonlar serisine otooksidasyon adı da verilmektedir (Estevez ve diğ., 2021b).

Her ne kadar etlerin işlenmesi, taşınması, depolanması aşamalarında oksidatif reaksiyonların gerçekleştiği bilinse de aynı zamanda canlı hayvanda da çeşitli faktörlerin etkisiyle oksidasyonu tetikleyen reaktif oksijen türlerinin oluşumu söz

konusudur. Ancak, canlı hayvanda reaktif oksijen türlerine karşı antioksidan etki gösteren çeşitli bileşikler (enzimler, proteinler ve biyoaktif peptid gibi) bulunmaktadır. Ayrıca, hayvanların beslenmesinde kullanılan çeşitli yem hammaddeleri ve yeşil otların antioksidan vitaminler açısından zengin oldukları ve oksidatif reaksiyonları yavaşlattığı veya durduğu belirtilmiştir (Linares ve diğ., 2007).

Lipid oksidasyonu reaksiyonları üç farklı aşamadan (başlangıç, yayılma ve bitiş) oluşmaktadır (Linares ve diğ., 2007).

Başlangıç aşaması:

Isı, metal iyonları, ışınlama gibi yöntemler katalizör görevi görerek et ve et ürünlerinde serbest radikallerin oluşumunu hızlandırmaktadır. Bu aşamada, et ve et ürününün bileşiminde bulunan tekli veya çoklu doymamış yağ asitleri ortamda mevcut bulunan reaktif oksijen türlerinden (hidroksi, peroksi, alkoksi radikali gibi bileşikler) biriyle reaksiyona girmektedir.



Yayılma aşaması:

Yayılma reaksiyonları başlangıç reaksiyonuna göre çok daha hızlı seyretmektedir. Başlangıç aşamasının sonunda oluşan lipid radikalinin oksijenle reaksiyonu sonucunda peroksi radikali oluşmaktadır. Peroksi radikali ise başka bir doymamış yağ asidiyle (tekli veya çoklu) reaksiyona girerek hidroperoksitleri oluşturur. Daha sonra ise hidroperoksitler, alkoksi ve hidroksi radikaline dönüşerek lipid oksidasyonunun yayılma aşaması tamamlanır (Dave ve Ghaly, 2011).



Bitiş aşaması:

Serbest radikallerin çeşitli reaksiyonlar sonucunda radikal özellik göstermeyen farklı bileşiklere dönüşmektedir. Bu reaksiyonlar kısaca aşağıda verilmiştir.



Lipid oksidasyonu açısından çoklu doymamış yağ asitlerinin tekli doymamış yağ asitlerine göre daha duyarlı oldukları bilinir. Hidroperoksitler, doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu sonucunda oluşan önemli bileşiklerden biridir. Bu bileşiğin lipid oksidasyonunun birinci yan ürünü olduğu ve ilerleyen aşamalarda pentanal, hekzanal, malonaldehit gibi ikincil yan ürünlerin oluşumuna neden olduğu belirtilmektedir (Estevez ve diğ., 2021b; Fernindez ve diğ., 1997; Raharjo ve Sofos, 1993). İkincil yan ürünlerin protein ve vitaminlerle reaksiyona girerek ürünün fizikokimyasal (renk, tekstür gibi) ve besleyici özelliklerini olumsuz yönde etkilediği, karsinogenik ve mutajenik etkileriyle de insan sağlığını tehdit ettiği bildirilmiştir (Estevez ve diğ., 2021a; Estevez ve diğ., 2021b).

2.2.2.2 Protein Oksidasyonu

Protein oksidasyonu özellikle son yıllarda bilim insanlarının dikkatini çeken önemli bir konu haline gelmiştir. Protein oksidasyonu et ve ürünlerinde birtakım olumsuz değişikliklere (proteinlerin sindirilebilirliğinin azalması, aminoasit kaybı, su tutma kapasitesindeki düşüş, emülsiyon ve jelleştirme özelliğinde kayıplar, renk, koku, aroma, sululuk, tekstür gibi duyuşal özelliklerde meydana gelen kayıplar) neden olmaktadır. Protein oksidasyonu öncelikle proteinleri meydana getiren aminoasit zincirleri arasında meydana gelen birtakım kimyasal reaksiyonlar sonucunda üründe ortaya çıkan fiziksel değişim (renk, tekstür gibi) şeklinde tanımlanmaktadır (Bekhit ve diğ., 2021).

Proteinlerin sindirilebilirliğindeki azalış aminoasitlerin biyoyararlılığını azaltmakta ve bu durumda da sindirilmemiş proteinler insanların sindirim sisteminde bulunan mikroorganizmalar tarafından kullanılarak çeşitli metabolitlerin (amonyak,

aminler, fenoller, indoller, kresoller, N-nitrozo bileşikleri ve sülfürlerin üretimi gibi) oluşumuna yol açmakta ve bu bileşikler bireylerde çeşitli hastalıkların (irritabl bağırsak sendromu, ülseratif kolit ve kolorektal kanser gibi) oluşumuna neden olmaktadır (Yao ve diğ., 2016). Protein oksidasyonu lipid oksidasyonu ile etkileşim halindedir ve lipid oksidasyonunun ürünleri protein oksidasyonunu tetiklemektedir. Ayrıca ortamda bulunan reaktif oksijen türleri, singlet oksijen, metal iyonları (demir ve bakır) ve indirgeyici bazı ajanlar da protein oksidasyonunu teşvik etmektedir (Davies, 2016).

Protein oksidasyonu, lipid oksidasyonu gibi benzer aşamalardan oluşmaktadır. Yani protein oksidasyonu, başlangıç, yayılma ve bitiş aşamalarından oluşmakta ve aynı lipid oksidasyonuna benzer bir şekilde etin yapısında bulunan protein molekülünden bir hidrojen atomunun ayrılmasıyla birlikte karbon merkezli bir radikal protein oluşmakta ($P\cdot$) ve böylece protein oksidasyonunun başlangıç aşaması gerçekleşmektedir. Oksijen varlığında bu radikal protein peroksi radikale ($POO\cdot$) dönüşmekte ve son olarak başka bir molekülden bir hidrojen atomunun alınmasıyla da alkil peroksitler ($POOH$) oluşmaktadır. $HO_2\cdot$ varlığında daha sonraki reaksiyonlarla da son ürün olarak alkoksil radikaller ($PO\cdot$) ve bunun türevi olan hidroksi radikaller (POH) oluşmaktadır (Estevez ve diğ., 2009).

2.2.2.3 Enzimatik Bozulma

Hayvanın kesiminden belli bir süre sonra vücutta bulunan bazı enzimler aktif hale gelerek biyokimyasal reaksiyonlara katılmaktadır. Örneğin; rigor mortis sonrasında lizozomlarda bulunan katepsin adı verilen proteazlar et pH'ını 5,4'den 5,8'e getirerek eti tüketilebilir hale getirirler. Ayrıca etlerin enzimatik olgunlaştırılmasında kalpain gibi çeşitli endojen enzimler kullanılmaktadır (Bhat ve diğ., 2018). Yine, aminopeptidazların da duyuşal açıdan etin lezzetini artırdığı belirtilmiştir (Nishimura, 1998). Bakteriler tarafından üretilen çeşitli eksojen karakterli proteazların da et ve ürünlerinde kullanıldığına dair pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu enzimler, eti duyuşal yönden (renk, lezzet, aroma gibi) geliştirerek tüketiciler açısından ürünün satın alınabilirliğini artırmaktadır (Jurado ve diğ., 2007; Toldra, 1998). Her ne kadar bazı enzimler etlerin kalite karakteristiklerinde olumlu

birtakım faydalar sağlasa da genel olarak enzimatik aktivite etteki protein ve lipid yapılarının parçalanmasına yol açarak mikroorganizmaların et içerisine girişini kolaylaştırmaktadır (Huang ve diğ., 2014). Diğer taraftan bazı saprofit ve patojen mikroorganizmaların üretmiş oldukları çeşitli eksojen enzimler aracılığı ile kasların bütünlüğü bozulmakta, sonuçta et mikrobiyal olarak savunmasız hale gelmektedir. Ardından mikroorganizmalar et içerisinde hızlı bir şekilde çoğalıp bir taraftan bizzat kendileri diğer taraftan da ürettikleri bazı metabolitlerle (amonyak, sülfürlü ve kükürtlü bileşikler, uçucu ve uçucu olmayan bazı bileşikler) eti tüketilemez hale getirmektedir (Dave ve Ghaly, 2011; Jurado ve diğ., 2007).

2.2.3 Mikrobiyal Bozulma

Taze et ve bazı et ürünleri yüksek su aktivitesi ve besin öğelerinin zenginliği nedeniyle mikroorganizmaların gelişebilmeleri için oldukça uygun bir besiyeridir. (Bekhit ve diğ., 2021). Mikroorganizmalar ete daha çok kesim sırasında ve post mortem dönemde kontamine olmaktadır. Ortam koşullarının da uygun olması durumunda mikrobiyal yük hızla artar ve et bozulmaya başlar. Çeşitli faktörlere (hijyenik koşullar, ete uygulanan işlemler, soğukta muhafaza koşulları, ambalaj durumu vb.) bağlı olarak et mikroflorası büyük değişkenlik göstermektedir (Bekhit ve diğ., 2021; Dave ve Ghaly, 2011).

Etin mikroflorasındaki değişkenlik ortamdaki oksijen varlığına göre de şekillenmektedir. Mikroorganizmalar oksijen ihtiyaçlarına göre temelde ikiye (aerobik ve anaerobik) ayrılmaktadır. Taze etlerde mikrobiyal bozulma etteki toplam mikroorganizma sayısının 6-7 log CFU/g üzerine çıkmasıyla gerçekleşmektedir. Taze kırmızı etler genellikle modifiye atmosferde paketlenmekte ve modifiye atmosferde kullanılan gaz kompozisyonunun büyük bir kısmını oksijen oluşturmaktadır. Oksijen, taze kırmızı etlerde myoglobine ile reaksiyona girerek oksimiyoglobine pigmentini oluşturmaktadır. Böylece tüketicilerce parlak kiraz kırmızısı olarak tarif edilen taze et rengi sağlanmış olur. Her ne kadar modifiye atmosferde paketlenen taze kırmızı etler soğuk zincir altında muhafaza edilse de belli bir süre sonra ette mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak ağır/yoğun kokular açığa çıkmaktadır. Taze kırmızı etlerde genellikle ilk mikrobiyolojik bozulmaya aerob karakterli mikroorganizmalar neden olurken

depolamanın sonlarına doğru ambalaj içindeki oksijen konsantrasyonunun azalmasıyla birlikte anaerob karakterli mikroorganizmaların ön plana çıktıkları bilinmektedir. Diğer taraftan, taze tavuk ve balıkların modifiye atmosferde paketlenmesinde ise oksidasyonun limitlenmesi ve mikrobiyal gelişimin sınırlı tutulabilmesi amacıyla belirli oranlarda karbondioksit ve azot gazı kullanılmaktadır. Karbondioksit hem oksidasyon hem de mikrobiyolojik bozulmayı engellemede oldukça başarılı bir gazdır. Ancak, kırmızı etlerde de olduğu gibi modifiye atmosferde paketlenmiş tavuk ve balık etlerinin soğuk zincir altında muhafazası sırasında mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalar meydana gelmektedir. Mikrobiyolojik bozulmada daha çok anaerob karakterli çeşitli mikroorganizmaların ön plana çıktıkları bildirilmektedir (Cayuela ve diğ., 2004; Jeremiah, 2001; Lu ve diğ., 2019; McMillin, 2008).

Özellikle son yıllarda et endüstrisinde ürün çeşitliliğinin artışına bağlı olarak taze etlerde dahil olmak üzere klasik ambalajlama yöntemlerinden (vakum, atmosferik oksijen) daha ziyade modifiye atmosferde paketlenme yöntemi tercih edilmektedir. İster klasik yöntemler olsun ister modifiye atmosferde paketlenme olsun soğukta muhafaza sırasında ortamda bakteriler başta olmak üzere pek çok mikroorganizma gelişebilmekte ve gelişimleri sırasında pek çok metabolit de açığa çıkabilmektedir. Bunların bazıları aşağıdaki tabloda (Tablo 2.1) kısaca özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Saprofit veya patojen karakterli bakterilerin üretmiş oldukları bileşikler (Dave ve Ghaly, 2011)

Mikroorganizma Türü	Bileşik
<i>Pseudomonas</i> spp. ve <i>Enterobacteriaceae</i>	Sistein, sistin, metionin, hidrojen sülfid, metil ve dimetilsülfid.
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Metilamin, dimetilamin, trimetilamin etil esterleri
<i>Enterobacteriaceae fragi</i> ve <i>Clostridium</i> spp.	Oksijen, karbondioksit
<i>Lactobacillus sake</i> , <i>Hafnia alvei</i>	Hidrojen sülfid
<i>Shewanella putrifaciens</i>	Trimetilamin, hidrojen sülfid, metilmerkaptan
<i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Brochothrix thermosphacta</i> ve homofermantatif <i>Lactobacillus</i> spp.	Asetondiasetil-1 ve 3-metilbütanol
<i>Brochothrix thermosphacta</i>	Aseton ve asetik asit
<i>Photobacterium phosphoreum</i>	Trimetilamin ve hipoksantin
<i>Vibrionaceae</i>	Trimetilamin ve hidrojen sülfid
Aerobik mikroorganizmalar	Amonyak, asetik, propiyonik ve bütirik asit

3. ET PAKETLEME YÖNTEMLERİ

Kesim sonrası belli süre dinlendirilip olgunlaştırılan taze etler belirli yöntemler kullanılarak paketlenir ve soğuk zincir altında satışa sunulurlar. Reyonda taze etin parlak renginin korunması, su kaybının engellenmesi ve mikrobiyolojik bulaşmalara engel olması gerekir. Diğer taraftan kullanılacak ambalajın hijyenik olması, oksijen ve su buharı geçirgenliğinin satışa sunulan etin niteliğine uygun olması gerekmektedir. Bu amaçla etlerin paketlenmesine yönelik yöntemlere aşağıda yer verilmiştir (Bağdatlı ve Kayaardı, 2010).

3.1 Atmosferik Oksijenle Paketleme

Atmosferik oksijenle paketleme, taze etlerin genellikle polistiren (PS) kaplara (300 mm kalınlıkta) yerleştirilip üzerinin streç filmle kaplandığı bir paketleme yöntemidir (Gomez ve diğ., 2012). Streç filmler, selüloz hidrat, polietilen ve sentetik polimerden oluşan selofanlardır. Atmosferik oksijenle paketlenen taze etlerin raf ömrü ürün içeriğindeki mikrobiyal yüke ve depolama koşullarına (sıcaklık, bağıl nem, vb.) bağlı olarak ortalama 3-4 gün kadardır (Cenci-Coga ve diğ., 2020a). Diğer paketleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında atmosferik oksijenle paketlenen etlerin raf ömrünün oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Atmosferik oksijenle paketlemede kullanılan streç film yüksek gaz geçirgenliğine sahip olduğu için özellikle dana kıyması gibi kırmızı etlerin paketlenmesinde daha çok kullanılmaktadır.

Ürünün satın alınabilirliğini etkileyen en önemli parametrelerden biri renktir. Etin renk pigmenti myoglobindir ve myoglobin oksijenle reaksiyona girdiğinde kırmızı ete özgü parlak kiraz kırmızısı rengi olarak tarif edilen oksimyoglobin pigmentini oluşturur. Streç filmle paketlenmiş etlerde yüzey rengi parlak kırmızı halini korurken iç kısımlarda oksijenin sınırlı olması nedeniyle kısmi kahverengileşme meydana gelmektedir ve bu durum tüketicilerde etin bozuk olduğu imajını yaratmaktadır. Oysa buradaki renk değişimi tamamen fiziksel bir değişiklik olup oksimyoglobinin oksijen kıtlığında metmyoglobine dönüşmesi ile alakalıdır. Ambalaj açıldıktan sonra etin iç yüzeyinin oksijene olmasıyla renk tekrar eski halini alabilmektedir. Ancak mikrobiyal bozulma neticesinde etin rengi ve kokusu kalıcı

olarak bozulmaktadır. Atmosferik oksijenle paketlenen taze etlerdeki mikrobiyal bozulmaya daha çok proteolitik karakterli *Pseudomonas* (*Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas fluorescense*, *Pseudomonas putida* ve *Pseudomonas ludensis*) ve Enterobacteriaceae (*Serratia liquefaciens* ve *Enterobacter agglomeran*) cinsi bakterilerin neden olduğu bildirilmiştir. Bu bakteriler, etin yapısında bulunan proteinleri parçalayarak asetoindiasetil, 3-metilbutanol, dimetil sülfür gibi bileşikler oluşturarak putreaktif koku açığa çıkarmaktadır (Borch ve diğ., 1996; Iulietto ve diğ., 2015; Iulietto ve diğ., 2014; Rossi ve diğ., 2016). Dolayısıyla çeşitli avantajları olsa da atmosferik oksijenle paketlenmiş etlerde raf ömrünün sınırlı kalması nedeniyle alternatif paketleme yöntemleri de kullanılmaya başlanmıştır.

3.2 Vakum Paketleme

Gıda paketi içerisinde kalan yüksek konsantrasyonda oksijen zamanla aerobik karakterli mikroorganizmaların gelişimiyle beraber üründe istenmeyen kalite kayıplarına neden olmaktadır. Dolayısıyla, paket içerisinde kalan oksijenin ortamdaki uzaklaştırılarak ürünlerde istenmeyen değişimlerin önüne geçilmesi gerekmektedir (Jeremiah, 2001). Bu kapsamda gıdalarda yaygın olarak kullanılan diğer bir paketleme çeşidi de vakum paketlemedir. Vakum paketlemenin, etin bozulmasına neden olabilecek aerobik karakterli mikroorganizmaların gelişimini inhibe ettiği, hava ile ürünün temasını en aza indirerek yağların oksidasyonunu azalttığı ve duyuşal açıdan (renk, lezzet, koku gibi) ürün üzerinde herhangi bir olumsuz durum yaratmadığı belirtilmektedir (Gill, 1996; Seideman ve Durland, 1983). Vakum paketlemede et, düşük oksijen geçirgenliğine sahip (PVDC, PETP gibi) ve ısıyla birlikte büzüşebilen plastik bir ambalaj materyaline yerleştirilir, paket içerisindeki hava uzaklaştırılır ve paket sızdırmaz şekilde kapatılır (Stiles, 1990). Bu sayede özellikle toplu tüketim yerlerinde tüketilecek ve dondurulacak etlerin uzun süre muhafazası sağlanabilmektedir. İyi bir vakum paketlemede, kullanılan ambalaj materyali ile gıdanın yüzeyi arasında herhangi bir hava boşluğunun kalmaması gerekir. Aksi takdirde bu boşluktaki oksijen etin lipid fraksiyonu ile etkileşime girerek oksidasyona neden olmaktadır (Gill, 1996; Gill, 1992). Ancak yine de paket içerisinde yaklaşık %1 seviyelerinde oksijen kalmaktadır. Kalan oksijen çeşitli mikroorganizmaların faaliyetleri neticesinde kullanılarak karbondioksite dönüşmektedir. Dolayısıyla

zamanla paket içerisinde karbondioksit konsantrasyonu artmaktadır (%10-30) ve bu durum özellikle *Pseudomonas* ve *Alteromonas* gibi mikroorganizmaların gelişimini inhibe edebilmektedir (Seideman ve diğ., 1980). Kemiksiz dana etlerinin vakumla paketlenildiği bir çalışmada, raf ömrünün atmosferik oksijenle ambalajlanmış et örneklerine göre 3,5 kat uzadığı tespit edilmiştir (Reyes ve diğ., 2022). Ayrıca, vakum paketlenme depolama boyunca ürünlerde meydana gelebilecek ağırlık kayıplarını azaltmaktadır. Et renk pigmenti olan myoglobin vakum paketlenme sonucunda deoksimyoglobine dönüşerek etin renginde kahverengileşmeye neden olmaktadır. Ancak ürünler paketten çıkarıldıktan sonra hava ile temas etmekte ve kısa sürede parlak kırmızı rengin (oksimyoglobin) oluşumunu sağlamaktadır (Reyes ve diğ., 2022).

Masquod ve diğ. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada; deve etleri vakum paketlenerek depolama boyunca (4°C, 18 gün) ürünün kalite karakteristiklerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında vakum paketlenen etlerin TBARS değeri ve toplam mikroorganizma sayısı daha düşük bulunmuştur. Ayrıca vakum paketlenen etlerin rengini ve duyu özelliklerini (renk, koku ve genel kabul edilebilirlik) önemli oranda koruduğu gözlenmiştir.

Zabek ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada; vakum ve modifiye atmosferde (%80 N₂ ve %20 CO₂) paketlenen kuzu etlerinin fizikokimyasal, duyu ve mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Paketlenme yönteminin etlerin parlaklık, sarılık ve pişirme kaybı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir (P>0,05). Depolama boyunca (4°C, 30 gün) etlerin kırmızılık (11,92'den 13,33'e) ve pH değerlerinde (5,69'dan 5,80'e) önemli artışların gerçekleştiği ve vakum paketlenmiş etlerin duyu açıdan (sululuk, lezzet ve yumuşaklık) daha çok beğenildiği saptanmıştır. Elde edilen mikrobiyolojik sonuçlara göre, modifiye atmosferde paketlenmiş etlerin toplam mezofilik, psikrotrof ve koliform bakteri sayıları vakum paketlenmiş örneklere göre daha düşük bulunmuştur.

Conte-Junior ve diğ. (2020) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise; atmosferik oksijen, modifiye atmosfer (%90 O₂ ve %10 CO₂; %80 O₂ ve %20 CO₂; %70 O₂ ve %30 CO₂; %60 O₂ ve %40 CO₂; %50 O₂ ve %50 CO₂) ve vakumla paketlenmiş sığır kıymalarının buzdolabı sıcaklığında 20 gün süreyle muhafazası sırasında meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Depolama boyunca modifiye

atmosferde paketlenmiş örneklerde oksijen konsantrasyonunun zamanla azaldığı görülürken karbondioksit konsantrasyonunun ise kademeli bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, depolama boyunca tüm örneklerin pH değerinde düşüşler, TVB-N değerlerinde ise anlamlı artışlar tespit edilmiştir ($P<0,05$). Sonuç olarak, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında vakum paketlemenin mikroorganizma gelişimini önemli ölçüde engellediği belirtilmiştir.

Vakum paketlemenin başarısı ürüne uygulanan vakum derecesine bağlıdır. Düzensiz şekilli ürünlerin paketlenmesinde yüksek miktarda vakuma ihtiyaç vardır (Gill, 1992). Yüksek vakum seviyesi et ürünlerinde arzu edilen rengin oluşumunu sağlamaktadır ve paket açıldığında deoksimyoglobini oksimiyoglobine dönüşümünü hızlandırmaya yardımcı olmaktadır.

Vakum paketleme kemikli etlerin paketlenmesinde tercih edilen bir yöntem değildir (ambalaj materyalini delmesinden dolayı). Bu yüzden büyükbaş ve küçükbaş hayvan karkasları kemiklerinden ayrılıp çeşitli işlemlerden geçirildikten sonra vakumla paketlenmektedir (Jeremiah, 2001).

3.3 Modifiye Atmosferde Paketleme

Gıdaların depolama, taşıma ve ambalajlanmasında ürünün etkileşimde bulunduğu hava bileşiminin değiştirilmesini içeren bir sistemdir. Bu sistemin esası; henüz kapatılmamış ambalaja istenen bileşimde verilen gazın, mevcut atmosferi süpürerek onun yerini almasını sağlamak veya ambalajın havasını vakum oluşturarak uzaklaştırmak ve ardından içerisine istenilen gazı enjekte etmektir. Modifiye atmosferde paketlemede yaygın olarak oksijen, karbondioksit ve azot kullanılmaktadır. Kullanılacak gazın seçimi tam anlamıyla paketlenen gıdaya bağlı olarak değişmektedir. Gaz, tek başına kullanılacağı gibi birden fazla gaz kombinasyonu halinde kullanılarak ürünün güvenliği sağlanmakta ve depolama boyunca gıdanın duyusal ve fizikokimyasal (renk, fire gibi) özelliklerinde meydana gelebilecek olumsuz değişikliklerin önüne geçilmesi hedeflenmektedir (McMillin, 2008).

Modifiye atmosfer paketleme (düşük oksijen seviyeli) vakum paketlemeye göre daha maliyetli bir sistemdir (McMillin, 2008). Azot (N_2), et ve ürünlerinin pigmentleriyle reaksiyona girmeyen ve et tarafından absorbe edilmeyen inert bir gazdır. Ayrıca, azot uygulamasıyla birlikte ortamda kalan oksijen uzaklaştırılarak üründe arzu edilmeyen ransiditeye neden olabilecek oksidasyonun önüne geçilebilmekte ve aerobik karakterli mikroorganizmaların gelişimleri de engellenmektedir (Kotsianis ve diğ., 2002; Zhou ve diğ., 2010).

Oksijen, taze etlerin modifiye atmosferde paketlenmesinde kullanılan önemli gazlardan biridir. Ambalaj materyali içerisinde bulunan oksijen oksimiyoglobinin korunumunu sağlamaktadır (Jeremiah, 2001; Zhou ve diğ., 2010).

Karbondioksit, suda ve yağda çözünebilen, et ürünlerinin modifiye atmosferde paketlenmesinde yaklaşık %20-30 oranında koruyucu olarak kullanılan ve mikroorganizmalar üzerinde bakteriyostatik etki gösteren bir gaz çeşididir. Ayrıca karbondioksit (CO_2), myoglobinde bulunan hem demiri bağlayarak açık kırmızı rengin stabilizasyonunu sağlamaya da yardımcı olmaktadır.

Bazı et ürünlerinin modifiye atmosferde paketlenmesinde kullanılan gaz bileşimleri Tablo 3.1'de verilmiştir (Bilska, 2011; Jaspal ve diğ., 2021; Rodrigues ve diğ., 2018; Vongsawasdi ve diğ., 2008).

Tablo 3.1. Bazı et ürünlerinin modifiye atmosferde paketlenmesinde kullanılan gaz bileşimleri

Ürün Tipi	Gaz Bileşimi (%)		
	O ₂	CO ₂	N ₂
Taze dana veya domuz eti	70	20	10
Taze tavuk veya balık etleri	-	30	70
Piştirilmiş tavuk eti	-	40-60	40-60
Taze kuzu eti	45	55	-
Jambon	-	40	60
Sosisler	-	30	70
Piştirilmiş Et	-	25-30	70-75

Et ve ürünlerini modifiye atmosferde paketlerken sadece gaz bileşimini değil aynı zamanda ambalaj materyalini de dikkate almak gerekir. Eğer gaz geçirgenliği yüksek bir ambalaj materyaliyle modifiye atmosferde paketlenme gerçekleştirilirse ürünün raf ömrü kısalmakta ve modifikasyonun bir önemi kalmamaktadır.

Bufalo etlerinin farklı paketlenme [vakum ve modifiye atmosferde paketlenme (%80 O₂ ve %20 CO₂)] yöntemleriyle paketlenildiği çalışmada; depolama boyunca (14 gün, 4°C) bazı özelliklerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Depolama boyunca vakum paketlenmiş örneklerin TBARS ve a* değerleri arasında önemli bir farklılık gözlenmezken modifiye atmosferde paketlenen örneklerin TBARS değerinde önemli bir artış, a* değerinde ise önemli bir düşüş görülmüştür. Depolama boyunca tüm örneklerin mikroorganizma sayılarında artış görülmesine rağmen en büyük artışın modifiye atmosferde paketlenen örneklerde olduğu tespit edilmiştir (Jaberi ve diğ., 2019).

Bingöl ve Ergun (2011) tarafından yapılan bir çalışmada; devekuşu etleri atmosferik oksijen altında (kontrol) ve farklı gaz kompozisyonlarında (%80 O₂, %20 CO₂; %60 O₂, %20 CO₂, %20 N₂; %60 O₂, %40 CO₂; %40 O₂, %40 CO₂, %20 N₂) modifiye atmosferde paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 10 gün) etlerde meydana

gelen fizikokimyasal değişiklikler araştırılmıştır. Depolama boyunca tüm örneklerin pH değerinde düşüş, toplam aerobik ve laktik asit bakteri sayılarında ise artış görülmüştür ve en büyük artış kontrol grubunda tespit edilmiştir. Duyusal değerlendirme açısından; %80 O₂, %20 CO₂ ve %60 O₂, %20 CO₂ ve %20 N₂ örneklerinin panelistler tarafından daha çok beğenildiği belirtilmiştir.

3.4 Yenilebilir Film ve Kaplamalarla Paketleme

Yenilebilir film ve kaplamalar, insanların rahatlıkla tüketebilecekleri güvenilir bileşiklerdir. Yenilebilir film ve kaplamalar,

- ✓ Polisakkarit bazlı (nişasta, selüloz, pektin vb.)
- ✓ Lipid bazlı (parafinler, balmumu vb.)
- ✓ Protein bazlı (peynir altı suyu, gluten, zein, vb.) bileşiklerin sulu çözeltilerinden üretilmektedir.

Yukarıda adı geçen film hammaddeleri genellikle gıda maddesine streç film benzeri şekilde sarılarak bazen de gıdanın direkt olarak bu çözeltilere daldırılması ve püskürtülmesi şeklinde uygulanmaktadır. Bu uygulamalar neticesinde gıda üzerinde ince bir tabaka oluşmakta ve bu tabakaya da yenilebilir film denmektedir (Khan ve diğ., 2012). Yenilebilir filmlerin; tüketilebilir olması, çevre dostu olması, gıdanın görüntüsünde olumsuz bir durum yaratmaması aksine ürünü parlak göstermesi, oksijen ve neme karşı bariyer oluşturarak oksidatif ve mikrobiyal bozulmaları sınırlandırması ve insan sağlığı açısından herhangi toksikolojik bir etki göstermemesi gibi pek çok olumlu özelliğe sahip olduğu bildirilmiştir (Cutter, 2006).

Gıda gerek depolama süresince gerekse de ambalaj materyali içerisinde önemli oranda su kaybetmektedir. Yenilebilir film ve kaplamalar sayesinde etteki firenin azaltıldığına yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Debeaufort ve diğ., 1998; Park, 1999; Perez-Gago ve diğ., 2005). Son yıllarda, yenilebilir film ve kaplamaların içerisine bazı antioksidan ve antimikrobiyal maddelerin dahil edilmesiyle bu maddeler zamanla film tabakasından gıdaya geçebilmekte, böylece gıdanın fiziksel ve duyuşal özelliklerinde önemli iyileştirmeler sağlanmakla birlikte gıdanın raf ömrünün

uzamasına da katkıda bulunmaktadır (Ciolacu ve diğ., 2014; Dutta ve diğ., 2009; Elsabee ve Abdou, 2013; Frazao ve diğ., 2017; Pranoto ve diğ., 2005).

Utami ve diğ. (2019) antioksidan ve antimikrobiyal özellikteki tarçın (*Cinnamomum burmannii*) kabuğu yağının (%0, 0,5, 1, 1,5 ve 2) ilave edilmesiyle hazırlanmış polisakkarit bazlı yenilebilir filmlerin (tapyoka nişastası ve gliserol), depolama boyunca taze dana bifteklerin toplam psikrofilik mikroorganizma, TBARS ve TVB-N değerine etkilerini inceledikleri bir çalışmada, tarçın kabuğu yağının toplam psikrofilik mikroorganizma sayılarını azaltarak lipid oksidasyonunu önemli ölçüde engellediğini belirtmişlerdir. Ayrıca, depolama boyunca tüm etlerin TVB-N değerlerinde artışlar görülmesine rağmen tarçın kabuğu yağı içeren yenilebilir filmlerle ambalajlanmış etlerin daha düşük TVB-N değerine sahip olduğu saptanmıştır.

Karimnezhad ve diğ. (2019) tavuk filetolarında, farklı oranlarda (%1 ve 2) keklikotu yağı ilavesi ile kitosan içeren yenilebilir filmlerin ayrı ayrı ve kombine uygulanmasının etkilerini araştırdıkları bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 12 gün) %2 keklikotu yağı içeren yenilebilir filmlerin uygulandığı örneklerde, toplam psikrofilik aerobik canlı sayısının daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Kitosan ile %2 keklikotu yağının birlikte kullanılması durumunda toplam psikrofilik aerobik ve toplam koliform sayılarının önemli ölçüde azaltıldığı (2,14 log ve 3,53 log CFU/g) bildirilmiştir.

Du ve diğ. (2021) kitosan bazlı yenilebilir filmlere ekledikleri farklı oranlardaki (%0,05, 0,1, 0,15 ve 0,2) biberiye ekstraktının sazan balıklarında yağ oksidasyonuna ve su buharı geçirgenliğine etkilerini inceledikleri başka bir çalışmada, %0,2 biberiye ekstraktı eklenen filmin yağ oksidasyonunu engellenmede oldukça başarılı olduğu ve filmlere eklenen biberiye ekstraktının artışıyla su buharı geçirgenliğinin önemli oranda azaldığını belirtmişlerdir.

3.5 Biyobazlı Nanokompozitler

Kompozit, iki veya daha fazla materyalden her birinin en iyi özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla kombine edilmesi şeklinde tarif edilir. Kompozit

malzemeler, tek parça konvansiyonel materyallerin kısıtlı kullanım olanaklarını genişletmek için geliştirilmiş yeni bir malzeme sınıfıdır. Nanokompozitler ise, en az bir tanesi nm boyutunda (1-100 nm) malzeme içeren iki veya daha fazla bileşenin oluşturduğu malzemelerdir. Genel anlamda nanokompozitler nano ve polimer fazı olmak üzere 2 faz içerir ve bu fazlar inorganik-inorganik, inorganik-organik, organik-organik kombinasyonlar şeklinde oluşturulmaktadır. Nanokompozitlerin polimer fazı polimer matriksi, nanofiller (nano-kompozitlerin elde etmekte kullanılan dolgu malzemesi), uyumlulaştırıcılar ve plastikleştiriciler olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır. Nanokompozit polimerler; doğal (nişasta, selüloz, kitosan vb.), mikrobiyal poliestherler (polihidroksiakonatlar, polilaktik asit vb.), kimyasal olarak sentezlenen biyobozunur (poliglikolik asit, polivinil alkol vb.) ve biyolojik olarak bozunamayan polimerler (nylon, poliamidler vb.) olarak 4 farklı gruba ayrılmaktadır (Bordes ve diğ., 2009). Nanokompozitlerin üretimi aşamasında çeşitli nanopartiküller kullanılmaktadır (Dallas ve diğ., 2011; Shankar ve Rhim, 2014; Shankar ve diğ., 2014; Kanmani ve Rhim, 2014; Zhang ve diğ., 2010). Bu bileşikler;

- Metal iyonları (gümüş, bakır, altın, paladyum)
- Metal oksitler (TiO₂, ZnO, MgO)
- Organik modifiye nanokiller (Gümüş-zeolit, montmorillonit)
- Doğal biyopolimerler (kitosan)
- Doğal antimikrobiyal ajanlar (nisin, thymol, karvakrol)
- Enzimler (peroksidaz, lizozim)
- Sentetik antimikrobiyaller (EDTA, benzoik asit, propiyonik asit)

Nanokompozitlerin termal, mekanik ve bariyer özelliklerinde iyileştirmeler sağlamak amacıyla nano partiküllerin kullanıldığı çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (Duncan, 2011; Kuorwel ve diğ., 2015; Rhim, 2011; Rhim ve diğ., 2013). Ayrıca, nanokompozitlerin içerisine ilave edilen bazı nano partiküllerin malzemeye antimikrobiyal ve antioksidan özellik kazandırdığı da bildirilmektedir. Kullanılan polimerlerin biyolojik kaynaklardan elde edilmesi ya da doğada çözünür

(biyobozunur) formda olması durumunda oluşan materyal ise biyobazlı nanokompozitler olarak adlandırılmaktadır (Kuorwel ve diğ., 2015; Kuulialaa ve diğ., 2015; Mittar, 2011; Ramachandraiah ve diğ., 2015; Shankar ve Rhim, 2016).

Son zamanlarda, gümüş bazlı antimikrobiyal nano kompozit ambalajlar, et perakendecileri ve distribütörleri arasında daha fazla ilgi görmektedir. Nano boyutlu gümüşün ambalaj materyaline kaplandığı bir çalışmada, taze domuz filetolarındaki *E. coli* ve laktik asit bakterilerini önemli ölçüde engellemesine rağmen raf ömrü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir (Kuulialaa ve diğ., 2015).

Rhim ve diğ. (2013) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise; farklı miktarlarda gümüş nano partikülleri kullanılarak üretilen kompozit filminin özellikle *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* mikroorganizmalarına karşı güçlü antimikrobiyal etki gösterdiği ve gümüş nano partiküllerin artışıyla birlikte su buharı geçirgenliğinde önemli düşüşler gözlemlendiği bildirilmiştir.

Arfat ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, jelatin (balıktan üretilmiş) ve gümüş-bakır nano partikülleri kullanılarak üretilmiş biyo-nanokompozit filmin *L. monocytogenes* ve *S. enterica* mikroorganizmalarına karşı daha yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiği belirtilmiştir.

Taze etlerde Salmonella, Campylobacter ve *E. coli* gelişimini inhibe etmek için çeşitli gümüş bazlı nanokompozitler (Biomaster®, Irgaguard®, Surfaccine®, Aglon®, d2p®, IonPure® ve Bactiblock® gibi) kullanıldığı belirtilmiştir (Uyarcan ve diğ., 2019).

3.6 Sous-Vide Paketleme

Sous-vide kelimesi Fransızca “vakum altında” anlamına gelmektedir. Bu teknik ilk olarak 1970’de Fransa’da bir aşçı olan George Pralus tarafından çiğ ürüne düşük ısı uygulaması yapılarak denenmiştir (Bağdatlı ve Kayaardı, 2010). Daha sonra Ready (1971) tarafından ürün ısıya dayanıklı vakum poşetler içerisine konularak farklı sıcaklık ve sürelerde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlemin patojen karakterli mikroorganizmaları önemli ölçüde inhibe ettiği belirtilmiştir.

Sous-vide paketlemenin güncel uygulamalarında taze etler öncelikle belirli oranlarda yağ, tuz ve baharatlarla katkılanarak uygun ambalaj malzemesine aktarılır ve ardından ambalaja vakumlama işlemi uygulanır. Vakumlanan örnekler belirli sıcaklık-süre parametrelerinde ısıtılma tabii tutulduktan sonra tüketiciye soğuk zincir şartlarında ulaştırılmaktadır (Gonzalez-Fandos ve diğ., 2004). Tüketiciler de sous-vide paketlenmiş eti arzu edildiğinde kolayca ısıtıp tüketebilmektedir (García-Linares ve diğ., 2004). Sous-vide ambalajlanmış ürünler tüm dünyada, özellikle market reyollarında, hastane, fabrika, okul, otel ve askeri gıda servislerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Farklı sıcaklık (60 ve 70°C) ve süre (1, 2 ve 3 saat) normlarında sous-vide tekniğiyle üretilen tavuk göğüs etlerinin tekstürel (sertlik, yapışkanlık, esneklik, çignenebilirlik) ve duyuşal (aroma, sululuk, çignenebilirlik ve genel beğeni) özelliklerindeki meydana gelen değişiklerin incelendiği bir çalışmada, sıcaklık ve sürenin uzamasıyla birlikte etlerdeki aromanın duyuşal açıdan arttığı ancak yapışkanlık, esneklik ve çignenebilirlik özelliklerinde anlamlı farklılıkların olmadığı (P>0,05) bildirilmiştir. Genel beğeni açısından ise 60°C’de 3 saat boyunca pişirilen tavuk göğsünün panelistler tarafından daha çok beğenildiği gözlenmiştir. 60°C’de 1 saat pişirilen örneklerin diğerlerine nazaran daha sulu oldukları belirtilmiştir (Park ve diğ., 2020).

Karki ve diğ. (2022); dana kaburga etlerine farklı sıcaklık (60, 65 ve 70°C) ve sürelerde (12, 24 ve 36 saat) sous-vide tekniği uygulayarak etin kalite karakteristiğinde meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Buna göre, sıcaklık ve sürenin artışıyla birlikte etlerdeki pişirme kayıpları ve kolajen miktarları artmasına rağmen a* değeri açısından örnekler arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı (P>0,05) tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve uzun sürenin etin L* değerini azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca, 60°C’de pişirilen etlerin diğerlerine nazaran daha sert oldukları bildirilmiştir.

3.7 Aktif Paketleme

Aktif paketleme, artan tüketici ihtiyaçları ve tercihlerine yönelik gıda ambalaj materyallerinin çeşitli kısım veya katmanlarında çeşitli tutucuların (oksijen, karbondioksit ve nem) kullanılmasının yanı sıra ambalaj materyaline bazı doğal veya

sentetik antioksidan ve antimikrobiyal maddelerin ilave edilmesiyle gıdalarda raf ömrünün uzatılmasına katkıda bulunan önemli bir paketleme çeşididir. Aktif paketleme; temelde 5 gruba ayrılmakta ve bunlara kısaca aşağıdaki bölümlerde değinilmektedir (Fang ve diğ., 2017).

3.7.1 Oksijen Tutucular

Oksijen tutucular, endüstride sıklıkla kullanılan vakum paketlemeye bir alternatif olarak sunulan, paketleme masraflarını azaltan, karlılığı artıran, ürün kalitesini geliştiren ve raf ömrünü uzatan önemli bir aktif paketleme uygulamasıdır. Bu uygulama ilk olarak Ageless isimli ticari bir marka adı altında Mitsubishi Gaz Kimyasal Şirketi tarafından geliştirilerek gıda ambalaj pazarına sevk edilmiştir (Gomez-Estaca ve diğ., 2014; Ozdemir ve Floros, 2004).

Oksijen tutucular, paketleme sonrasında paket içerisindeki kalıntı oksijeni bünyesinde tutarak, oksijene duyarlı vitamin, mineral gibi önemli gıda bileşenlerini koruma altına almaktadır. Bu bağlamda, gıda endüstrisinde çeşitli oksijen tutucu bileşikler (askorbik asit, doymamış hidrokarbonlar, glikoz oksidaz, ışığa karşı hassas boyalar vb.) kullanılmaktadır. Bu bileşikler ambalaj sistemine kart, film veya ambalaj materyaline laminasyon şeklinde ilave edilmektedir. Oksijen tutucular, tek başına veya MAP ile birlikte de kullanılabilirler (Kerry ve diğ., 2006; Lopez-Rubio ve diğ., 2004; Vermeiren ve diğ., 1999).

Tablo 3.2’de görüldüğü üzere, et ve ürünlerinde ticari olarak kullanılan bazı oksijen tutucu örnekleri bulunmaktadır. Dünyada Ageless® markalı kart veya torbacık tipi oksijen tutucuların diğerlerine nazaran daha fazla kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 3.2. Et ve ürünlerinde ticari olarak kullanılan oksijen tutucu sistemler

Format	Ticari İsim	Üretici
Kart	Ageless®	Mitsubishi Gas Chemical Co. (Japonya)
Film	Bioka®	Bioka Ltd (Finlandiya)
Film	OS2000®	Sealed Air Corporation (ABD)
Torbacık	Ageless®	Mitsubishi Gas Chemical Co. (Japonya)
Torbacık	FreshPax®	Multisorb Technologies Inc (ABD)
Torbacık	Secule®	Nippon Soda Co. (Japonya)

Baele ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada; domuz sosisleri oksijen tutuculu ve oksijen tutucusuz olarak modifiye atmosferde (%40 CO₂ ve %60 N₂) paketlenerek 7°C'de 25 gün süreyle muhafaza edilmiştir. Oksijen tutucular, modifiye atmosfer paketlemede kullanılan iki farklı ambalaj film (oriented poliamid/polipropilen ve oriented poliamid/EVOH/oriented poliamid/polipropilen) içerisine yapııştırılmıştır. Oksijen tutucuların sosislerin aletsel renk değerlerini önemli ölçüde korudukları ve lipid oksidasyonunu da engellemede oldukça başarılı oldukları belirtilmiştir.

Custode ve diğ. (2017) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise; dana kıymaları oksijen tutuculu ve oksijen tutucusuz olarak farklı gaz kompozisyonlarında modifiye atmosferde (%20 CO₂ ve %80 N₂; %30 CO₂ ve %70 N₂) paketlenerek depolama boyunca (28 gün, 0,5°C) kıymaların renginde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Mitsubishi Gas Chemical (Amerika) şirketinden temin edilen oksijen tutucular polistiren kapların iç kısmına yerleştirilmiştir. Genel olarak depolama boyunca oksijen tutucu materyalle paketlenen tüm kıymaların L* ve b* değerlerinde önemli bir değişiklik olmazken (P>0,05) a* değerinde ise belirgin bir azalış (P<0,05) tespit edilmiştir.

3.7.2 Karbondioksit Düzenleyiciler

Karbondioksit hem suda hem de lipitlerde çözünebilir ve bazı mikroorganizmaların (aerobik bakteri ve küflerin) gelişimini inhibe ederek antimikrobiyal etki gösteren önemli bir gazdır. Karbondioksit et, balık, peynir gibi gıdaların muhafazası sırasında ürün yüzeyinde gelişebilecek mikroorganizmaların lag fazını uzatmak ve log fazını ise yavaşlatmak amacıyla kullanılan bir aktif paketleme yöntemidir (Kerry ve diğ., 2006; Lopez-Rubio ve diğ., 2004; Suppakul ve diğ., 2003; Vermeiren, 1999). Et ve ürünlerinde mikrobiyal faaliyeti yavaşlatmak veya durdurmak için geniş bir aralıkta (%10-80) karbondioksit gazına ihtiyaç vardır (Biji ve diğ., 2015; Vermeiren, 1999).

Karbondioksitin mikroorganizmalar üzerine farklı etkileri bulunmaktadır. Örneğin; %10-20 konsantrasyonda karbondioksit uygulaması aerobik bakterilerin gelişimini yavaşlatırken laktik asit bakterilerinin gelişimini ise hızlandırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, %50 ve üzerinde uygulanan karbondioksit gazının bazı patojen karakterli mikroorganizmaların (*L. monocytogenes*, *C. botulinum* ve *C. perfringens*) gelişimini inhibe ettiği belirtilmiştir (Yingyuad ve diğ., 2006). Mohan ve diğ. (2010) yapmış oldukları çalışmada, yüksek konsantrasyonda (%50-70) karbondioksit uygulamasının balıklarda arzu edilmeyen renk ve lezzet oluşumuna neden olan gram negatif-aerobik karakterli *Pseudomonas*ların gelişimini önemli oranda yavaşlattığını bildirmişlerdir. Bu kapsamda, özellikle tavuk ve balıkların modifiye atmosferde paketlenmesinde belli konsantrasyonlarda (%30-40) karbondioksit gazı kullanılmaktadır.

Genellikle ambalaj materyallerinin karbondioksit geçirgenliği oksijene göre daha fazla olduğundan ambalaj içinden dışına transfer olan karbondioksitin dengelenebilmesi için ortama karbondioksit salan ve tutan çeşitli bileşiklerin kullanılması gerekir. Bu amaçla, NaHCO_3 ve sitrik asit gibi bazı bileşikler ambalaj materyalinin çeşitli katmanlarına yerleştirilmektedir (Kerry ve diğ., 2006).

Hansen ve diğ. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, Atlantik morina balıkları (*Gadus morhua* L.) farklı paketleme yöntemleri (MAP: %60 CO_2 , %40 O_2 ; vakum paketleme) kullanılarak paketlenmiş ve depolama boyunca (1,3°C, 25 gün) balıklarda meydana gelen mikrobiyolojik ve duyuşal değişiklikler araştırılmıştır.

Modifiye atmosferde paketlenen üründe, karbondioksit salıcı olarak hazırlanan bir çözelti (NaHCO₃ ve sitrik asit) ambalaj materyalinin katmanlarına yapıştırılmıştır. Vakum paketlenen ürünle karşılaştırıldığında, modifiye atmosferde paketlenen balık etlerinin mikroorganizma sayılarının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ayrıca modifiye atmosferde paketlenmenin önemli oranda Carnobacterium ve Photobacterium bakterilerini inhibe ettiği görülmüştür. Duyusal olarak, vakum paketlenen örneklerin daha yüksek puan aldığı görülmesine rağmen istatistiksel açıdan örnekler arasında önemli bir farklılığın olmadığı belirtilmiştir (P>0,05).

Holck ve diğ. (2014) tarafından yapılan başka bir çalışmada; tavuk göğüs etleri farklı gaz kompozisyonlarda (%100 N₂; %30 CO₂ ve %70 N₂; %60 CO₂ ve %40 N₂) modifiye atmosferde paketlenmiştir. Ayrıca her bir ambalaj materyali içerisine CO₂ salıcı özelliği gösteren bir poşet veya ped (sıvı bir absorberin içerisine NaHCO₃ ve sitrik asit ilave edilmiştir) yerleştirilmiştir. Genel olarak depolama boyunca tüm örneklerin mikroorganizma sayılarında artış görülmüş ancak istatistiksel açıdan bir farklılık tespit edilmemiştir (P>0,05). Ayrıca karbondioksit oranı arttıkça örneklerin duyusal koku puanlarında artış, pH değerinde ise bir azalışın olduğu bildirilmiştir.

Her ne kadar karbondioksitin bazı mikroorganizmalar üzerinde antibakteriyel bir etki gösterdiği bilinse de aynı zamanda karbondioksit, et ve ürünlerinin mikrobiyolojik bozulması sonucunda da açığa çıkabilmektedir (Biji ve diğ., 2015; Floros ve diğ., 1997; Kerry ve diğ., 2006; Scannell ve diğ., 2000; Sivertsvik ve diğ., 2004). Bu yüzden ambalaj materyalinde karbondioksiti uzaklaştıran veya tutan çeşitli bileşiklere ihtiyaç vardır. Sodyum hidroksit, potasyum hidroksit, kalsiyum hidroksit, silika jel ve kalsiyum oksit gibi çeşitli karbondioksit gazı tutucular kanatlı ve kurutulmuş dana etlerinin paketlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ahvenainen, 2003; Dobrucka ve Cierpiszewski, 2014). Genellikle, karbondioksit tutucular, modifiye atmosferde paketlenen gıdalarda kullanılmaktadırlar. Gıdaların paketlenme aşamasında mevcut karbondioksiti tutabilmek için kullanılan CO₂ tutucuların genel olarak çalışma mekanizması kısaca aşağıda belirtilmiştir (Mohan ve diğ., 2010).



Et ürünlerine uygulanan ve ticari olarak temin edilebilen bazı CO₂ düzenleyicileri genellikle poşet ve absorbe edici pedler formunda bulunmaktadır ve bunlar kısaca Tablo 3.3'te verilmiştir (Kerry ve diğ., 2006).

Trindade ve diğ. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada; kuzu etleri (*Longissimus lumborum* kası) vakumla paketlenmiş ve depolama boyunca (1°C, 28 gün) etlerde meydana gelen fizikokimyasal ve mikrobiyolojik değişiklikler incelenmiştir. Bu kapsamda, oksijen (504BZ-50CC, Didai) ve karbondioksit tutucular (504E-50CC, Didai) bireysel ve kombine halde ambalaj materyalinin iç kısmına yerleştirilmiştir. Depolama boyunca tüm örneklerde psikrofil ve laktik asit bakterilerde artış gözlenmiş ancak oksijen veya karbondioksit tutucusuz örneklerdeki artışın daha fazla olduğu belirtilmiştir. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, oksijen ve karbondioksit tutucuların kombineli uygulamasının etlerdeki koliform bakteri sayılarını önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır (P<0,05). Ayrıca, depolama boyunca etlerin renginde (L*, a* ve b*) önemli bir değişiklik (P>0,05) tespit edilmemiştir.

Tablo 3.3. Et ürünlere uygulanan ve ticari olarak temin edilebilen bazı ticari CO₂ salıcıları ve tutucuları (Ahmed ve diğ., 2020; Fang ve diğ., 2017; Lee ve diğ., 2021)

CO₂ Salıcılar veya Yayıcılar		
Ticari İsmi	Üretici	Tanımlama
Ageless® G	Mitsubishi Gas Chemical Co. (Japonya)	Ped veya torbacık halinde
Freshlizer® C ¹	Toppan Printing Co. (Japonya)	
Vitalon ® G ¹	Toagosei Chemical Co. (Japonya)	
Fresh Pax® M	Multisorb Technologies Inc. (ABD)	
Verifraise Package	SARL Codimer (Fransa)	
Freshlock	Multisorb Technologies Inc. (ABD)	
Superfresh	Vrtdal Plastindustri AS. (Norveç)	
UltraZap® Xtenda Pak pads	Paper Pak Industries (Kanada)	
CO ₂ ® Fresh Pads	CO ₂ Technologies (ABD)	
CO₂ Tutucular		
Ageless® E veya FreshLock®	Mitsubishi Gas Chemical Co. (Japonya)	Ped veya torbacık şeklinde
ATCO®	EMCO (İngiltere)	
Fresh Kimchi® Karbondioksit Gaz Tutucu	TPG (Kore)	
SANDRY®	Hengsan Vietnam Co. (Vietnam)	
Yome® Fresh- keeping Agen	Yangzhou Yome Stayfresh Technology Co. (Çin)	

3.7.3 Nem Tutucular

Nem, gıdaların bozulmasına neden olan en önemli parametrelerden biridir. Et ve ürünleri yüksek su aktivitesine sahip olmalarından dolayı zamanla etten ambalaja doğru bir su geçişi (fire) olmaktadır. Ambalaj içerisinde kalan su, patojen ve bozulma etmeni olan çeşitli mikroorganizmaların gelişimlerine imkân vermektedir (Gaikwad ve diğ., 2019). Bunun için öncelikle ambalaj materyali içerisindeki nem seviyesinin kontrol edilmesi ve gerekirse ambalaj içerisindeki fazla nemin ortamdaki uzaklaştırılması gerekir. Bu amaçla, silika jel, kalsiyum oksit, kil vb. bileşiklerden elde edilen nem tutucuların gıdaların aktif paketlenmesinde yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Nem tutucular genellikle gözenekli veya delikli bir yapıya sahip poşet, ped veya kartuş şeklinde olabilen materyallerdir. Bunlar doğrudan ambalaj materyalinin içerisine konulabildiği gibi aynı zamanda ambalaj materyalinin çeşitli katmanlarına da yapıştırılmaktadır (Vermeiren ve diğ., 1999).

Hindi etlerinin atmosferik oksijen altında paketlenmesinde diatomit içeren nem tutucuların kullanıldığı bir çalışmada, nem tutucu olmayan örneklerdeki raf ömrünün 4 gün olarak belirlendiği görülürken nem tutucuların kullanıldığı paketlenmiş etlerdeki raf ömrünün 8 gün olduğu dolayısıyla nem tutucuların hindi etinin raf ömrünü önemli ölçüde uzattığı bildirilmiştir (Uğurluay, 2010).

3.7.4 Antioksidan Paketleme

Gıdalarda oksidatif stabiliteyi iyileştirmek için ambalaj malzemelerinde bazı antioksidan bileşikler kullanılmaktadır. Etin paketlenmesinden sonra ambalaj materyali içerisinde kalan oksijen etlerde lipid oksidasyona sebep olarak etlerin kalite karakteristiklerinde birtakım olumsuz değişikliklere (arzu edilmeyen renk ve lezzet oluşumu, besinsel kayıp) neden olmakta ve aerobik karakterli mikroorganizmaların gelişimine imkân vererek etin raf ömrünü kısaltmaktadır (Gomez-Estaca ve diğ., 2014; Liu ve diğ., 2010, Vital ve diğ., 2016). Bu yüzden et ve ürünlerinin paket içerisinde kalan oksijen seviyesinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda etlerde oksidatif bozulmayı önlemek için çeşitli sentetik veya doğal kökenli antioksidanlar ambalaj materyallerinin çeşitli kısım veya katmanlarına (püskürtme ve laminasyon işlemleriyle) tutturulmakta ve böylece ortamda hidrojen peroksit gibi serbest

radikallerin oluşumu engellenmektedir (Feng ve diğ., 2017; Feng ve diğ., 2016; Gomez-Estaca ve diğ., 2014; Jianglian ve Shaoying, 2013; Mitsumoto ve diğ., 2005, Shi ve diğ., 2001).

Bütillenmiş hidroksianisol (BHA), bütillenmiş hidroksitoluen (BHT), propil gallat (PG) gibi sentetik karakterli antioksidanlar etlerin raf ömrünü uzatmak için yaygın bir şekilde kullanılan bileşiklerdir. BHA ve BHT gibi antioksidanların kullanımı etlerin kalite özelliklerinde önemli iyileşmeler sağlasa da bu bileşiklerin bireyler üzerinde toksik ve karsinojen etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum tüketicilerin sentetik antioksidanların yerine doğal kökenli antioksidan bileşiklerle paketlenmiş et ve ürünlerine olan ilgilerini artırmıştır (Kerry ve diğ., 2006). Bu bağlamda tokoferol, askorbik asit, çeşitli bitki ekstraktları gibi doğal kökenli antioksidanların gıdalarda kullanımında önemli bir artış gözlenmiştir (Fang ve diğ., 2017; Feng ve diğ., 2017; Yang ve diğ., 2016; Zhang ve diğ., 2016).

Contini ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada; et örnekleri turunçgil ekstraktı ve α -tokoferol çözeltileri ile kaplanmış (sprey yoluyla) polietilen terefilat tepsilerinin içerisine yerleştirilmiş ve depolama boyunca (4°C, 4 gün) örneklerin lipid oksidasyonunda meydana gelebilecek değişiklikler araştırılmıştır. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, turunçgil ekstraktının örneklerin lipid oksidasyonunu önlemede oldukça etkili olduğu görülürken α -tokoferolün ise lipid oksidasyonunu önlemede başarılı olamadığı gözlenmiştir.

Sirochi ve diğ. (2013) tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise; yüksek yoğunluklu polietilen ambalaj materyalinin iç kısımlarına püskürtülen *Rosmarinus officinalis* yağının (%4), tavuk göğüs etlerinde lipid oksidasyonunu ve bazı mikroorganizmaların (*Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas* spp. ve *Brocothrix thermospacta*) gelişimini önemli oranda engellediği belirtilmiştir.

Contini ve diğ. (2014) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise; pişirilmiş hindi etleri turunçgil ekstraktı ile kaplanmış polietilen terefilat tepsilerine yerleştirilmiş ve depolama boyunca (4°C, 4 gün) örneklerin kalite karakteristiğinde (pH, lipid oksidasyonu, renk, duyu özellikler) meydana gelebilecek değişiklikler araştırılmıştır. Depolama boyunca, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında turunçgil ekstraktının örneklerin rengi üzerinde herhangi bir olumsuz durum yaratmadığı ayrıca

turunçgil ekstraktının lipid oksidasyonun önemli oranda engellediği tespit edilmiştir. Ancak, duyuşal açıdan iki örnek grubu arasında istatistiksel açıdan bir farklılık gözlenmemiştir.

3.7.5 Antimikrobiyal Paketleme

Antimikrobiyal paketleme etlerin bozulmasına neden olabilecek veya patojen karakterli çeşitli mikroorganizmaların gelişimlerini yavaşlatmak için kullanılan önemli bir aktif paketleme çeşididir (Bolumar ve diğ., 2011). Antimikrobiyal paketlemede, çeşitli doğal veya sentetik antimikrobiyal bileşikler ambalaj materyalinin film formülasyonuna ya da ambalaj materyaline kaplanmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Antimikrobiyal bileşikler arasında özellikle nisin, kitosan, potasyum sorbat, gümüş ikameli zeolit ve esansiyel yağların yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir (Beigmohammadi ve diğ., 2016; Lomate ve diğ., 2018).

Esansiyel yağların bileşiminde bulunan fenolik bileşenlerin (karvakrol, eugenol ve timol) patojen karakterli mikroorganizmalar dahil birçok mikroorganizmaya karşı antimikrobiyal etki gösterdiği bilinmektedir (Burt, 2004; Jayasena ve Jo, 2013). Esansiyel yağların bileşiminde bulunan diğere önemli maddelerden biri de terpenlerdir (izopren denilen çok sayıda tekrarlanan birimlerden oluşmaktadır). Birçok bilimsel çalışma, esansiyel yağların bakterisidal veya bakteriyostatik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Esansiyel yağların özellikle gram negatif bakteriler (sahip olduğu dış zardan dolayı) üzerinde daha etkili oldukları tespit edilmiştir (Khorshidian ve diğ., 2018).

Kwon ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, poli vinil alkol içerisine keklikotu yağı ilave edilerek bir film oluşturulmuş ve bu filmin özellikle *Salmonella enterica*, küf, maya ve mezofilik bakterilere karşı önemli oranda antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiştir.

Ayrıca kitosanın da çeşitli mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal ve antifungal etki gösterdiği bilinmektedir. Kitosan kitinin deasetilasyonu ile elde edilen lineer bir aminopolisakkarittir. Kitin ise, kabuklu deniz hayvanlarının kabuklarında fazla miktarda ve yeryüzünde selülozdan sonra en fazla bulunan doğal bir

biyopolimerdir (Xiao ve diğ., 2015). Kitosan ayrıca Amerika, Avrupa Birliği ülkelerinde ve Çin'de güvenli bir gıda koruyucu olarak sınıflandırılmaktadır. Birçok araştırmacı, kitosani diğer pek çok antimikrobiyal maddelerle (propolis ve meyve kabuğu ekstraktları gibi) kombine ederek çalışmalarında kullanmışlardır (Dobrucka ve Przekop, 2019).

Riaz ve diğ. (2018) tarafından bir antimikrobiyal film (elma kabuğu ekstraktı ve kitosan içeren film) geliştirilmiştir. Bu filmin *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri üzerinde antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Niu ve diğ. (2018) tarafından selüloz bazlı nanofiber antibakteriyel bir film (modifiye edilmiş reçine ve polilaktik asit matriksi içeren) geliştirilmiştir. Geliştirilen bu filmin *Escherichia coli* ve *Bacillus subtilis*'e karşı güçlü bir antimikrobiyal etki (kitosan ve reçinenin sinerjik etkileri neticesinde) gösterdiği belirlenmiştir.






Nisin, son yıllarda gıdalarda antibakteriyel ajan olarak kullanılmaktadır (Saini ve diğ., 2016). Nisin, yapısında 34 amino asit bulunan, 3,5 kDa'lık molekül ağırlığına sahip ve *Lactococcus lactis* suşları tarafından üretilen antimikrobiyal bir peptittir (Mulders ve diğ., 1991). Ayrıca, nisin gram pozitif bakterilere karşı geniş bir inhibitör aktivite göstermektedir (Delves-Broughton ve diğ., 1996). Wu ve diğ. (2018) oksitlenmiş selüloz membranı üzerine nisini ilave ederek bir antimikrobiyal film üretmişlerdir. Elde edilen filmin *Alicyclobacillus acidoterrestris* bakterisine karşı güçlü antimikrobiyal aktivite gösterdiği ve mükemmel oksijen bariyeri özelliğine sahip olduğu görülmüştür.

3.8 Akıllı Paketleme

Akıllı paketleme, ambalajlanmış gıdanın tutulduğu çevreyi veya gıdanın bazı kalite karakteristiklerini gösteren çeşitli indikatör (sızıntı, tazelik, sıcaklık-zaman indikatörleri) ve sensörlerin (gaz, biyosensörler, floresans bazlı gaz ve nano sensörler) bulunduğu bir paketleme sistemidir. Ayrıca gıda paketi üzerine yerleştirilen çeşitli etiketler (barkodlar, RFID) sayesinde ürünlerin izlenebilirliği sağlanmaktadır. Dolayısıyla bu durum hem üreticilere hem de tüketicilere gıda ürünü hakkında çeşitli

bilgiler sunarak ürünün güvenilirliğini artırmaktadır (Fang ve diğ., 2017; Kerry ve diğ., 2006; Yam ve diğ., 2005). Gıda endüstrisinde kullanılan barkodlar kısaca Tablo 3.4’te verilmiştir.

Tablo 3.4. Gıda endüstrisinde kullanılan barkod sistemleri

Örnekler	İsmi
 0 22334 54545 3	UCP Barkod
 20012345678909	RSS Barcod
	PDF 417 barkod
	Aztec Kod
	GS1 Barkod

3.8.1 Barkodlar

Barkod, gıda paketlerinin üzerinde bulunan ürünün niteliğini, fiyatını, stok durumunu gibi bazı bilgileri içeren, çeşitli çubuk veya şekillerden oluşan simgelerdir. 1970’lerde ilk barkod sistemi geliştirilmiş ve bu barkod sisteminin ismi ise UPC

(Evrensel Ürün Kodu) olarak ifade edilmiştir. UPC barkod sistemiyle birlikte perakende satış yapılan işletmelerde ürünlerin stok durumu veya kontrolü sağlanmıştır (Manthou ve Vlachopoulou, 2001). UPC barkodu, üretici kimlik numarası ve ürün numarası gibi sınırlı bilgileri içeren 12 basamaklı rakamlardan oluşmaktadır (Yam ve diğ., 2005). Daha sonra tüketicilere daha fazla bilgi veren çeşitli barkod sistemleri (RSS, PDF 417, Aztech ve GS1 barkodlar) geliştirilmiş ve bunlar Tablo-1’de gösterilmiştir.

Barkodlara gıda ürünü hakkında çeşitli bilgiler (gıda paketlenme tarihi, paket ağırlığı, pişirme talimatları, gıda üreticisinin web sitesi, gıda bilgisi) kodlanmakta ve böylece tüketiciler barkodları akıllı telefonları yardımıyla okutarak ürün hakkında bilgilere ulaşabilmektedir. Barkodlar ayrıca gıda ürünlerinin kökeni hakkında bilgiler veren araçlardır (Fang ve diğ., 2017).

3.8.2 RFID (Radio frequency identification) Etiketleri

RFID etiketleri, akıllı paketlenme sistemlerinde kullanılabilen, ürünün tedarik zinciri yönetimini ve izlenebilirliğini sağlayan gelişmiş bir veri taşıyıcıdır (Ruiz-Garcia ve Lunadei, 2011). Barkodlarla karşılaştırıldığında RFID etiketleri daha fazla veriyi depolama alanına sahiptir (Mennecke ve Townsend, 2005). Ancak RFID etiketleri barkod sistemlerine göre daha pahalı ve daha fazla elektronik bilgi ağına ihtiyaç duymaktadır.

Tipik bir RFID sisteminde, bir RFID etiketi veri yakalamak için bir okuyucu ile radyo dalgaları yayar ve daha sonra bu veriler analiz edilmek üzere ana bir bilgisayara (yerel ağa veya İnternet’e) gönderilir (Yam ve diğ., 2005). Ürün üzerine yerleştirilen etiketlerin bir etiket okuyucusu tarafından okunmasıyla tedarik zinciri yönetimi ile ilgili bilgiler otomatik olarak kaydedilmekte veya değiştirilebilmektedir. RFID etiketleri pasif ve aktif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Pasif etiketlerde herhangi bir batarya bulunmamaktadır ve enerji etiket okuyucusu tarafından sağlanır. Aktif etiketlerde ise kendi mikroçip devresini çalıştırmak ve sinyalleri okuyucuya göndermek için bir batarya bulunmaktadır. Aktif etiketler pasif etiketlere göre daha pahalı ve daha uzak mesafelerde okuma yapabilme imkânı sağlasa da bu durum okuyucunun gücüne, çalışma sıklığı gibi çeşitli faktörlere göre değişkenlik

göstermektedir. Düşük frekanslı etiketler (yaklaşık 125 kHz) daha ucuz, daha az güç kullanır ve metalik olmayan nesne veya gıdalara daha iyi penetre olabilmektedir (Kerry ve diğ., 2006).

RFID teknolojisi yaklaşık 50 yıldır bilinmesine rağmen et endüstrisi ancak 21.yy'ın başlarında bu uygulamaya geçmiştir (Kerry ve diğ., 2006). RFID etiketleri et üretimine birtakım faydalar (dağıtım ve perakende zinciri, izlenebilirlik, envanter yönetimi, güvenlik, kalite ve işgücü tasarrufu maliyetleri) sağlamaktadır (Mousavi ve diğ., 2002).

Örneğin, Kanadalı bir dana eti üreticisi olan ABP şirketi, tesis içerisinde bulunan kancaların içine RFID etiketlerini yerleştirerek etin izlenebilirliğini sağlamıştır (Swedberg, 2006). Bu teknoloji sayesinde Kanada Gıda İnceleme Kuruluşu, ABP firmasında kesilen hayvanların bilgilerini (hayvanın yaşı, cinsiyeti, kesildiği yer, geçirdiği hastalıklar gibi) elektronik bir şekilde kolayca alabilmektedir.

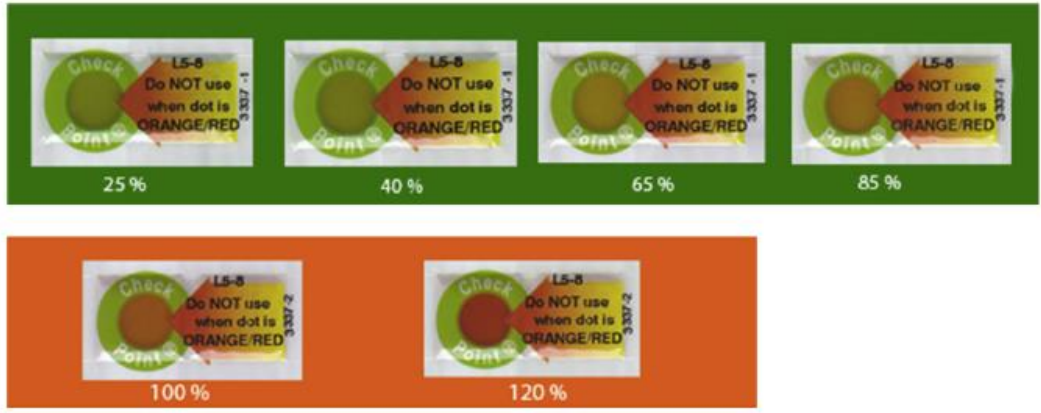
3.8.3 Zaman-Sıcaklık Göstergeleri

Zaman-sıcaklık göstergeleri, gıdaların paketlerine takılabilen basit, ucuz bir cihaz olarak tanımlanmaktadır. Bu göstergeler, gıdada sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen fiziksel, elektrokimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik değişiklikleri göstermektedir (Kerry ve diğ., 2006; Smolander ve diğ., 2004; Taoukis ve Labuza, 1989; Taoukis ve Labuza, 2003). Ticari olarak 3 farklı zaman-sıcaklık göstergeleri bulunmaktadır ve bunlar kısaca aşağıda belirtilmiştir (Singh, 2000).

- Referans sıcaklığın altında veya üstünde olduğunu gösteren kritik sıcaklık göstergeleri,
- Kısmi geçmiş göstergeleri (bir ürünün kalitesinde ve güvenliğinde değişiklik yapmaya yetecek sıcaklığa maruz kaldığını gösteren),
- Tam geçmiş göstergeleridir (bir ürünün geçmişi boyunca sıcaklığa bağlı olarak verdiği yanıtları gösteren).

Örneğin, bir Vitsab Checkpoint® zaman-sıcaklık gösterge etiketi (Şekil 3.1.), lipide zengin gıdalarda enzimatik hidroliz reaksiyonlarından kaynaklanan renk

değişikliğini gösteren etiketlerdir. Bu göstergelerde, enzim ve substrat etkileşimine imkân veren mini keseler bulunmaktadır ve bu keseleri aktif hale getirmek için pencere olarak tarif edilen kontrol noktasına hafif bir baskı uygulamak gerekmektedir. Örneğin paketlenmiş etin kontrol noktası üzerine bir kuvvet uyguladığımızda çerçevede homojen bir yeşil renk görüyorsanız ürünün depolama koşullarının harika olduğunu göstermektedir. Eğer kontrol noktası üzerine bir kuvvet uyguladığımızda çerçeve üzerinde sarı, turuncu bir renk görürseniz paketlenmiş ürünün uygun olmayan depolama şartlarında bekletildiğini ve ürünün tüketilemez olduğu anlaşılabilir.



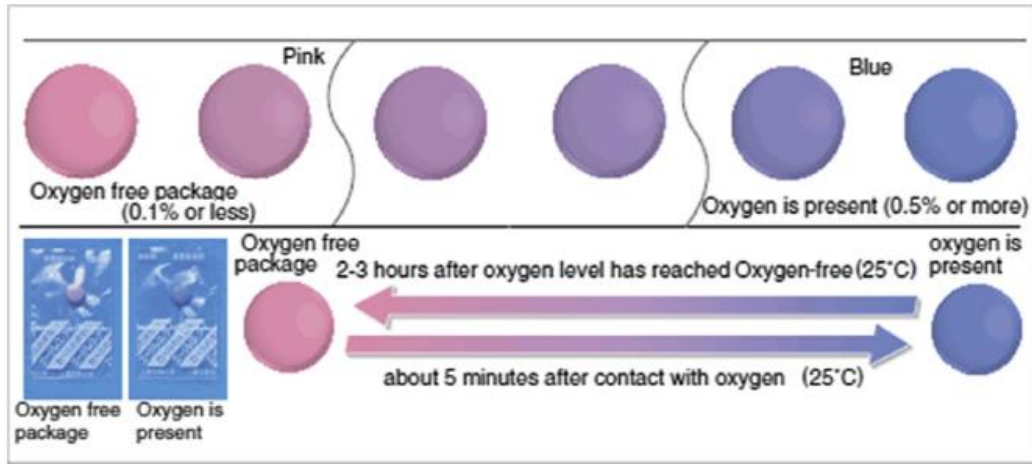
Şekil 3.1. Vitsab Checkpoint® zaman-sıcaklık gösterge etiketi

Şu an piyasada çeşitli zaman-sıcaklık göstergeleri (3M™ MonitorMark™, CheckPoint, ColdSNAP Temperature Recorders, Fresh-Check®, Monitor Mark™, ShockWatch, ThermRF Logger, Timestrip®, VarioSens®, ve WarmMark) mevcuttur. Bu göstergelerin çalışma prensiplerine ve performanslarına üretici firmaların kendi web sayfalarından kolaylıkla erişilebilmektedir. Zaman-sıcaklık göstergelerine, çeşitli barkod sistemleri veya RFID etiketleri entegre edilerek gıdaların çeşitli bilgilerine ulaşılabilir. Örneğin, FreshCode™ zaman-sıcaklık göstergesi tek boyutlu bir barkottur ancak gıdanın soğukta depolanması sırasında ihmal edilen sıcaklık koşullarını belirleyebilmekte ve kaydedebilmektedir (Anonim, 2014). 2007 yılında Avrupa Birliği tarafından desteklenmiş ‘Chill-On’ adı altında bir projeye göre zaman-sıcaklık göstergelerine RFID uydu alıcı-verici sistemi entegre edilerek tedarik zincir maliyetinin düşürülmesi sağlanmıştır. Bu sistem kolaylıkla kamyonların, gemilerin arka kısımlarına monte edilebilmektedir (Wessel, 2007).

3.8.4 Gaz Göstergeleri

Gıdaların paketlenmesinden sonra, paket içerisindeki gaz bileşimi genellikle çeşitli faktörlerden kaynaklı (ambalaj materyalinin cinsi ve gaz geçirgenlik özelliği, ortam koşulları, mikroorganizmalar tarafından üretilen çeşitli gazlar, bitkilerin solunum gazları gibi) olarak değişkenlik göstermektedir (Yam ve diğ., 2005). Gaz göstergeleri, paket içerisinde herhangi bir gaz değişimine yanıt vererek gıdaların kalitesini, güvenliğini ve bütünlüğünü izlemeye yardımcı olan ambalaj filmlerine basılan küçük cihazlardır. Genel olarak, bu göstergeler paket içerisindeki gaz bileşiminde bir değişiklik olması durumunda paket üzerinde bir renk değişikliğine imkân vermektedir (Fang ve diğ., 2017).

Oksijen gazı, oksidatif reaksiyonlara bağlı olarak gıdaların kalite karakteristiklerinde (ransid tat, renk değişikliği) olumsuz birtakım değişikliklere neden olduğu için gıdaların paketlenmesinde çeşitli oksijen göstergeleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin Mitsubishi Gaz Kimyasal Şirketi tarafından Ageless Eye® isimli bir oksijen göstergesi üretilmiştir (Şekil 3.2.). Bu gösterge, ambalaj materyali içerisine yerleştirilir ve paket içerisindeki oksijen oranı %0,5 in üstüne çıktığında ambalaj materyalinin rengi pembeden maviye dönüşür.



Şekil 3.2. Mitsubishi Gaz Kimyasal Şirketi Tarafından Ageless Eye® İsimli Bir Oksijen Göstergesi

Oksijen göstergelerinden başka çeşitli gaz göstergelerinin de kullanıldığı belirtilmektedir. Örneğin, Kore menşeli bir firmanın ürettiği çeşitli fermente ürünlerin

taşınması ve depolanması sırasında ürünlerin fermentasyon derecesini ölçmek için bir karbondioksit gaz göstergesi (kalsiyum hidroksit, polipropilen reçine ve bromkresol moru içeren) geliştirilmiştir ve geliştirilen bu göstergeyle birlikte et endüstrisinde kullanılabileceği öngörülmüştür (Hong ve Park, 2000). Gaz göstergelerinin kullanımıyla birlikte paketlenmiş ürünlerin kalite kontrol prosedürlerini yerine getirilmiş olacak ve böylece iş yükü ve yoğunluğu azaltılabilecektir (Han ve diğ., 2005).

3.8.5 Tazelik Göstergeleri

Tazelik göstergeleri, paketlenmiş et ürünlerinin tazeliğini veya bozulmuş olduğunu doğrudan gösteren oldukça kullanışlı elemanlardır (Pereira de Abreu ve diğ., 2012; Smolander, 2003). Çoğu tazelik göstergeleri, gıdaların bozulması sırasında oluşan çeşitli bileşiklerin ortaya çıkmasıyla birlikte ambalaj materyalinde bir renk değişikliğine sebep olmaktadır. Et ve ürünlerinin kalitesi et tipi, mikrobiyal flora, ambalaj tipi ve depolama koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle de depolama sırasında mikrobiyal ve kimyasal değişikliklere bağlı olarak pek çok metabolit (organik asitler, etanol, biyojen aminler, karbondioksit, sülfürlü bileşikler vb.) açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bu metabolitler tazelik göstergelerinin yardımıyla ürünün tazeliği veya bozulmuşluğu hakkında bilgi verir (Smolander, 2003).

Et paketlenme endüstrisinde, sıklıkla et ve ürünlerinin bozulmasında önemli rol oynayan ve çeşitli mikroorganizmalar tarafından üretilen karbondioksit gazını izleyen bromtimol mavisi pH boyaları kullanılmaktadır (Holte, 1993). Paket içerisinde karbondioksit miktarının artışıyla beraber karbondioksit pH boyalarıyla reaksiyona girer ve ambalaj materyalinin renginde bir değişiklik görülür. Benzer amaçlar için kullanılan çeşitli pH boyaları (ksilenol mavisi, bromkresol mor, bromkresol yeşil, kresol kırmızı, fenol kırmızı ve metil kırmızı) bulunmaktadır (Horan, 2000). Karbondioksitten başka, SO₂, NH₄, aminler ve organik asitleri içeren çeşitli metabolitlere duyarlı pH göstergeleri kullanılarak moleküllerin izlenmesi sağlanmaktadır (Smolander, 2003).

Et ve ürünlerinin bozulması sırasında oluşan bileşiklerden biri de hidrojen sülfitlerdir. Bu bağlamda hidrojen sülfitleri belirlemeye çalışan tazelik göstergeleri

geliştirilmiştir. Hidrojen sülfidler, et renk pigmenti olan myoglobin pigmentiyle reaksiyona girerek sülfomyoglobin pigmentini oluşturmaktadır. Bu kapsamda, standart myoglobin çözeltisi kullanılarak geliştirilen myoglobin bazlı kâğıt tipi indikatör renginin depolama bağı olarak kırmızıdan yeşile döndüğü belirtilmiştir. Bu göstergeler, ürünlerdeki hidrojen sülfid miktarını belirleyerek ürünün tazeliği hakkında hem üreticilere hem de tüketicilere bilgi vermektedir (Smolander ve diğ., 2002).

3.8.6 Patojen Göstergeler

Patojen göstergeler yardımıyla et ve ürünlerinin bozulmasından sorumlu olan patojen karakterli mikroorganizmaların tespiti yapılmaktadır. Patojen karakterli mikroorganizmalar et ve ürünlerinin yüzeyinde gelişerek çeşitli biyokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine neden olur ve bu göstergeler yardımıyla biyokimyasal reaksiyonlar tespit edilir, veriler kaydedilir. Patojen göstergeleri, biyoreseptör ve dönüştürücüden oluşan biyosensörlerdir (Yam ve diğ., 2005). Biyoreseptörler; enzim, antijen, mikroorganizma, hormon veya nükleik asit gibi organik veya biyolojik kökenli malzemelerden oluşmaktadır. Dönüştürücüler ise sisteme bağı olarak elektrokimyasal, optik veya kolorimetrik olabilmektedir. Bu patojen göstergeler yardımıyla herhangi bir mikrobiyal faaliyet sonucu gıda ürününde bir bozulma gerçekleşmesi durumunda ürün paketinde bir renk değişikliği gözlenir. Bu sayede, tüketiciler ve perakendeciler bu ürünlerin tüketilemez olduklarını ambalaj paketi üzerindeki renk değişikliğine bakarak kolaylıkla anlamaktadır.

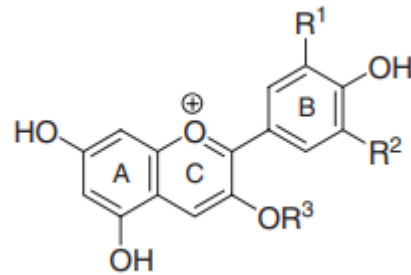
Quan ve Stevens (1998) tarafından *E. coli* 0157 suşunun enterotoksininin belirlemek için spesifik bir sensör geliştirilmiştir. Polimerize edilmiş polidiasetilen moleküllerinden oluşan bu sensör, et ve ürününde *E. coli* 0157 suşunun enterotoksiniyle reaksiyona girerek ambalaj materyalinin rengini maviden kırmızıya dönüştürmektedir (Smolander, 2000). Ticari olarak, et ve ürünlerinin paketlenmesinde genellikle Food Sentinel System™ (SIRA Technologies, California, ABD) isimli patojen göstergeler kullanılmaktadır (Goldsmith ve diğ., 1999). Bu sistemde, bazı patojen mikroorganizmalara (*Salmonella* sp., *E. coli* 0157: H7, *L. monocytogenes*) özgü spesifik bir antikor barkodun bir parçasını oluşturan membrana bağlanır. Eğer ortamda patojen mikroorganizma varsa barkod üzerindeki koyu renkli bir çubuk

oluşumu gözlenir ve bu durum barkodun okunmasını zorlaştırır. Toxin Alert (Ontario, Kanada) firması tarafından geliştirilen polietilen ambalaj malzemesinin içine yerleştirilen ve çeşitli antikorlardan oluşan Toxin Guard™ patojen göstergesi ile *Salmonella* sp., *Campylobacter* sp., *E. coli*, and *Listeria* sp. mikroorganizmaları tespit edilebilmektedir (Bodenhamer, 2000).

3.8.6.1 Etlerin Akıllı Paketlenmesinde Kullanılan Bileşikler

3.8.6.1.1 Antosiyaninler

Antosiyanin, Yunancadaki çiçek (anthos) ve mavi (kianos) kelimelerinden köken almaktadır (Castañeda-Ovando ve diğ., 2009). Antosiyaninler (Şekil 3.3.), flavilyum olarak adlandırılan 2-fenilbenzopirilyum tuzlarının polihidroksi ve polimetoksi türevleri olan fenolik bileşiklerin flavonoid grubunda yer alan, molekül ağırlıkları 400 ile 1200 arasında değişen ve suda çözünebilen bileşiklerdir (Zhao ve diğ., 2017). Antosiyaninler, bitkiler tarafından sentezlenen, çoğu meyve ve sebzelerin kırmızı, mavi ve mor gibi renklerinden sorumlu, kokusuz ve buruk bir tada sahip olan flavonoidlerdir (Flores ve diğ., 2016; Wallace ve Giusti, 2019).



Şekil 3.3. Gıdalarda Bulunan Önemli Antosiyaninlerin Kimyasal Yapıları

Antosiyaninler, şeker ve şeker olmayan kısımların (aglikon) glikozit bağlarıyla bağlanması sonucu oluşur. Antosiyaninin yapısı, şekerlere bağlı alifatik veya aromatik asitlerin konumuna, doğasına ve sayısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Genelde, antosiyaninlerin tek bir glikozit birimine sahip olduğu bilinmesine rağmen bazı antosiyanin türlerinin iki veya daha fazla glikozit birimine sahip olduğu

bildirilmiştir (Balbinot-Alfaro ve diğ., 2019). Antosiyaninlerdeki renk yoğunluğu ve türü, yapısındaki hidroksil ve metoksil gruplarının varlığıyla ilişkilendirilmektedir (He ve Giusti, 2010). Örneğin antosiyaninlerin kimyasal yapısında hidroksil grubunun bulunması rengin mavi olmasına neden olurken metoksil grubunun varlığı ise rengin kırmızıya dönmesine neden olur. Bitkilerde başlıca 6 tip antosiyaninin bulunduğu belirtilmektedir (Khoo ve diğ., 2017). Bunlar; siyanidin, delfidin, pelargonidin, peonidin, malvidin ve petunidindir.

Tablo 3.5'te görüldüğü üzere; siyanidin, kırmızımsı mor bir renge sahiptir ve çoğunlukla mor mısır, tatlı patates gibi ürünlerde yaygın bir şekilde bulunmaktadır (Cevallos-Casals ve Cisneros-Zevallos, 2003). Delfinidin, genellikle bitkilerin çiçek kısımlarında bulunur ve kırmızı-mavi renkten sorumludur (Katsumoto ve diğ., 2007). Pelargonidin, bitkilerin çiçek ve meyvelerinin kırmızı-turuncu renkte görülmesinden sorumludur. Metillenmiş bir antosiyanidin olan peonidininin üzüm ve dut gibi meyvelerin morumsu kırmızı renginden sorumludur (Jaakola, 2013). Malvidin, genellikle mavi renkli bitkilerde bulunan metillenmiş antosiyaninlerden biridir. Petunidin, suda çözünebilir, bitkilerin çeşitli kısımlarında bulunan kırmızı renkli bir antosiyanindir, kuşüzümü ve mor renkli bazı bitkilerin taç yapraklarında yaygın bir şekilde bulunmaktadır (Khoo ve diğ., 2017; Slimestad ve Solheim, 2002).

Tablo 3.5. Antosiyanin bileşimini oluşturan önemli bileşikler (Bueno ve diğ., 2012)

Antosiyanin Bileşikleri	R1	R2	Renk
Siyanidin	OH	H	Mor pembe, koyu kırmızı
Delfinidin	OH	OH	Mor, leylak, mavi
Pelargonidin	H	H	Turuncu
Peonidin	OCH ₃	H	Mor pembe
Malvidin	OCH ₃	OCH ₃	Mor
Petunidin	OH	OCH ₃	Mor

Antosiyaninler, oldukça kararsız bileşiklerdir ve ortam koşullarından (ışık, sıcaklık, radyasyon, pH, metal iyonları, oksijen) kolaylıkla etkilenip degrade olabilmektedirler (Balbinot-Alfaro ve diğ., 2019; Chung ve diğ., 2016; Singh ve diğ., 2018; Vukoja ve diğ., 2019; Weber ve diğ., 2017). Genellikle, antosiyaninlerin asidik koşullarda kırmızı; nötr koşullarda pembe, bazik koşullarda ise mavi renk aldığı görülmektedir (Tablo 3.6). Antosiyaninlerin asidik koşullarda stabilitelerinin daha yüksek olduğu dolayısıyla rengini daha iyi koruduğu bildirilmektedir (Khoo ve diğ., 2017).

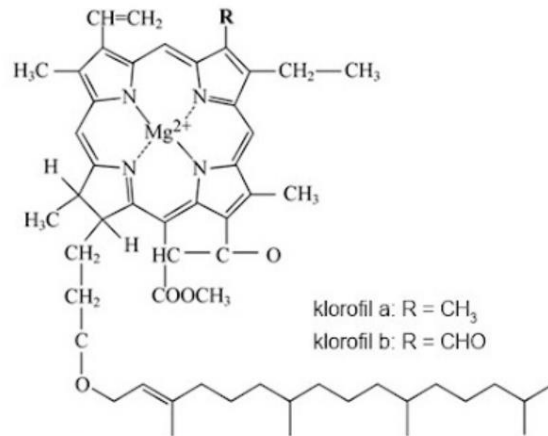
Tablo 3.6. Bazı antosiyanince zengin meyve ve sebzelerin farklı pH koşullarındaki renkleri

Bitki	Asidik ortamda rengi	Orijinal rengi	Bazik ortamda rengi	Kaynak
Kırmızı lahana	Kırmızı	Mavi	Turuncu-sarı	Kanda ve diğ., 1995
Mor havuç	Kırmızı	Pembe	Turuncu-sarı	Reyes ve Cisneros-Zevallos, 2007
Siyah fasulye	Kırmızı	Mor	Yeşilimsi sarı	Kanda ve diğ., 1995
Hibiskus	Pembe	Kan Kırmızısı	Soluk sarı	Okoduwa ve diğ., 2015
Kırmızı gül	Pembe	Kırmızı	Sarı	Okoduwa ve diğ., 2015
Böğürtlen	Pembe	Soluk Pembe	Turuncu	Chidan Kumar ve diğ., 2012
Mor tatlı patates	Pembe	Pembe	Yeşil	Choi ve diğ., 2017
Kelebek bezelyesi çiçeği	Kırmızı	Mavi	Mavi	Okoduwa ve diğ., 2015

Antosiyaninlerin stabilitesini etkileyen diğ er bir faktörün ise sıcaklık oldu ğ u belirtilmiştir (West ve Mauer, 2013). Antosiyaninlerin ekstraksiyonunda kritik sıcaklığın 40°C oldu ğ u ve bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında antosiyaninlerin okside oldu ğ u ve renk stabilitesini olumsuz bir şekilde etkilediği bildirilmiştir (Roy ve Rhim, 2020).

3.8.6.1.2 Klorofiller

Klorofiller, meyve ve sebzelerin yeşil renginden sorumlu, yağda çözünebilen, bitkilerde, alglerde ve siyanobakterilerde bulunabilen önemli bir renk pigmentidir (Alizadeh-Sani ve diğ., 2020). Bir klorofil molekölü (şekil 3.4.), merkezde bir magnezyum atomu ve bunun çevresinde bir fitol hidrofobik grubu ile bağlı dört pirol halkasından oluşmaktadır (Villano ve diğ., 2015). Klorofil, klorofil a, b, c, d ve e olmak üzere beşe ayrılmaktadır. Ancak, klorofil a ve b bileşikleri diğ erlerine nazaran daha fazla bulunmaktadır. Klorofil, ısı, pH, ışık, oksijen ve ısıl işlem gibi çeşitli uygulamalardan etkilenerek degrade olmaktadır (Acosta-Estrada ve diğ., 2014; MacIel ve diğ., 2012). Klorofil, özellikle farklı pH ve sıcaklık koşullarında renk değişikliğine uğradığı için çeşitli gıdaların paketlenmesinde akıllı etiket uygulamalarında kullanılabilmektedir.



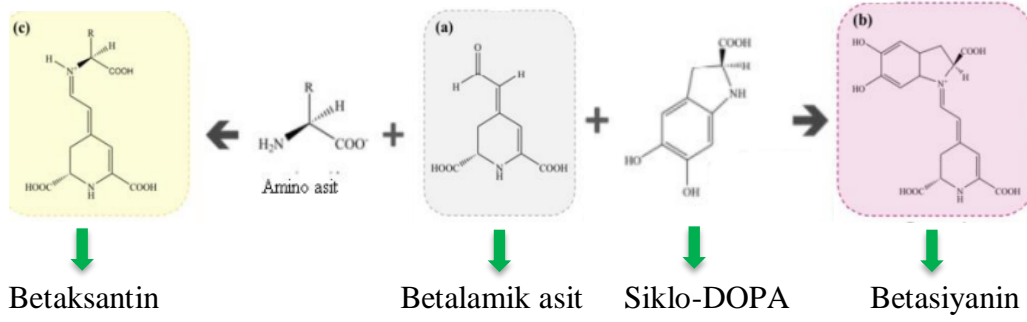
şekil 3.4. Klorofilin Genel Kimyasal Yapısı

3.8.6.1.3 Karotenoidler

Karotenoidler, mısır, havuç, domates ve karpuz gibi bitkilere sarıdan kırmızıya kadar değişik tonlarda renklerini veren lipofilik karakterli pigmentlerdir. Karotenoidlerin binden fazla farklı formunun olduğu ancak β -karoten, likopen, lutein, astaksantin, bixin, norbixin ve zeaksantin bileşiklerinin daha yaygın bulunduğu bildirilmektedir (Rodriguez-Amaya, 2019). Karotenoidlerin yapısı değişkendir ve tipik olarak sekiz izoprenoid alt birimden oluşmakta ve yapılarının merkezinde kromofor görevi (bir maddenin absorpsiyon spektrum bandının elektronik geçişini sağlamaktan sorumludur) gören konjuge bir çift bağa sahiptir. Diğer doğal renklendirici pigmentler gibi karotenoidler de izomerizasyon, oksidasyon ve enzim aktiviteleri ile pH, oksijen, ışık ve sıcaklığa maruz kalma sonucu bozulmaya karşı oldukça savunmasız bileşiklerdir. Karotenoidlerdeki ana yapısal değişiklikler, çift bağın kırılmasına ve kromofor molekülünün kaybolmasına neden olan oksidasyon ve geometrik izomerizasyon sırasında meydana gelmekte ve bu da karotenoidlerdeki rengin koyu turuncudan soluk sarıya dönmesine neden olmaktadır (Acosta-Estrada vd., 2014). Dolayısıyla, farklı pH koşullarında renk değişikliğine uğrayan karotenoidlerin et ve ürünlerin paketlenmesinde tazelik göstergesi olarak kullanılabilme potansiyeli mevcuttur (Latos-Brozio ve Masek, 2020; Martins ve diğ., 2022).

3.8.6.1.4 Betalainler

Betalainler, betalamik asitten elde edilen, kırmızı pancar, ejder meyvesi, horozibiği çiçeği ve frenk incirinde doğal olarak bulunabilen, betasiyaninlerden (kırmızı-mor renkli) ve betaksantinlerden (sarı-turuncu renkli) oluşan, suda çözünebilen azotlu pigmentlerdir (Liu ve diğ., 2023; Rodriguez-Amaya, 2019). Betasiyaninler, siklo-dopa (siklo-3,4-dihidroksifenilalanin) ve betalamik asit arasında meydana gelen reaksiyon nedeniyle kırmızı-mor renkli olarak görülmektedir. Ayrıca, betasiyaninler aminlere veya aminoasitlere bağlandığında sarı renkli betaksantinleri oluşturmaktadır (Martins ve diğ., 2022).

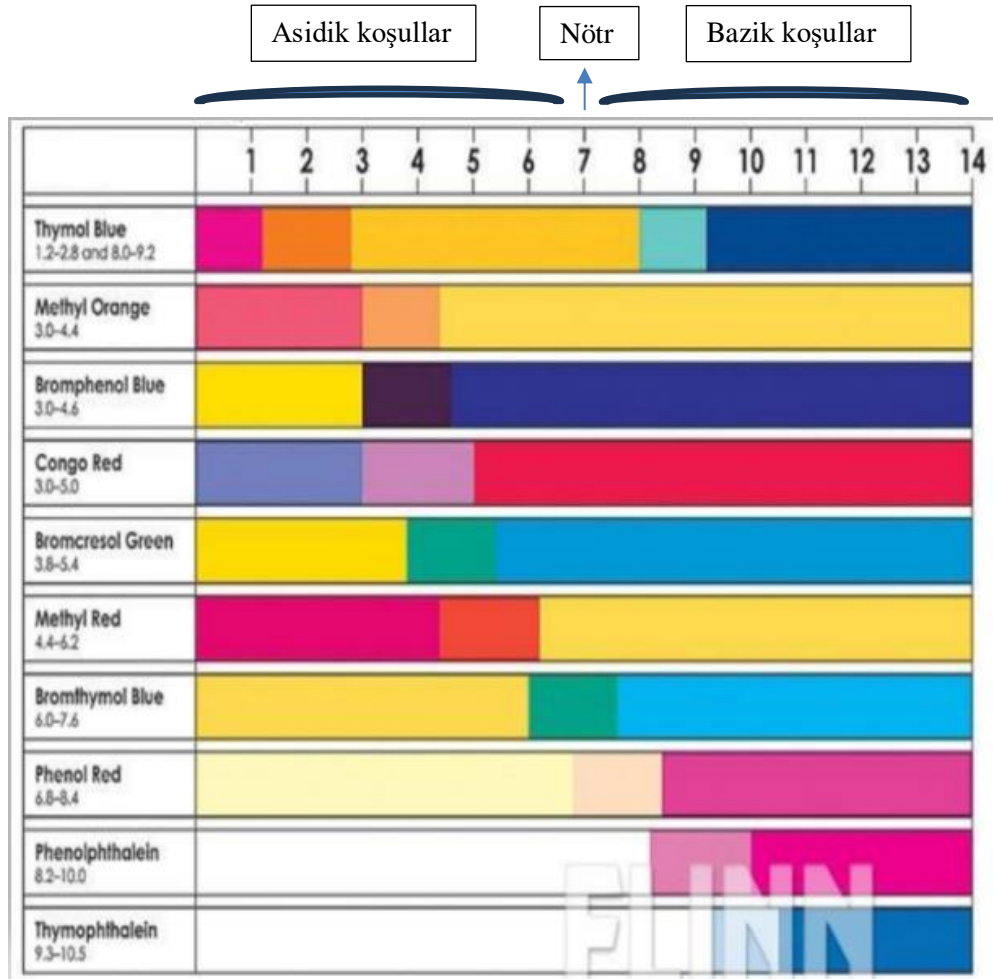


Şekil 3.5. Betalainlerin Genel Yapısı

Betalainler moleküler yapısı itibariyle ortam şartlarından (pH, ışık, sıcaklık vb.) kolaylıkla etkilenmekte ve özellikle pH:3 ile 7 aralığında önemli renk değişikliğine uğramaktadır (Calva-Estrada ve diğ., 2022, Rodriguez-Amaya, 2019). Dolayısıyla, betalainlerin pH'ya bağlı renk değiştirici özelliği gıda endüstrisinde gıdaların paketlenmesinde akıllı etiket olarak kullanılabileceğini öngörmektedir (Rodriguez-Amaya, 2019).

3.8.6.1.5 Sentetik Boyalar

Et ve ürünlerinin paketlenmesinde kullanılan akıllı etiketlerin üretiminde çeşitli sentetik boyalar da kullanılmaktadır. Sentetik boya olarak daha çok bromkresol yeşilinin tercih edildiği görülmektedir. Sentetik boyaların doğal boyalara nazaran daha geniş bir pH aralığında renk değişikliğine uğradığı belirtilmektedir. Bazı sentetik boyaların farklı pH koşullarındaki renkleri Şekil 3.6'da verilmiştir. Buna göre; bromtimol mavisi asidik koşullarda (pH: 1 ile 6 aralığında) sarı renkte, pH: 6 ile 7,6 aralığında yeşil, pH:7,6'ın üzerine çıktığında ise mavi bir renge dönüştüğü gözlenmiştir. Metil turuncusunun pH:3'e kadar pembe, pH: 3 ile 4,4 aralığında turuncu ve pH:4,4'ten sonra ise sarı bir renge dönüştüğü görülürken bromfenol mavisi boyalarının pH: 1 ile 3 aralığında sarı, pH: 3 ile 4,6 aralığında mor ve pH:4,6'dan sonra ise mavi bir renge dönüştüğü belirtilmiştir.



Şekil 3.6. Bazı Sentetik Boyaların Farklı pH Koşullarındaki Renkleri

3.8.7 Literatür Özeti

Platin elektrodu üzerine ksantin oksidaz enzimi (polivinilferrosenium perklorat çözeltisi yardımıyla) immobilize edilerek üretilen hipoksantin biyosensörün balık etlerinde (*Salmo trutta*) hipoksantin miktarını belirlemede oldukça başarılı olduğu belirtilmiştir (Baş ve diğ., 2014).

Polianilin katkılı indikatör filmin kullanıldığı bir çalışmada; fileto haline getirilmiş alabalıklar kapak kısmında indikatör tutturulmuş plastik kaplara yerleştirildikten sonra depolama boyunca (4°C, 5 gün) renk değişiklikleri gözlenmiştir.

Buna göre, indikatör film renginin yeşilden (0. gün) maviye (5. gün) döndüğü görülmüştür (Wang ve diğ., 2017).

Kuswandi ve Nurfawaidi, (2017) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise; whatman filtre kağıtları üzerine iki farklı boya (metil kırmızısı ve bromokresol moru) tutturulup bir indikatör üretilmiştir. Dana etleri plastik kaplara yerleştirildikten sonra iç kısmına indikatör yapıştırılmış düşük yoğunluklu polietilen ile paketlenmiştir. Depolama boyunca (4°C, 14 gün) indikatörün (metil kırmızısı için: kırmızıdan turuncuya daha sonra da sarıya; bromokresol moru için: sarıdan griye ve daha sonra da mora) renginde önemli bir değişikliğin olduğu belirtilmiştir.

Listyarini ve diğ. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, Meksika petunyası çiçeği (*Ruellia simplex*) ekstraktı (pH:2) kullanılarak bir kâğıt (Whatman filtre kâğıdı) pH indikatörü geliştirilmiştir. Ardından karides örnekleri (*Fenneropenaeus merguensis*) içerisinde kâğıt indikatörü bulunan cam şişelere yerleştirilmiş ve depolama boyunca (25 ve 40°C'lerde, 24 saat) indikatörde meydana gelen renk değişiklikleri araştırılmıştır. İndikatörün başlangıç renginin mor (0. saatte) olduğu ve daha sonraki aşamalarda sırasıyla mavi (2. saatte) ve yeşile (17 ve 24. saatlerde) döndüğü gözlenmiştir.

Lee ve diğ. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise; tavuk göğüs etlerinin paketlenmesinde bromkresol yeşili (BCG) katkılı kolorimetrik kâğıt tazelik indikatörü geliştirilmiştir. Depolama boyunca (4°C, 7 gün) ambalaj materyaline entegre edilen indikatörün renginin sarıdan (0. gün) yeşile (7. gün) döndüğü gözlenmiştir.

Rivai ve diğ. (2019) tarafından bilgisayar destekli elektrokimyasal gaz sensörü geliştirilmiştir. Balıkların kalite karakteristiğinde önemli rol oynayan hidrojen sülfür gazını (H₂S) tespit etmede oldukça başarılı olduğu (% 80 oranda) görülmüştür.

Siyah üzüm (*Vitis vinifera*) ekstraktı (toplam antosiyanin içeriği 12 mg/ml) katkılı bakteriyel esaslı nano selüloz kolorimetrik indikatörünün kullanıldığı bir çalışmada, dana kıymaları içerisinde indikatör bulunan plastik kaplara yerleştirilip depolama boyunca (4°C, 7 gün) indikatörün renginde meydana gelen değişiklikler gözlemlenmiştir. İndikatörün başlangıçta kırmızı daha sonra sırasıyla bordo (0, 3 ve 5. günlerde) ve mavi renge (7. günde) dönüştüğü belirtilmiştir (Taherhani ve diğ., 2020).

Bromkresol yeşili katkılı kâğıt (Whatman filtre kâğıdı) indikatörün kullanıldığı bir çalışmada; eşkina balık etleri (*Sciaenops ocellatus*) cam petri kaplarına yerleştirildikten sonra içerisine indikatör yapıştırılmış streç filmle paketlenmiştir. Depolama boyunca (4°C, 6 gün) indikatör renginin sarıdan (0. gün) maviye (6. gün) döndüğü gözlenmiştir (Liu ve diğ., 2020a).

Mohammadalinejhad ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada; Engerekotu bitkisi (*Echium amoenum*) antosiyaninleri, bakteriyel selüloz içerisinde immobilize edilerek pH değişimine duyarlı bir indikatör film üretilmiştir. Karidesler (*Metapenaeus monoceros*) plastik kaplara yerleştirilmiş ardından indikatör filmler plastik kabın kapağına (iç kısmına) tutturulup depolama boyunca (4°C, 4 gün) indikatör filmde meydana gelen renk değişiklikleri gözlenmiştir. İndikatör filmin başlangıç renginin kırmızı (0. gün) olduğu ve depolamanın sonunda (4. gün) ise sarı bir renge dönüştüğü görülmüştür.

Hibiskus çiçeğinden elde edilen ekstraktın (toplam antosiyanin miktarı: 11,08±0,57 mg/g) indikatör film üretiminde kullanıldığı bir çalışmada; karidesler (*Litopenaeus vannamei*) cam petri kaplarına yerleştirildikten sonra iç kısmına indikatör yapıştırılmış streç filmle paketlenmiştir. Depolama boyunca (4°C, 10 gün) indikatör filmlerinin renginde [kırmızıdan (0 ve 2. gün) grimsi yeşil (6, 8 ve 10. gün) renge dönüştüğü] önemli bir farklılığın olduğu gözlenmiştir (Huang ve diğ., 2020).

Rastiani ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada; bromokresol yeşili katkılı (%0,01) indikatör film üretilmiştir. Fileto edilmiş gökkuşağı alabalıkları (*Oncorhynchus mykiss*) plastik kaplara yerleştirilip indikatör yapıştırılmış streç filmle paklendikten sonra depolama boyunca (4°C, 6 gün) indikatörde meydana gelen renk değişiklikleri araştırılmıştır. Depolama boyunca indikatörlerin renginde önemli bir değişikliğin olduğu ve 4 farklı renge dönüştüğü [sarı (0. gün), sarımsı yeşil (3. gün), yeşil (5. gün) ve mavi (6. gün) renk] tespit edilmiştir.

Nar kabuğundan elde edilen ekstraktın indikatör film üretiminde kullanıldığı bir çalışmada; kuzu etleri cam petri kaplarına yerleştirildikten sonra iç kısmına indikatör yapıştırılmış streç filmle paketlenmiştir. Depolama boyunca (25°C, 6 gün) indikatör filminin kırmızıdan (0. günde) yeşile (6. günde) döndüğü bildirilmiştir (Esfahani ve diğ., 2022).

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Çalışmada kullanılan dana kıyması Denizli piyasasındaki yerel bir kasaptan, tavuk eti bir et işleme tesisinden (Gedik Piliç), fileto haline getirilmiş alabalıklar ise Denizli’de bulunan Metro marketten (kesimi veya avlamayı takiben 24 saat içinde) temin edilmiştir. Ayrıca, üretim aşamasında kullanılan plastik kaplar (150 g’lık) ve modifiye atmosfer paketlemede kullanılan plastik poşetlerde [polietilen + poliamid + etilen vinil alkol, $65\pm 5 \mu\text{m}$, (**oksijen geçirim oranı:** $< 3 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{gün}$, 23°C , %0 nispi nem; **su buharı geçirim oranı:** $< 12 \text{ g}/\text{m}^2/\text{gün}$, 38°C , %90 nispi nem), Krcpack Flexibles, Amerika] piyasadan satın alınmıştır. İndikatör üretiminde kullanılan Hicaz narı (2 kg), kırmızı lahana (2 kg) ve acısız şalgam suyu (Doğanay Şalgam suyu, 1,5 L) Denizli’deki bir süpermarketten (Migros, Denizli) tedarik edilmiştir.

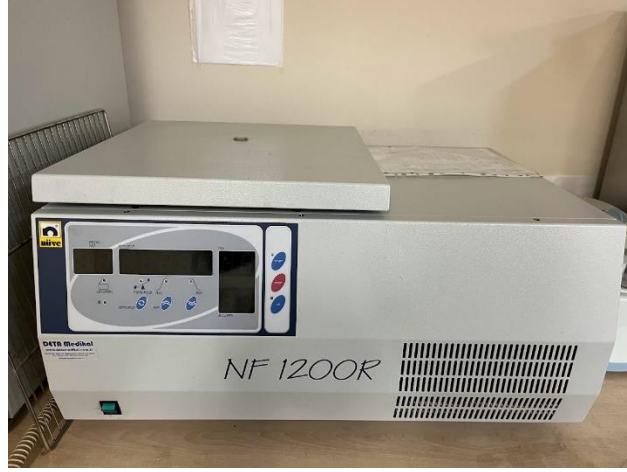
Ayrıca, çalışmada kullanılan tüm kimyasal maddeler Merck ve Sigma firmalarından temin edilmiştir.

4.2. Boyar Maddelerin Elde Edilmesi

4.2.1. Nar Suyu

Hicaz narları (*Punica granatum*; 2 kg) Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Et ve Et Ürünleri Teknolojisi laboratuvarına getirilmiştir. Hicaz narlarından nar suyunun elde edilmesinde Naveena ve diğ. (2008) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Buna göre, öncelikle Hicaz narları kaba kirlerinden uzaklaştırılmak üzere çeşme suyuyla yıkanmış ve narlar manuel bir şekilde tanelerinden ayrılmıştır. Daha sonra nar taneleri laboratuvarda bulunan mutfak tipi blender (Arzum AR1042 1500 W, Türkiye) içerisine yerleştirilmiş ve basınç yardımıyla narlar sıkılmıştır (nar püresi elde edilene kadar). Nar püresinden berrak bir nar suyu elde edebilmek için püre Whatman no:1 filtre kâğıdından süzümüştür ve süzüntüden alınan nar suları Falkon tüplerine aktarılarak laboratuvarda bulunan santrifüj cihazına (Nüve NF 1200R, Türkiye) yerleştirilmiş ve burada örnekler 6000 rpm’de 5 dk süreyle santrifüjleme

işlemine tabi tutulmuştur. Son olarak falkon tüplerindeki süpernatant kısımları alınmış ve nar sularında bazı fizikokimyasal analizler (pH, antioksidan aktivite, renk, toplam fenolik madde içeriği ve toplam antosiyanin içeriği) gerçekleştirilmiş olup indikatör üretiminin gerçekleştirileceği ana kadar nar suları buzdolabında (4°C) muhafaza edilmiştir.



Şekil 4.1. Santrifüj Cihazı

4.2.2. Şalgam Suyu

Piyasadaki bir süpermarketten temin edilen acısız şalgam sularında bazı fizikokimyasal analizler (pH, antioksidan aktivite, renk, toplam fenolik madde içeriği ve toplam antosiyanin içeriği) gerçekleştirilmiş olup, şalgam suyu indikatör üretiminin gerçekleştirileceği ana kadar soğuk zincirde (4°C) muhafaza edilmiştir.

4.2.3. Kırmızı Lahana Suyu

Kırmızı lahanalardan (*Brassica oleracea*) antosiyaninlerin ekstraksiyonunda çözücü olarak su kullanılmıştır. Keskin bir bıçak yardımıyla küçük parçalar haline getirilen kırmızı lahanalar tartılmış (25 g) ve büyük bir cam kavanozun (500 ml'lik, 8 adet) içerisine yerleştirilmiştir. Ardından antosiyanin ekstraksiyonu amacıyla lahanaların üzerine 250 ml saf su ilave edilmiş ve karışım 1 gece karanlık ortamda muhafaza edilmiştir. Ekstraksiyon sonunda örnekler filtre edilip, bazı fizikokimyasal

analizler (pH, antioksidan aktivite, renk, toplam fenolik madde içeriği ve toplam antosiyanin içeriği) gerçekleştirilmiştir.

4.3. pH İndikatörlerin Üretimi

4.3.1. Doğal Boyar Maddeler Kullanılarak pH İndikatörlerin Üretimi

pH'ı ayarlanmamış nar, kırmızı lahana ve şalgam sularının pH değerleri sırasıyla 3,24, 5,76 ve 3,15 olarak bulunmuştur. Antosiyaninlerin asidik koşullarda daha stabil oldukları belirtilmiştir (Singh ve diğ., 2018). Nar, kırmızı lahana ve şalgam sularındaki stabilitenin hangi pH koşulunda (pH:1 ile 5 aralığında) sağlandığını tespit etmek üzere çeşitli ön denemeler gerçekleştirilmiş ve buna göre en iyi sonucun pH:3 ayarlandığında tespit edildiği için çalışmada kullanılan doğal boyar maddelerin pH'ı üçe ayarlanmıştır. Nar, şalgam ve kırmızilahana sularının pH'ını 3'e getirmek için 1 N HCl çözeltisi kullanılmıştır. 1 x 1 cm boyutlarında kesilen Whatman filtre kağıtları pH:3'e ayarlanmış nar, şalgam ve kırmızı lahana sularının içerisinde yaklaşık 2 dk süreyle tutulmuştur. Ardından kağıtlar pens yardımıyla boya çözeltilerinden çıkartılıp cam petri kaplarına yerleştirilmiş, daha sonra kağıtlar 40°C'ye ayarlanmış etüvde (PVE MVE 30, Protech, Almanya) 30 dk süreyle kurutulmuştur. Kurutulan indikatörler çift taraflı bant yardımıyla paketlemede kullanılacak olan ambalaj materyallerinin kapaklarına yapıştırılmıştır.

4.3.2. Sentetik Boyar Maddeler Kullanılarak pH İndikatörlerin Üretimi

Daha önce yapılan ön denemelerde etlerin paketlenmesinde akıllı etiket olarak farklı pH'lara ayarlanmış (pH:1 ile 5 aralığında) bromkresol yeşili ve metil kırmızısı boyaları denenmiş ve en iyi sonucun pH:2 koşulunda sağlandığı tespit edildiği için çalışmada kullanılan sentetik boyar maddelerin pH'ları ikiye ayarlanmıştır. 1 x 1 cm boyutlarında kesilen Whatman filtre kağıtları pH'ları 1 N HCl çözeltisi yardımıyla pH:2'ye ayarlanmış bromkresol yeşili ve metil kırmızısı boya çözeltileri içerisinde yaklaşık 2 dk süreyle tutulmuştur. Ardından kağıtlar pens yardımıyla boya çözeltilerinden çıkartılıp cam petrilere yerleştirilmiştir. Daha sonra kağıtlar 40°C'ye

ayarlanmış etüvde (PVE MVE 30, Protech, Almanya) 15 dk süreyle kurutulmuştur. Kurutulan indikatörler çift taraflı bant yardımıyla paketlemede kullanılacak olan ambalaj materyallerinin kapaklarına yapıştırılmıştır.

4.4. Etlerin Paketlenmesi

4.4.1. Atmosferik Oksijenle Paketleme

Plastik kapların iç kısmına et pedi yerleştirilmiştir. Orta yağlı dana kıyma örnekleri (45 g) plastik ambalaj materyaline yerleştirilmiştir. Tavuk göğüs etleri ve alabalık etleri ise fileto haline getirildikten sonra 150 g'lık plastik kapların içerisine yaklaşık 45 g olacak şekilde konulmuştur. Kurutulan indikatörler çift taraflı bant yardımıyla plastik kapağın iç kısmına yapıştırılmış ve kapaklar kapatıldıktan sonra örnekler buzdolabı koşullarında (4°C) 10 gün süreyle muhafaza edilmiştir.

4.4.2. Modifiye Atmosferde Paketleme

Plastik kapların kapakları bir makas yardımıyla kesilmiş ve kabın iç kısmına et pedi yerleştirilmiştir. Orta yağlı dana kıyması, tavuk göğüs ve alabalık filetoları 150 g'lık plastik kapların içerisine yaklaşık 45 g olacak şekilde konulmuştur. Kurutulan indikatörler çift taraflı bant yardımıyla modifiye atmosferde kullanılan ambalaj materyalinin iç kısmına yapıştırılmıştır. Ardından plastik kaplar ambalaj materyalinin içerisine yerleştirildikten sonra modifiye atmosferde paketlenmiştir (**dana kıyması için:** %70 O₂, %20 CO₂ ve %10 N₂; **tavuk göğüs ve alabalık filetoları için:** %30 CO₂ ve %70 N₂). Daha sonra örnekler buzdolabı koşullarında (4°C) 20 gün süreyle muhafaza edilmiştir.



Şekil 4.2. Modifiye Atmosferde Paketleme Cihazı



Şekil 4.3. Modifiye Atmosferde Kullanılan Gaz Tüpleri

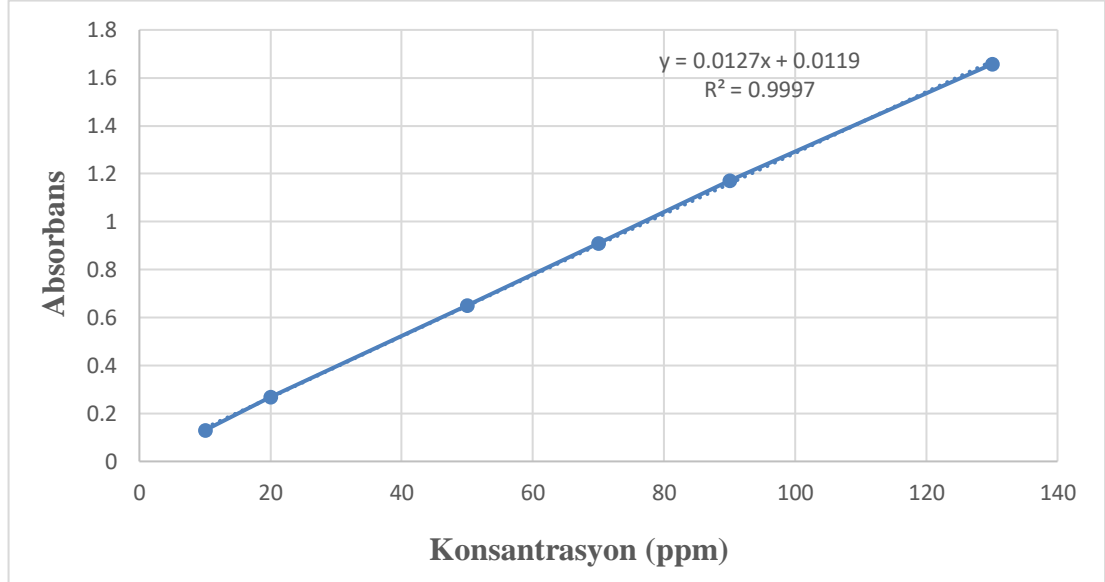
4.5. Analizler

4.5.1. Doğal Boya Çözeltilerinde Gerçekleştirilen Analizler

4.5.1.1. Toplam Fenolik Madde Miktarı

Etlere (dana kıyması, tavuk göğüs eti ve alabalık filetosu) akıllı paketlenmesinde doğal boyar maddesi olarak kullanılan nar, kırmızılahana ve şalgam sularındaki (pH:3'e ayarlanmış çözeltilerde) toplam fenolik madde miktarı analizi Li ve diğ. (2006) tarafından geliştirilen metoda göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre örneklerdeki absorbans değeri 0,8 değerini geçmeyecek şekilde su ile uygun oranlarda seyreltilmiştir. Seyreltilen örneklerden 0,5 ml alınarak deney tüplerine aktarılmış ve üzerine sırasıyla 0,2 N 2,5 ml Folin-Ciocalteu reaktifi ve 2 ml %7,5'lik Na_2CO_3 çözeltisi eklenmiştir. Daha sonra karışımlar 30 dakika oda sıcaklığında ve karanlık bir ortamda bekletilmiştir (karışımın rengi maviye dönmüştür). Ardından karışımların absorbansı 760 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometrede ölçülmüştür. Kör deneme için ise; 0,5 ml doğal boya çözeltisi yerine aynı miktarda saf su deney tüpüne

aktarılmış ve üzerine sırasıyla 0,2 N 2,5 ml Folin-Ciocalteu reaktifi ve 2 ml %7,5'lik Na_2CO_3 çözeltisi eklenmiştir. Kalibrasyon eğrisinin oluşturulması için 6 farklı konsantrasyonda standart gallik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Sonuçlar elde edilen kalibrasyon eğrisinin (Şekil 4.4.) regresyon eşitliğinden yararlanılarak seyreltme oranına göre hesaplanmış ve mg gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. Gallik Asit Kalibrasyon Eğrisi

4.5.1.2. DPPH ile Antiradikal Aktivite Analizi

Etlerin (dana kıyması, tavuk göğüs eti ve alabalık filetosu) akıllı paketlenmesinde doğal boyar maddesi olarak kullanılan nar, kırmızılahana ve şalgam sularındaki (pH:3'e ayarlanmış) antioksidan kapasiteleri Wang ve diğ. (2003) tarafından geliştirilen metoda göre belirlenmiştir. Bunun için doğal boya çözeltilerinden 0,1 ml alınıp deney tüplerin içerisine aktarılmış ve üzerine 5 ml 0,1 mM konsantrasyonlu DPPH çözeltisi eklenerek vorteks ile karıştırılmış ardından 27°C 'de 20 dakika inkübe edilmiştir. Daha sonra örnekler spektrofotometre küvetlerin içerisine aktarılmış ve 517 nm dalga boyunda okumaları gerçekleştirilmiştir. Kör çözelti olarak ise; saf metanol, kontrol çözeltisi olarak da 0,1 ml doğal boya çözeltisi yerine 0,1 ml saf su kullanılmıştır. Doğal boya çözeltilerindeki antioksidan kapasitelerinin bir ölçüsü olan %ARA değerleri aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% ARA = \left(Ak - \frac{A\ddot{o}}{Ak} \right) \times 100$$

Ak: Kontrolün absorbansı

Aö: Örneğin absorbansı

4.5.1.3. Toplam Antosiyenin Belirlenmesi

Nar, kırmızılahana ve şalgam sularında toplam antosiyenin miktarının belirlenmesinde Giusti ve Wrolstad (2010) tarafından geliştirilen pH diferansiyel yöntemi tercih edilmiştir. Bunun için öncelikle iki farklı tampon çözeltisi (0,025 M KCl ve 0,4 M CH₃COONa) hazırlanmıştır. 0,025 M KCl çözeltisinin pH'sı 1 (yoğun HCl çözeltisi yardımıyla) ve 0,4 M CH₃COONa (sodyum asetat) çözeltisinin pH'sı da 4,5 (yoğun HCl çözeltisi yardımıyla) olacak şekilde ayarlanmıştır. Örnekler iki farklı tampon çözeltisi içerisine aktararak 10 kat seyreltilmiş ve 15 dk oda sıcaklığında inkübasyona tabi tutulmuştur. İnkübasyon sonunda örnekler spektrofotometre kuvvetlerinin içerisine aktarılmış ve iki farklı dalga boyunda (520 ve 700 nm) absorbansları ölçülmüştür. Elde edilen absorbans sonuçları aşağıda verilen formülde yerine yazılmış ve toplam antosiyenin miktarı siyanidin-3-glikozit cinsinden hesaplanmıştır.

$$A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH:1,00}} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH:4,50}}$$

$$\text{Toplam antosiyenin miktarı (mg/kg)} = \frac{A \times MA \times SF \times 1000}{\epsilon \times L}$$

A: Absorbans

MA: Meyvelerde hâkim antosiyenin türlerinin ağırlığı (burada siyanidin-3 glikozit cinsinden hesaplanmıştır.)

SF: Seyreltme faktörü

ε: Hakim antosiyeninlerin molar absorbans katsayısı

L: Spektrofotometrede kuvvet katman kalınlığı. Bu ışık yolu olarak da anılmakta olup genellikle 1 cm katman kalınlığındaki kuvvetler kullanıldığından, L=1'dir.

4.5.2. Et Örneklerinde Gerçekleştirilen Analizler

4.5.2.1. Nem Miktarı

Et örneklerindeki (dana kıyması, tavuk göğüs filetosu ve alabalık filetosu) nem miktarını belirlemek için öncelikle kurutmada kullanılacak cam petriler 105°C'ye ayarlanmış etüvde (PVE MVE 30, Protech, Almanya) 2 saat süreyle kurutulduktan sonra desikatöre alınıp soğumaya bırakılmıştır. Ardından soğuyan petriler desikatörden çıkartılmış ve daraları alınmıştır. Daha sonra et örneklerinden (dana kıyması, tavuk ve alabalık filetosu) yaklaşık 5 g alınıp cam petrilere konulmuştur. Hazırlanan örnekler sabit tartıma gelene dek 105°C'ye ayarlanmış etüvde yaklaşık 18 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan örnekler soğuması için desikatöre alınmış ve ardından soğuyan örnekler hassas terazide tartılıp çıkan sonuçlar aşağıdaki denklemde yerine yazılmıştır (AOAC, 2006).

$$\% \text{ Nem} = \frac{(M1 - M2)}{m} \times 100$$

M1= Örneğin son ağırlığı + sabit tartıma getirilen kurutma kabının ağırlığı

M2 = Kurutulmuş örnek + sabit tartıma getirilen kurutma kabının ağırlığı

m = Örneğin ilk andaki ağırlığı

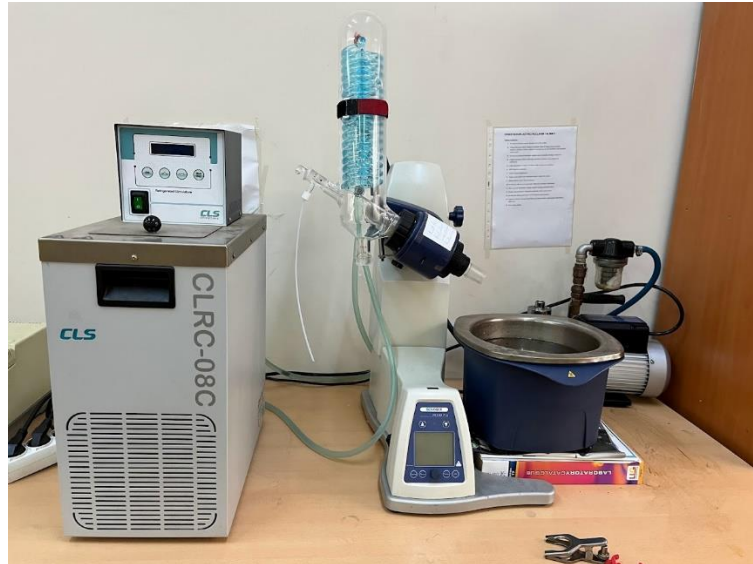


Şekil 4.5. Nem Tayininde Kullanılan Etüv

4.5.2.2. Yağ Miktarı

Örneklerde yağ miktarı Flynn ve Bramblett (1975)'e göre hesaplanmıştır. Bunun için, 10 g örnek (dana kıyması, tavuk göğsü ve alabalık filetosu) homojenizatörde (HG-15A WiseTis, Kore) 100 ml metanol:kloroform (1:2) karışımıyla parçalanmıştır. Karışım ayırma hunisine filtre kağıdından huni yardımıyla süzölmüştür. Filtre kağıdından kalan örnek 2. kez 100 ml metanol:kloroform çözültisiyle parçalanmış ve ayırma hunisi içerisine süzölmüştür. Ayırma hunisine 20 ml %0,5'lik CaCl₂ ilave edilerek etkin bir şekilde çalkalanmıştır. Ayırma hunisinin havası alınarak 24 saat faz ayrımı oluşması için beklenmiştir. 24 saat sonunda alt faz daha önceden 105°C'de 2 saat bekletilen soğutulmuş ve darası alınmış yağ balonlarının içerisine alınmıştır. Yağ balonuna vakum altında 40°C'ye ayarlanmış döner buharlaştırıcıda (SCIOLOGEX RE100-Pro, SCIOLOGEX, Amerika) damıtma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra yağ balonlarında su gibi polar karakterli bileşikleri ortamdan uzaklaştırmak için 105°C'ye ayarlanmış etüvde (PVE MVE 30, Protech, Almanya) 2 saat süreyle kurutma işlemi uygulanmıştır. Son olarak balonlar tekrar tartılarak % yağ miktarı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\% \text{ Yağ} = \frac{(\text{Balon dara} + \text{yağ}) - (\text{Balon dara})}{\text{Örnek miktarı}} \times 100$$



Şekil 4.6. Döner Buharlaştırıcı

4.5.2.3. Protein Miktarı

Farklı et örneklerindeki protein miktarını belirlemek için Kjeldahl yöntemi seçilmiş ve bu yöntem yarı otomatik protein tayin cihazı (Büchi K350 Destilasyon Üniteli Yarı Otomatik Protein Tayin Cihazı, Büchi, Türkiye) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için; her bir et numunesinden yaklaşık 1 g alınıp Kjeldahl tüplerinin içerisine konulmuş ve üzerine sırasıyla 1 adet Kjeldahl tableti, 25 ml saf sülfirik asit (H₂SO₄) (Merck, Almanya) ilave edilip yakma ünitesine yerleştirildikten sonra yakma işlemi başlatılmıştır. Bu işlem yaklaşık 3 saat sürmüştür. Ardından yakma işlemi sonlandırılıp Kjeldahl tüpleri yakma ünitesinden çıkartılarak oda şartlarında soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan Kjeldahl tüplerinin içerisine 75 ml saf su ilave edilmiş ve ardından tüpler destilasyon ünitesine yerleştirilmiştir. Destilasyon ünitesine doymuş (%40'lık) NaOH çözeltisi ilave edilmiş ve destilatın toplanacağı üniteye erlenmayer içerisine 50 ml %4'lük borik asit ve bunun üzerine Pasteur pipeti yardımıyla 3 damla indikatör çözeltisi (bromkresol yeşili ve metil kırmızısı karışımı) damlatıldıktan sonra erlenmayer destilasyon ünitesine yerleştirilmiştir. Destilasyon işleminin tamamlanmasından sonra (yaklaşık 4 dk sürmüştür) destilat alınmış ve titrasyon işlemine geçilmiştir. Titrasyon işleminde 0,1 N HCl çözeltisi kullanılmıştır. Titrasyon işleminde, destilattaki yeşil renk gümüş renge dönünceye kadar 0,1 N HCl çözeltisiyle titre edilmiş ve harcanan HCl miktarı kaydedilip aşağıda verilen formülde yerine yazılarak toplam protein miktarı hesaplanmıştır (AOAC, 2006).

$$\text{Örnekte azot miktarı, \%} = \frac{V \times (0,14)}{\text{Örnek miktarı, g}} \times 100$$

V: Titrasyonda harcanmış 0,1 N HCl çözeltisi miktarı, ml

$$\text{Örnekte protein, \%} = (\% \text{ azot}) \times (6,25)$$



Şekil 4.7. Yarı Otomatik Protein Tayini Cihazı

4.5.2.4. Kül Miktarı

Her bir et ürününden (dana kıyması, tavuk göğüs filetosu ve alabalık filetosu) yaklaşık 3-5 g alınıp krozelere aktarılmıştır. Kül fırınına girmeden önce örnekler ön yakma işlemine tabi tutulmuştur. Ön yakma işlemi tamamlanan örnekler kül fırınına yerleştirildikten sonra (TT109, Electro-mag Makine, İstanbul, Türkiye) fırının sıcaklığı kademeli bir şekilde (önce 200°C’de 15 dk, sonra 450°C’de 20 dk daha sonra da 700°C 12 saat) artırılmıştır. Yakma işlemi et örneklerinde esmer lekeler kalmayınca kadar (beyaz renk elde edilinceye kadar) devam etmiştir. Yakma işlemi tamamlanan krozeler kül fırınından çıkarılıp soğumaları için desikatöre aktarılmıştır. Ardından soğuyan krozeler hassas terazide tartılıp çıkan sonuçlar aşağıdaki denklemde yerine yazılmıştır (AOAC, 2006).

$$\text{Yaş ağırlıkta \% kül oranı} = \frac{M2}{M1} \times 100$$

M1: Tartılan örnek miktarı, g

M2: Örnekten yanma sonucu kalan kül miktarı, g



Şekil 4.8. Kül Fırını

4.5.2.5. Karbonhidrat Miktarı

Ürünlerin karbonhidrat miktarı gravimetrik olarak aşağıdaki formül ile tespit edilmiştir.

$$\text{Karbonhidrat miktarı} = 100 - (\text{nem} + \text{yağ} + \text{protein} + \text{kül miktarı})$$

4.5.2.6. Renk Ölçümü

Et örneklerindeki renk değişimi CIE L* (parlaklık, [L*= 0 koyuluk, L*= 100 parlaklık]), a* (kırmızılık, [+60= kırmızı, -60= yeşil]) ve b* (sarılık, [+60= sarı, -60= mavi]) renk dönüşüm sistemine göre ölçüm yapan renk ölçüm cihazı yardımıyla (PCE-CSM2, Almanya) gerçekleştirilmiştir. Et örneklerinde renk ölçümü yapılmadan önce cihaz siyah ve beyaz plaklar kullanılarak kalibre edilmiştir. Daha sonra, oda sıcaklığında her bir et örneğinin yüzeyleri taranarak (D65 aydınlatıcı ve 0° açılı gözlemci ile) 3 farklı okuma yapılmıştır (Özünü ve Ergezer, 2022).



Şekil-9: Renk Ölçüm Cihazı

4.5.2.7. pH Ölçümü

Et örneklerinin pH değeri dijital pH metreyle ölçülmüştür (Hanna HI 2211 pH metre, Amerika). Her bir et örneğinden (dana kıyması, tavuk göğsü ve alabalık filetosu) 10 g tartılıp bir beher içerisine aktarılmış ve üzerine 90 ml saf su ilave edilerek homojenizatör (HG-15A WiseTis, Kore) yardımıyla homojenize edilmiştir. Ardından pH elektrodu homojenizatörden çıkan örneğe daldırılmış ve elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir (Özünlü ve Ergezer, 2022).



Şekil 4.10. pH Metre

4.5.2.8. Su Aktivitesi Tayini

Et örneklerindeki su aktivite değeri $\pm 0,001$ hassasiyete sahip su aktivitesi ölçüm cihazı (GBX, Fast-Lab, Fransa) kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla yaklaşık 3-4 g homojenize edilmiş örnek hızlı bir şekilde aletin paslanmaz çelikten yapılmış sızdırmaz haznesine yerleştirilmiştir. Su aktivitesi değerinin tespitinde, örnek yaklaşık 5 dakika boyunca alet içerisinde bekletilmiş, 0.001'den az bir değişim olduğunda sistemin dengeye ulaştığı kabul edilmiş ve cihazın göstergesinden su aktivitesi değeri doğrudan okunmuştur.



Şekil 4.11. Su Aktivitesi Cihazı

4.5.2.9. TBARS Değeri

Lipid oksidasyonu son ürünü olan malonaldehit miktarını hesaplamak için TBARS (Thiobarbituric acid reactive substances) analizi Witte ve diğ. (1970)'e göre yapılmıştır. 5 g örnek (dana kıyması, tavuk göğsü ve alabalık filetosu) erlene tartılmış ve üzerine 50 ml %20'lik TCA (trichloroacetic acid) çözeltisi ilave edilerek homojenizatörde (HG-15A WiseTis, Kore) 2 dk süreyle parçalanmıştır. Karışım üzerine 50 ml su ilave edilerek 1 dk daha parçalanmış ve karışım 100 ml'lik balon jojeye bir huniden filtre kâğıdı yardımıyla süzülmüştür. Balon joje 100 ml'ye 1:1 TCA/su çözeltisi ile tamamlanmıştır. 5 ml süzüntü balon jojeden alınıp bir deney tüpüne aktarılmıştır. Deney tüpünün üzerine 5 ml 0,02 M TBA (thiobarbituric acid) çözeltisi ilave edilmiştir. Aynı şekilde 5 ml 1:1 TCA:Su ve 0,02 M TBA ile kör

numune hazırlanmıştır. Tüpler karıştırılarak 35 dk 80°C'deki su banyosunda (NB-5 Nüve, Türkiye) bekletilmiş ve sonra soğutulmuştur. Süre sonunda rengi pembeye dönen örneklerin absorbansı 532 nm dalga boyuna ayarlanmış spektrofotometre (EMC-11-UV Spectrophotometer, Duisburg, Almanya) ile ölçülmüştür.

Absorbans değerleri 5.2 faktörü ile çarpılarak kg üründeki oluşan mg malonaldehit miktarı hesaplanmıştır.



Şekil 4.12. Spektrofotometre



Şekil 4.13. Homojenizatör

4.5.2.10. Karbonil İçeriği

Protein oksidasyonunu belirlemek amacıyla toplam karbonil miktarı Oliver ve diğ. (1987)'e göre yapılmıştır. 1 g et örneği 0,15 M'lık 10 ml KCl ile homojenizatörde homojenize edilmiştir. 100'er µl homojenat iki ayrı eppendorf tüpüne (P ve C) konmuş ve üzerlerine proteinleri çöktürmek amacıyla 1 ml %10'luk TCA ilave edilmiştir. Daha sonra örnekler mini eppendorf santrifüjde (5 dk, 5000 rpm'de) santrifüjlenmiştir (DAIHAN F3AL250V Mini Eppendorf Santrifüj, DAIHAN Scientific Co. Ltd., Kore). P tüpündeki pellet protein konsantrasyonunu belirlemek amacıyla 1 ml 2 M 'lık HCl ile karıştırılmıştır. C tüpüne ise 1 ml % 0.2'lik 2 M HCl içerisinde hazırlanmış DNPH (2,4-dinitrofenilhidrazin) ilave edilmiştir. Tüpler 1 saat süreyle oda sıcaklığında inkübe edildikten (15 dk aralıklarla örnekler manuel bir şekilde çalkalama işlemi yapılmıştır) sonra tekrar 0.8 ml %10'luk TCA ile karıştırılmıştır. Pelletler 2 kez 1 ml etanol:etilasetat (1:1) ile yıkanmış ve DNPH'ın fazlasının giderilmesi için 2 dk 5000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Santrifüjleme sonunda elde edilen pelletler 20 mM sodyum fosfat tamponu içerisinde hazırlanmış 2 ml guanidin HCl ile çözündürülmüştür. P

tüpündeki protein konsantrasyonunu standart madde dana albümini olacak şekilde 280 nm’de spektrofotometre ile belirlenmiştir. C tüpündeki karbonil miktarı ise kör çözelti HCl olacak şekilde 370 nm’de belirlenmiştir. Burada karbonil için absorpsiyon katsayısı 21.0 nM ve küvet yol uzunluğu 1 cm olarak kabul edilmiştir. Örneklerin karbonil miktarı nM karbonil/mg protein olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.14. Eppendorf Tüpleri İçin Santrifüj Cihazı

4.5.2.11. Mikrobiyolojik Analizler

Atmosferik oksijenle paketlenen et örnekleri (dana kıyması, tavuk göğüs filetosu ve alabalık filetosu) 0, 3, 5, 7 ve 10. günlerde mikrobiyolojik analizlere tabi tutulurken modifiye atmosferde paketlenen et örneklerinde ise 0, 5, 10, 15 ve 20. günlerde toplam psikrofilik aerobik ile toplam koliform bakteri ve toplam maya-küf analizleri gerçekleştirilmiştir. Tüm mikrobiyolojik analizlerde yayma plak yöntemi kullanılmıştır. Serum fizyolojik su, PCA (Plate Count Agar) ve PDA (Potatoes Dextrose Agar) besiyerleri 121°C’ye ayarlanmış otoklavda (Nüve OT 90L 7000W Otoklav, Nüve, Türkiye) sterilize edilirken VRB besiyeri mikrodalga fırınında (Vestel MW20-MW Mikrodalga Fırını, Vestel, Türkiye) yaklaşık 2 dk süreyle (çok yüksek devirde) kaynatılmıştır. Daha sonra aseptik koşullar altında soğutulan besiyerleri plastik petrilere dökülüp kurumaya bırakılmıştır. Ardından kuruyan petripler mikrobiyolojik analizlerin yapılacağı ana kadar buzdolabında muhafaza edilmiştir.

Buzdolabı koşullarında (4°C) muhafaza edilen et örnekleri çıkartılmış ve aseptik koşullar altında yaklaşık 25 g örnek steril Stomacher poşeti (Curafos Co.) içerisine yerleştirilip üzerine 225 ml steril serum fizyolojik su (%0,9 tuz) ilave edilmiştir. Ardından karışım homojenizatörde (Seward Medical, London, UK) 2 dk süreyle orta devirde homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örneklerden 1 ml alınıp daha önce steril hale getirilen deney tüplerine (9 ml serum fizyolojik su içerir) aktarılıp seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Hazırlanan uygun dilüsyonlardan 0,1 ml alınıp daha önce hazırlanmış üç farklı agar (Plate Count Agar, VRB Agar ve PDA Agar) içeren petri kutularına inoküle edilmiş ve drigalski spatülü kullanılarak yayma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra petriler üç farklı inkübatöre (**Toplam psikrofilik aerobik bakteri sayımı için:** Nüve EN500 İnkübatör, Nüve, Türkiye; **Toplam koliform bakteri sayımı için:** Nüve ES500 İnkübatör, Nüve, Türkiye; **Toplam maya-küf canlı sayımı için:** Membert UNB 400 Etüv, GmbH+Co. KG, Schwabach, Almanya) yerleştirilmiştir. Et örneklerindeki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayımı için inkübasyon süresi 7°C, 10 gün olarak belirlenirken (Mehdizadeh ve Langroodi, 2019; Yordshahi ve diğ., 2020) toplam koliform bakteri sayımı için inkübasyon süresi 37°C, 24 saat, toplam maya-küf sayımı için ise inkübasyon süresi 25°C, 5 gün olarak (Mehdizadeh ve Langroodi, 2019, Çelik, 2012) uygulanmıştır. İnkübasyon sonucunda petrilerdeki kolonilerin sayımı yapılmış ve çıkan sonuçlar log CFU/g olarak verilmiştir. Süre sonunda, petrilerdeki 0,5-2 mm çapındaki mor renkteki koloniler koliform grubu bakteriler olarak kaydedilmiştir (Mehdizadeh ve Langroodi, 2019).

$$N = \log \{ C / [V(n_1 + 0,1 \times n_2) \times d] \}$$

N = Gıda örneğinin 1 g veya 1 ml'sinde bulunan mikroorganizma sayısı (log CFU/g)

C = Sayımı yapılan tüm petri kutularındaki toplam koloni sayısı

V = Sayımı yapılan petri kutularına aktarılan hacim (ml) miktarı

n₁ = İlk seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi

n₂ = İkinci seyreltiden yapılan sayımlarda sayım yapılan petri kutusu adedi

d = Seyreltme oranı



Şekil 4.15. Otoklav



Şekil 4.16. Mikrodalga Fırını



Şekil 4.17. Toplam Psikrofilik Bakteri Sayımında Kullanılan İnkübatör



Şekil 4.18. Toplam Koliform Bakteri Sayımında Kullanılan İnkübatör



Şekil 4.19. Toplam Maya-Küf Canlı Sayımında Kullanılan Etüv

4.5.2.12. Toplam Uçucu Bazik Nitrojen (TVB-N) Miktarı

Etlere TVB-N miktarının belirlenmesinde Varlık ve diğ. (2000) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Bunun için 10 g et örneği (dana kıyması, tavuk göğsü ve alabalık filetosu) alınıp protein tayininde kullanılan destilasyon ünitesindeki destilasyon balonuna aktarılmış ve üzerine yaklaşık 2-3 g (1 çay kaşığı) MgO (magnezyum oksit) ilave edilmiştir. Daha sonra balon içerisine 100 ml distile su ilave edilip destilasyon ünitesine yerleştirilmiştir. Destilatın toplanacağı erlenmayer içerisine 10 ml %3'lük borik asit ilave edilmiş ve üzerine ikişer damla sırasıyla bromkrozol yeşili ve metil kırmızısı damlatılmış ardından destilasyon ünitesinde bulunan soğutucu uç, borik asit çözeltisinin içine yerleştirilmiştir. Destilasyon ünitesi yaklaşık 50 ml destilat toplanıncaya kadar çalıştırılmıştır.

Toplanan destilat 0,1 N HCl (hidroklorik asit) ile titre edilmiş ve harcanan miktar belirlenerek aşağıda verilen formülde yerine yazılmıştır. Böylece örneklerdeki TVB-N değeri mg/100 g cinsinden tespit edilmiştir.

$$\text{TVB-N (mg/100g)} = (A \times 1,4 \times 100) / B$$

A: Titrasyonda harcanan HCl hacmi (mL)

B: Analiz edilen örnek ağırlığı (g)

4.5.2.13. GC-MS ile Uçucu Aromatik Bileşen Analizi

1 g kıyılmış et örnekleri (dana kıyması, tavuk göğsü ve alabalık filetoları) 20 mL'lik viallere aktarılmış ve üzerine 5 mL %25'lik NaCl çözeltisi ilave edilmiştir. Uçucu bileşiklerin tanımlanması ve miktarının belirlenmesi Gaz Kromatografisi-Alev İyonlaşma Dedektörü (GC-FID) (Agilent 6890N, Amerika) ve buna bağlı Kütle Spektrometresi (MS) (Agilent 5975B VL MSD, Amerika) yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Uçucu bileşiklerin izolasyonunda Katı Faz Mikroekstraksiyon (Solid Phase Micro-Extraction, SPME) tekniğinden yararlanılmıştır. Dengelenme (30 dk, 55°C), ekstraksiyon (85,6 dk, 55 °C), ve enjeksiyon işlemi otomatik enjeksiyon modülü yardımı ile gerçekleştirilmiştir (GC Injector 80, Agilent, Amerika). Karıştırma açık/kapalı zamanı 5/2 s, vial iğne penetrasyonu 11 mm ve vial fiber açık bölgesi 22

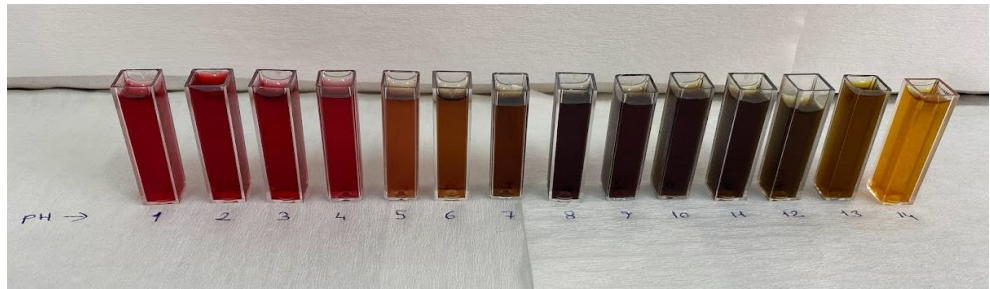
mm'dir (Salum ve diğ., 2017). Uçucu bileşiklerin izolasyonunda geniş ürün yelpazesine hitap eden Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS, 50/30 µm, SF 23GA Auto, 57299-U, Sigma-Aldrich, Amerika) kaplı fiberden yararlanılmıştır. Fiberin desorpsiyonu, GC enjeksiyon portunda (7890B, GC System, Agilent, Amerika), 180 s 250°C'de gerçekleştirilmiştir (Salum ve diğ., 2017). Ayırım DB-Wax (30m× 250 µm× 0.25 µm; 122-7032, Agilent, Amerika) polar kolonda gerçekleştirilmiş, taşıyıcı gaz olarak 2 mL/dk akış hızında helyum gazı kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı, 40 °C'de 2 dakika beklemeden sonra, dakikada 5°C artarak 70°C'ye çıkarılmış ve burada 1 dakika bekletildikten sonra dakikada 10°C artırarak 240°C'ye çıkarılmış ve bu sıcaklıkta 4 dakika sabit kalacak şekilde programlanmıştır. Bunu takiben kolon akımı FID ve MS dedektörlerine aktarılmıştır. Detektör sıcaklığı 260°C'ye ayarlanmıştır. MS iyonlaşma enerjisi 70 ev olup 30-400 kütle/yük arasında tarama yapılmıştır. Bileşiklerin miktarının belirlenmesinde iç standart metodundan yararlanılmıştır. Kromatogramların dekonvolüsyonu AMDIS (Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification Software, Amerika) programı ile gerçekleştirilmiştir. Piklerin tanımlanmasında, MS kütüphanelerinden (NIST 11, Wiley 7.0, Amerika) ve standart bileşiklerden yararlanılmıştır (Salum ve diğ., 2017). Bunun yanı sıra, alkan serisi (C8-C20, Sigma-Aldrich, Amerika) enjeksiyonu yapılmış ve piklerin lineer alikonma indeksleri (LRI) hesaplanmıştır (Van Den Dool ve Kratz, 1963).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Farklı pH'lara Ayarlanmış Doğal ve Yapay Boyar Maddelerin Renginde Meydana Gelen Değişimler

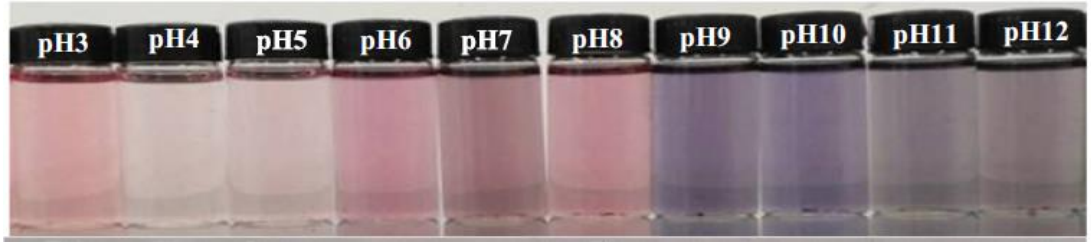
5.1.1 Farklı pH'lara Ayarlanmış Hicaz Nar Suyunun Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

Farklı pH'larda Hicaz narı suyunun renginde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.1'de verilmiştir. pH:1 ile 4 aralığında nar suyunun koyu kırmızı bir renkte olduğu, pH:5 ile 6 aralığında rengin kırmızıdan turuncumsu-kahverengi bir renge dönüştüğü gözlenmiştir. pH:7'ye gelindiğinde, rengin kahverengiye dönüştüğü ve pH arttıkça (pH:7'den pH:12'ye kadar) bu rengin daha da yoğun hale geldiği görülmüştür. pH:12'den pH:13'e gelindiğinde ise, nar suyundaki koyu kahve rengin açık kahverengiye dönüştüğü gözlenmiştir. pH:14'te nar suyunun turuncumsu-sarı bir renge dönüştüğü tespit edilmiştir. Genel anlamda, Hicaz nar suyunun farklı pH'larda (pH:1'den pH:14'e kadar) toplamda 3 ana renge sahip olduğu (kırmızı, kahverengi, turuncu-sarı), renk farklılıkların çıplak gözle net bir şekilde görülebildiği ve nar suyunun renk değiştirdiği aralığın da etin bozulma gösterdiği pH aralığına denk gelmesi nedeniyle bu meyve suyunun akıllı etiket olarak et ve ürünlerinde kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.1. Farklı pH'lara Ayarlanmış Hicaz Nar Suyunun Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

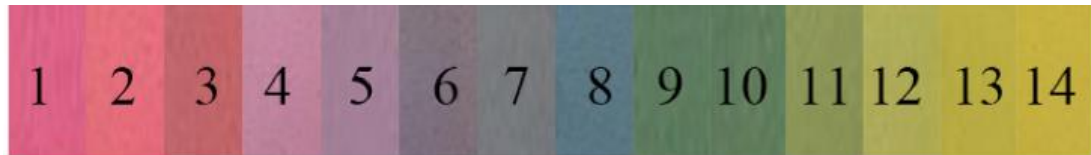
Liu ve diğ. (2020b) tarafından yapılan bir çalışmada, pH: 3 ile 9 aralığında nar ekstraktının pembemsi bir renge sahip olduğu görülürken pH:8'den sonra (pH:9 ve 10 aralığında) nar ekstraktı renginin pembeden mora döndüğü gözlenmiştir. Ayrıca, pH:11 ile 12 aralığında nar ekstraktının yeşilimtrak-gri renge dönüştüğü tespit edilmiştir. Bu çalışmada, mevcut tez çalışmasından farklı olarak değişen pH'larda ortaya çıkan renk farklılıklarının kullanılan nar cinsi ve ekstraksiyon koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.2. Farklı pH'larda Nar Ekstraktının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Liu ve diğ., 2020b)

Literatür incelendiğinde, farklı pH aralığında nar sularının renginde meydana gelen değişiklikleri gösteren bir yayına rastlanılmadığı için nara benzer antosiyanince zengin diğer meyve ve sebzelere ait çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Mor patates ekstraktının pH: 1 ile 14 aralığında farklı renklere (kırmızı, pembe, gri, mavi, yeşil) sahip olduğu, pH:1 ile 4 aralığında ekstraktın kırmızı ile pembemsi bir renkte olduğu ve pH:8'den sonra ise rengin yeşil tonlarında olduğu gözlenmiştir (Li ve diğ., 2019).



Şekil 5.3. Farklı pH'larda Mor Patates Ekstraktının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Li ve diğ., 2019)

Et tazeliğinin belirlenmesinde siyah havuç suyu katkıli kâğıt indikatörün kullanıldığı bir çalışmada ise, siyah havuç suyunun pH:1 ile 4 aralığında kırmızı, pH: 5 ile 6 aralığında pembe, pH:7’de mor, pH 10 ve 11 aralığında ise kahverengi bir renkte olduğu görülmüştür (Franco ve diğ., 2021).



Şekil 5.4. Farklı pH Aralığında Siyah Havuç Suyunun Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Franco ve diğ., 2021)

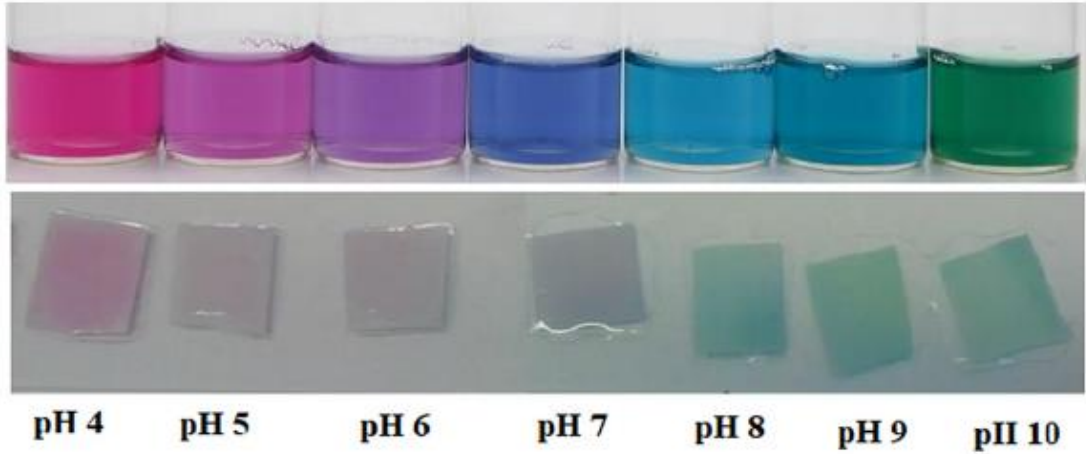
5.1.2 Farklı pH'lara Ayarlanmış Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

Farklı pH'larda kırmızı lahana suyunun renginde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.5'te verilmiştir. pH:1 ve 2'de rengin kırmızı olduğu, pH:2'den 3 gelindiğinde ise rengin pembeye döndüğü görülmüştür. Kırmızı lahana suyunun pH:4 ile 7 aralığında mor, pH:8 ile 9 aralığında mavi, pH:10 ile 11 aralığında ise yeşil bir renge sahip olduğu gözlenmiştir. pH:11'den sonra rengin sarıya döndüğü ve pH değerinin artışına bağlı olarak sarı rengin açılmaya başladığı görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan doğal (nar ve şalgam suyu) boyalarla karşılaştırıldığında, kırmızı lahana suyunda pH artışına bağlı olarak meydana gelen renk değişikliğinin daha fazla olduğu ve bu değişikliklerin çıplak gözle net bir şekilde görülebilmektedir. Bundan dolayı akıllı etiket bileşeni olarak kırmızı lahana suyunun başta et endüstrisi olmak üzere çeşitli gıda ürünlerin paketlenmesinde kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır.



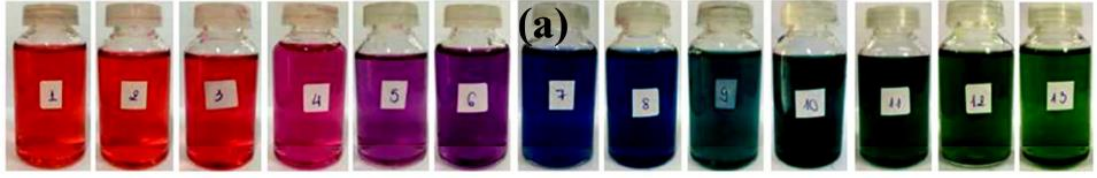
Şekil 5.5. Farklı pH'lara Ayarlanmış Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

Kırmızı lahana sularının farklı pH'larda renginde meydana gelen değişikliklerin incelendiği bir çalışmada, pH: 4 ile 6 aralığında rengin pembemsi-kırmızı ve pH:6 ile pH:10 aralığında ise mavi olduğu belirtilmiştir (Forghani ve diğ., 2021).



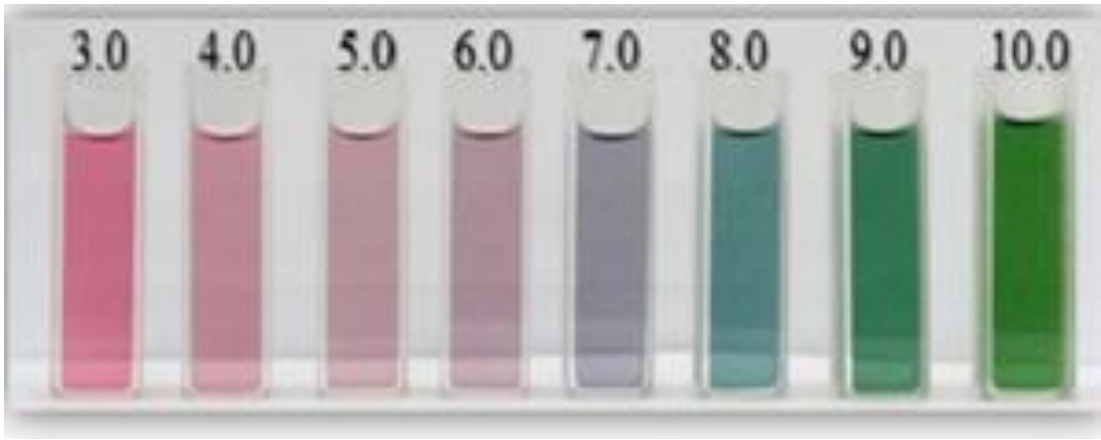
Şekil 5.6. pH: 4 ile 10 Aralığında Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Forghani ve diğ., 2021)

Kırmızı lahana sularının pH:1'den pH:13'e kadar renk değişikliklerinin araştırıldığı başka bir çalışmada, genellikle asidik koşullarda (pH:5 ve 6 hariç) kırmızı, pH:7 ve 8 aralığında mavi, pH:9'dan sonra ise yeşil bir rengin ortaya çıktığı belirtilmiştir (Roy ve Rhim, 2020).



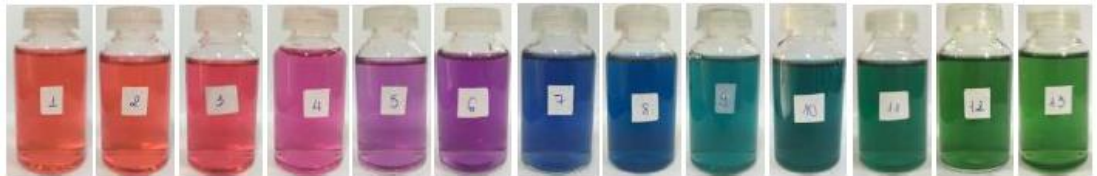
Şekil 5.7. pH:1 ile 13 Aralığında Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Roy ve Rhim, 2020)

Liang ve diğ. (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, pH:3 ile 6 aralığında kırmızı lahana suyunun pembemsi-gül kurusu bir renkte olduğu görülürken pH:9 ve 10 aralığında bu rengin yeşile döndüğü belirtilmiştir.



Şekil 5.8. pH:3 ile 10 Aralığında Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Liang ve diğ., 2019)

Kırmızı lahana sularının farklı pH aralıklarında farklı renklere (pH:1 ile 3 aralığında kırmızı, pH: 5 ile 6 aralığında mor, pH: 7 ile 8 aralığında mavi, pH:9 ile 13 aralığında yeşil renk) sahip olduğu ve pH:1 ile 13 aralığında toplamda 4 farklı renk değişikliğine uğradığı belirtilmiştir (Vo ve diğ., 2019).

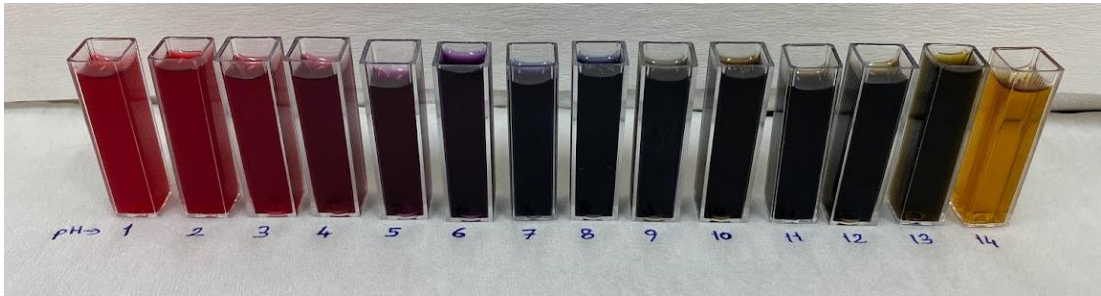


Şekil 5.9. Farklı pH Koşullarında Kırmızı Lahana Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Vo ve diğ., 2019)

Bu tez çalışmasında kırmızı lahanalarındaki farklı pH'larda ortaya çıkan renk skalaları genellikle literatür çalışmalarıyla benzerlik gösterse de bazı çalışmalarda farklılıkların olduğu gözle çarpmıştır. Ortaya çıkan renk farklılıklarının kırmızı lahananın yetiştirilme koşulları, cinsi ve ekstraksiyon koşullarındaki değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.1.3 Farklı pH'lara Ayarlanmış Şalgam Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

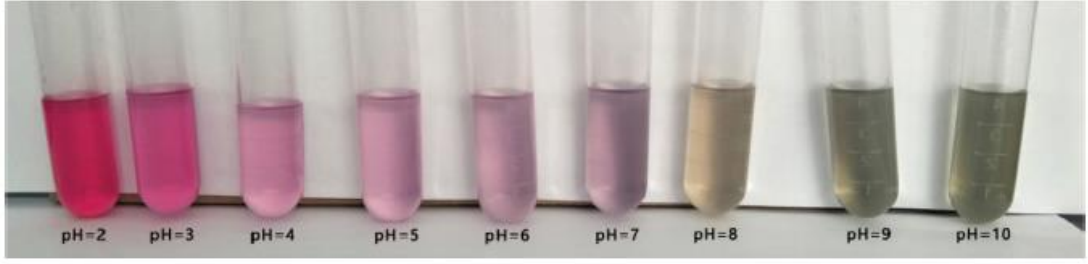
Şekil 5.10 incelendiğinde, farklı pH'larda şalgam suyunun toplamda 4 farklı renge (kırmızı, mor, kahverengi, koyu sarı) sahip olduğu belirlenmiştir. Buna göre; pH:1'de nar ve kırmızı lahanalarındaki olduğu gibi şalgam suyunun da kırmızı renkte olduğu ve pH arttıkça (pH:4'e kadar) bu rengin daha da koyulaştığı görülmüştür. pH:5'den pH:8'e kadar rengin mor olduğu, pH:9'dan itibaren pH:13'e kadar rengin koyu kahverengi olduğu pH:14'te ise rengin koyu sarıya dönüştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 5.10. Farklı pH'lara Ayarlanmış Şalgam Sularının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

Literatür incelendiğinde, boyar madde olarak şalgam suyunun kullanımına ilişkin herhangi bir çalışmaya rastlanılmadığı için antosiyanince zengin çeşitli meyve ve sebze sularının kullanıldığı makaleler incelenmiş ve bu çalışmalar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Balıklarda tazelik indikatörü olarak geliştirilen pH indikatörün (film şeklinde) üretiminde yaban mersini ekstraktının kullanıldığı bir çalışmada, yaban mersini ekstraktının pH:2'de kırmızı, pH:3 ile 7 aralığında pembe ve pH:8 ile 10 aralığında ise yeşil bir renge sahip olduğu bildirilmiştir (Shin ve diğ., 2021).



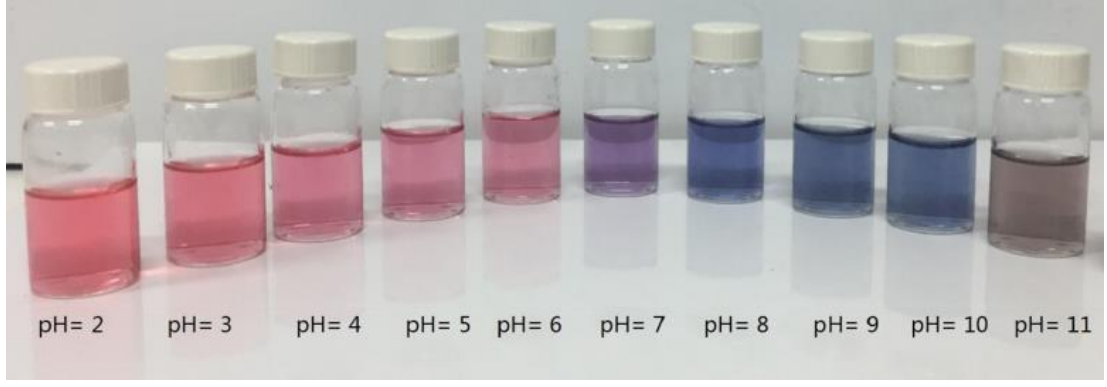
Şekil 5.11. Farklı pH'lara Ayarlanmış Yaban Mersini Ekstraktlarının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Shin ve diğ., 2021)

Gümüş sazan balıklarının paketlenmesinde akıllı etiket olarak karadut ekstraktının kullanıldığı bir çalışmada ise, karadut ekstraktının pH:2 ile 12 aralığında farklı renklerde (pH:2 ile 3 aralığında kırmızı; pH:4 ile 5 aralığında pembe; pH:6 ile 9 aralığında yeşil, pH:10 ile 12 aralığında ise kahverengi renkte) olduğu gözlenmiştir (Zhou ve diğ., 2021).



Şekil 5.12. Farklı pH'lara Ayarlanmış Karadut Ekstraktlarının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Zhou ve diğ., 2021)

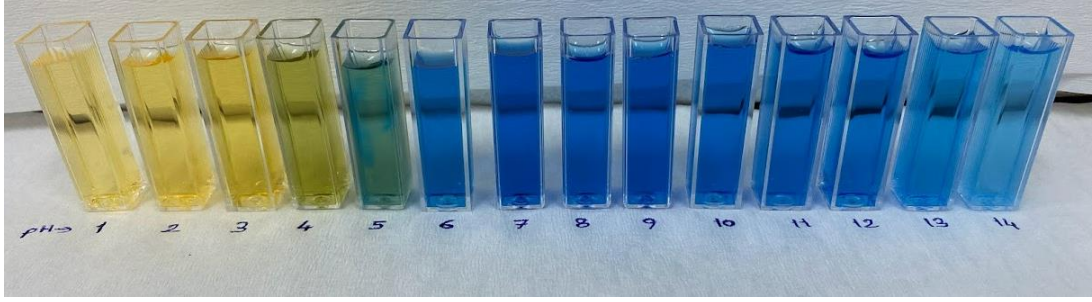
Tirtashi ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, siyah havuç ekstraktının pH:2 ile 6 aralığında pembemsi-kırmızı renge sahip olduğu görülürken pH:6'dan pH:11'e kadar ise rengin maviye döndüğü tespit edilmiştir.



Şekil 5.13. Farklı pH'lara Ayarlanmış Siyah Havuç Ekstraktlarının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Tirtashi ve diğ., 2019)

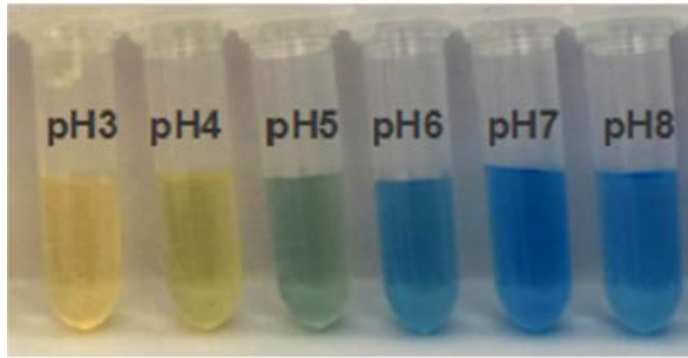
5.1.4 Farklı pH'lara Ayarlanmış Bromkresol Yeşili Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

Farklı pH'lara ayarlanmış bromkresol yeşilinin renginde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.14'te verilmiştir. Buna göre; pH:1 ile 3 aralığında rengin sarı tonlarında ve pH artışına bağlı olarak açık sarıdan koyu sarıya dönüştüğü görülmüştür. pH:4'te boyanın fındık yeşiline döndüğü, pH:5'e gelindiğinde ise rengin koyu yeşile dönüştüğü gözlenmiştir. pH:6 ile 13 arasında rengin koyu mavi, pH:14'te ise rengin açık maviye dönüştüğü tespit edilmiştir. Şekil 5.14 incelendiğinde, bromkresol yeşilinde pH:3 ile 6 arasında bariz renk değişikliklerinin yaşandığı ve bu boyanın akıllı etiket bileşeni olarak et ve ürünlerinin raf ömrünün izlenmesinde kullanılabileceği öngörülmektedir. Çünkü, et pH'ının raf ömrü boyunca değişimi (pH: 5 ile 8 aralığında) ile bromkresol yeşilinin pH'ya bağlı değişimi birebir örtüşmektedir. Ülkemizde gıdaların akıllı paketlenmesine ilişkin herhangi bir dikey mevzuatın bulunmaması bu sektöre daha fazla önem verilmesi gerektiğini göstermektedir.



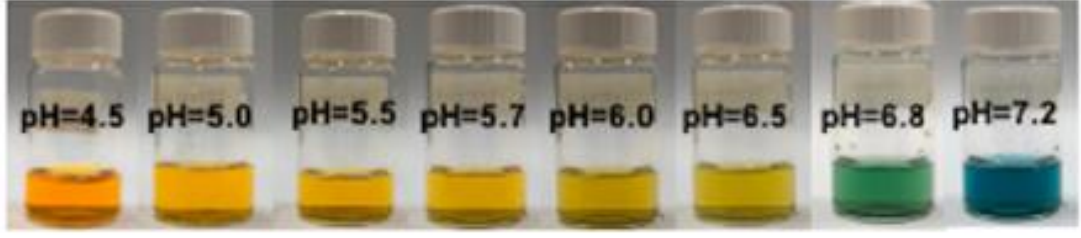
Şekil 5.14. Farklı pH'lara Ayarlanmış Bromkresol Yeşili Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

Bu çalışmaya benzer şekilde, Liu ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, bromkresol yeşili boyasının pH: 3 ile 4 aralığında sarı, pH:5'te yeşil, daha sonra ise rengin maviye döndüğü belirtilmiştir.



Şekil 5.15. pH: 3 ile 8 Aralığında Bromkresol Yeşili Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Liu ve diğ., 2020)

Bromkresol yeşili yerine farklı indikatör boyalarında et ve ürünlerinde akıllı etiket bileşeni olarak kullanabildiği görülmüştür. Örneğin pH:4,5'te bromtimol mavisinin turuncu renkte olduğu, pH: 5 ile 6,5 arasında rengin sarıya, pH:6,8'de yeşile ve nihayet pH:7,2'de maviye döndüğü bildirilmiştir (Sutthasupa ve diğ., 2021).

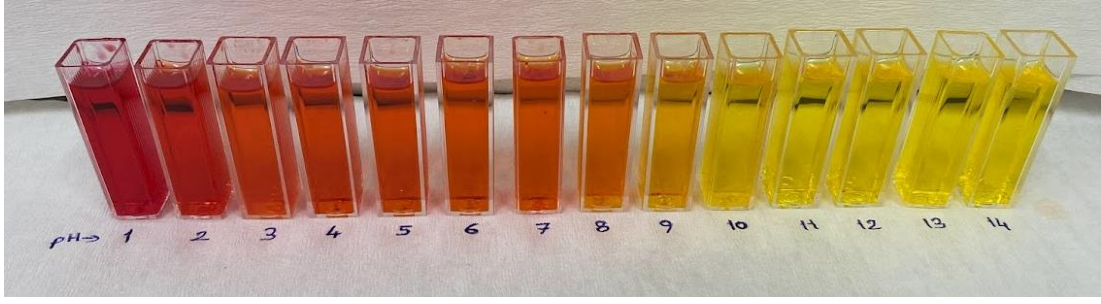


Şekil 5.16. Farklı pH'lara Ayarlanmış Bromtimol Mavisini Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Sutthasupa ve diğ., 2021)

Bu tez çalışmasında ön denemelerle farklı sentetik boyaların farklı pH'larda renk değişiklikleri incelenmiş ve sonuçta etlerde meydana gelen pH değişikliğine en yakın değişimlerin bromkresol yeşilinde olduğu gözlenmiştir. Her ne kadar yukarıdaki çalışmada bromtimol mavisini kullanılmış olsa da renk açısından istenilen değişiklikler ton farklılıklarının sınırlı kalması nedeniyle yeterince gözlenememiştir.

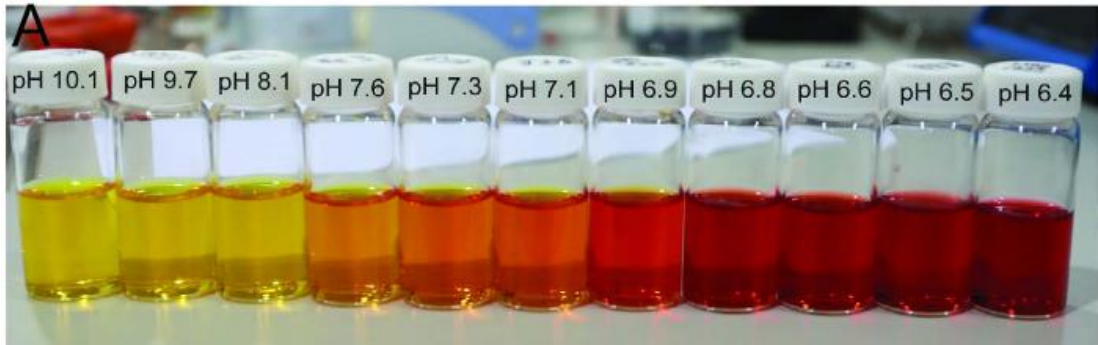
5.1.5 Farklı pH'lara Ayarlanmış Metil Kırmızısı Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

Farklı pH'lara ayarlanmış metil kırmızısı boyasının renginde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.17'de verilmiştir. Metil kırmızısının farklı pH aralıklarında toplamda 3 farklı renge (kırmızı, turuncu ve sarı) dönüştüğü gözlenmiştir. Buna göre; pH:1 ile 2 aralığında rengin kırmızı, pH:3 ile 8 aralığında turuncu, pH:8'den sonra ise rengin kademeli bir şekilde açılarak koyu sarıdan açık sarıya kadar değiştiği tespit edilmiştir. Diğer doğal ve yapay boyalarla karşılaştırıldığında, metil kırmızısının pH:3 ile 8 aralığında turuncu renge sahip olması ve etlerdeki pH değişiminin genellikle 5 ile 8 arasında olması bu boyanın et endüstrisinde akıllı etiket bileşeni olarak pek başarılı olamayacağını ön görmektedir. Ancak, daha önce yapılan ön denemelerde ve daha sonrasında ise tez çalışmasında kullanılan metil kırmızısı önce pH:2'ye ayarlanarak kırmızı renk elde edilmiş ve böylelikle renk ayrımının daha net yapılabilmesine imkân sağlamıştır.



Şekil 5.17. Farklı pH'lara Ayarlanmış Metil Kırmızısı Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler

Elmaların olgunlaşma derecelerinin tespit edilebilmesi için metil kırmızısı katkılı bir kolorimetrik sensör geliştirilmiş ve bu boyanın farklı pH'larda farklı renklere dönüştüğü tespit edilmiştir. Buna göre, metil kırmızısı pH:6,4-6,8 aralığında kırmızı, pH:6,9-7,6 aralığında turuncu, pH:8,1 ile 10,1 aralığında ise sarı bir renge dönüşmüştür (Kim ve diğ., 2018).



Şekil 5.18. pH:6,4 ile 10,1 Aralığında Metil Kırmızısı Boyasının Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Kim ve diğ., 2018)

Akıllı etiket olarak bromkresol yeşili-metil kırmızısı kombinasyonu (3:2) bir tazelik indikatörü geliştirilmiş ve boya karışımının pH:3'te pembe, pH:4'te turuncu, pH:5 ve 6'da sarı, pH:7 ile 9 aralığında ise yeşil renkte olduğu tespit edilmiştir (Lu ve diğ., 2020a).



Şekil 5.19. Farklı pH'lara Ayarlanmış Bromkresol Yeşili-Metil Kırmızısı Boyası (3:2) Karışımın Renginde Meydana Gelen Değişiklikler (Lu ve diğ., 2020a)

5.2 Doğal Boyar Maddelerin Toplam Fenolik Madde, DPPH ile Antiradikal Aktivite ve Toplam Antosiyanin Miktarı Sonuçları

Nar, kırmızı lahana ve şalgam sularının toplam fenolik madde miktarı (TFMM) Tablo 5.1'de verilmiş olup sonuçlar mg gallik asit/100 g cinsinden belirtilmiştir. Buna göre en yüksek toplam fenolik madde miktarına sahip olan örneğin şalgam suyu olduğu gözlenmiştir. Kırmızı lahana ($1923 \pm 7,87$) ve şalgam suyunun ($1945 \pm 9,63$) toplam fenolik madde miktarlarının birbirine yakın olduğu ve istatistiksel açıdan önemli bir farklılığın olmadığı görülmüştür ($P > 0,05$). Nar suyundaki TFMM $1635 \pm 10,02$ mg gallik asit/100 g olarak bulunmuştur. Diğer meyve sularıyla karşılaştırıldığında, nar suyunun en düşük TFMM'ye sahip olduğu ve istatistiksel açıdan diğerlerinden farklı olduğu tespit edilmiştir ($P < 0,05$).

Tablo 5.1. İndikatör üretiminde kullanılan pH:3'e ayarlanmış doğal boyar maddelerin TFMM, DPPH ile Antiradikal Aktivite ve TAM sonuçları

Analizler	Gruplar		
	Nar Suyu	Kırmızilahana Suyu	Şalgam Suyu
TFMM (mg gallik asit/100 g)	1635±10,02 ^B	1923±7,87 ^{AB}	1945±9,63 ^A
DPPH (% antiradikal aktivite değeri)	35,73±0,35 ^B	42,89±1,20 ^A	41,45±1,13 ^A
TAM (mg siyanidin-3-glikozit/L)	380±9,98 ^A	335±10,13 ^B	366±8,01 ^{AB}

^{A, B} Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

(**TFMM:** toplam fenolik madde miktarı, **DPPH:** DPPH ile Antiradikal Aktivite değeri, **TAM:** toplam antosiyanin miktarı)

Esposito ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, 8 farklı nar suyu örneğinin TFMM'ne bakılmış ve TFMM'nin 1379 ile 3748,80 mg gallik asit/L arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir.

Kırmızı lahanalarında toplam fenolik madde içeriğinin araştırıldığı bir çalışmada, TFMM 1077 mg gallik asit/100 g olarak bulunmuştur (Sanchez ve diğ., 2021). Başka bir çalışmada ise, kırmızı lahanaların su, etanol ve metanollü ekstraktlarında TFMM'nin 15,798 ile 19,986 mg gallik asit/g arasında değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (Izzo ve diğ., 2020).

Öztürk ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, şalgam suyundaki TFMM 11,361 mg gallik asit/mL olarak bulunmuştur. Başka bir çalışmada ise, şalgam suyundaki toplam fenolik madde içeriği 1,052 mg GA/ g olarak tespit edilmiştir (Öztaş, 2006).

Tablo 5.1 incelendiğinde, en yüksek antiradikal aktivite değeri kırmızı lahanalar suyunda (%42,89) tespit edilmiştir. Kırmızı lahanalar (%42,89) ve şalgam suyundaki (%41,45) antiradikal aktivite değerlerinin birbirine yakın olduğu ve istatistiksel açıdan da benzer olduğu tespit edilmiştir (P>0,05). Diğer doğal boyalarla karşılaştırıldığında,

nar suyunun antiradikal aktivite deęerinin (%35,73) daha dūşük ve istatistiksel açıdan farklı olduęu görülmüştür ($P < 0,05$).

İran'ın 10 farklı bölgesinden temin edilen nar sularındaki antiradikal aktivite değerlerinin %18,8 ile %46,8 arasında değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (Akhavan ve diğ., 2015). Başka bir çalışmada, farklı nar çeşitleri (katırbaşı, devediş, suruş, suruç karası ve Hicaz nar) kullanılarak üretilen nar sularının antiradikal aktivite değerlerinin %89,47 ile %96,38 arasında değiştiği belirtilmiştir (İkinci ve diğ., 2021).

Kırmızı lahananın ekstraksiyonunda çözücü olarak suyun kullanıldığı bir çalışmada, ekstrakttaki antiradikal aktivite değeri %69,82 olarak bulunmuştur (Liang ve diğ., 2019). Başka bir çalışmada ise, kırmızı lahananın ekstraksiyonunda çözücü olarak farklı bileşikler (su ve etanol) kullanılmış ve antiradikal aktivite değerlerinin %41,89 ile %75,23 arasında değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (Shiyan ve diğ., 2018).

Çankaya (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı fermantasyon sıcaklıklarında (10, 22 ve 33°C) üretilen şalgam sularında antiradikal aktivite değerlerinin %38,48 ile 43,45 arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Tangüler ve diğ. (2021) tarafından üretilen şalgam suyunda ise antiradikal aktivite değeri %38,48 olarak bulunmuştur.

Nar, kırmızı lahana ve şalgam sularının toplam antosiyanin miktarı (TAM) sonuçları Tablo 5.1'de verilmiş olup sonuçlar mg siyanidin-3-glikozit/L cinsinden belirtilmiştir. Örneklerdeki toplam antosiyanin miktarı 366 ile 380 mg-siyanidin-3-glikozit/L arasında değişkenlik göstermiştir. Tablo 5.1 incelendiğinde, nar suyunun en yüksek toplam antosiyanin miktarına sahip olduğu görülmüştür. Kırmızı lahana ve şalgam sularının toplam antosiyanin miktarının sırasıyla 335 ve 366 mg siyanidin-3-glikozit/L olduğu ve istatistiksel açıdan benzer oldukları ($P > 0,05$) gözlenmiştir.

Hicaz narından elde edilen nar sularındaki toplam antosiyanin miktarının 10 ile 20 mg siyanidin-3-glikozit/100 mL arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir (Turgut ve Seydim, 2013). Sepulveda ve diğ. (2010) tarafından Şili'de sekiz nar genotipi üzerine yapılan çalışmada narın toplam antosiyanin içeriğinin siyanidin-3-glikozit cinsinden 168-1328 mg/L aralığında değişim gösterdiği saptanmıştır.

Farklı oranlarda su ve etanol yardımıyla ekstrakte edilen kırmızı lahanalarındaki toplam antosiyanin miktarının 230-387 mg siyanidin-3-glikozit/L arasında değiştiği belirtilmiştir (Chandrasekhar ve diğ., 2012). Bir başka çalışmada ise, kırmızı lahanaların ekstrakte edilmesinde farklı sıcaklık (40 ve 70°C) ve çözücüler (su ve etanol) kullanılmış ve kırmızı lahanalarındaki toplam antosiyanin miktarlarının 141,94 ile 240,69 mg siyanidin/L arasında değiştiği gözlenmiştir (Yiğit, 2018).

Tangüler ve diğ. (2021) tarafından yapılan başka bir çalışmada, farklı fermantasyon (10, 22 ve 35°C) sıcaklıklarında üretilen şalgam sularındaki toplam antosiyanin miktarlarının 124-158 mg/L arasında değiştiği bildirilmiştir. Başka bir çalışmada ise, şalgam sularındaki toplam antosiyanin miktarları 157-306 mg siyanidin glikozit/L arasında bulunmuştur (Tanrıseven ve diğ., 2018).

Toplam fenolik madde, antiradikal aktivite ve toplam antosiyanin madde miktarı sonuçları göz önüne alındığında, nar, kırmızı lahanalar ve şalgam sularındaki değerlerin literatür verileriyle paralellik gösterdiği tespit edilmiştir.

5.3 Atmosferik Oksijenle Paketlenen Örneklerin Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

5.3.1 Dana Kıymasının Atmosferik Oksijenle Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi











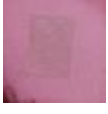




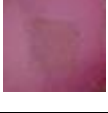


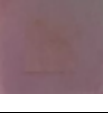
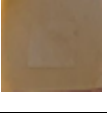





Tablo 5.2. Akıllı etiketlere verilen kodların açılımı

Kod Numarası	İndikatör Üretiminde Kullanılan Boyalar
B	Bromkresol yeşili (pH:2)
M	Metil kırmızısı (pH:2)
Ş	Şalgam suyu (pH:3)
N	Nar suyu (pH:3)
K	Kırmızı lahanalar suyu (pH:3)

Depolama boyunca indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler Tablo 5.3'te verilmiştir. 0. günde doğal boya olarak kullanılan şalgam, nar ve kırmızı lahana suları katkıli indikatörlerin benzer bir pembemsi-kırmızı renge, bromkresol ve metil kırmızısı katkıli indikatörlerin ise sırasıyla sarı ve kırmızı renge sahip olduğu görülmüştür. Depolamanın 3. gününde, Ş ve N kodlu indikatörlerin renginde koyulaşma başlamıştır. Ayrıca, 3. günde, B ve M kodlu indikatörlerin renginde de bariz değişiklikler gözlenmiş olup 1 numaralı indikatör renginin sarıdan maviye, M kodlu indikatörün ise kırmızıdan soluk turuncuya döndüğü görülmüştür. 5 numaralı indikatörde ise bariz bir renk değişikliği tespit edilmemiştir. Depolamanın 5. gününde K kodlu indikatörün rengi pembemsi kırmızıdan maviye dönmüştür. Diğer dört indikatörde ise belirgin bir renk değişikliği tespit edilmemiştir (Tablo 5.3). Depolamanın 7. gününde, M kodlu indikatörün soluk turuncudan açık turuncuya, Ş kodlu indikatörün kırmızıdan mora, N kodlu indikatörün kırmızıdan grimsi bir renge ve K kodlu indikatörün ise soluk maviden açık maviye dönüştüğü gözlenmiştir. 1 numaralı indikatörün renginde ise belirgin bir renk farklılığı görülmemiştir. Depolamanın 10. gününde, B, M ve K kodlu indikatörlerin renklerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Ayrıca, Ş kodlu indikatörün koyu mordan açık mora N kodlu indikatörün ise griden yeşile döndüğü görülmüştür.

Genel anlamda, yapay boya katkıli indikatörlerin doğal boya katkıli indikatörlere göre daha hızlı renk değiştirdikleri gözlenmiştir. Hem mikrobiyolojik (toplam psikrofilik, koliform ve maya-küf canlı sayımı) hem de fizikokimyasal analiz (lipid ve protein oksidasyonu, pH, renk, su aktivitesi) sonuçlarında da görüleceği üzere, dana kıymasının soğukta muhafazası sırasında kullanılan doğal boya katkıli indikatörlerin genel anlamda daha başarılı oldukları görülmektedir. Doğal boyalar içerisinde de süreye bağlı olarak renk değiştirmede en başarılı indikatörün nar suyu olduğu söylenebilir. Yapay boya katkıli indikatörler depolamanın 3. gününde renk değişikliklerini tamamlayarak kalıcı bir renge dönüşmüşlerdir (mavi ve turuncu). Dolayısıyla ticari boyutta düşünüldüğünde, bu çalışmada kullanılan bromkresol yeşili ve metil kırmızısı boyalarının dana kıymasının atmosferik oksijen altında muhafazası sırasında renk indikatörü olarak kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.3. Depolama boyunca (4°C, 10 gün) dana kıymasının atmosferik oksijenle paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler

Gruplar	Günler				
	0	3	5	7	10
B					
M					
Ş					
N					
K					

Tez çalışması planlanırken geniş bir literatür taraması sonucu farklı nitelikteki doğal ve yapay boyaların pH indikatörü olarak kullanıldıkları tespit edilmiştir. Bu durumun bir sonucu olarak literatürde kullanılmış olan boyaların (doğal ve yapay boyalar) pek çoğu laboratuvarında ön denemelerde test edilmiş ve içlerinden taze etlerin raf ömrü boyunca belirgin renk değişiklikleri gösterdiği boyalar tez çalışmasının ana boyar maddeleri olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla aşağıda farklı boyalarla, farklı sürelerde atmosferik oksijen altında muhafaza edilen dana etlerine ait bulgular incelenmiş ve çok değişken sonuçlara ulaşılmıştır.

Buna göre; Ezati ve diğ. (2019a) tarafından yapılan bir çalışmada, dana kıymasının atmosferik oksijen altında muhafazası sırasında akıllı etiket olarak alizarin boyası katkılı bir film geliştirilmiştir ve depolama boyunca (4°C, 4 gün) film renginin turuncudan kırmızıya döndüğü belirtilmiştir. Fileto haline getirilmiş dana etlerinin tazeliğinin belirlenmesinde çeşitli yapay boya (m-kresol moru, o-kresol kırmızısı, bromtimol mavisi, klorofenol kırmızısı) katkılı kâğıt indikatörler geliştirilmiş ve depolama sırasında (oda sıcaklığında, 69 saat) o-kresol kırmızısı ve bromtimol mavisi

katkılı indikatörlerin rengine herhangi bir değişiklik görülmezken m-kresol moru katkılı indikatör renginin ise mordan yeşile döndüğü tespit edilmiştir (Magnaghi ve diğ., 2020). Benzer bir çalışmada da dana kıymasının atmosferik oksijen altında paketlenmesinde akıllı etiket olarak kırmızı üzüm suyu katkılı tazelik indikatörü geliştirilmiş ve depolama boyunca (4°C, 7 gün) indikatör renginin kırmızıdan maviye döndüğü bildirilmiştir (Taherkhani ve diğ., 2020).












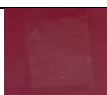
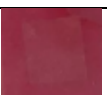

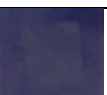

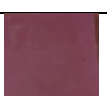
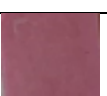
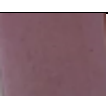
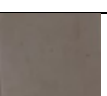
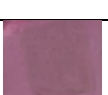

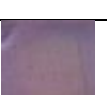
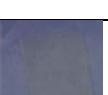
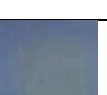
5.3.2 Tavuk Göğüs Filetolarının Atmosferik Oksijenle Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi

Depolama boyunca indikatörlerin rengine meydana gelen değişiklikler Tablo 5.4'te verilmiştir. 0. günde doğal boya olarak kullanılan şalgam (Ş), nar (N) ve kırmızı lahana suları (K) katkılı indikatörlerin benzer pembemsi-kırmızı rene, bromkresol yeşilinin (B) sarı, metil kırmızısının (M) ise kırmızı renkte olduğu gözlenmiştir. Depolamanın 3. gününde, Ş ve N kodlu indikatörlerin rengine koyulaşma başlamıştır. Ayrıca, 3. günde, B kodlu indikatörün kenar kısımlarında yeşil rengin oluşmaya başladığı, M kodlu indikatörün ise kırmızıdan soluk turuncuya döndüğü görülmüştür. K kodlu indikatörde ise bariz bir renk değişikliği tespit edilmemiştir (3. günde). Depolamanın 5. gününde B kodlu indikatörün rengi sarıdan maviye, K kodlu indikatör ise pembemsi kırmızıdan mavimsi pembeye dönmüştür. Diğer üç indikatörde ise (5. günde) belirgin bir renk değişikliği tespit edilmemiştir (Tablo 5.4). Depolamanın 7. gününde, M kodlu indikatörün soluk turuncudan açık turuncuya, Ş kodlu indikatörün kırmızıdan morumtarak kırmızıya, N kodlu indikatörün kırmızıdan gül kurusu bir rene ve K kodlu indikatörün ise mavimsi pembeden maviye dönüştüğü gözlenmiştir. B kodlu indikatörün rengine ise belirgin bir renk farklılığı görülmemiştir (7. günde). Depolamanın 10. gününde, B, M ve K kodlu indikatörlerin renklerinde önemli bir değişiklik gözlenmezken 3 numaralı indikatör morumtarak kırmızıdan mora, N kodlu indikatör ise gül kurusundan griye dönmüştür.

Genel anlamda, yapay boya katkılı indikatörlerin doğal boya katkılı indikatörlere göre daha hızlı bir renk değişikliğine uğradığı belirlenmiştir. Hem mikrobiyolojik (toplam psikrofilik, koliform ve maya-küf canlı sayımı) hem de

fizikokimyasal analiz (lipid ve protein oksidasyonu, pH, renk, su aktivitesi) sonuçlarından da görüleceği üzere, tavuk göğüs etlerinin paketlenmesinde kullanılan doğal veya yapay boya katkıli indikatörlerin genel anlamda başarılı oldukları ve tüketicilerin ortaya çıkan renk değişiklikleri sayesinde ürünün tazeliği veya bayatlığı hakkında genel bir fikir edinilebileceği izlenimi ortaya çıkmıştır. Ticari olarak atmosferik oksijen altında satışa sunulan tavuk göğüs etlerinin buzdolabı koşullarında muhafaza süresi takriben 7 gündür. Bu bilgi ışığında çalışmada denenmiş olan indikatörler dikkate alındığında 7 günlük tazelik indikatörü olarak şalgam (Ş) ve kırmızı lahana (K) suyu katkıli indikatörlerin kullanılabilmesi öngörülmektedir.

Tablo 5.4. Depolama boyunca (4°C, 10 gün) tavuk göğüs filetoalarının atmosferik oksijenle paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin rengine meydana gelen değişiklikler

Gruplar	Günler				
	0	3	5	7	10
B					
M					
Ş					
N					
K					

Tavuk göğüs etlerinin atmosferik oksijenle paketlenmesinde akıllı etiket olarak bromkresol yeşili katkıli bir ambalaj filmi (Tyvek, düşük yoğunluklu polietilen ve bromkresol yeşili boyası) üretilmiş ve depolama boyunca (4°C, 7 gün) ambalaj film renginin sarıdan (0. gün) yeşile (7. gün) döndüğü bildirilmiştir (Lee ve diğ., 2019). Benzer bir çalışmada ise, depolama boyunca tavuk göğüs etlerinde tazeliğin

belirlenmesinde bromkresol yeşili katkılı bir pH indikatörü geliştirilmiş ve depolama sırasında (4°C, 10 gün) indikatör renginin önce sarı (0. gün) sonra yeşil (7. gün) ve en son da mavi (10. gün) renge döndüğü belirtilmiştir (Riahi ve diğ., 2019). Başka bir çalışmada ise, tavuk köftelerinin atmosferik oksijenle paketlenmesinde akıllı etiket olarak farklı boya katkılı kâğıt indikatörler geliştirilmiş ve depolama boyunca (4°C, 21 gün) indikatörlerin renginde önemli değişikliğin olmadığı gözlemlenmiştir (Talukder ve diğ., 2020).

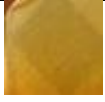










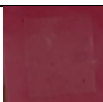

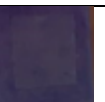
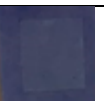
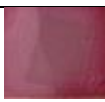
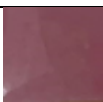
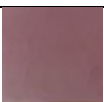

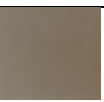
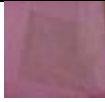
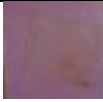
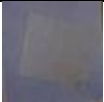


5.3.3 Alabalık Filetolarının Atmosferik Oksijenle Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi

Depolama boyunca indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler Tablo-5.5'te verilmiştir. 0. günde doğal boya olarak kullanılan şalgam, nar ve kırmızı lahana suları katkılı indikatörlerin benzer bir pembemsi-kırmızı renge, bromkresol yeşili ve metil kırmızısı katkılı indikatörlerin ise sırasıyla sarı ve kırmızı renge sahip olduğu görülmüştür. 3. günde, Ş kodlu indikatörün renginde koyulaşma başlamıştır. Ayrıca, B kodlu indikatör renginin sarıdan maviye, M kodlu indikatörün kırmızıdan soluk turuncuya, K kodlu indikatörün ise pembemsi kırmızıdan pembemsi maviye döndüğü görülmüştür. N kodlu indikatörün renginde bariz bir değişiklik gözlenmemiştir (3. günde). 5. günde, N kodlu indikatör renginin (gül kurusu) açılmaya başladığı, K kodlu indikatörün ise pembemsi maviden maviye döndüğü görülmüştür. Diğer üç indikatörde ise (B, M ve Ş kodlu indikatörler) belirgin bir renk değişikliği tespit edilmemiştir (5. günde). 7. günde, M kodlu indikatörün soluk turuncudan açık turuncuya, Ş kodlu indikatörün kırmızıdan mora, N kodlu indikatörün ise gül kurusu renginden grimsi-yeşil bir renge dönüştüğü gözlenmiştir. B ve K kodlu indikatörlerin renklerinde ise belirgin bir renk farklılığı görülmemiştir (7. günde). 10. günde, B, M, Ş ve K kodlu indikatörlerin renklerinde önemli bir değişiklik gözlenmezken N kodlu indikatörün grimsi-yeşilden yeşile döndüğü tespit edilmiştir (10. günde).

Genel olarak, yapay boya katkılı indikatörlerin doğal boya katkılı indikatörlere göre daha hızlı bir renk değişikliğine uğradığı söylenebilir. Yapay boya katkılı indikatörlerle karşılaştırıldığında, doğal boya katkılı indikatörlerin renklerinde

kademeli bir renk değişikliğinden bahsedilebilmektedir. Ticari boyutta düşünöldüğünde, Ş ve N kodlu indikatörlerin alabalık gibi su ürünlerinin paketlenmesinde akıllı etiket olarak kullanımının daha uygun olacağı görölmektedir.

Tablo 5.5. Depolama boyunca (4°C, 10 gün) alabalık filetosunun atmosferik oksijenle paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler

Gruplar	Günler				
	0	3	5	7	10
B					
M					
Ş					
N					
K					

Liu ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, balık etlerinin atmosferik oksijenle paketlenmesinde akıllı etiket olarak bromkresol yeşili katkılı bir pH indikatörü geliştirilmiş ve depolama boyunca (4°C, 28 saat) indikatör renginin başta sarı (0. saat) daha sonra yeşil (18. saat) ve en sonda ise mavi renge (24. saat) dönüştüğü bildirilmiştir. Benzer bir çalışmada ise, gökkuşacağı alabalık filetoalarının akıllı paketlenmesinde bromkresol yeşili katkılı bir pH indikatörü geliştirilmiş ve depolama boyunca (4°C, 6 gün) indikatör renginin sarıdan önce yeşile sonra da maviye döndüğü belirtilmiştir (Rastiani ve diğ., 2020).

5.3.4 Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Et Örneklerinin Kimyasal Bileşim Sonuçları

Dana kıyması, tavuk göğüs eti ve alabalık filetolarının kimyasal bileşim sonuçları (%nem, protein, yağ, kül ve karbonhidrat miktarı) Tablo 5.6'da verilmiştir. Dana kıymasında nem, protein, yağ, kül ve karbonhidrat miktarları sırasıyla %56,85, 20,13, 19,76, 2,11 ve 1,15 olarak bulunmuştur. Dana kıymasının, tavuk göğüs eti ve alabalık filetosuna göre daha yağlı olduğu görülmüştür. Et ve Et ürünleri Tebliği'ne göre, dana kıymasında yağ miktarının en çok %20 seviyesinde olması gerektiği belirtilmiş ve buna göre çalışmada kullanılan dana kıymasının yasal mevzuata uygun olduğu tespit edilmiştir. Genellikle etteki protein miktarının %16 ile 22 arasında olduğu ve bu değerlerin çeşitli parametrelere (hayvan çeşidi, cinsi, ırkı, yaş, karkastan alınan bölge, beslenme durumu gibi) göre değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Et ve ürünleri protein açısından oldukça zengin ürün olmalarının yanında düşük miktarda karbonhidrat içermeleri nedeniyle düşük glisemik indeksine sahip gıdalar arasında yerini almaktadır (Biesalski, 2005).

Tablo 5.6. Dana kıyması, tavuk göğsü ve alabalık filetolarının kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim (%)	Gruplar		
	DK	TGF	AF
Nem	56,85±2,31	73,08±3,45	70,11±3,17
Protein	20,13±1,75	22,36±1,97	22,08±2,16
Yağ	19,76±1,44	2,05±0,14	5,43±0,43
Kül	2,11±0,23	1,73±0,46	1,54±0,18
Karbonhidrat	1,15±0,11	0,78±0,09	0,84±0,13

(DK: Dana kıyması, TGF: Tavuk göğsü filetosu, AF: Alabalık Filetosu)

Shahbazi ve Shavisi (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, dana kıymasındaki nem, protein, yağ ve kül miktarları sırasıyla 63,3, 12,45, 21,19 ve 1,75/100 g olarak tespit edilmiştir. Dana kıymasının atmosferik oksijenle paketlenildiği bir çalışmada ise, kıymadaki nem, protein, yağ ve kül miktarı yüzdesel (%) olarak sırasıyla, 70,53, 20,09, 7,45 ve 1,17 olarak bulunmuştur (Mashau ve diğ., 2021). Başka bir çalışmada ise, dana kıymaları vakumla paketlenmiş ve örneklerdeki nem, protein,

yağ ve kül miktarlarının sırasıyla %71,2, 24,1, 3,4 ve 1,3 olduğunu bildirmişlerdir (Da Silva ve diğ., 2021).

Literatür çalışmaları ile mevcut teze ait sonuçlar karşılaştırıldığında, yağ ve nem miktarları bakımından belirgin farklılıklar gözlenmiş olup bu farklılık kıyım için kullanılan hayvanın değişik bölgelerinden alınan kısımların yağ içeriğinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Tavuk göğüs eti filetosunun nem, protein, yağ, kül ve karbonhidrat miktarları sırasıyla %73,08, 22,36, 2,05, 1,73 ve 0,78 olarak tespit edilmiştir. Dana kıyması ve alabalık filetosuyla karşılaştırıldığında tavuk göğüs etinin oldukça yağsız bir ürün olduğu görülmüştür.

Zotte ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, tavuk göğüs etlerindeki nem, protein, yağ ve kül miktarları sırasıyla %75,9, 21,3, 1,21 ve 1,19 olarak tespit edilmiştir. Tavuk göğüs etlerinin atmosferik oksijenle paketlenildiği başka bir çalışmada ise, örneklerdeki nem, protein, yağ ve kül miktarları sırasıyla %76,10, 21,95, 1,29 ve 1,67 olarak bulunmuş ve depolama boyunca (4°C, 9 gün) örneklerin kimyasal kompozisyonunda önemli bir değişiklik gözlenmemiştir (Kim ve diğ., 2020). Benzer bir çalışmada ise, tavuk göğüs etlerindeki nem, protein, yağ ve kül miktarları sırasıyla %76,51, 20,90, 1,37 ve 1,20 olarak bulunduğu belirtilmiştir (Yaghoubi ve diğ., 2021).

Yukarıdaki literatür verileri incelendiğinde, bu çalışmada elde edilen bulgulara benzer bulgular tespit edilmiştir.

Su ürünlerinde kimyasal kompozisyon özellikle de yağ ve nem miktarı çeşitli parametrelere (avlanılan yer, balık cinsi, ırkı, cinsiyet, çiftleşme öncesi ve sonrası, beslenme durumu, mevsim gibi) göre değişkenlik göstermektedir. Alabalık filetosunun kimyasal kompozisyonu Tablo 5.6'da verilmiştir. Alabalık filetosunun nem, protein, yağ, kül ve karbonhidrat miktarları sırasıyla %70,11, 22,08, 5,43, 1,54 ve 0,84 olarak bulunmuştur. Alabalık gibi su ürünlerinin nem miktarı oldukça yüksek seviyelerde kalmakta ve kırmızı ete nazaran daha fazla doymamış yağ asidi içerdiği bilinmektedir. Dolayısıyla bu durum ürünün raf ömrünün önemli ölçüde kısılmasına neden olmaktadır.

Skalecki ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, gökkuşuğu alabalık filetolarındaki (*Oncorhynchus mykiss*) nem, protein, yağ ve kül miktarı sırasıyla %72,69, 20,31, 5,31 ve 1,50 olduğu belirtilmiştir. Başka bir çalışmada ise, gökkuşuğu alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarındaki nem, protein, yağ ve kül miktarları yüzdesel olarak (%) sırayla 73,5, 21,19, 2,7 ve 1,7 olarak tespit edilmiştir (Rezaeifar ve diğ., 2020). Benzer bir çalışmada ise, gökkuşuğu alabalık filetolarındaki (*Oncorhynchus mykiss*) nem, protein, yağ ve kül miktarları sırasıyla %75,32, 18,63, 5,48 ve 1,18 olduğu bildirilmiştir (Karsli ve diğ., 2021).

Yukarıdaki veriler ışığında, bu çalışmadaki kimyasal kompozisyon bulgularının literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

5.3.5 Renk Değerleri (L^* , a^* ve b^*) Sonuçları

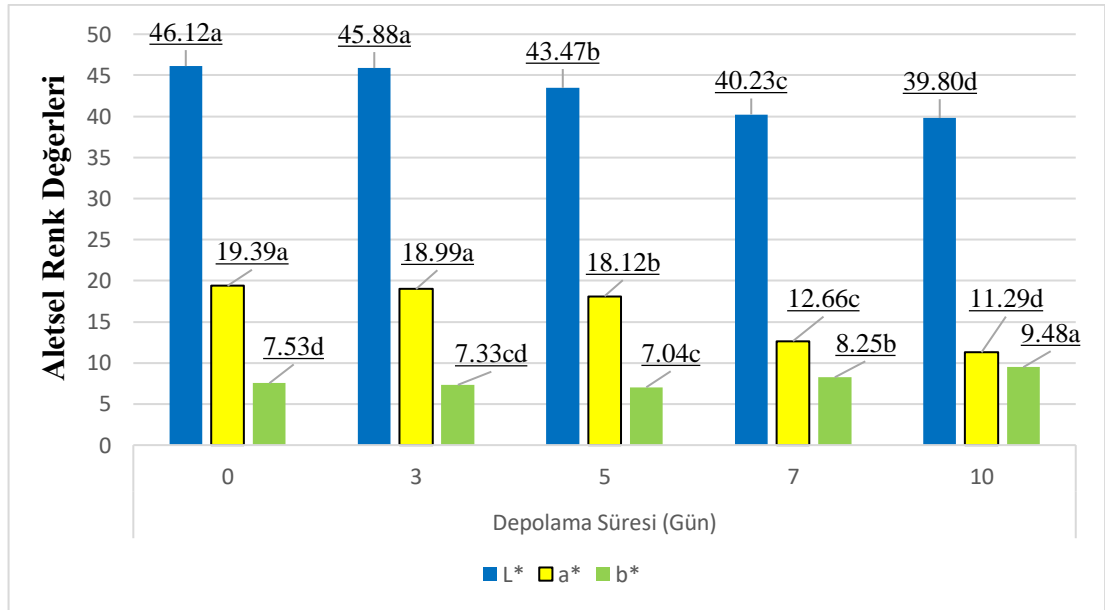
Renk, tüketicilerin ürünü satın alma kararını etkileyen önemli kalite parametrelerinden biridir. Et ve ürünlerinde ete rengini veren pigment miyoglobindir (Balamatsia ve diğ., 2007; Jouki ve Khazaei, 2012). Myoglobinin kesim öncesi (hayvanın beslenme kompozisyonu, yaş, cinsiyet, hayvanın fiziksel aktivitesi, genetik gibi) ve sonrasında (etin taşınması ve depolanması aşamalarında uygulanan soğuk zincir sıcaklığı, ambalaj materyali, paketlenme tipi gibi) uygulanan teknolojik işlemlere bağlı olarak kimyasal yapısında birtakım değişiklikler görülür. Ayrıca, et ve ürünlerinin önemli oranda protein ve yağ içermesinden dolayı depolama sırasında başta oksidasyon (lipid ve protein oksidasyonu) ve enzimatik değişiklikler olmak üzere önemli kalite değişiklikleri ortaya çıkmakta ve sonuçta renk olumsuz yönde etkilenmektedir (Khan, 2014; Li ve diğ., 2015). Et ve ürünlerinin renk ölçümünde çeşitli kolorimetreler kullanılmakta ve bu cihazlarda etin açıklık-koyuluk (L^*), kırmızılık (a^*), sarılık (b^*) değerlerini gösteren parametreler yer almaktadır.

5.3.5.1 Dana Kıymasının Renk Değeri Sonuçları

Dana kıymasının aletsel renk değerleri (L^* , a^* ve b^*) Şekil 5.20'de verilmiştir. Depolama boyunca L^* (parlaklık) değerinin 39,80 ile 46,12 arasında değişkenlik gösterdiği ve parlaklığın önemli ölçüde azaldığı ve azalışın özellikle depolamanın 5.

gününden (43,47) itibaren hızlandığı belirlenmiştir. Depolamanın başlangıcından depolamanın 5. gününe kadar parlaklıkta önemli bir değişiklik gözlenmezken ($P>0,05$) depolamanın sonunda renk bariz bir şekilde koyulaşmıştır ($P<0,05$). Depolama boyunca L^* değerinde gerçekleşen azalışın lipid ve protein oksidasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışmada kullanılan dana kıyması dana kaburga etinden elde edildiği için kıymanın yağ içeriği tavuk göğüs eti ve alabalık filetosuna göre daha yüksektir. Oksidasyon reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için ortamda doymamış yağ asidi, oksijen gibi birtakım bileşiklerin bulunması gerekmektedir. Dana kıymasında önemli miktarda doymamış yağ asidi bulunduğundan lipid oksidasyonunun teşvik edildiği ayrıca oksidasyon son ürünlerinden malondialdehit (MA) ve lipid radikallerinin de (peroksi radikalleri) kümülatif etki göstererek protein oksidasyonunu tetiklemesiyle oksidasyon hızla yayılmaktadır (Dominguez ve diğ., 2019; Estevez, 2011; Stadtman ve Berlett, 1991).



a, b, c, d: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

Şekil 5.20. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Dana Kıymalarının Aletsel Renk Değerinde (L^* , a^* ve b^*) Meydana Gelen Değişiklikler

Dana kontrafilenin 3 farklı paketlenme yöntemi (atmosferik oksijen, vakum ve aktif paketlenme) kullanılarak paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 21 gün) örneklerin parlaklık değerinde bir artış olmasına rağmen istatistiksel açıdan bu fark anlamlı bulunmamıştır (Lee ve diğ., 2017). Başka bir çalışmada ise, depolama boyunca vakum ve atmosferik oksijenle paketlenmiş dana etlerinin parlaklık değerinde önemli bir düşüşün yaşandığı bildirilmiştir (Choe ve diğ., 2018).

Atmosferik oksijenle paketlenmiş dana kıyması örneğinin aletsel kırmızılık renk değerleri Şekil 5.20'de verilmiştir. Depolamanın başında dana kıymasının kırmızılık değeri 19,39 olarak bulunmuştur. 0. gün (19,39) ile 3. gün (18,99) arasındaki kırmızılık değerlerinin istatistiksel açıdan benzer oldukları görülmüştür ($P>0,05$). Depolama boyunca dana kıymasının kırmızılık değerinde önemli bir düşüş yaşandığı ve oransal olarak bu düşüşün %41,77 olduğu gözlenmiştir. Genel anlamda, depolama boyunca dana kıymasının kırmızılık değerinde bir düşüş olduğu ve bu düşüşün özellikle 5. günden sonra daha hızlı gerçekleştiği görülmüştür (18,12'den 11,29'a düşmüştür). Et örneğinin kırmızılık değerinde meydana gelen düşüşün myoglobinin metmyoglobine dönüşümü sonucu kırmızılığın azalmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Syahida ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, dana kıymaları atmosferik oksijen altında paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 7 gün) tüm örneklerin kırmızılık değerinin 21,05'ten 12,44'e düştüğü belirtilmiştir. Çalışmanın aksine, dana bifteklerin atmosferik oksijen altında paketlenildiği başka bir çalışmada, depolamanın ilk dört gününde bifteklerin kırmızılık değerinde bir artış olmuş (9,00'dan 10,00'a) daha sonra ise örneklerdeki kırmızılık değerinin önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir (McSharry ve diğ., 2020).

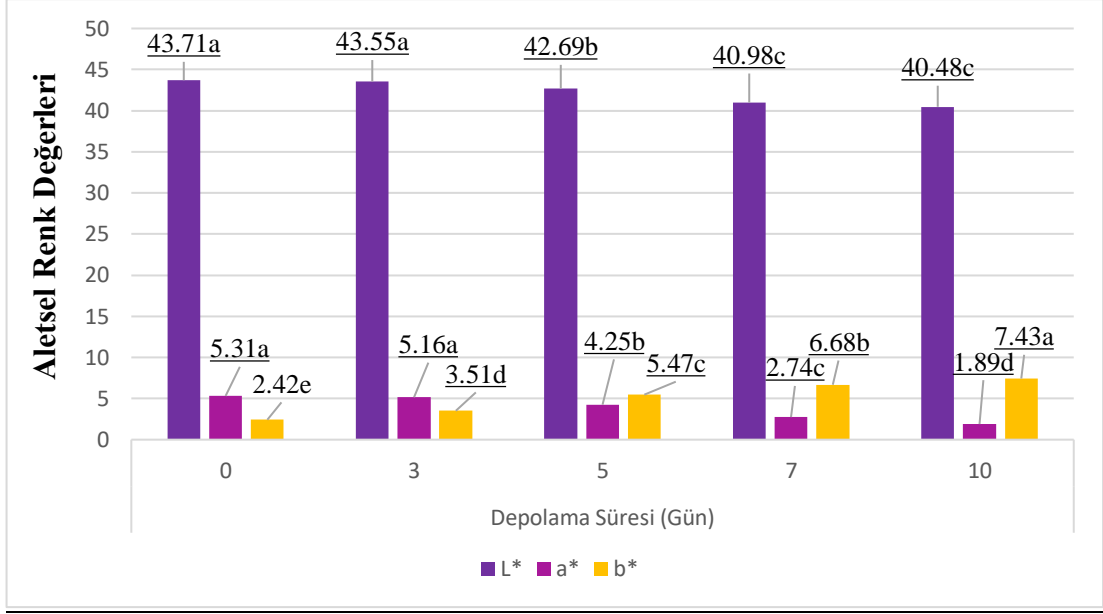
Atmosferik oksijenle paketlenmiş dana kıyması örneğinin aletsel sarılık renk değerleri Şekil 5.20'de verilmiştir. Depolamanın başlangıcında dana kıymasındaki sarılık değerinin 7,53 olduğu ve ilk beş gün içerisinde birbirini takip eden günlerde önemli bir değişikliğin gerçekleşmediği tespit edilmiştir ($P>0,05$). 5. günden 10. güne kadar örneklerin sarılık değerinde önemli bir artış tespit edilmiş ($P<0,05$) ve depolamanın sonunda sarılık değerinin 9,48 değerine ulaştığı görülmüştür. Depolama boyunca sarılık değerindeki artışın lipid oksidasyonu ile ilişkili olabileceği çeşitli

araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Estevez ve diğ., 2021a; Estevez ve diğ., 2021b).

Dana pirzolasının atmosferik oksijenle paketlen-diği bir çalışmada, depolamanın ilk 6 gününde örneklerin sarılık değerinde önemli bir artış olmasına rağmen depolamanın sonralarına doğru pirzoladaki sarılık değerinin kademeli bir şekilde düştüğü belirtilmiştir (Rajaei ve diğ., 2017). Benzer bir çalışmada ise, dana etleri 2 farklı paketlenme yöntemi [atmosferik oksijen ve modifiye atmosfer (%30 O₂ ve %70 CO₂)] kullanılarak paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 28 gün) rneklerdeki sarılık değerinin depolamanın 21. gününe kadar kademeli bir şekilde azaldığı görülürken (P<0,05), 21. günden sonra ise kısmi artışların (P>0,05) olduğu bildirilmiştir (Yu ve diğ., 2018).

5.3.5.2 Tavuk Göğsü Filetolarının Renk Değeri Sonuçları

Tavuk göğsü filetolarına ait aletsel renk değerleri (L*, a* ve b*) şekil 5.21'de verilmiştir. Depolama boyunca L* (parlaklık) değerinin 40,48 ile 43,71 arasında değişkenlik gösterdiği ve parlaklığın belirgin şekilde azaldığı (P<0,05) ve azalışın özellikle depolamanın 5. gününden (42,69) itibaren hızlandığı belirlenmiştir. Depolamanın başlangıcından depolamanın 3. gününe kadar parlaklıkta önemli bir değişiklik gözlenmezken (P>0,05) depolamanın sonunda renk bariz bir şekilde koyulaşmıştır (P<0,05). 7. günden (40,98) 10. güne gelindiğinde (40,48), tavuk göğsü etinin parlaklık değerinden bir dşuş gözlenmesine rağmen istatistiksel açıdan bir farklılık tespit edilmemiştir (P>0,05). Çalışmanın diğer sonuçlarına bakıldığında (kırmızılık değeri, TBARS ve karbonil içeriği); tavuk göğsü eti filetosunun lipid ve protein oksidasyonuna uğradığı ve bu durumun tavuk etindeki L* değerini önemli ölçüde etkileyerek parlaklık değerinde bir dşuşe neden olduğu düşünülmektedir.



a, b, c, d, e: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0,05$)

Şekil 5.21. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Tavuk Göğsü Filetolarının Aletsel Renk (L^* , a^* ve b^*) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Benzer bir çalışmada ise, tavuk göğsü etleri iki farklı paketlenme (atmosferik oksijen ve modifiye atmosferde paketlenme) yöntemi kullanılarak paketlenmiş ve depolama boyunca (2°C , 9 gün) atmosferik oksijen altında muhafaza edilen örneklerin parlaklık değeri 52,8'den 50,2'ye azalırken ($P < 0,05$) modifiye atmosferde paketlenen örneklerde ise anlamlı bir farklılık ($P > 0,05$) tespit edilmemiştir (Chmiel ve diğ., 2018). Başka bir çalışmada ise, tavuk göğsü filetosu atmosferik oksijenle paketlenmiş ve depolama boyunca örneklerin L^* değerinde önemli bir düşüşün ($P < 0,05$) olduğu bildirilmiştir (Amalia ve diğ., 2020).

Atmosferik oksijenle paketlenmiş tavuk göğsü filetolarının aletsel kırmızılık renk değerleri Şekil 5.21'de verilmiştir. Depolamanın başında tavuk göğsü filetosunun kırmızılık değeri 5,31 olarak bulunmuştur. 0. gün (5,31) ile 3. gün (5,16) arasındaki kırmızılık değerlerinin istatistiksel açıdan benzer oldukları görülmüştür ($P > 0,05$). Depolama boyunca tavuk göğsü filetolarının kırmızılık değerinde önemli bir düşüş (5,31'den 1,89'a) yaşandığı ($P < 0,05$) ve oransal olarak bu düşüşün %73,12 olduğu tespit edilmiştir. Genel anlamda, depolama boyunca tavuk göğsü filetolarının kırmızılık değerinde bir düşüş olduğu ve bu düşüşün özellikle 5. günden sonra daha

hızlı gerçekleştiği görülmüştür (4,25'den 2,74'e düşmüştür). Et örneğinin kırmızılık değerinde meydana gelen düşüşün myoglobinin metmyoglobine dönüşümü sonucu kırmızılığın azalmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

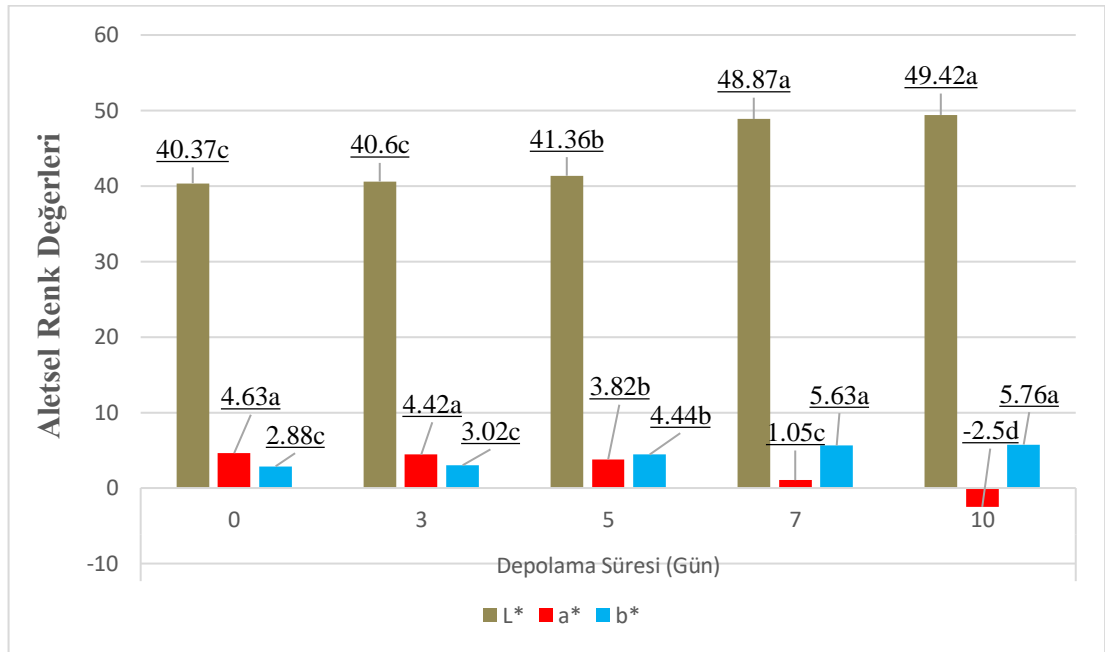
Tavuk göğüs etlerinin modifiye atmosferde (%75 O₂ ve %25 CO₂) paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (2°C, 9 gün) örneklerin kırmızılık değerinde bir dalgalanmanın yaşandığı ancak istatistiksel anlamda önemli bir farklılığın olmadığı (P>0,05) tespit edilmiştir (Chmiel ve diğ., 2018). Sujiwo ve diğ. (2018) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, tavuk göğüs etleri atmosferik oksijen altında paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 12 gün) örneklerin kırmızılık değerinin 0,98 ile 0,92 arasında değişkenlik gösterdiği ve istatistiksel anlamda bir farklılığın olmadığı (P>0,05) belirtilmiştir.

Atmosferik oksijenle paketlenmiş tavuk göğsü filetoalarının aletsel sarılık renk değerleri Şekil 5.21'de verilmiştir. Depolamanın başlangıcında tavuk göğüs filetosundaki sarılık değerinin 2,42 olduğu ve depolama süresinin uzamasıyla birlikte sarılık değerlerinin sırasıyla 3,51 (3. günde), 5,47 (5. günde), 6,68 (7. günde) ve 7,43 (10. gün) seviyelerine yükseldiği belirlenmiştir. Depolama boyunca, tavuk göğüs eti örneklerinin b* (sarılık) değerinde önemli bir artış gözlenmiş ve oransal olarak en büyük artışın (%55,84) 3. günden 5. güne gelindiğinde yaşandığı görülmüştür. Depolama boyunca sarılık değerindeki artışın lipid oksidasyonu ile ilişkili olabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Esteves ve diğ., 2021a; Esteves ve diğ., 2021b).

Tavuk but etlerinin atmosferik oksijenle paketlenip farklı sıcaklıklarda (-18, -50 ve -60°C) dondurularak muhafaza edildiği bir çalışmada, depolama boyunca (6 ay) örneklerin sarılık değerinde bir dalgalanmanın yaşandığı bildirilmiştir (Kim ve diğ., 2020). Başka bir çalışmada ise, tavuk but etleri farklı paketlenme yöntemleri (atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde paketlenme) kullanılarak paketlenmiş ve depolama boyunca (-18°C, 3 ay) örneklerin sarılık değerinde bir artış yaşanmasına rağmen istatistiksel anlamda bir farklılık (P>0,05) tespit edilmemiştir (Khalaf ve diğ., 2019).

5.3.5.3 Alabalık Filetolarının Renk Değeri Sonuçları

Atmosferik oksijen altında paketlenen alabalık filetolarının aletsel renk değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.22’de verilmiştir. 0. günde, alabalık filetosunun parlaklık değerinin 40,37 olduğu gözlenmiştir ve ilk üç gün içerisinde parlaklıkta önemli bir değişiklik yaşanmamıştır ($P>0,05$). 5. günden itibaren ise parlaklığın hızlı bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Alabalık filetolarındaki en yüksek parlaklık değerine depolamanın sonunda (49,42) ulaşıldığı belirlenmiştir. Depolama boyunca filetoların parlaklık değerinde meydana gelen artışın mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak oluşan amonyak vb. bileşiklerin varlığından kaynaklandığı düşünölmektedir.



a, b, c, d: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

Şekil 5.22. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Alabalık Filetolarının Aletsel Renk (L^* , a^* ve b^*) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Alexandre ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, alabalık kıymalarının atmosferik oksijenle paklendiği ve depolama sırasında (-18°C , 180 gün) myoglobin oksidasyonuna bağlı olarak kıymaların parlaklık değerinde önemli bir düşüşün ($P<0,05$) olduğu belirtilmiştir. Başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C , 12 gün) atmosferik oksijenle paketlenen ipura balıklarının parlaklık değerinde

bir dalgalanmanın yaşandığı bildirilmiştir (Ebadi ve diğ., 2019). Literatür verileriyle bu çalışmanın bulguları arasında ortaya çıkan farklılıkların depolama koşulları, balık türleri, mevsim farklılıkları, balıkların beslenme koşulları gibi değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Atmosferik oksijenle paketlenmiş alabalık filetosu örneğinin aletsel kırmızılık renk değerleri Şekil 5.22’de verilmiştir. Depolamanın başında alabalık filetosunun kırmızılık değeri 4,63 olarak bulunmuştur. 0. gün (4,63) ile 3. gündeki (4,42) kırmızılık değerlerinin istatistiksel açıdan benzer oldukları görülmüştür ($P>0,05$). Depolama boyunca örneklerin kırmızılık değerlerinin önemli ölçüde azaldığı ($P<0,05$) ve azalışın özellikle depolamanın 7. gününden (1,05) itibaren hızlandığı belirlenmiştir. 10. günde, alabalık filetosundaki kırmızılık değerinin -2,50 seviyesine gerilediği gözlenmiştir. Depolamanın sonunda, alabalık filetolarındaki kırmızılık değerinin eksi değerlere ulaşmasının nedeni mikrobiyal aktivite sonucu açığa çıkan sülfürlü bileşiklerin et yüzeyinde birikerek yeşillenmeye neden olduğu düşünülmektedir.

Çalışmamızın aksine, çim sazani balık filetosunun atmosferik oksijenle paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 18 gün) örneklerin kırmızılık değerinde lipid, protein ve karbonhidratın oksidasyonuna bağlı olarak önemli bir artışın olduğunu ve bu artışın istatistiksel açıdan önemli ($P<0,05$) olduğu belirtilmiştir (Li ve diğ., 2022). Mohan ve diğ. (2018) tarafından uskumru balıkları fileto haline getirilmiş ve depolama sırasında (4°C, 13 gün) atmosferik oksijenle paketlenen uskumru balık filetolarının kırmızılık değerlerinde bir dalgalanmanın olduğunu belirtmişlerdir.

Atmosferik oksijenle paketlenmiş alabalık filetolarının aletsel sarılık renk değerleri Şekil 5.22’de verilmiştir. Depolamanın başlangıcında alabalık filetolarındaki sarılık değerinin 2,88 olduğu ve depolama süresinin uzamasıyla birlikte sarılık değerlerinin sırasıyla 3,02 (3. günde), 4,44 (5. günde), 5,63 (7. günde) ve 5,76 (10. gün) seviyelerine yükseldiği belirlenmiştir. Depolama sırasında, alabalık filetolarının b* (sarılık) değerinde önemli bir artış gözlenmiş ve oransal olarak en büyük artışın (%47,02) 3. günden 5. güne gelindiğinde yaşandığı görülmüştür. Depolama boyunca sarılık değerindeki artışın lipid oksidasyonu ve çeşitli mikroorganizmaların ürettiği oldukları birtakım metabolitlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Jouki ve diğ. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, alabalık filetoları atmosferik oksijenle paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 18 gün) alabalık filetolarının sarılık değerinin 3,24'den 5,34'a yükseldiği belirtilmiştir. Benzer bir çalışmada ise, Afrika'ya özgü olan *Oreochromis niloticus* cinsi tatlı su balıkları buzdolabı sıcaklıklarında muhafaza edilmiş ve depolama boyunca örneklerin sarılık değerinde artışın olduğu ve bu artışın depolama sırasında üründe meydana gelen lipid oksidasyonundan kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Wang ve diğ., 2019a).

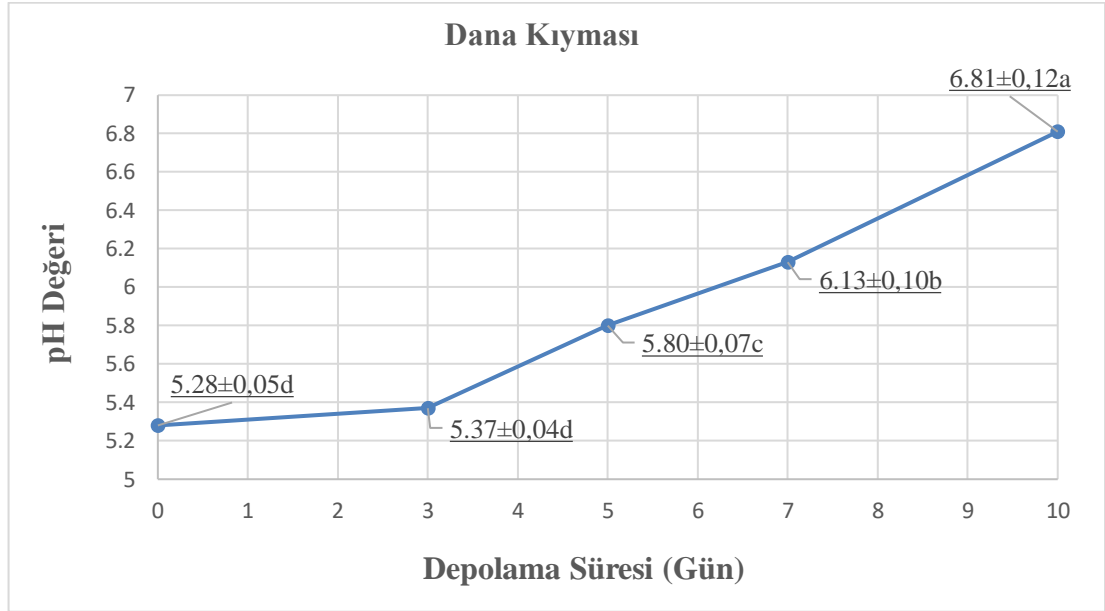
5.3.6 pH Sonuçları

Mikroorganizmalar, et, süt gibi gıdalarda kolaylıkla gelişebilmekte ve raf ömrünü önemli ölçüde kısaltmaktadır. Et ve ürünlerinde bozulmaya genellikle proteolitik karakterli mikroorganizmaların neden olduğu bilinmektedir. Atmosferik oksijenle paketlenen örneklerde depolama sırasında pakette bulunan oksijen konsantrasyonu kademeli bir şekilde azalarak anaerobik patojen karakterli mikroorganizmaların gelişimine uygun bir ortam oluşmaktadır. Bu mikroorganizmalar, etteki su, protein gibi çeşitli maddeleri kullanarak amonyak, aminler, hidrojen sülfür gibi çeşitli bileşikler açığa çıkarmakta böylece örneklerin pH değerinde önemli artışlar meydana gelmektedir (Chen ve diğ., 2019; Xiao ve diğ., 2014).

5.3.6.1 Dana Kıymasının pH Sonuçları

Depolama sırasında dana kıymasının pH değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.23'te verilmiştir. Depolamanın başlangıcında dana kıymasının pH'ı 5,28 olarak bulunmuştur. Başlangıçtan 3. güne gelindiğinde pH 5,28'den 5,37'ye yükselmiş ancak bu artışın anlamlı olmadığı görülmüştür ($P>0,05$). 3. günden itibaren kıymaların pH'larında önemli artışlar yaşanmış ($P<0,05$) ve depolamanın sonunda 6,81 seviyesine ulaşılmıştır. Özellikle 10. günde, paketi açılan örneklerde yoğun bir kokunun varlığı tespit edilmiş ve bu durum renk indikatörlerinde bariz bir şekilde yansımıştır. Dolayısıyla, depolama boyunca dana kıymasının pH değerinde meydana gelen artışın daha çok mikrobiyal aktiviteden kaynaklandığı ve bu durumun hem

mikrobiyolojik (toplam psikrofilik aerobik, maya-küf ve toplam koliform canlı sayımı) hem de bazı fizikokimyasal (su aktivitesi, TVB-N) analizlerle de desteklendiği görülmüştür.



a, b, c, d: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

Şekil 5.23. Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Dana Kıymalarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Benzer bir çalışmada, dana kontrfile etleri (*Longissimus dorsi* kası) düşük yoğunluklu polietilen ambalaj materyaliyle paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 15 gün) kontrafilenin pH değerinde önemli bir artışın olduğu (P<0,05) ve depolama sonunda etteki pH'ın 6,32 seviyelerine çıktığı gözlenmiştir (Kim ve diğ., 2018). Başka bir çalışmada ise, metil kırmızısı ve bromkresol moru katkılı kâğıt tipi bir tazelik indikatörü geliştirilmiş (depolamanın sonunda metil kırmızısı kırmızıdan sarıya dönerken bromkresol morunun ise sarıdan mora döndüğü görülmüştür) ve depolamanın sonunda atmosferik oksijenle paketlenen dana eti pH değerinin 5,60'dan 6,16 seviyelerine yükseldiği bildirilmiştir. Mevcut çalışmanın aksine, Singh ve diğ. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, taze dana etlerinin paketlenmesinde çeşitli bitkisel (soya fasulyesi yağı) ve kimyasal maddeler (tetradekan gibi) kullanılarak akıllı etiket üretilmiş ve depolama boyunca (1°C, 8 gün) etlerin pH değerinde önemli bir

düşüş gözlenmiş ($P<0,05$) ve bu düşüşün ürünlerdeki laktik asit bakteri sayısının artışından kaynaklandığı belirtilmiştir.

5.3.6.2 Tavuk Göğsü Filetolarının pH Sonuçları

Depolama sırasında tavuk göğüs etinin pH değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.24'te verilmiştir. Depolamanın başlangıcında tavuk göğüs etinin pH'ı 5,95 olarak bulunmuştur. İlk andan depolamanın 3. gününe gelindiğinde tavuk göğüs filetosunun pH değerinde bir artış yaşanmasına rağmen (5,95'den 6,02 seviyesine yükselmiştir) bu artış istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($P>0,05$). 3. günden itibaren örneklerin pH değerlerinde kademeli bir artışın gerçekleştiği ve en büyük artışın 5. günden (6,18) 7. güne (6,65) gelindiğinde gerçekleştiği görülmüştür. Dolayısıyla, depolama boyunca tavuk göğüs eti filetosunun pH değerindeki artışın dana kıymasına benzer şekilde mikrobiyal aktiviteden kaynaklanabileceği ve bu durumun çeşitli analizlerle desteklendiği görülmüştür. Özellikle 5. günden sonra tavuk etinde burunla net olarak hissedilebilen bir kokuşmanın başladığı gözlenmiştir. Ayrıca, 5. günden sonra akıllı etiket olarak tarif edilen indikatörlerin (M, Ş ve K kodlu indikatörler) renginde de birtakım değişikliklerin gerçekleştiği görülmüştür.



a, b, c, d: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0,05$)

Şekil 5.24. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Tavuk Göğsü Filetolarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Benzer bir çalışmada, tavuk göğüs etleri atmosferik oksijen altında paketlenmiş ve akıllı etiket olarak bromkresol moru katkılı bir pH indikatörü üretilmiştir. Depolama boyunca (4°C , 12 gün) tavuk göğüs etinin pH değerinde önemli bir artışın olduğu ($P < 0,05$) ve depolamanın sonunda pH'ın 7,20 seviyelerine çıktığı belirtilmiştir (Kim ve diğ., 2017). Mevcut çalışmadan farklı olarak, Talukder ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise, tavuk köftelerinin atmosferik ortamda paketlenmesinde Malabar eriği (*Syzygium cumini*) ekstraktı katkılı akıllı etiket üretilmiş ve depolama boyunca (4°C , 21 gün) örneklerin pH değerinde önce bir artış (proteinlerin deaminasyonu sonucunda) daha sonra ise (özellikle 3. günden sonra) önemli bir ($P < 0,05$) düşüşün (mikrobiyal aktivite sonucu açığa çıkan çeşitli metabolitlerden kaynaklandığı) olduğu bildirilmiştir.

5.3.6.3 Alabalık Filetolarının pH Sonuçları

Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetolarının depolanması sırasında pH değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.25'te verilmiştir. Depolamanın

başlangıcında alabalık filetosundaki pH değeri 6,61 olarak bulunmuş ve 3. güne gelindiğinde örneklerdeki pH'nın 6,66 ya yükseldiği ancak bu artışın anlamlı olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). Depolama boyunca alabalık filetolarının pH değerinde önemli bir artış gerçekleştiği ve en büyük artışın özellikle 5. günden sonra meydana geldiği gözlenmiştir. Balık etinin pH, su aktivitesi değerinin diğer etlere (dana, tavuk, hindi eti) göre yüksek seyretmesi su ürünlerinin raf ömrünü sınırlandıran önemli kalite parametrelerindedir. Dolayısıyla, alabalık filetosu çok kısa bir sürede bozulmaya başlamış ve özellikle depolamanın 5. gününde (pH: 6,80) yoğun bir kokunun varlığı algılanmıştır. Buna bağlı olarak ürün pH'ını ve mikrobiyal yükünü (toplam psikrofil aerobik, maya-küf ve toplam koliform canlı sayımı) önemli oranda artmıştır. Trimetil amin oksit, su ürünlerine tazelik kokusunu veren ve çeşitli su ürünlerinde (balıklar, kabuklular) yüksek miktarda bulunan önemli bir bileşiktir (Chun ve diğ., 2014). Alabalık filetolarındaki pH artışının, mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak trimetil amin oksit bileşiğinin trimetil amine dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Depolamanın sonunda ise, alabalık filetosunun pH değeri 7,49'a kadar yükselmiş ve ürünün tamamen bozulduğu belirlenmiştir.



a, b, c, d: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

Şekil 5.25. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Alabalık Filetolarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Benzer bir çalışmada, gökkuşuğu alabalık filetoalarının paketlenmesinde akıllı etiket olarak alizarin boyası katkılı pH indikatörü üretilmiş ve depolama boyunca (4°C, 8 gün) ürün pH'ının 6,24'den 7,00 seviyelerine yükseldiği belirtilmiştir (Ezati ve diğ., 2019b). Moradi ve diğ. (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, gökkuşuğu alabalık filetoalarının atmosferik oksijenle paketlenmesinde akıllı etiket olarak siyah havuç ekstraktı katkılı bir pH indikatörü üretilmiş ve depolama sırasında (4°C, 15 gün) ürün pH'ının önemli oranda arttığı (P<0,05) ve bu artışın mikrobiyal ve enzimatik aktiviteden kaynaklandığını bildirmiştir. Bir diğ. çalışmada ise, alabalık filetoalarının paketlenmesinde akıllı etiket olarak shikonin katkılı bir indikatör üretilmiş ve depolama boyunca (4°C, 36 saat) ürün pH'ının mikrobiyal aktiviteye bağılı olarak arttığı (5,60'dan 6,90'a) ve depolamanın sonunda 6,90 seviyelerine yükseldiği gözlenmiştir (Ezati ve diğ., 2021).

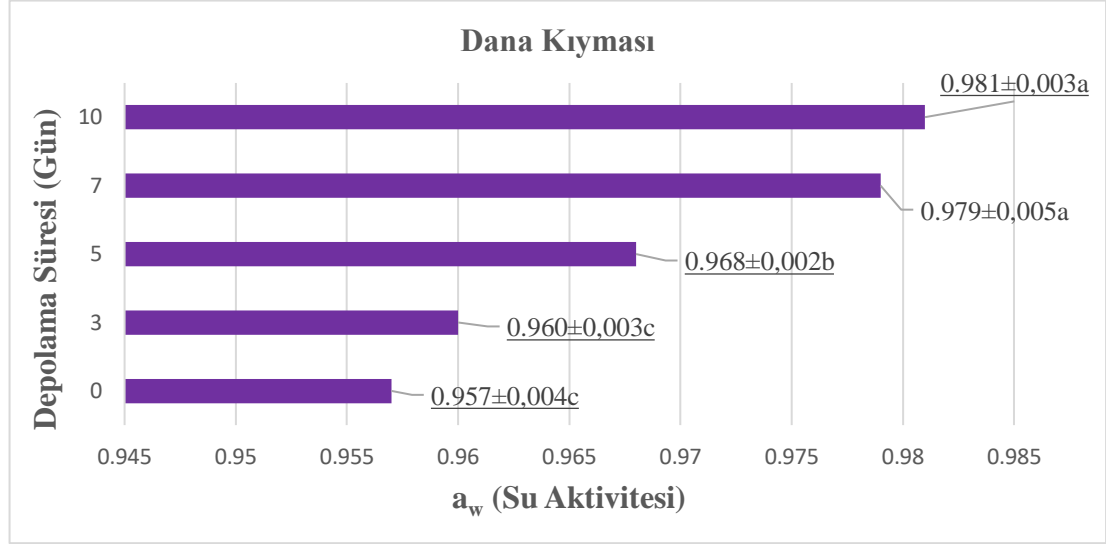
5.3.7 Su Aktivitesi (a_w) Sonuçları

Su aktivitesi, gıdanın içerisinde bağılı bulunmayan ve mikroorganizmalar tarafından kullanılabilir suyu ifade etmektedir. Bu nedenle, su aktivitesi doğrudan mikroorganizma gelişimini tetikleyici bir faktördür (Dave ve Ghaly, 2011). Et ürünlerinin genellikle 0,93 ile 0,98 arasında su aktivitesine sahip olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, Clostridium, Bacillus, Staphylococcus gibi patojen karakterli mikroorganizmalar kolaylıkla gelişebilmektedir.

5.3.7.1 Dana Kıymalarının Su Aktivitesi Sonuçları

Atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarının depolama boyunca su aktivitesi değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.26'da verilmiştir. Depolamanın başlangıcında, dana kıymalarının su aktivitesi değeri 0,957 olarak bulunmuş ve depolama süresinin uzamasıyla birlikte örneklerdeki su aktivitesi değerinin önemli oranda arttığı tespit edilmiştir (P<0,05). 0. günden 5. güne gelindiğinde, örneklerin a_w değeri belirgin bir artış göstererek 0,957'den 0,968'e ulaşmıştır (P<0,05). Benzer şekilde 5. günden 7. güne doğru anlamlı bir artış gözlenmiştir (P<0,05). Ancak 7. günden 10. güne gelindiğinde a_w değerinde anlamlı

bir değişim gözlenmemiştir ($P>0,05$). Depolama sırasında a_w deki artışın ambalaj materyalinin su buharı geçirgenliğinin düşük olmasına bağlı olarak ürünün depolanması sırasında açığa çıkan metabolik suyun (mikrobiyal gelişim, proteinlerin kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler gibi) ambalaj dışına çıkamamasından kaynaklandığı düşünölmektedir.



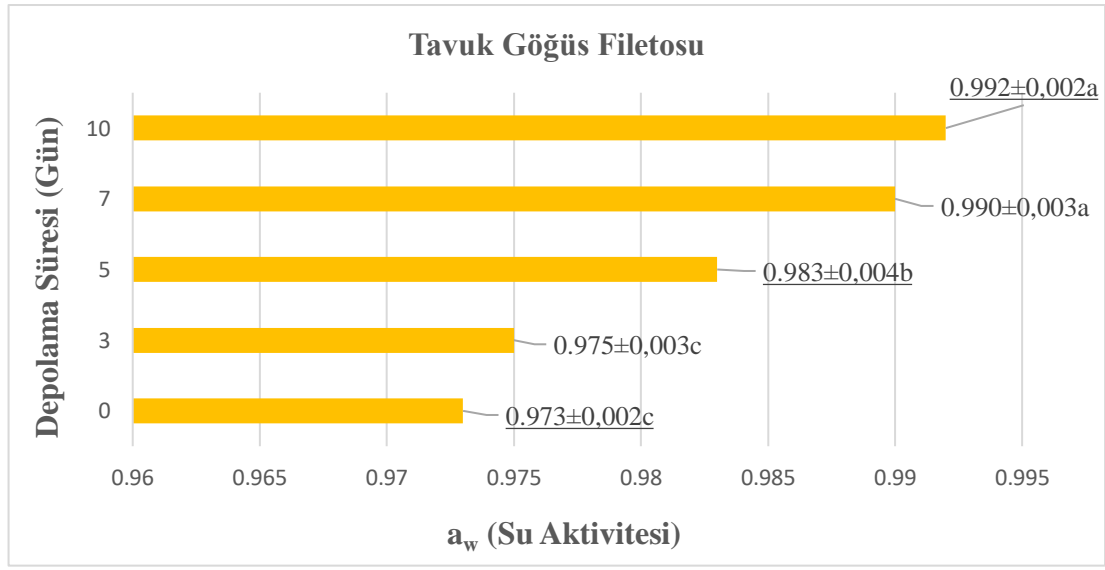
^{a, b, c}: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

Şekil 5.26. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Dana Kıymalarının Su Aktivitesi (a_w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Karbondioksit ve klasik soğutma tüneline soğutulmuş dana etlerin depolanması sırasında (4°C , 11 gün) a_w değerlerinde önemli bir değişikliğin yaşanmadığı ($P>0,05$) ve a_w değerlerinin 0,902-0,952 arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir (Can, 2019). Mevcut çalışmanın aksine, kurutulmuş dana fileto etlerinin atmosferik oksijen altında paketlendiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C , 90 gün) dana etlerinin a_w değerinin 0,91'den 0,88'e düştüğü bildirilmiştir (Aykın-Dinçer ve Erbaş, 2020). McSharry ve diğ. (2020) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, dana biftekler atmosferik oksijen altında paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C , 32 gün) örneklerdeki a_w değerinin depolamanın ilk 24 gününe kadar azaldığı, daha sonra ise kısmi bazı artışların gerçekleştiği belirtilmiştir.

5.3.7.2 Tavuk Göğsü Filetolarının Su Aktivitesi Sonuçları

Atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğüs eti filetolarının depolama boyunca su aktivitesi değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.27’de verilmiştir. Tavuk göğüs etindeki a_w değeri 0,973 ile 0,992 arasında değişkenlik göstermiştir. En düşük a_w değeri 0. günde elde edilmiş olup, 3. güne gelindiğinde a_w değeri sabit kalmıştır ($P>0,05$). 3. günden 5. güne gelindiğinde a_w değerinde kısmi bir artış meydana gelmiştir ($P<0,05$). Yine, 7. gün (0,99) ile 10. gün (0,992) arasında örneklerin a_w değerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir ($P>0,05$). Genel olarak, a_w değeri üzerine depolama süresinin istatistiksel açıdan önemli olduğu ($P<0,05$) ve depolama boyunca tavuk etinin a_w değerinde önemli bir artışın olduğu görülmüştür ($P<0,05$). Bu artışın, dana kıymasına benzer şekilde depolama sırasında açığa çıkan metabolik sudan kaynaklandığı düşünülmektedir.



^{a, b, c}: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

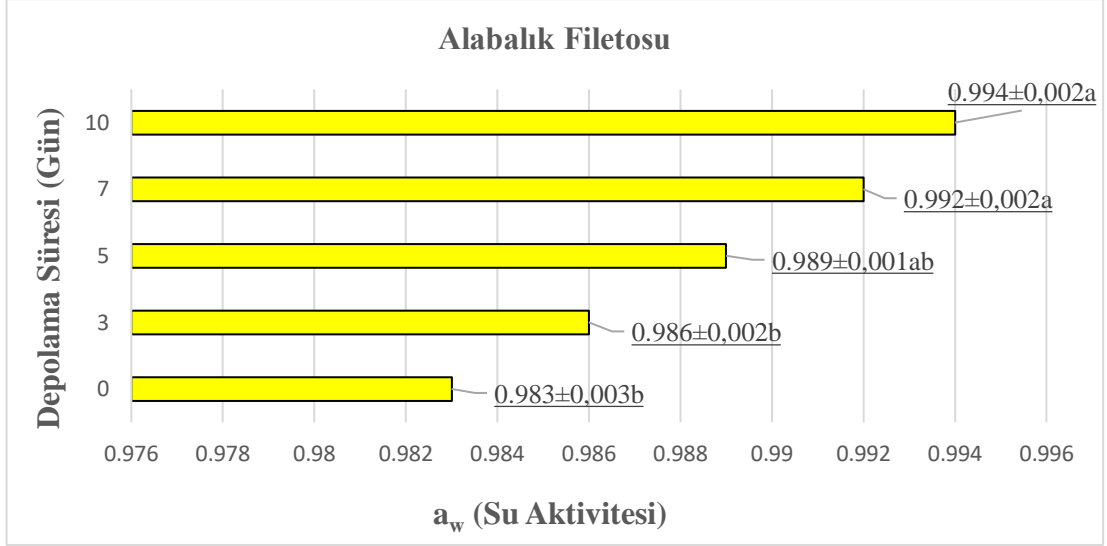
Şekil 5.27. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Tavuk Göğsü Filetolarının Su Aktivitesi (a_w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Hulankova ve diğ. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, tavuk göğüs etleri atmosferik oksijen altında ve modifiye atmosferde (% 80 O_2 ve % 20 CO_2 ; % 30 CO_2 ve

%70 N₂) paketlenmiş ve depolama boyunca (2°C, 14 gün) örneklerin su aktivitesi değerinde önemli bir değişikliğin olmadığı bildirilmiştir (P>0,05). Çalışmanın aksine, tavuk göğüs etlerinin atmosferik oksijen altında paklendiği başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 15 gün) tavuk etindeki su aktivitesi değerinde önemli bir düşüşün olduğunu (P<0,05) ve bu düşüşün tavuk etinin su salarak yapısındaki suyu dışarı atmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Altunboy, 2019).

5.3.7.3 Alabalık Filetolarının Su Aktivitesi Sonuçları

Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetolarının depolama boyunca su aktivitesi değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.28'de verilmiştir. Alabalık filetosunun a_w değeri 0,983 ile 0,994 arasında değişkenlik göstermiş ve depolamanın başlangıcında (0. günde) örnekteki a_w değerinin 0,983 olduğu gözlenmiştir. İlk beş günde, a_w değerinde anlamlı bir değişiklik gözlenmezken 5. günden itibaren diğer örneklerle benzer şekilde a_w değerinin kısmi olarak arttığı tespit edilmiştir (P>0,05). Depolamanın sonunda alabalık filetosundaki su aktivitesi değerinin 1'e yaklaşarak 0,994 değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Genel olarak, a_w değeri üzerine depolama süresinin istatistiksel açıdan önemli olduğu (P<0,05) ve depolama boyunca alabalık filetosunun a_w değerinde belirgin bir artışın olduğu görülmüştür.



^{a, b}: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0,05$)

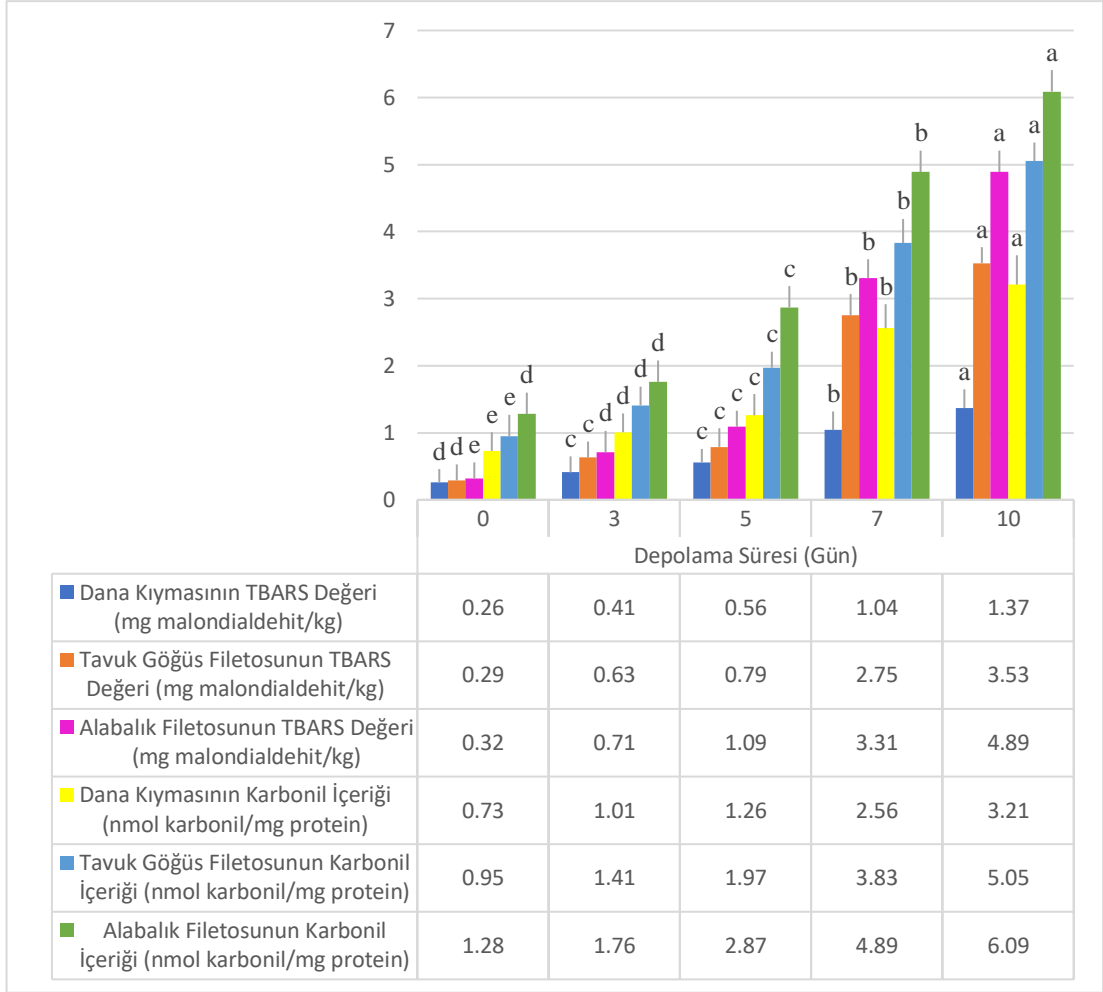
Şekil 5.28. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Alabalık Filetolarının Su Aktivitesi (a_w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Külcü (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, depolama boyunca (7 gün) farklı sıcaklıklarda (0, 2 ve 4°C) muhafaza edilen atmosferik oksijenle paketlenmiş palamut balıklarının (temizlenmemiş, bütün halde) a_w değerinde önemli değişikliklerin yaşanmadığı belirtilmiştir ($P > 0,05$). Benzer bir çalışmada, çipura balıklarının atmosferik oksijen altında paklendiği ve depolama süresince (4°C , 17 gün) örneklerdeki su aktivitesi değerinin 0,80'den 0,88 seviyelerine yükseldiği ve bu artışın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu ($P < 0,05$) bildirilmiştir (Yapıcı, 2020). Başka bir çalışmada ise, gökkuşuğu alabalığı filetoları farklı paketlenme yöntemleri (atmosferik, vakum ve modifiye atmosferde paketlenme) kullanılarak paketlenmiş ve depolama süresince (4°C , 32 gün) örneklerin su aktivitesi değerinde genel anlamda bir artış gözlenmesine rağmen gruplar arasında önemli bir farklılık ($P > 0,05$) tespit edilmemiştir (Tunçtaş, 2019).

5.3.8 Et Örneklerinin TBARS ve Karbonil İçeriği Sonuçları

Et ve ürünlerinde gelişen lipid oksidasyonu, duyu kalitenin ve besleyici değerin azalması gibi olumsuz etkilere neden olan önemli bir kalite problemidir. Lipidlerde oksidasyon reaksiyonları boyunca çoklu doymamış yağ asitleri öncelikle hidroperoksitlere dönüşmekte, daha sonra hidroperoksitler ileri parçalanma reaksiyonları sonucunda temel olarak ransiditeden sorumlu bileşikler olan aldehit, keton, organik asit gibi uçucu karakterdeki çeşitli bileşikler oluşturmaktadır ve bunlara genel olarak malondialdehitler (MA) adı verilmektedir (Feiner, 2006; Papastergiadis ve diğ., 2012). İkincil oksidasyon ürünü olan malondialdehitlerin tespitinde de TBARS analizi kullanılmaktadır.

Atmosferik oksijen altında paketlenen dana kıymalarının TBARS değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.29'da verilmiştir. Buna göre, 0. günde dana kıymasındaki malondialdehit miktarı (MA) 0,26 mg/kg olarak bulunmuştur. 0. günden (0,26 mg MA/kg) 3. güne (0,41 mg MA/kg) gelindiğinde örneklerin TBARS değerinde önemli bir artış gözlenmiştir ($P < 0,05$). Ancak, 3. günden 5. güne gelindiğinde TBARS değeri artmış olmasına rağmen bu artış istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P > 0,05$). Genel olarak, depolama boyunca dana kıymasının TBARS değerinde önemli bir artışın olduğu ($P < 0,05$) ve bu artışın en fazla (%85,71) 5. günden 7. güne gelindiğinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından farklı et ürünleri için TBARS eşik değerinin 1,0-2,0 mg MA/kg seviyelerinde olduğu bildirilmiştir (Popova ve Marinova, 2013; Verme ve Sahoo, 2000). Bu bağlamda, depolama sonunda dana kıymasındaki TBARS değerinin (1,37 mg MA/kg ürün) eşik değer sınırları çerçevesinde kaldığı belirlenmiştir.



a, b, c, d, e: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0,05$)

Şekil 5.29. Depolama Boyunca (4°C , 10 gün) Atmosferik Oksijenle Paketlenmiş Farklı Et Örneklerinin TBARS Değerinde (mg malondialdehit/kg) ve Karbonil İçeriğinde (nmol karbonil/mg protein) Meydana Gelen Değişiklikler

Lee ve Shin (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, dana etlerinin atmosferik oksijenle paketlenmesinde akıllı etiket olarak metil kırmızısı katkılı bir tazelik indikatörü geliştirilmiş ve depolama boyunca (20°C , 3 gün) indikatör renginin kırmızıdan sarıya döndüğü ve TBARS değerinin de 0,71'den 2,46 mg malondialdehit/kg ürün seviyelerine yükseldiği belirtilmiştir. Dana kontrfile etlerinin atmosferik oksijen altında paklendiği başka bir çalışmada ise; depolama boyunca (4°C , 18 gün) TBARS değerinin 0,083'den 0,862 mg malondialdehit/kg ürün seviyelerine yükseldiği bildirilmiştir (Sujiwo ve diğ., 2019).

Tavuk göğüs etinin doymamış yağ asidi açısından oldukça zengin oldukları ve dana kıymasına göre oksidatif bozulmaya daha hassas bir ürün olduğu bilinmektedir. Buna göre, 0. günde tavuk göğüs filetosundaki TBARS değeri 0,29 mg MA/kg olarak bulunmuştur (Şekil 5.29). 0. günden (0,29 mg MA/kg) 3. güne (0,63 mg MA/kg) geldiğinde örneklerin TBARS değerinde önemli bir artış gözlenmiştir ($P<0,05$). Ancak, 3. günden (0,63 mg MA/kg) 5. güne (0,79 mg MA/kg) geldiğinde tavuk göğüs filetolarının TBARS değerinde bir artış olmasına rağmen istatistiksel açıdan bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0,05$). Genel olarak, depolama boyunca tavuk göğsü filetolarının TBARS değerinde önemli bir artışın olduğu ($P<0,05$) ve bu artışın en fazla (%248,10) 5. günden 7. güne geldiğinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Depolama boyunca, tavuk göğüs etlerinde lipid oksidasyonuna bağlı olarak TBARS değerlerinde önemli bir artış gözlenmiştir ($P<0,05$). Çeşitli araştırmacılar tarafından farklı et türleri için TBARS eşik değerinin 1,0-2,0 mg MA/kg seviyelerinde olduğu bildirilmiştir (Popova ve Marinova, 2013; Verme ve Sahoo, 2000). Bu kapsamda, 5. günden sonra tavuk göğüs etindeki TBARS değerinde önemli bir oranda arttığı ve depolamanın sonunda bu değer TBARS eşik değerinin üzerine çıkarak 3,53 mg MA/kg seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir.

Kanatt (2020) tarafından yapılan benzer bir çalışmada ise, Amarant bitki yaprağının ekstrakte edilerek balık ve tavuk etlerinin paketlenmesinde akıllı etiket olarak kullanıldığı ve depolamanın başlangıcında balık ve tavuk etlerindeki malonaldehit seviyelerinin sırasıyla 0,64 ve 0,36 mg malonaldehit/kg ürün seviyelerinde olduğu ve depolama boyunca (4°C, 12 gün) tüm örneklerin malonaldehit seviyelerinde önemli bir artış olduğu ($P<0,05$) görülürken balık etindeki artışın tavuk etine göre daha fazla olduğunu bildirilmiştir. Başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (2°C, 15 gün) tavuk köftelerindeki TBARS değerinin 0,80'den 1,89 mg malonaldehit/kg seviyelerine çıktığı belirtilmiştir (Öztürk, 2018).

Atmosferik oksijen altında paketlenen alabalık filetolarının TBARS değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.29'da verilmiştir. 0. günde alabalık filetosunun TBARS değeri 0,32 mg MA/kg ürün olarak bulunmuştur. Depolama boyunca alabalık filetolarının TBARS değerinde önemli artışlar gözlenmesine rağmen en büyük artış 5. günden (1,09 mg MA/kg) 7. güne (3,31 mg MA/kg) geldiğinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Çeşitli araştırmacılar tarafından farklı et türleri için TBARS eşik değerinin

1,0-2,0 mg MA/kg seviyelerinde olduğu bildirilmiştir (Popova ve Marinova, 2013; Verme ve Sahoo, 2000). Depolamanın sonunda alabalık filetosundaki TBARS değerinin 4,89 mg MA/kg ürün seviyelerine yükseldiği ve bu sonucun TBARS eşik değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Alabalık gibi çeşitli balık ve ürünlerinin doymamış yağ asitlerince zengin olmaları bu ürünleri lipid ve protein oksidasyonuna yatkın hale getirmektedir. Ayrıca, diğer et ve ürünleriyle (dana kıyması, tavuk göğüs filetosu) karşılaştırıldığında alabalık filetosunun daha kısa bir raf ömrüne sahip olduğu ve depolamanın 7. gününde bile TBARS eşik sınırının üzerine çıktığı görülmüştür.

Gökkuşacağı alabalık filetolarının 3 farklı paketlenme yöntemi (atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde paketlenme) kullanılarak paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca modifiye ve atmosferik oksijenle paketlenen alabalıkların TBARS değerlerinde önemli artışların olduğu ($P<0,05$) ve depolamanın sonunda örneklerdeki TBARS değerinin 1,2-1,4 mg malondialdehit/kg ürün seviyelerine yükseldiği bildirilmiştir (Yin ve diğ., 2022). Benzer bir çalışmada, gökkuşacağı alabalık filetoları atmosferik oksijen altında paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 25 gün) örneklerdeki TBARS değerinin 0,05'ten 4,43 mg malondialdehit/kg ürün seviyesine çıktığı belirtilmiştir (Khanipour ve diğ., 2018).

Et ve et ürünlerinde protein oksidasyonu, proteinlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişimlere neden olarak proteinlerin biyoyararlılığında ve sindirilebilirliğinde, dolayısıyla besleyici değerinde azalmaya ve ürünlerde arzu edilmeyen kalite problemlerine neden olmakta, aynı zamanda potansiyel toksik bileşiklerin oluşumuyla da gıda güvenliği açısından risk oluşturmaktadır (Bastioğlu, 2016; Zhang ve diğ., 2013). Proteinlerde temel oksidatif modifikasyonlar amino asitlerin yan zincirlerinde meydana gelmekte ve bunun sonucunda zincirlerde tiyol oksidasyonu, aromatik hidroksilasyon ve karbonil grupları ortaya çıkmaktadır (Zhang ve diğ., 2013). Aminoasit yan zincirlerinde karbonil bileşiklerinin oluşumu protein oksidasyonunun en temel göstergelerinden biridir (Ganhão ve diğ., 2010).

Depolama boyunca atmosferik oksijenle paketlenmiş dana kıymasının karbonil içeriğinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.29'da verilmiştir. Depolamanın başlangıcında dana kıymasının karbonil içeriği 0,73 nmol karbonil/mg protein olarak bulunmuştur. Depolama boyunca dana kıymasının karbonil içeriğinde önemli bir artışın olduğu ($P<0,05$) ve bu artışın en fazla depolamanın 7. gününden (2,56 nmol

karbonil/mg protein) 10. gününe (3,21 nmol karbonil/mg protein) gelindiğinde yaşandığı görülmüştür. Lipid oksidasyonu protein oksidasyonundan daha hızlı gelişmektedir ve lipid oksidasyonu sonucunda oluşan çeşitli bileşiklerin (peroksi radikalleri, alkoksi radikalleri, hidroperoksitler, malondialdehitler gibi) protein oksidasyonunu tetikleyerek protein oksidasyonunun hızlı bir şekilde yayılmasına yol açtığı bilinmektedir (Estevez, 2011). Dolayısıyla depolama boyunca dana kıymasının karbonil içeriğinde meydana gelen artışın yağ oksidasyonuna paralel şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Hem TBARS hem de karbonil içeriği sonuçları incelendiğinde, dana kıymasının doymamış yağ asidi miktarı alabalık ve tavuk göğüs filetolarına göre daha düşük olduğu için depolamanın sonunda dana kıymasının TBARS ve karbonil içeriği tavuk göğüs ve alabalık filetolarına göre daha düşük bulunmuştur.

Leygonie ve diğ. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, dana etleri farklı paketlenme yöntemleri (%70 O₂ + %30 CO₂; %70 N₂ + %30 CO₂; atmosferik oksijen) kullanılarak paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 10 gün) etlerin karbonil içeriğinde bir dalgalanmanın yaşandığı bildirilmiştir. Benzer bir çalışmada ise, dana etleri atmosferik, vakum ve modifiye atmosferde paketlenmiş ve depolama sırasında (4°C, 10 gün) örneklerin karbonil içeriğinde önemli bir artışın olduğu (P<0,05) ve bu artışın en çok atmosferik oksijenle paketlenen örnekte gerçekleştiği belirtilmiştir (Fu ve diğ., 2015).

Depolama boyunca atmosferik oksijenle paketlenmiş tavuk göğüs filetosunun karbonil içeriğinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.29'da verilmiştir. 0. günde, tavuk göğüs filetosunun karbonil içeriği 0,95 nmol karbonil/mg protein olarak bulunmuştur. Depolama boyunca tavuk göğsü filetosunun karbonil içeriğinde önemli miktarda artışın olduğu (P<0,05) ve bu artışın en fazla 5. günden (1,97 nmol karbonil/mg protein) 7. güne (3,83 nmol karbonil/mg protein) gelindiğinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. MA (Malondialdehit) miktarındaki artışa benzer şekilde, 10. günde tavuk göğüs etinin en yüksek karbonil içeriğine (5,05 nmol karbonil/mg protein) ulaştığı ve depolama sırasında örneklerde lipid ve protein oksidasyonunun birlikte ve hızlı bir şekilde devam ettiği gözlenmiştir. Hem mikrobiyolojik hem de fizikokimyasal özellikler (pH, lipid ve protein oksidasyonu, uçucu aromatik bileşikler) açısından değerlendirildiğinde, 10. günde tavuk göğüs

etinin tüketilemeyecek hale geldiği ve ambalaj açıldığında yoğun bir koku (hidrojen sülfür, aminler, aseton vb.) hissedilmiştir.

Tavşan etlerinin atmosferik oksijenle paketlenmesi bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 28 gün) örneklerin karbonil içeriğinde belirgin bir artışın ($P<0,05$) olduğu bildirilmiştir (Wang ve diğ., 2018). Mevcut çalışmanın aksine, depolama boyunca (4°C, 12 gün) modifiye atmosferde paketlenen (%30 CO₂-%70 O₂) domuz kıymalarının karbonil içeriğinde ise önemli bir değişikliğin olmadığı ($P>0,05$) belirtilmiştir (Zareian ve diğ., 2019).

Depolama boyunca atmosferik oksijenle paketlenmiş alabalık filetosunun karbonil içeriğinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.29'da verilmiştir. Başlangıçta, alabalık filetosunun karbonil içeriği 1,28 nmol karbonil/mg protein olarak bulunmuştur. Depolamanın ilk üç gününe kadar, örneklerin karbonil içeriğinde (1,28'den 1,76 nmol karbonil/mg protein seviyesine) kısmi bir artış gözlenirken bu artış istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P>0,05$). Alabalık filetolarında en yüksek karbonil içeriğine depolamanın sonunda (6,09 nmol karbonil/mg protein) ulaşılmıştır. Depolama boyunca alabalık filetolarının karbonil içeriğinde önemli bir artışın olduğu ($P<0,05$) ve bu artışın en fazla 5. günden (2,87 nmol karbonil/mg protein) 7. güne (4,89 nmol karbonil/mg protein) gelindiğinde yaşandığı görülmüştür. Dana kıyması ve tavuk göğüs filetosu örnekleriyle karşılaştırıldığında, depolama boyunca alabalık filetosunun TBARS değeri ve karbonil içeriğindeki artış oranının daha fazla olduğu ve bu durumun alabalığın doymamış ve serbest yağ asidi miktarının diğer örneklerden daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gökkuşluğu alabalık filetosunun atmosferik oksijenle paketlenmesi bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 14 gün) alabalık filetolarının karbonil içeriğinin 0,48'den 2,34 nmol karbonil/mg protein değerine çıktığı ve bu artışın istatistiksel açıdan önemli olduğu ($P<0,05$) belirtilmiştir (Mozaffarzogh ve diğ., 2020). Fileto haline getirilmiş mercan balıklarının (*Epinephelus coioides*) farklı paketlenme yöntemleri (atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde paketlenme) kullanılarak paketlenmesi bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 18 gün) tüm örneklerin karbonil içeriğinde ciddi bir artışın olduğu ($P<0,05$) ve bu artışın en fazla atmosferik oksijenle paketlenen örneklerde gözlemlendiği bildirilmiştir (Zhang ve diğ., 2019).

5.3.9 Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Et ve ürünleri, yüksek su içeriğine sahip gıdalar olduğu için sınırlı bir raf ömrüne sahiptirler. Su, et ve ürünlerinde üç farklı formda (serbest, tutuklu ve bağlı su) bulunmaktadır. Bağlı su, hiçbir teknolojik işleme ortandan uzaklaştırılmazken tutuklu su, serbest suyun bir fraksiyonu olup boyut küçültme, ısı işlem, basınç uygulaması vb. işlemler uygulanarak etten kısmen uzaklaştırılabilirken, serbest su ise basit fiziksel işlemlerle kontrol altında tutulabilmektedir. Mikroorganizmalar, etin bileşiminde yer alan besin öğelerini kullanarak çeşitli metabolik ara veya son ürünleri açığa çıkarırlar. Bu ürünler, etin fizikokimyasal özelliklerinde (renk, tekstür, pH, su aktivitesi, lipid ve protein oksidasyonu, duyu özellikler gibi) olumsuz birtakım değişikliklere neden olmanın yanında tüketicilerin sağlığı üzerinde de ciddi problemler yaratabilmektedir. Bu bağlamda, et ve ürünlerinin üreticiden tüketiciye ulaştırılmasında gıda güvenliği kuralları çerçevesinde başta patojenler olmak üzere tüm zararlı mikroorganizmaların kontrol altına alınması zorunludur. Dolayısıyla hijyenik kalitesi yüksek bir üretim için hayvanların çiftlikten çatala kadar olan serüvenlerinde gerekli tüm tedbirlerin hassasiyetle alınması gereklidir (Antunes ve diğ., 2016; Ayrancı ve diğ., 2020; Choi ve diğ., 2017; Fearnley ve diğ., 2011; Özünü ve Ergezer, 2022).

Her ne kadar büyükbaş ve küçükbaş kesim aşamasında hijyen ve sanitasyon kurallarına uyulsa da ette düşük seviyede bazı mikroorganizmalar bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar uygun koşullar altında hızla gelişebilirler. Ette bulunabilecek patojen karakterli mikroorganizmalar daha çok mezofilik ve termofilik karakterli olsa da özellikle buzdolabı sıcaklığında muhafaza edilen etlerde *Pseudomonas* gibi bazı psikrofilik mikroorganizmalar da ön plana çıkmaktadır. Ancak psikrofilik karakterli mikroorganizmaların termofilik ve mezofilik karakterli olanlara göre daha yavaş gelişim gösterdikleri bilinir. Depolama koşulları ve depolama süresi gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak üründeki mikroorganizma sayıları değişkenlik gösterir (Antunes ve diğ., 2016; Fearnley ve diğ., 2011; Özünü ve Ergezer, 2022).

5.3.9.1 Dana Kıymasının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Buzdolabı koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) muhafaza edilen farklı dana kıyması, tavuk göğüs ve alabalık filetosu örneklerinde meydana gelen mikrobiyolojik değişiklikler (toplam psikrofilik aerobik, toplam koliform ve maya-küf sayısı) Tablo 5.7’de verilmiştir. Depolamanın başlangıcında dana kıymasında toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı $3,2 \log \text{CFU/g}$ olarak bulunmuştur. Depolama boyunca, ilk üç günde önemli bir değişikliğin gözlenmediği ($P>0,05$) örneklerde 5, 7 ve 10. günlerde üstel bir artışla psikrofil sayısı çeşitli et ve ürünlerinde insan tüketimi için kabul edilen eşik sınırın ($6-7 \log \text{CFU/g}$) üzerine çıkarak $7,80 \log \text{CFU/g}$ seviyesine ulaşmıştır ($P<0,05$).

Tablo 5.7. Dana kıymalarının buzdolabı koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları, log (CFU/g)					
Parametre	Depolama Süresi (Gün)				
	0	3	5	7	10
TPAC	$3,20\pm 0,30^d$	$3,60\pm 0,20^d$	$5,30\pm 0,15^c$	$7,10\pm 0,30^b$	$7,80\pm 0,15^a$
TKBS	$2,75\pm 0,25^d$	$3,10\pm 0,30^{cd}$	$3,80\pm 0,20^c$	$4,80\pm 0,35^b$	$5,20\pm 0,10^a$
MK	$2,30\pm 0,10^c$	$2,50\pm 0,25^c$	$3,30\pm 0,10^b$	$3,85\pm 0,15^a$	$4,10\pm 0,20^a$

^{a, b, c, d} Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

(**TPAC:** Toplam psikrofilik aerobik canlı sayısı; **TKBS:** Toplam koliform bakteri sayısı; **MK:** maya-küf sayısı)

Ghorbani ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, depolama boyunca (4°C , 10 gün) atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarının toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının $3,30 \log \text{CFU/g}$ 'dan $8,30 \log \text{CFU/g}$ seviyesine yükseldiği bildirilmiştir. Dana kıymalarının atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde ($\%90 \text{O}_2 + \%10 \text{CO}_2$; $\%80 \text{O}_2 + \%20 \text{CO}_2$; $\%70 \text{O}_2 + \%30 \text{CO}_2$) paklendiği başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (2°C , 20 gün) kıymaların toplam psikrofilik aerobik bakteri sayılarında önemli bir artışın olduğu ($P<0,05$) ve bu artışın en fazla atmosferik oksijenle paketlenen örnekte olduğu belirtilmiştir (Conte-Junior ve diğ., 2020).

Genellikle etlerde bozulmaya ve ilk olumsuz duyuşal değişikliklere neden olan mikroorganizmalar aerobik karakterli olup sonraki aşamalarda paket ortamında

oksijenin tükenmesiyle birlikte anaerob mikroorganizmalar ortama hâkim olmaya başlar. Bu koşullar altında, koliformlar (*E. coli*, *Shigella*, *Enterobacter*, *Salmonella*, vb.) için en uygun gelişme ortamı (fakültatif anaerob) yaratılmış olur (Katiyo ve diğ., 2020). Depolamanın başlangıcında tüm örneklerde kendine has taze et kokusu varken depolamanın sonlarına doğru tavuk göğüs ve alabalık filetolarında çürük yumurta vb. ağır kokuların hissedildiği tespit edilmiştir.

Atmosferik oksijenle paketlenmiş dana kıymalarının toplam koliform bakteri sayısında meydana gelen değişiklikler Tablo 5.7’de verilmiştir. Dana kıymasındaki koliform bakteri sayısının başlangıçta 2,75 log CFU/g olduğu tespit edilmiştir. Takip eden analiz günlerinde, koliform sayıları düzenli olarak artmaya devam etmiş ve 5. günden sonra bu artış üründe çürük yumurta, amonyak vb. kokular şeklinde kendini hissettirmeye başlamıştır. Günler arasında (0 ile 3 ve 3 ile 5 günleri arası hariç) istatistiksel olarak da belirgin farklılıklar ortaya çıktığı tespit edilmiştir ($P < 0,05$). Depolamanın sonunda, örneklerdeki koliform bakteri sayısının 5,20 log CFU/ g seviyesine çıktığı ve başlangıçtaki sayının yaklaşık iki katına ulaşıldığı belirlenmiştir.

Bu çalışmaya benzer bir çalışmada, dana etleri atmosferik oksijenle paketlenmiş ve depolama boyunca toplam koliform bakteri sayısının 3,87 log CFU/g’dan 7,91 log CFU/g seviyelerine yükseldiği belirtilmiştir (Anusankari ve diğ., 2019). Başka bir çalışmada ise, atmosferik oksijenle paketlenen dana etinin depolama boyunca (4°C, 6 gün) toplam koliform bakteri sayısında önemli bir artışın olduğu ($P < 0,05$) ve bu artışın depolama sırasında ambalaj paketi içerisindeki oksijenin tükenmesiyle birlikte başta koliformlar olmak üzere çeşitli anaerobik karakterli mikroorganizmaların gelişiminden kaynaklandığı bildirmiştir (Castrica ve diğ., 2020). Yang ve diğ. (2020) tarafından yapılan başka bir çalışmada, dana kıymaları vakum ve modifiye atmosfer (%50 O₂, %30 CO₂, %20 N₂) altında paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 21 gün) tüm örneklerin toplam koliform bakteri sayılarında artışlar gözlenmesine rağmen en fazla artışın vakumla paketlenen dana kıyması örneğinde olduğu tespit edilmiştir.

Depolama boyunca dana kıymasının maya-küf sayılarında meydana gelen değişiklikler Tablo 5.7’de verilmiştir. 4°C’de 10 günlük depolama süresi boyunca dana kıymasının maya-küf sayısının 2,30 ile 4,10 log CFU/g arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca örneklerdeki maya-küf sayısının düzenli olarak arttığı

gözlenmiştir. Bu bağlamda, ilk üç ve son üç gündeki artışların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($P>0,05$) ancak diğer analiz günlerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Depolama boyunca örneklerin maya-küf sayılarındaki artışın ambalaj materyalinin su buharı ve gaz geçirgenliğinin düşük olmasından dolayı açığa çıkan suyun ambalajın dışına çıkamayarak tekrar ürün üzerinde yoğunlaşması sonucu örneklerin a_w değerini artırmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan, maya küf kontaminasyonunun yoğun olduğu pek çok gıdada küf miselleri ve maya kolonilerinin neden olduğu renk değişiklikleri gözle görülebilir durumdayken bu çalışmada ortamda daha çok bakterilerin dominant olması nedeniyle maya küf kaynaklı renk değişiklikleri gözlenmemiştir.

Degirmencioglu ve diğ. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, dana kıymalarının paketlenmesinde çeşitli paketlenme yöntemleri (atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde paketlenme) kullanılmış ve depolama boyunca (4°C , 7 gün) tüm örneklerin maya-küf sayılarında önemli artışlar ($P<0,05$) gözlenmiştir. Dana kıymalarının atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde paketlenmesi başka bir çalışmada, depolama sırasında atmosferik oksijenle paketlenen kıymaların maya-küf sayılarında önemli artışlar olmasına ($P<0,05$) rağmen vakum ve modifiye atmosferde paketlenen örneklerde ise paket içindeki karbondioksit oranının artışına bağlı olarak toplam maya-küf sayılarında belirgin düşüşler gözlenmiştir (Irkın ve diğ., 2011).

5.3.9.2 Tavuk Göğsü Filetolarının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Buzdolabı koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) muhafaza edilen tavuk göğsü filetolarında meydana gelen mikrobiyolojik değişiklikler (toplam psikrofilik aerobik, toplam koliform ve maya-küf sayısı) Tablo 5.8'de verilmiştir. Depolamanın başlangıcında tavuk göğsü filetosunun toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı $3,00 \log \text{CFU/g}$ olarak bulunmuştur. Depolama boyunca, ilk üç günde önemli bir değişikliğin gözlenmediği ($P>0,05$) örneklerde 5, 7 ve 10. günlerde üstel bir artışla psikrofil sayısı çeşitli et ve ürünlerinde insan tüketimi için kabul edilen eşik sınırı ($6-7 \log \text{CFU/g}$) üzerine çıkarak $7,50 \log \text{CFU/g}$ seviyesine ulaşmıştır ($P<0,05$). İstatistiksel olarak 0, 3, 7 ve 10. günlerde elde edilen toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının bir önceki ve bir sonraki analiz günleriyle benzer oldukları saptanmıştır ($P>0,05$).

Tablo 5.8. Tavuk göğsü filetoalarının buzdolabı koşullarında (4°C±1°C) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları, log (CFU/g)					
Parametre	Depolama Süresi (Gün)				
	0	3	5	7	10
TPAC	3,00±0,20 ^c	3,40±0,15 ^c	4,80±0,10 ^b	7,30±0,25 ^a	7,50±0,30 ^a
TKBS	1,00±0,15 ^d	1,40±0,20 ^d	3,10±0,30 ^c	3,90±0,10 ^b	4,30±0,15 ^a
MK	2,00±0,20 ^c	2,20±0,10 ^c	2,75±0,15 ^b	3,50±0,25 ^a	3,85±0,25 ^a

^{a, b, c, d} Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

(TPAC: Toplam psikrofilik aerobik canlı sayısı; TKBS: Toplam koliform bakteri sayısı; MK: maya-küf sayısı)

Kim ve diğ. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, bromkresol moru katkılı bir pH indikatörü kullanılmış ve depolama boyunca (4°C, 12 gün) tavuk göğüs etlerindeki toplam psikrofilik bakteri sayısının 4 log CFU/g'dan 8 log CFU/g seviyesine ulaştığı gözlenmiştir. Benzer bir çalışmada ise, tavuk göğüs etlerinin paketlenmesinde akıllı etiket olarak yapay boya katkılı kâğıt indikatörler kullanılmış ve depolama sırasında (4°C, 8 gün) tavuk etlerindeki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının 3. günde eşik değer olarak kabul edilen 6,0-7,0 log CFU/g seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir (Lee ve diğ., 2019).

Atmosferik oksijenle paketlenmiş tavuk göğüs filetoalarının toplam koliform bakteri sayılarında meydana gelen değişiklikler Tablo 5.8'de verilmiştir. Tavuk göğüs filetosundaki koliform bakteri sayısının başlangıçta 1,00 log CFU/g olduğu tespit edilmiştir. Takip eden analiz günlerinde, koliform sayıları düzenli olarak artmaya devam etmiş ve 5. günden sonra bu artış üründe ağır kokular şeklinde kendini hissettirmeye başlamıştır. Günler arasında (5 ile 7 ve 7 ile 10 günleri arası) istatistiksel olarak da belirgin farklılıkların ortaya çıktığı tespit edilmiştir (P<0,05). Depolamanın sonunda, örneklerdeki koliform bakteri sayısının 4,30 log CFU/g seviyesine çıktığı ve başlangıçtaki sayının yaklaşık dört katına ulaşıldığı belirlenmiş ve artık örnekler tüketilemeyecek hale gelmiştir.

Tavuk bağetlerinin atmosferik oksijenle paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 12 gün) örneklerdeki koliform bakteri sayısının 3 log CFU/g

seviyesinden 4,40 log CFU/g seviyelerine ulaştığı bildirilmiştir (Katiyo ve diğ., 2020). Benzer bir çalışmada ise, tavuk göğüs etleri iki farklı paketleme yöntemi (vakum ve modifiye atmosferde) kullanılarak paketlenmiş ve depolama sırasında vakumla ve modifiye atmosferde paketlenmiş örneklerdeki koliform bakteri sayılarının benzer değerler aldığı ve depolama boyunca tüm ürünlerin koliform bakteri sayılarında önemli artışların ($P<0,05$) olduğu belirtilmiştir (Silva ve diğ., 2018). Sujiwo ve diğ. (2018) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise; atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğüs etlerindeki koliform bakteri sayısının depolama süresine (4°C, 12 gün) bağlı olarak hızla arttığı ve depolama sonunda örneklerdeki koliform bakteri sayısının 4,24 log CFU/g seviyesine ulaştığı belirtilmiştir.

Depolama boyunca tavuk göğüs filetoalarının maya-küf sayılarında meydana gelen değişiklikler Tablo 5.8'de verilmiştir. 4°C'de 10 günlük depolama süresi boyunca örneklerdeki maya-küf sayısının 2,00 ile 3,85 log CFU/g arasında değişkenlik gösterdiği ve bu sayının düzenli olarak arttığı belirlenmiştir. Bu bağlamda, ilk üç ve son üç gündeki (7 ve 10. gün) artışların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı ($P>0,05$) ancak diğer analiz günlerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Dana kıymalarında olduğu gibi depolama boyunca örneklerin maya-küf sayılarındaki artışın ambalaj materyalinin su buharı ve gaz geçirgenliğinin düşük olmasından dolayı açığa çıkan suyun ambalajın dışına çıkamayarak tekrar ürün üzerinde yoğunlaşması sonucu örneklerin a_w değerini artırmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Çapan ve Bağdatlı (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, perakende olarak satılan tavuk göğüs ve but etlerindeki maya-küf sayısının 5,43 ve 5,46 log CFU/g olduğu tespit edilmiştir.

5.3.9.3 Alabalık Filetoalarının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Buzdolabı koşullarında (4°C±1°C) muhafaza edilen alabalık filetoalarında meydana gelen mikrobiyolojik değişiklikler (toplam psikrofilik aerobik, toplam koliform ve maya-küf sayımı) Tablo 5.9'da verilmiştir. 0. günde, alabalık filetosundaki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı 3,60 log CFU/g olarak bulunmuş ve depolama boyunca örneklerin toplam psikrofilik aerobik bakteri

sayısında önemli artışlar gözlenmiş ($P<0,05$) ve en büyük artışın 5. günden ($5,20 \log \text{CFU/g}$) 7. güne ($7,70 \log \text{CFU/g}$) gelindiğinde ortaya çıktığı görülmüştür ($P<0,05$). Trimetilamin oksit (TMAO), su ürünlerinin tazeliğinden sorumlu bir bileşiktir ve mikrobiyal faaliyet sonucu trimetilamine (TMA) dönüşerek kötü koku, arzu edilmeyen lezzet ve aromadan sorumludur. Depolamanın sonunda, alabalık filetolarında TMA kaynaklı ağır kokular hissedilmiştir.

Tablo 5.9. Alabalık filetolarının buzdolabı koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları, log (CFU/g)					
Parametre	Depolama Süresi (Gün)				
	0	3	5	7	10
TPAC	$3,60\pm 0,25^c$	$4,10\pm 0,10^d$	$5,20\pm 0,15^c$	$7,70\pm 0,20^b$	$8,10\pm 0,10^a$
TKBS	$3,10\pm 0,30^c$	$3,75\pm 0,25^c$	$4,20\pm 0,10^b$	$4,90\pm 0,35^a$	$5,50\pm 0,25^a$
MK	$1,85\pm 0,10^e$	$2,35\pm 0,15^d$	$3,65\pm 0,25^c$	$4,40\pm 0,20^b$	$5,15\pm 0,15^a$

^{a, b, c, d, e} Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

(TPAC: Toplam psikrofilik aerobik canlı sayısı; TKBS: Toplam koliform bakteri sayısı; MK: maya-küf sayısı)

Shi ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, balık filetolarının (*Oreochromis niloticus*) paketlenmesinde akıllı etiket olarak yaban mersini ekstraktı katkılı bir pH indikatör filmi geliştirilmiş ve depolamaya bağlı (4°C , 10 gün) olarak toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının önemli oranda arttığı belirtilmiştir ($P<0,05$). Başka bir çalışmada ise, gökkuşağı alabalık filetoları atmosferik oksijenle paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C , 8 gün) örneklerin toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının $4,23 \log \text{CFU/g}$ 'dan $8 \log \text{CFU/g}$ seviyesine yükseldiği bildirilmiştir (Ezati ve diğ., 2019b). Asya deniz levreği filetolarının (*Lates calcarifer*) polistiren tabaklar içerisinde paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C , 20 gün) levrek filetolarının toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının $4 \log \text{CFU/g}$ 'dan $8 \log \text{CFU/g}$ seviyesine yükseldiği gözlenmiştir (Chaijan ve diğ., 2020). Literatür verileriyle mevcut çalışma bulguları karşılaştırıldığında, toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı açısından benzer verilere ulaşılmıştır.

Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetolarının toplam koliform bakteri sayısında meydana gelen değişiklikler Tablo 5.9'da verilmiştir. Diğer et örnekleriyle

(dana kıyması ve tavuk göğsü filetosu) karşılaştırıldığında, alabalık filetolarındaki toplam koliform bakteri sayısının daha yüksek olduğu görülmektedir. Alabalık filetolarındaki toplam koliform bakteri sayısının başlangıçta 3,10 log CFU/g olduğu tespit edilmiştir. Günler arasında (0 ile 3 ve 7 ile 10 günleri arası) istatistiksel olarak belirgin farklılıkların ortaya çıkmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). Depolamanın sonunda örneklerdeki toplam koliform bakteri sayısının 5,50 log CFU/g seviyesine yükseldiği görülmüştür. Dolayısıyla, depolama boyunca örneklerin toplam koliform bakteri sayılarındaki artışın paket içindeki oksijenin konsantrasyonunun azalmasına bağlı olarak anaerobik, fakültatif anaerobik karakterli mikroorganizmaların ortama hâkim olmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Abouel-Yazeed (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, (*Oreochromis niloticus*) balık filetolarının paketlenmesinde atmosferik ve modifiye atmosfer kullanılmış ve depolama boyunca (4°C, 15 gün) balık filetolarının toplam koliform sayısının 1,07'den 1,91 log CFU/g seviyesine yükseldiği belirtilmiştir. İsparoz balıklarının (*Sparus aurata*) atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde (%40 CO₂ + %30 O₂ + %30 N₂) paketlenildiği başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 14 gün) örneklerin toplam koliform sayılarında ciddi artışların olduğu ($P<0,05$) ve depolamanın sonunda 6-7 log CFU/g seviyelerine ulaşıldığı bildirilmiştir (Garrido ve diğ., 2016). Benzer bir çalışmada ise, balıklarda raf ömrünün belirlenmesinde Amarant ekstraktı katkılı bir pH indikatör filmi üretilmiş ve depolama boyunca (4°C, 12 gün) balıkların toplam koliform sayılarında bir artışın olduğu ancak bu artışın istatistiksel açıdan önemli olmadığı ($P>0,05$) görülmüştür (Kanatt, 2020).

Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetolarının maya-küf sayılarında meydana gelen değişiklikler Tablo 5.9'da verilmiştir. 4°C'de 10 günlük depolama süresi boyunca alabalık filetolarındaki maya-küf sayısının 1,85 ile 5,15 log CFU/g arasında değişkenlik gösterdiği ve örneklerdeki maya-küf sayısının kademeli bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, günler arasında (0 ile 3 ve 7 ile 10 günleri arası) istatistiksel olarak da belirgin farklılıkların ortaya çıktığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).

Uskumru balık filetolarının atmosferik oksijenle paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 14 gün) örneklerin maya-küf sayılarının 2 log CFU/g'dan 8 log CFU/g seviyesine yükseldiği bildirilmiştir (Jamroz ve diğ., 2019). Bahmani ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise, gökkuşağı alabalık filetoları farklı

paketlenme yöntemleri (atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde paketlenme) kullanılarak paketlenmiş ve depolama sırasında (4°C, 25 gün) örneklerin maya-küf sayılarında artışlar görülmesine rağmen istatistiksel açıdan önemli bir farklılığın olmadığı ($P>0,05$) belirtilmiştir.

5.3.10 Toplam Uçucu Bazik Nitrojen (TVB-N) Miktarı Sonuçları

Etteki bozulma, etin mikrobiyal florası ve kimyasal bileşimi gibi birçok faktörlerden etkilenen kademeli bir süreçtir (Lin ve Fang, 2011). Etteki mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmayı tespit amaçlı çeşitli fizikokimyasal ve mikrobiyolojik analizler olsa da özellikle su ürünlerinin tazeliğinin belirlenmesinde kullanılan en önemli geleneksel yöntemlerden biri de toplam uçucu bazik nitrojen (TVB-N) miktarı analizidir (Chen ve diğ., 2020; Ma ve diğ., 2013). Bu analiz ayrıca diğer et ürünleri için de kullanılabilir. Özellikle mikrobiyal faaliyet sonucu ette bulunan protein gibi azotlu bileşikler amonyak, trimetil amin ve dimetil amin gibi uçucu bileşiklere dönüşerek kokuşmaya neden olmaktadır (Cai ve diğ., 2011; Guo ve diğ., 2021; Li ve diğ., 2019; Tsai ve diğ., 2005).

Atmosferik oksijenle paketlenen ve 4°C’de muhafaza edilen dana kıymalarında saptanan toplam uçucu bazik azot (TVB-N) değerleri mg/100 g olarak gösterilmiş olup depolama boyunca kıymaların TVB-N değerlerinde meydana gelen değişimler Tablo 5.10’da verilmiştir. Depolamanın başlangıcında, dana kıymalarının TVB-N değeri 4,61 mg/100 g olarak tespit edilirken ilerleyen günlerde örneklerdeki TVB-N değerinin artış eğilimi gösterdiği ve depolamanın sonunda (10. günde) 21,45 mg/100 g seviyesine ulaştığı görülmüştür. İstatistiksel olarak her bir analiz gününde elde edilen TVB-N değerinin bir önceki ve bir sonraki analiz günlerinden farklı olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$).

Tablo 5.10. Atmosferik oksijenle paketlenen farklı et örneklerinin depolanması sırasında (4°C, 10 gün) TVB-N değerlerinde (mg/100 g) meydana gelen değişiklikler

TVB-N Değeri (mg/100 g)					
Gruplar	Depolama Süresi (Gün)				
	0	3	5	7	10
DK	4,61±0,41 ^E	5,89±0,37 ^D	11,24±0,25 ^C	17,23±0,31 ^B	21,45±0,19 ^A
TGF	6,20±0,35 ^E	9,87±0,29 ^D	14,69±0,21 ^C	22,11±0,26 ^B	27,33±0,27 ^A
AF	9,95±0,28 ^E	14,63±0,20 ^D	20,29±0,23 ^C	26,58±0,48 ^B	47,67±0,44 ^A

^{A, B, C, D, E} Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

(DK: Dana kıyması, TGF: Tavuk göğsü filetosu, AF: Alabalık filetosu)

Farklı oranlarda Mas fasulyesi protein izolatı, pullulan ve güvey otu (*Origanum majorana* L.) yağı içeren filmle kaplanan dana kıymalarındaki TVB-N değerinin başlangıçta 5,86 mg/100 g olduğu ve depolama boyunca (4°C, 14 gün) tüm örneklerin TVB-N değerlerinde önemli artışların gerçekleştiği ve depolamanın sonunda kontrol grubundaki TVB-N değerinin 37,78 mg/100 g seviyesine ulaştığı bildirilmiştir (Haghighatpanah ve diğ., 2022). Taze dana filetolarının kitosan bazlı kaplama çözeltilerinin içerisine daldırılarak ürünün kalite karakteristiklerinde meydana gelen değişikliklerin incelendiği bir diğer çalışmada ise, depolamanın başlangıcında TVB-N değerinin 5,90 mg/100 g olduğu ve depolama boyunca (-5°C, 12 gün) örneklerinin TVB-N değerlerinde önemli artışların (P<0,05) yaşandığı görülürken kontrol grubundaki artışın daha büyük olduğu belirtilmiştir (Cheng ve diğ., 2021). Guo ve diğ. (2021) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, dana biftekleri nişasta bazlı farklı oranlarda çay dikeni ekstraktı (%0, 1, 2 ve 3) katkılı filmlerle kaplanmış ve depolama boyunca (-1,3°C, 45 gün) tüm örneklerin TVB-N değerlerinde önemli artışların (P<0,05) yaşandığı ancak kontrol grubundaki artışın diğer örnek gruplarına nazaran daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Buzdolabı koşullarında 10 gün süreyle muhafaza edilen tavuk göğsü filetolarının TVB-N değerlerinde meydana gelen değişiklikler takip edilmiş ve sonuçlar Tablo 5.10'da verilmiştir. Başlangıçta, tavuk göğsü filetolarındaki TVB-N değeri 6,20 mg/100 g olarak tespit edilirken ilerleyen günlerde örneklerdeki TVB-N değeri de artmıştır. İstatistiksel olarak her bir analiz gününde elde edilen TVB-N değerinin bir önceki ve bir sonraki analiz günlerinden farklı olduğu belirlenmiştir

($P<0,05$). 7. günde, et ve et ürünlerde eşik sınır olarak kabul edilen 20 mg/100 g seviyesinin üzerine çıkılarak 22,11 mg/100 g değerine ve oradan da 27,33 mg/100 g değerine (depolamanın sonunda) ulaşılmıştır.

Hematizad ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise, tavuk göğüs etleri jelatin-nanokompozit bazlı film karışımına farklı oranlarda (%0, 0.3, 0.6 ve 0.9) *Zataria multiflora* bitki yağı ilave edilerek çeşitli filmler üretilmiş ve depolama boyunca (4°C, 14 gün) tüm örneklerin TVB-N değerlerinde önemli artışlar yaşanmış ($P<0,05$) ancak filmlerdeki *Zataria multiflora* bitki yağının artışına bağlı olarak TVB-N değerlerindeki artışların daha düşük olduğu belirtilmiştir. Tavuk etlerinin paketlenmesinde akıllı etiket olarak bromtimol mavisi katkılı bir film üretilmiş ve depolama sırasında (4°C, 36 saat) tavuk etindeki TVB-N değerinin 4,089'dan 16,056 mg (mg/100 g) seviyesine yükseldiği bildirilmiştir (Cao ve diğ., 2019).

Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetoalarının buzdolabı koşullarında (4°C) muhafazası sırasında TVB-N değerlerinin değişimi Tablo 5.10'da verilmiştir. Buna göre; en düşük TVB-N değerinin depolamanın başlangıcında (9,95 mg/100 g) tespit edildiği ve depolamanın ilerleyen günlerinde örneklerin TVB-N değerlerinde önemli artışların gerçekleştiği gözlenmiştir ($P<0,05$). Depolamanın 10. gününde (47,67 mg/100 g), alabalık filetoalarındaki TVB-N değeri, eşik sınır olarak kabul edilen 35 mg/100 g'ın üzerine çıkmıştır. Akıllı etiketlerdeki renk değişiklikleri göz önüne alındığında, özellikle depolamanın 7. gününde indikatörlerin renklerinde önemli değişikliklerin görüldüğü ve bu renk değişikliğinin hem fizikokimyasal (pH, su aktivitesi, lipid ve protein oksidasyonu, TVB-N değeri) hem de mikrobiyolojik analiz (toplam psikrofilik aerobik, toplam koliform ve toplam maya-küf canlı sayımı) sonuçlarıyla da paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, depolamanın 7. gününde, alabalık filetoalarında duyuşsal olarak ağır bir kokunun varlığı tespit edilmiştir.

Shi ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, balık filetoalarının paketlenmesinde akıllı etiket olarak yaban mersini kabuğu ekstraktı katkılı bir film kullanılmış ve depolama boyunca (4°C, 10 gün) balık filetoalarındaki TVB-N değerinin 7,93 mg dan 22,22 mg/100 g değerine yükseldiği ve bu artışın istatistiksel açıdan anlamlı ($P<0,05$) olduğu belirtilmiştir. Çim sazan balıklarının paketlenmesinde tazelik indikatörü olarak mor tatlı patates (*Ipomoea batatas*) ekstraktı katkılı bir film geliştirilmiş ve depolama sırasında (25°C, 48 saat) örneklerdeki TVB-N değerlerinde

önemli artışların görüldüğü ($P<0,05$) ve depolamanın sonunda 35 mg/100 g seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir (Jiang ve diğ., 2020). *Megalobrama amblycephala* cinsi balıkların atmosferik oksijenle paketlenmesinde doğal boya katkı (Arnebia euchroma) bir pH indikatörü üretilmiş ve depolama boyunca (4°C, 8 gün) örneklerdeki TVB-N değerinin kademeli bir şekilde arttığı ve depolamanın sonunda taze balıklar için kabul edilebilir eşik sınırının (>35 mg/100 g) üzerine çıkarak 37 mg/100 g değerine yükseldiği gözlenmiştir (Huang ve diğ., 2019).

Et ve su ürünlerinde tüketilebilir TVB-N eşik değerlerinin değişkenlik gösterdiği ve su ürünlerde bu sınırın diğer etlere nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ülkemizde TVB-N değeri açısından kırmızı ve kanatlı etlerine ilişkin herhangi bir yasal mevzuata ulaşılammış ancak literatür incelendiğinde Çin Ulusal Standardına (GB2707-2016) göre dana ve tavuk etlerindeki tüketilebilir TVB-N eşik sınır değerinin 20 mg/100 g olduğu belirtilmiştir. Su ürünlerinde ise tüketilebilir TVB-N eşik sınırının (TVB-N değeri 30 mg/100 g'a kadar iyi, 30-35 mg/100 g arasında ise pazarlanabilir olduğu) 35 mg/100 g olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından da kabul edilmiştir (Düzarduç, 2022; Özoğul, 2018; Yağın, 2015). Tablo 5.10 incelendiğinde, depolamanın 10. gününde hem dana kıyması hem de alabalık filetosunun TVB-N için eşik sınır olarak kabul edilen 20 mg/100 g ve 35 mg/100 g değerlerini aştığı görülürken tavuk göğüs filetolarında ise tüketilebilir eşik sınırı (> 20 mg/100 g) 7. günde aşılmıştır.

5.3.11 Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları

Alkoller, aldehitler, ketonlar, esterler, kükürtlü bileşikler ve organik asitler etlerin duyuusal özelliklerini etkileyen en önemli aroma maddeleridir.

Alkoller ve aldehitler, mikroorganizmalar tarafından glikoz ve amino asit metabolizmasında veya yağ asitlerinin oksidasyonu sonucunda oluşan bileşiklerdir. Örneğin 1-penten-3-ol ve 1-okten-3-ol bileşikleri sırası ile eikopentaenoik ve araşidonik asitten lipoksigenaz enzim aktivitesi sonucunda oluşurken hekzanal ise n-6 PUFA'ların oksidasyonu sonucunda üretilmektedir (Erbay, 2017; Leroy ve diğ., 2009; Luna ve diğ., 2006; O'Sullivan ve diğ., 2003; Smit ve diğ., 2005; Xie ve diğ., 2008). Ayrıca, Gram negatif bakterilerin başlıca, etanol (*Hafnia alvei*, *Serratia liquefaciens*,

Shewanella baltica, *Shewanella putrefaciens*, *Pseudomonas* spp., *Moraxella*), 3-metil bütanol (*Enterococcus* spp., *Hafnia alvei*, *Serratia liquefaciens*, *Serratia proteamaculans*, *Shewanella*, *Pseudomonas* spp., *Rahnella aquatilis*), 2-metil bütanol (*Pseudomonas putrefaciens*), pentanol (*Hafnia alvei*, *Moraxella*), heptanol (*Hafnia alvei*, *Pseudomonas fragi*, *Ranunculus aquatilis*, 1-hekzanol (*Serratia* spp., *Pseudomonas* spp., *Ranunculus aquatilis*) ve 2-okten-1-ol (*Serratia proteamaculans*, *Pseudomonas* spp.) olmak üzere bazı alkolleri üretmelerinin yanında hekzanal (*Serratia proteamaculans*), 2-metil bütanal (*Serratia liquefaciens*, *Shewanella putrefaciens*, *Moraxella*, *Hafnia alvei*, *Enterococcus* spp.), 3-metil bütanal (*Hafnia alvei*, *Enterobacter agglomerans*, *Serratia liquefaciens*, *Alteromonas putrefaciens*, *Aeromonas hydrophila*), heptanal (*Serratia grimes*, *Serratia liquefaciens*) gibi bazı önemli aldehit karakterli bileşikler oluşturdukları da belirtilmiştir (Casaburi ve diğ., 2014; Ercolini ve diğ., 2009; Jääskeläinen ve diğ., 2013; Hernandez-Macedo ve diğ., 2012; La Storia ve diğ., 2012; Tsigarida ve diğ., 2003).

Ketonlar, etin yapısında bulunan lipidlerin oksidasyonu sonucunda, aminoasitlerin parçalanmasında, Maillard reaksiyonları sırasında ve özellikle bazı gram negatif bakterilerin (*Pseudomonas* spp., *Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putrefaciens*, *Moraxella*, *Hafnia alvei*, *Serratia liquefaciens*, *Alteromonas putrefaciens*, *Aeromonas hydrophila*, *Ranunculus aquatilis*) üretmiş oldukları metabolitler olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, laktik asit (*Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Carnobacterium*) ve *Brochothrix thermosphacta* cinsi bakterilerin de aseton ve diasetil gibi çeşitli ketonları ürettikleri tespit edilmiştir (Casaburi ve diğ., 2014; Chung ve diğ., 2002; Leroy ve diğ., 2009).

Esterler (etil asetat, etil propanat, etil bütanat, etil laktat, etil heksanoat vb.), esteraz enzim aktivitesine sahip mikroorganizmaların (*Pseudomonas* spp., *Shewanella putrefaciens*, *Moraxella*, *Ranunculus aquatilis*, *Carnobacterium* spp., *Brochothrix thermosphacta*, *Carnobacterium* spp., *Carnobacterium maltaromaticum*, *Serratia proteamaculans*) aracılığıyla çeşitli alkol ve karboksilik asitlerin esterleşmesiyle meydana gelen önemli bir bileşiklerdir (Casaburi ve diğ., 2015; Insausti ve diğ., 2002).

Organik asitler, etin kimyasal ve mikrobiyolojik bozulması sonucunda açığa çıkan bileşiklerdir (Gelen, 2022; Vidal ve diğ., 2016).

Kükürtlü bileşikler (methanethiol, dimetil sülfid, dimetil disülfid, dimetil trisülfid vb.), metan thiol'ün oksidasyonu ya da metiyonin aminoasitinin mikrobiyal parçalanması sonucunda oluşmaktadır (Chung ve diğ., 2007).

5.3.11.1 Dana Kıymalarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları

Depolama boyunca atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları Tablo 5.11'de verilmiştir. Buna göre, dana kıymalarında toplamda 23 adet aroma maddesi tespit edilmiştir. Bu maddeler içerisinde, 2 adet ester (etil asetat ve etil heksanoat), 7 adet alkol (3-metil-1-bütanol, 1-pentanol, 1-hekzanol, 1-okten-3-ol, 2-etil-1-hekzanol, 1-oktanol, feniletıl alkol), 2 adet aldehit (hekzanal ve benzaldehit), 3 adet keton (2-heptanon, 3-oktanon ve asetoin), 1 adet fenol ve 8 adet organik asit (asetik asit, hekzanoik asit, heptanoik asit, oktanoik asit, nonanoik asit, dekanıok asit, dodekanoik asit ve tetradekanoik asit) saptanmıştır. Depolamanın başlangıcında kıymadaki etil asetat ve etil heksanoat miktarları sırasıyla 160,32 ve 34,15 µg/kg olarak bulunmuş ve depolamanın devamında örneklerdeki etil heksanoat miktarının anlamlı bir şekilde arttığı görülürken (P<0,05) etil asetat miktarında ise önce bir artış (5. güne kadar) daha sonra ise (5. günden 10. güne gelindiğinde) anlamlı bir düşüş gözlenmiştir (P<0,05). Tablo 5.11'den elde edilen sonuçlara göre, depolama boyunca (4°C, 10 gün) dana kıymalarındaki toplam keton (2-heptanon, 3-oktanon ve asetoin) ve alkol miktarlarının (1-pentanol, 1-okten-3-ol, 2 etil-1-hekzanol, 1-oktanol, feniletıl alkol) oransal ve istatistiksel olarak anlamlı bir biçimde arttığı (P<0,05), aldehit (hekzanal ve benzaldehit) miktarının ise azaldığı görülmüştür. Ancak, 3-metil-1-bütanol ve 1-hekzanol miktarlarında ise dalgalı bir seyir (5. güne kadar artış daha sonra ise düşüş) gözlenmiştir. Tablo 5.11 incelendiğinde, dana kıymalarında toplam 8 adet organik asit tespit edilmiş ve depolama boyunca asetik, heptanoik, nonanoik, dekanıok, dodekanoik ve tetradekanoik asit miktarının önemli ölçüde arttığı (P<0,05), 3-metil-bütanoik ve oktanoik asit miktarlarında dalgalanmanın yaşandığı ve 3-metil bütanoik asit miktarında ise önemli bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir (P>0,05). Depolamanın ilk 5. gününe kadar dana kıymalarındaki toplam oktanoik asit miktarının 216,65 µg/kg'dan 298,89 µg/kg'a yükseldiği, 5. günden itibaren ise bir düşüş (298, 89 µg/kg'dan 296,12 µg/kg'a azalmıştır) gözlenmesine rağmen bunun istatistiksel açıdan

anlamli olmadigi gorulmüstür (P>0,05). Depolamanin baslangicinda, kıymalardaki fenol içeriğinin 23,40 µg/kg olduğu ve depolama süresinin uzamasıyla birlikte örneklerdeki fenol miktarı önce 39,20 µg/kg'a (5. günde) daha sonra ise 65,24 µg/kg'a (10. günde) yükselmiştir (P<0,05).

Önceki çalışmalarda da görüldüğü gibi, dana kıymalarında çeşitli alkol (3-metil-1-bütanol, 1-pentanol, 1-hekzanol, 1-okten-3-ol, 2-etil-1-hekzanol vb.), aldehit (hekzanal, benzaldehit vb.), keton (2-heptanon, 3-oktanon, asetoın vb.), organik asit (asetik, hekzanoik, heptanoik, oktanoik, nonanoik, dekanooik, dodekanoik asit vb.) gibi uçucu aromatik bileşiklerin varlığı tespit edilmiş ve bu bileşikler çalışma sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir (Argyri ve diğ., 2015, Bueno ve diğ., 2019, Pavlidis ve diğ., 2019).

Tablo 5.11. Atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları

Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları (µg/kg)				
Bileşimin İsmi	RT	Depolama Süresi (Gün)		
		0	5	10
Etil asetat	2,5721	160,32±10,73 ^C	1575,65±131,84 ^A	1198,02±85,18 ^B
Hekzanal	5,5175	821,99±38,21 ^A	798,09±32,81 ^B	441,07±15,25 ^C
2-Heptanon	7,979	247,69±4,28 ^C	588,73±10,04 ^B	645,56±21,07 ^A
3-Metil-1-bütanol	9,1983	204,20±10,09 ^B	408,87±59,59 ^A	377,76±0,23 ^A
Etil hexanoate	9,652	34,15±1,24 ^C	157,56±12,18 ^B	195,00±19,11 ^A
3-Oktanon	10,0723	172,19±5,34 ^C	601,37±3,11 ^B	655,11±4,36 ^A
1-Pentanol	10,2269	383,04±24,62 ^C	403,96±20,61 ^B	586,92±13,35 ^A
Asetoin	10,7997	44,84±1,05 ^C	2395,64±193,88 ^B	3674,12±62,46 ^A
1-Hekzanol	12,6119	191,50±4,14 ^B	1263,57±60,62 ^A	780,68±31,33 ^{AB}
Asetik asit	14,1785	120,51±1,42 ^C	531,93±55,25 ^B	1051,84±10,56 ^A
1-Okten-3-ol	14,3918	1052,59±4,26 ^B	1726,38±82,24 ^A	806,05±60,82 ^A
2-Etil-1-hekzanol	15,0907	114,86±0,08 ^C	80,25±4,11 ^B	13,58±1,59 ^A
Benzaldehit	15,4303	425,06±8,54 ^A	338,91±34,53 ^B	257,46±9,97 ^C
1-Oktanol	16,1805	280,51±4,13 ^C	309,86±6,43 ^B	423,48±7,47 ^A
3-Metil-bütanoik asit	17,5025	261,19±30,33 ^A	350,27±15,58 ^A	302,65±59,87 ^A
Hekzanoik asit	19,7416	871,81±6,35 ^A	226,89±1,40 ^C	283,55±22,60 ^B
Feniletil alkol	20,6089	137,68±5,15 ^C	195,64±9,03 ^B	247,11±19,58 ^A
Heptanoik asit	20,9819	79,84±4,11 ^C	92,32±5,31 ^B	120,31±8,35 ^A
Fenol	21,4983	23,40±2,11 ^C	39,20±1,38 ^B	65,24±0,69 ^A
Oktanoik asit	22,1769	216,65±8,19 ^B	298,89±29,70 ^A	296,12±42,20 ^A
Nonanoik asit	23,2961	85,51±4,39 ^C	105,34±10,01 ^B	144,33±7,11 ^A
Dekanoik asit	24,3346	92,27±3,13 ^C	115,91±6,49 ^B	160,16±5,23 ^A
Dodekanoik asit	26,3379	50,03±1,89 ^C	69,23±1,68 ^B	94,55±2,22 ^A
Tetradekanoik asit	28,5555	188,64±2,07 ^C	207,53±18,17 ^B	251,18±4,22 ^A

A, B, C Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

5.3.11.2 Tavuk Göğsü Filetolarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları

Depolama boyunca atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğsü filetolarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları Tablo 5.12’de verilmiştir. Buna göre, tavuk göğsü filetolarında toplamda 22 adet aroma maddesi tespit edilmiştir. 22 adet aroma maddesi içerisinde, 7 adet alkol (1-bütanol, 3-metil-1-bütanol, 1-pentanol, 1-hekzanol, 1-okten-3-ol, 2-etil-1-hekzanol ve feniletıl alkol), 1 adet aldehit (hekzanal), 4 adet keton (aseton, 2-pentanon, 2-heptanon ve asetoin), 1 adet fenol, 3 adet kükürtlü bileşik (methanethiol, dimetildisülfıt ve dimetiltrisülfıt) ve 6 adet organik asit (asetik, 3-metil-bütanoik, hekzanoik, oktanoik, nonanoik ve dekanıok asit) tespit edilmiştir. Depolamanın başlangıcında alkoller arasında 3-metil-1-bütanolün (225,69 µg/kg) en yüksek seviyede bulunmuş ve bunu sırasıyla 1-okten-3-ol (224,48 µg/kg), 1-bütanol (100,31 µg/kg), 1-pentanol (79,60 µg/kg), 2-etil-1-hekzanol (35,28 µg/kg) ve feniletıl alkol (32,33 µg/kg) takip etmiştir. Ayrıca, depolama boyunca tüm alkollerin (1-hekzanol haricinde) kademeli bir şekilde arttığı ve özellikle depolamanın 5. gününden sonra yaşanan bu artışın daha yüksek olduğu göze çarpmıştır. Depolamanın başlangıcında aromatik bileşikler arasında en fazla hekzanalın bulunduğu (877,38 µg/kg) ve depolama boyunca örneklerdeki hekzanal miktarının önce 262,75 µg/kg’a daha sonra ise 203,41 µg/kg’a düştüğü görülmüştür. 3-metil-bütanoik, hekzanoik, oktanoik, nonanoik ve dekanıok asit gibi organik asitlerin lipid oksidasyonu sonucu, asetik asidin ise karbonhidratların oksidasyonu sonucu meydana geldiği (Qian ve diğ., 2016) ve dolayısıyla depolama sırasında tavuk göğsü filetolarındaki organik asitlerin önemli oranda arttığı saptanmıştır (P<0,05). Ancak, hekzanoik asit açısından önemli farklılıklar tespit edilmemiştir (P>0,05). Keton bileşikleri arasında 2-pentanon bileşiğinin örneklerde önemli oranda öne çıktığı ve depolama süresinin uzamasıyla birlikte 2-pentanon miktarının 423,17 µg/kg’dan 1125,34 µg/kg’a daha sonra ise 2068,71 µg/kg’a yükseldiği ve bu yükselişin istatistiksel açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (P<0,05). Depolamanın başlangıcında, örneklerdeki fenol içeriği 34,57 µg/kg olarak tespit edilmiş ve ilerleyen günlerde bu değer önce 46,08 µg/kg’a (5. günde) daha sonra ise 1010,77 µg/kg’a (10. günde) ulaşmıştır (P<0,05).

Sarfraz ve diğ. (2021) modifiye atmosferde (%60 CO₂ ve %40 N₂, %75O₂ ve %25 CO₂) paketlenen tavuk göğsü filetolarında uçucu aromatik bileşikleri incelemişler

ve depolama sırasında (4°C, 14 gün) her iki örnek grubunun da toplam etanol, asetik asit, aseton, dimetilsülfid ve karbondisülfid miktarında önemli değişikliklerin (P<0,05) yaşandığını belirtmişlerdir. Chmiel ve diğ. (2020) tavuk göğsü filetoların aromasını benzer bileşiklerin (heptanal, hekzanal, 1-okten-3-ol, pentanol, hekzanol, hekzanoik asit, bütanoik asit, 2-3-oktandion vb.) karakterize ettiğini, depolama süresi (1, 3, 5, 7 ve 8. günlerde) ve paketlenme yönteminin (atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde paketlenme) ürünün uçucu aromatik bileşenler üzerinde önemli bir etkisinin (P>0,05) olmadığını belirtmişlerdir.

Tablo 5.12. Atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğsü filetolarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları

Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları (µg/kg)				
Bileşiğin İsmi	RT	Depolama Süresi (Gün)		
		0	5	10
Methanethiol	1,718	345,61±10,23 ^C	1894,55±187,90 ^B	4782,21±213,32 ^A
Aseton	2,1253	212,09±24,16 ^B	266,39±15,54 ^{AB}	613,45±4,34 ^A
2-Pentanon	3,6355	423,17±7,76 ^C	1125,34±76,65 ^B	2068,71±102,18 ^A
Dimetildisülfid	5,1902	317,85±9,73 ^C	2225,63±15,44 ^B	4340,63±518,47 ^A
Hekzanal	5,5175	877,38±18,00 ^A	262,75±2,84 ^B	203,41±1,89 ^C
1-Bütanol	7,4021	100,31±4,43 ^C	130,27±5,11 ^B	175,89±5,21 ^A
2-Heptanon	7,979	187,55±9,90 ^C	243,29±7,56 ^B	302,19±1,61 ^A
3-Metil-1-bütanol	9,1983	225,69±15,48 ^C	447,21±32,80 ^B	818,25±23,61 ^A
1-Pentanol	10,2269	79,60±0,24 ^C	95,47±2,25 ^B	245,84±1,97 ^A
Asetoin	10,7997	166,99±7,88 ^C	210,16±3,27 ^B	690,83±1,56 ^A
1-Hekzanol	12,6119	189,98±19,99 ^A	291,84±35,20 ^A	220,13±20,11 ^A
Dimetiltrisülfid	12,8054	33,50±2,13 ^C	103,46±4,36 ^B	235,49±17,35 ^A
Asetik asit	14,1785	79,36±1,10 ^C	104,56±1,26 ^B	135,67±1,77 ^A
1-Okten-3-ol	14,3918	224,48±6,82 ^C	298,83±3,35 ^B	512,29±4,56 ^A
2-Etil-1-hekzanol	15,0907	35,28±0,92 ^C	575,88±10,15 ^B	5864,47±619,66 ^A
3-Metil-bütanoik asit	17,5025	186,92±9,88 ^C	288,83±11,23 ^B	335,05±17,59 ^A
Hekzanoik asit	19,7416	87,67±0,77 ^A	67,29±0,87 ^B	53,26±3,35 ^C
Feniletıl alkol	20,6089	32,33±1,89 ^C	57,65±3,64 ^B	167,85±4,02 ^A
Fenol	21,4983	34,57±1,23 ^C	46,08±0,81 ^B	1010,77±30,27 ^A
Oktanoik asit	22,1769	105,68±2,21 ^C	120,37±3,77 ^B	141,13±2,89 ^A
Nonanoik asit	23,2961	49,49±3,45 ^C	57,61±0,87 ^B	64,76±1,55 ^A
Dekanoik asit	24,3346	51,33±4,52 ^C	68,46±3,41 ^B	123,96±4,65 ^A

A, B, C Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

5.3.11.3 Alabalık Filetolarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları

Depolama boyunca atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetolarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları Tablo 5.13'te verilmiştir. Buna göre, alabalık filetolarında toplamda 28 adet aroma maddesi tespit edilmiştir. 28 adet aroma maddesi

içerisinde, 9 adet alkol (1-penten-3-ol, 3-metil-1-bütanol, 1-pentanol, 1-hekzanol, 1-okten-3-ol, 2-6-dimetil-4-heptanol, 2-etil-1-hekzanol, 1-oktanol ve feniletıl alkol), 4 adet aldehit (2-metil bütanal, pentanal, heksanal ve benzaldehit), 2 adet keton (2-heptanon ve asetoin), 1 adet fenol, 3 adet kükürtlü bileşik (methanethiol, dimetildisülfıt ve dimetiltrisülfıt) ve 9 adet organik asit (asetik, propanoik, 3-metil-bütanoik, pentanoik, heksanoik, oktanoik, dekanıok, dodekanoik ve tetradekanoik asit) belirlenmiştir. Buzdolabı koşullarında muhafaza edilen örneklerdeki alkollerin (1-penten-3-ol, 3-metil-1-bütanol, 1-pentanol, 1-okten-3-ol, 2-6-dimetil-4-heptanol, 2-etil-1-hekzanol, 1-oktanol ve feniletıl alkol) muhafaza süresi boyunca istatistiksel açıdan önemli oranda arttığı gözlenmesine rağmen 1-hekzanol miktarında anlamlı bir değişiklik görülmemiştir ($P<0,05$). Depolama periyodu süresince alabalık filetolarının 2-metil bütanal ve heksanal miktarlarında azalma, pentanal ve benzaldehit miktarlarında ise önemli artışlar tespit edilmiştir ($P<0,05$). Her bir depolama periyodunda 3-metil-bütanoik asidin diğer organik asitlere nazaran daha fazla bulunduğu ve alabalık filetolarındaki propanoik miktarının muhafaza süresinin uzamasıyla birlikte arttığı ancak bu artışın 5. gün (63,07 $\mu\text{g}/\text{kg}$) ile 10. gün (65,10 $\mu\text{g}/\text{kg}$) arasında anlamlı olmadığı görülmüştür ($P>0,05$). Depolamanın sonunda (10. günde), methanethiol (5568,75 $\mu\text{g}/\text{kg}$) en fazla miktarda saptanan kükürtlü bileşik olmuştur ve bu bileşiği sırasıyla dimetildisülfıt (5198,73 $\mu\text{g}/\text{kg}$) ve dimetiltrisülfıt (520,76 $\mu\text{g}/\text{kg}$) bileşikleri takip etmiştir. Depolama süresinin ürünün keton bileşiklerinin (2-heptanon ve asetoin) miktarı üzerine anlamlı bir etkisinin olduğu gözlenmesine rağmen depolamanın 0. günü (314,48 $\mu\text{g}/\text{kg}$) ile 5. günü (304,97 $\mu\text{g}/\text{kg}$) arasında 2-heptanon miktarı açısından önemli bir farklılık saptanmamıştır ($P>0,05$). Alabalık filetolarındaki fenol miktarı başlangıçta 524,67 $\mu\text{g}/\text{kg}$ olarak bulunmuş ve depolama boyunca fenol miktarı kademeli bir şekilde önce 1766,46 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a daha sonra ise 1863,41 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 'a yükselmiştir.

Larimichthys crocea cinsi balık filetolarının atmosferik oksijenle paketlenildiği bir çalışmada, muhafaza süresinin uzamasıyla birlikte örneklerin heksanal, 2-heptanon ve 3-metil-1-bütanol miktarlarında önemli artışlar, 1-hekzanol ve benzaldehit miktarlarında ise önemli azalışlar ($P<0,05$) belirlenmiştir (Zhao ve diğ., 2021). Başka bir çalışmada ise, *Mytilus edulis* cinsi midyeler modifiye atmosferde (%30 CO_2 /%40 O_2 /%30 N_2 ; %40 CO_2 /%60 O_2 ; %60 O_2 /%40 N_2) paketlenmiş ve örneklerde çeşitli alkoller (2-3-bütandiol, etanol, 3-metil-1-bütanol, izobütıl alkol), aldehitler (3-metil-

bütanal, nonanal, dekanal), asitler (asetik ve 3-metil-bütanoik asit), ketonlar (aseton, asetoin), kükürtlü bileşikler (dimetil sülfid, dimetil disülfid, dimetil trisülfid) ve esterlerin (etil asetat) varlığı tespit edilmiştir (Ratnawati ve diğ., 2023).

Tablo 5.13. Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetoalarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları

Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları (µg/kg)				
Bileşimin İsmi	RT	Depolama Süresi (Gün)		
		0	5	10
Methanethiol	1,718	213,46±5,67 ^C	2791,39±3,27 ^B	5568,75±99,34 ^A
2-Metil bütanal	2,8366	838,80±23,84 ^A	737,08±18,76 ^B	566,23±19,07 ^C
Pentanal	2,8648	387,10±20,25 ^C	567,89±15,66 ^B	1075,82±23,37 ^A
Dimetildisülfid	5,1902	311,78±7,89 ^C	2391,54±58,38 ^B	5198,73±11,24 ^A
Hekzanal	5,5175	1409,1±13,68 ^A	1023,44±11,08 ^B	543,08±23,90 ^C
1-Penten-3-ol	7,6676	79,04±2,03 ^C	91,27±1,89 ^B	103,25±4,56 ^A
2-Heptanon	7,979	314,48±20,21 ^A	304,97±15,71 ^A	151,99±1,28 ^B
3-Metil-1-bütanol	9,1983	445,67±10,23 ^C	1689,95±8,67 ^B	3101,22±10,86 ^A
1-Pentanol	10,2269	65,55±1,53 ^C	88,23±4,35 ^B	105,67±5,02 ^A
Asetoin	10,7997	103,26±2,01 ^C	118,90±0,54 ^B	414,50±7,78 ^A
1-Hekzanol	12,6119	177,42±20,72 ^A	211,87±17,78 ^A	198,56±19,92 ^A
Dimetiltrisülfid	12,8054	143,28±4,30 ^C	201,29±1,18 ^B	520,76±22,73 ^A
Asetik asit	14,1785	70,69±1,38 ^C	123,90±3,41 ^B	819,29±16,86 ^A
1-Okten-3-ol	14,3918	189,76±4,33 ^C	225,41±3,5 ^B	645,87±14,93 ^A
2-6-Dimetil-4-heptanol	14,64	348,96±10,22 ^C	570,85±9,55 ^B	613,28±13,25 ^A
2-Etil-1-hekzanol	15,0907	60,69±0,99 ^C	75,88±5,66 ^B	101,18±9,77 ^A
Benzaldehit	15,4303	333,04±11,91 ^C	408,94±2,55 ^B	467,33±4,11 ^A
Propanoik asit	15,6373	57,68±2,32 ^B	63,07±1,52 ^A	65,10±1,97 ^A
1-Oktanöl	16,1805	214,39±4,80 ^C	231,07±2,01 ^B	289,99±5,67 ^A
3-Metil-bütanoik asit	17,5025	345,61±14,53 ^C	876,96±12,28 ^B	1334,24±50,69 ^A
Pentanoik asit	17,5246	101,22±2,08 ^C	133,35±0,31 ^B	225,66±3,01 ^A
Hekzanoik asit	19,7416	92,91±3,07 ^C	105,80±2,33 ^B	123,09±5,67 ^A
Feniletıl alköl	20,6089	412,02±9,87 ^C	1787,55±18,13 ^B	3062,17±500,19 ^A
Fenöl	21,4983	524,67±8,88 ^C	1766,46±25,05 ^B	1863,41±29,27 ^A
Oktanoik asit	22,1769	187,76±7,13 ^C	243,19±9,19 ^B	295,99±22,83 ^A
Dekanoik asit	24,3346	201,12±2,77 ^C	224,89±3,45 ^B	254,26±4,06 ^A
Dodekanoik asit	26,3379	234,18±5,19 ^C	250,33±4,42 ^B	280,12±5,12 ^A
Tetradekanoik asit	28,5555	301,22±20,13 ^C	410,97±18,63 ^B	510,25±19,97 ^A


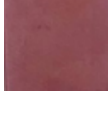

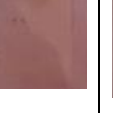

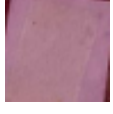
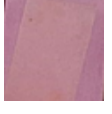



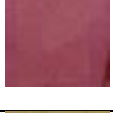


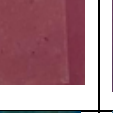
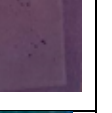
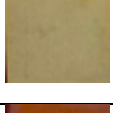









A, B, C Aynı satırda bulunan harfler istatıksel olarak önemlidir (P<0,05)

5.4 Modifiye Atmosferde Paketlenen Örneklerin Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

5.4.1 Dana Kıymasının Modifiye Atmosferde Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi

Depolama boyunca indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler Tablo 5.14'te verilmiştir. 0. günde doğal boya olarak kullanılan nar (N), kırmızı lahana suları (K) ve şalgam suyu (Ş) katkılı indikatörlerin benzer pembemsi-kırmızı renge, bromkresol yeşilinin (B) sarı, metil kırmızısının (M) ise kırmızı renkte olduğu gözlenmiştir. Depolamanın 5. gününde, N ve Ş kodlu indikatörlerin renginde koyulaşma başlamıştır. Ayrıca, 5. günde, K kodlu indikatörün renginin pembemsi kırmızıdan pembeye, B kodlu indikatörün sarıdan yeşilimtırak sarıya ve M kodlu indikatörün ise kırmızıdan turuncuya döndüğü görülmüştür. 10. günde, N kodlu indikatörün rengi koyu kırmızıdan pembemsi kırmızıya, M kodlu indikatörün kenar kısımlarının maviye döndüğü ve diğer üç indikatörde ise (K, Ş ve M kodlu indikatörler) belirgin bir renk değişikliği tespit edilmemiştir. Depolamanın 15. gününde, K kodlu indikatörün pembeden pembemsi maviye, B kodlu indikatörün yeşilimtırak maviden maviye döndüğü gözlenmiştir. Diğer üç indikatörde (N, Ş ve M kodlu indikatörler) ise belirgin bir renk farklılığı tespit edilmemiştir (15. günde). 20. günde, N kodlu indikatörün pembemsi kırmızıdan griye, K kodlu indikatörün pembemsi maviden maviye ve Ş kodlu indikatörün kırmızıdan mora döndüğü görülürken B ve M kodlu indikatörlerin renklerinde ise belirgin bir değişiklik tespit edilmemiştir.

Tablo 5.14. Depolama boyunca (4°C, 20 gün) dana kıymasının modifiye atmosferde (%70 O₂ + %20 CO₂ + %10 N₂) paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler


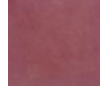
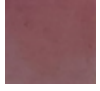
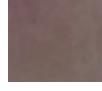
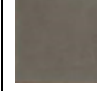

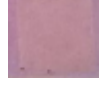

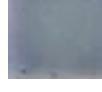
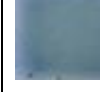
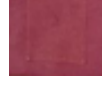
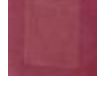













Gruplar	Günler				
	0	5	10	15	20
N					
K					
Ş					
B					
M					

pH:2,75'e ayarlanmış bromtimol mavisi boyasının dana filetosunun atmosferik oksijenle paketlenmesinde akıllı etiket olarak kullanıldığı bir çalışmada, depolama boyunca (25°C, 24 saat) bromtimol mavisi katkılı kağıt indikatör renginin turuncudan mavimsi yeşilimtırak renge dönüştüğü belirtilmiştir (Dirpan ve diğ., 2022). Ghorbani ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise, polilaktik asit/polietilen glikol/kalsiyum bentonit ve ebeğümeci ekstraktı katkılı bir indikatör geliştirilmiş ve depolama boyunca (4°C, 10 gün) indikatör renginin pembemsi kırmızıdan maviye dönüştüğü (depolamanın 6. gününden sonra renk değişiklikleri gözlenmiş) bildirilmiştir.

5.4.2 Tavuk Göğüs Filetolarının Modifiye Atmosferde Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi

Depolama boyunca indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler Tablo 5.15'te verilmiştir. 0. günde doğal boya olarak kullanılan nar (N), kırmızı lahana suları (K) ve şalgam suyu (Ş) katkılı indikatörlerin benzer pembemsi-kırmızı renge, bromkresol yeşilinin (B) sarı, metil kırmızısının (M) ise kırmızı renkte olduğu gözlenmiştir. Depolamanın 5. gününde, N ve Ş kodlu indikatörlerde belirgin bir renk farklılığı gözlenmezken K kodlu indikatörün pembemsi kırmızıdan açık pembeye döndüğü görülmüştür. Ayrıca, 5. günde, B kodlu indikatörün sarıdan yeşilimtırak maviye, M kodlu indikatörün ise kırmızıdan açık turuncuya döndüğü gözlenmiştir. 10. günde, N kodlu indikatör renginin pembemsi kırmızıdan koyu pembeye, K kodlu indikatörün açık pembeden maviye, Ş kodlu indikatörün koyu kırmızıdan mora, B kodlu indikatörün ise yeşilimtırak maviden maviye döndüğü gözlenmiştir. M kodlu indikatörde ise belirgin bir renk değişikliği tespit edilmemiştir (10. günde). 15. günde, N kodlu indikatörün koyu kırmızıdan griye döndüğü görülürken diğer dört indikatörün (K, Ş, B ve M kodlu indikatörler) renklerinde bariz bir değişiklik tespit edilmemiştir. Depolamanın 20. gününe gelindiğinde, doğal ve yapay boya katkılı indikatörlerin renklerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir.

Tablo 5.15. Depolama boyunca (4°C, 20 gün) tavuk göğüs filetosunun modifiye atmosferde (%70 N₂ + %30 CO₂) paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler

Gruplar	Günler				
	0	5	10	15	20
N					
K					
Ş					
B					
M					






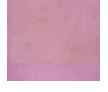
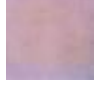



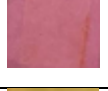
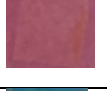
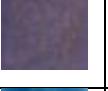
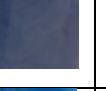











Dena ve diğ. (2021) tarafından üretilen kâğıt indikatörün (bromtimol mavisi ve bromkresol moru boyası katkılı indikatör) depolama süresine bağlı olarak (bromtimol mavisi katkılı indikatör rengi önce sarı sonra yeşil ve daha sonra ise maviye; bromkresol moru katkılı indikatör rengi ise önce sarı sonra pembe ve daha sonra ise mor bir renge dönüşmüştür) önemli renk değişikliğine uğradığı tespit edilmiştir. Sappan ağacı ekstraktının tavuk etinin atmosferik oksijenle paketlenmesinde akıllı etiket olarak kullanıldığı bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 7 gün) indikatör renginin turuncudan pembeye döndüğü belirtilmiştir (Kurniawan ve diğ., 2021).

5.4.3 Alabalık Filetosunun Modifiye Atmosferde Paketlenmesinde Kullanılan İndikatörlerin Renginde Meydana Gelen Değişikliklerin İncelenmesi

Depolama boyunca indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler Tablo 5.16'da verilmiştir. 0. günde doğal boya olarak kullanılan nar (N), kırmızı lahana suları

(K) ve şalgam suyu (Ş) katkıli indikatörlerin benzer pembemsi-kırmızı renge, bromkresol yeşilinin (B) sarı, metil kırmızısının (M) ise kırmızı renkte olduğu gözlenmiştir. Depolamanın 5. gününde, N kodlu indikatörün açık kırmızıdan koyu kırmızıya ve K kodlu indikatörün ise pembemsi kırmızıdan pembemsi maviye döndüğü gözlenirken Ş kodlu indikatörün açık kırmızıdan koyu kırmızıya döndüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, 5. günde, B kodlu indikatörün sarıdan yeşilimtırak maviye, M kodlu indikatörün ise kırmızıdan turuncuya döndüğü görülmüştür. 10. günde, N kodlu indikatörün rengi koyu kırmızıdan pembemsi kırmızıya, K kodlu indikatörün pembemsi maviden maviye Ş kodlu indikatörün ise koyu kırmızıdan morumsu kırmızıya döndüğü gözlenmiştir. Ayrıca, B kodlu indikatörün yeşilimtırak maviden maviye döndüğü gözlenirken M kodlu indikatörün renginde ise bariz bir farklılık tespit edilmemiştir. Depolamanın 15. gününde, N kodlu indikatörün pembemsi kırmızıdan yeşile, K kodlu indikatörün ise pembemsi maviden maviye dönüştüğü gözlenirken diğer üç indikatörde (Ş, B ve M kodlu indikatörler) ise belirgin bir renk değişikliği tespit edilmemiştir (15. günde). 20. güne gelindiğinde ise, doğal ve yapay boya katkıli indikatörlerin renklerinde bariz bir değişiklik tespit edilmemiştir.

Tablo 5.16. Depolama boyunca (4°C, 20 gün) alabalık filetosunun modifiye atmosferde (%70 N₂ + %30 CO₂) paketlenmesinde kullanılan indikatörlerin renginde meydana gelen değişiklikler

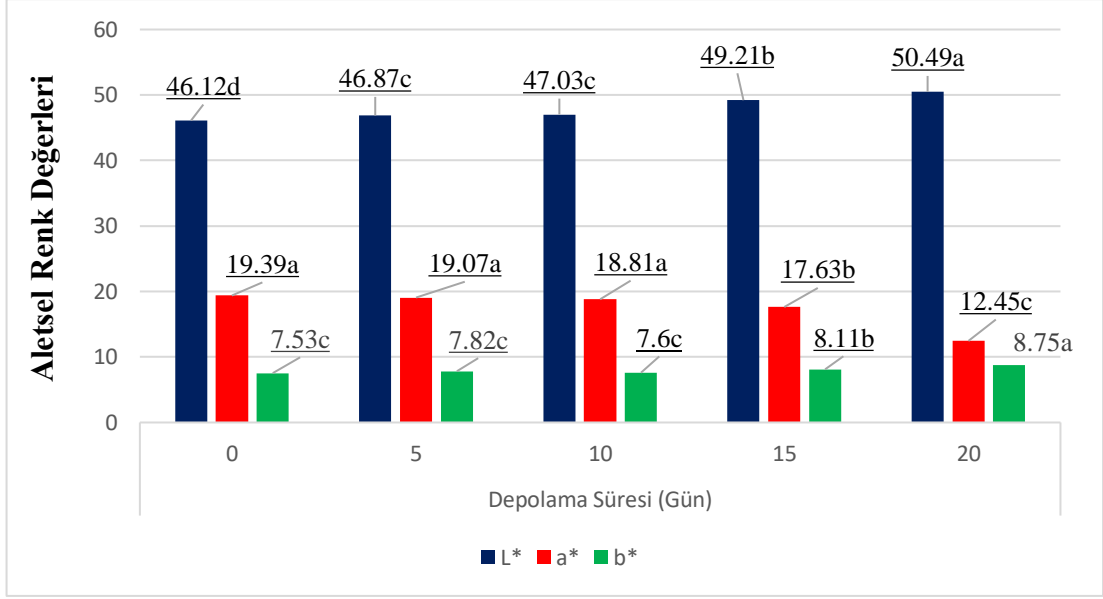
Gruplar	Günler				
	0	5	10	15	20
N					
K					
Ş					
B					
M					

Morina balık filetolarının modifiye atmosferde paketlenmesinde akıllı etiket olarak bromfenol mavisi katkılı bir film indikatörü kullanılmış ve depolama boyunca (4°C, 7 gün) film renginin önce sarı sonra gri ve en son maviye döndüğü bildirilmiştir (Wells ve diğ., 2019). Ton balığı filetosunun atmosferik oksijenle paketlenmesinde metil kırmızısı ve bromtimol mavisi boyalarının bire bir oranında karıştırılmasıyla oluşan bir tazelik indikatörü geliştirilmiş ve depolama boyunca indikatör renginin turuncudan sarıya döndüğü tespit edilmiştir (Yolanda ve diğ., 2020).

5.4.4 Renk Değerleri (L*, a* ve b*) Sonuçları

5.4.4.1 Dana Kıymasının Renk Değeri Sonuçları

Dana kıymasının aletsel renk değerleri (L*, a* ve b*) Şekil 5.30'da verilmiştir. Dana kıymasındaki L* (parlaklık) değerleri 46,12 ile 50,49 arasında değişkenlik göstermiştir. Depolamanın başlangıcında dana kıymasının parlaklık değeri 46,12 olarak bulunmuştur. Depolamanın 5. günü (46,87) ile depolamanın 10. günü (47,03) arasındaki parlaklık değerlerinin istatistiksel açıdan birbirine benzer olduğu saptanmıştır (P>0,05). 10. günden (47,03) 15. güne gelindiğinde, dana kıymasındaki parlaklığın arttığı ve 49,21 seviyelerine yükseldiği gözlenmiştir (P<0,05). Depolamanın sonunda örneklerdeki parlaklık değerinin 50,49 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Depolama boyunca dana kıymalarında parlaklık değerlerindeki artışın mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak açığa çıkan çeşitli uçucu bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, modifiye atmosferde paketlenen dana kıymalarında hem mikrobiyal hem de enzimatik aktivite sonucu açığa çıkan metabolik su beraberinde myoglobini de çözerek ambalaj malzemesinin altına yerleştirilen et pedi tarafından absorbe edilmekte ve bu durumun bir sonucu olarak rengin açılmasına dolayısıyla da etin parlaklık değerinde önemli artışlara neden olabilmektedir.



a, b, c, d: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

Şekil 5.30. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Dana Kıymalarının Aletsel Renk Değerinde (L^* , a^* ve b^*) Meydana Gelen Değişiklikler

Dana bifteklerinin modifiye atmosferde paklendiği (**MAP-1:** %20 O_2 + %20 CO_2 + %60 N_2 ; **MAP-2:** %40 O_2 + %20 CO_2 + %40 N_2 ; **MAP-3:** %60 O_2 + %20 CO_2 + %20 N_2 ; **MAP-4:** %80 O_2 + %20 CO_2) bir çalışmada, depolama boyunca proteinlerin oksidasyonu ve proteinlerin kimyasal yapılarında meydana gelen değişikliklerden dolayı bifteklerdeki L^* değerinin arttığı ve en büyük artışın MAP-4 kodlu örnek grubunda olduğu bildirilmiştir (Lu ve diğ., 2020b). Mevcut tez çalışmasının aksine, vakum ve 4 farklı gaz kompozisyonlarıyla modifiye atmosferde paketlenen (%80 O_2 + %20 CO_2 ; %60 O_2 + %30 CO_2 + %10 N_2 ; %40 CO_2 + %60 N_2 ; %30 CO_2 + %70 Ar) dana etlerinin renk değerinde meydana gelen değişikliklerin incelendiği bir çalışmada ise, modifiye atmosferde paketlenen örneklerde depolamanın 14. gününe kadar bir artış daha sonra ise azalış gözlenirken vakum paketlenen et örneklerinde ise depolamanın 7. gününe kadar bir artış daha sonra ise bir düşüşün olduğu belirtilmiştir (Smiecinska ve Daszkiewicz, 2020).

Modifiye atmosferde paketlenmiş dana kıyması örneklerinin a^* (kırmızılık) değerleri Şekil 5.30'da verilmiştir. Depolamanın başlangıcında örneklerin kırmızılık değeri 19,39 olarak bulunmuştur. 0. günden 10. güne gelindiğinde, kırmızılık

değerinin önce 19,07'ye (5. gün) ve daha sonra da 18,81'e (10. gün) düştüğü görülmüş ancak bu düşüşün istatistiksel açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). Depolama boyunca örneklerin kırmızılık değerinde önemli düşüşlerin gerçekleştiği ve bu düşüşün özellikle 15. günden sonra daha fazla olduğu (17,63'den 12,45'e düşmüştür) görülmüştür. a^* değerindeki azalışın öncelikle myogloblin oksidasyonuna daha sonra ise açığa çıkan metabolik suyun ortamı seyreltmesiyle alakalı olduğu düşünülmektedir (EK-4'te görüldüğü üzere, dana kıymalarındaki renk değişimi açıkça gözlenmektedir).

Dana bifteklerinin 3 farklı yöntemle (vakum, **MAP-1**: %80 O₂ ve %20 CO₂; **MAP-2**: %0,40 CO, %30 CO₂ ve %69,60 N₂) paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 14 gün) MAP-1 kodlu örneklerin kırmızılık değerinde önce bir artış daha sonra ise kısmi düşüş, MAP-2 kodlu örneklerde ise mikrobiyal bozulmaya bağlı olarak önemli bir artış (23,27'den 29,83'e) görülürken ($P<0,05$) vakum paketlenen örneklerde ise belirgin ($P<0,05$) bir azalışın (23,27'den 17,51'e) gerçekleştiği belirtilmiştir (Yang ve diğ., 2021). Yang ve diğ. (2022) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, dana filetoları modifiye atmosferde paketlenmiş ve depolama boyunca dana filetolarının kırmızılık değerinde (depolamanın ilk 10 gününe kadar) önce bir artış daha sonra ise bir düşüşün (depolamanın 10. gününden depolamanın sonuna kadar) meydana geldiği bildirilmiştir.

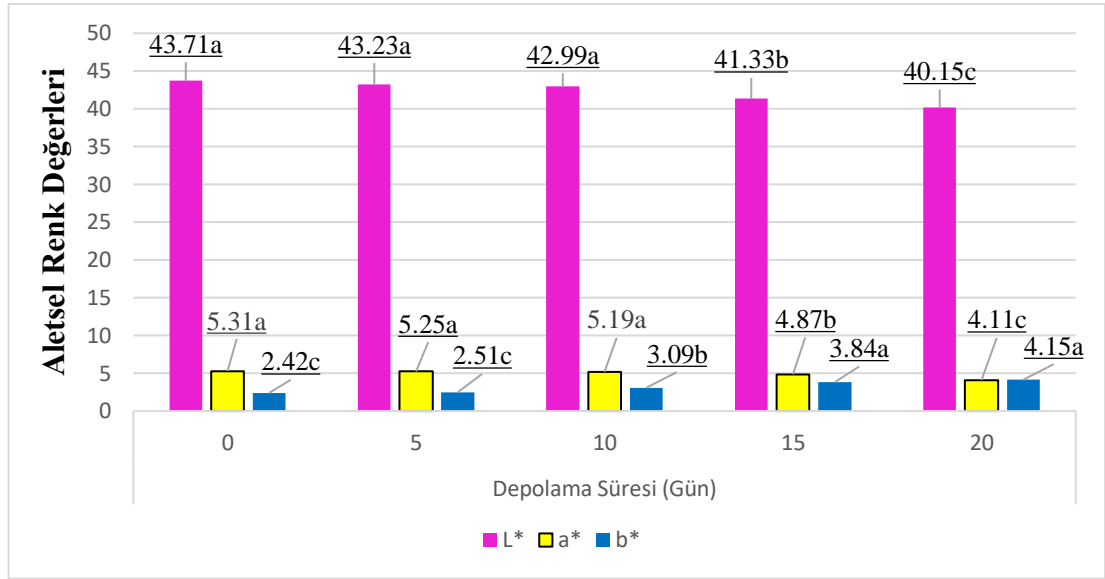
Depolama boyunca (4°C, 20 gün) modifiye atmosferde paketlenmiş dana kıyması örneğinin b^* (sarılık) değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.30'da verilmiştir. Depolamanın başlangıcında dana kıymasındaki sarılık değeri 7,53 olarak bulunmuştur. İlk 10 güne kadar kıyma örneklerinin sarılık değerlerinde önce bir artış (7,53'ten 7,82'ye yükselmiş) daha sonra ise bir düşüş (7,82'den 7,60'a düşmüştür) görülmüş ancak yaşanan bu dalgalanmanın istatistiksel açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). 10. günden itibaren dana kıymalarındaki sarılık değerlerinde önemli artışların olduğu ($P<0,05$) ve depolamanın sonunda 8,75 seviyesine geldiği gözlenmiştir. En yüksek sarılık değerine depolamanın sonunda ulaşıldığı ve depolama boyunca kıyma örneklerinin sarılık değerinde meydana gelen değişikliğin a^* değerine benzer şekilde myogloblin oksidasyonunun kompleks reaksiyonlarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Farklı gaz karışımları altında (%80 O₂ ve %20 CO₂; %0,4 CO, %69,6 N₂ ve %30 CO₂) modifiye edilen dana bifteklerinin fizikokimyasal özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin araştırıldığı bir çalışmada depolama boyunca (2°C, 20 gün) örneklerin sarılık değerlerinde önce bir artış daha sonra ise bir azalışın gerçekleştiği bildirilmiştir (Yang ve diğ., 2018). Shah ve diğ. (2015) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, dana etleri modifiye atmosferde (%80 O₂ ve %20 CO₂) paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 12 gün) etlerdeki sarılık değerinin 20,10'dan 16,32 değerine düştüğü ve bu düşüşün istatistiksel açıdan anlamlı olduğu belirtilmiştir (P<0,05). Literatür incelendiğinde, farklı koşullar altında modifiye edilen dana etlerinin b* değerlerinin farklı şekillerde değişkenlik gösterdiği ve bu değişkenliğin daha çok myoglobin oksidasyonuna atfedildiği belirlenmiştir. Ancak, b* değerinin sadece myoglobine bağlı olarak değil aynı zamanda etin karkasın hangi bölgesinden alındığına, hayvanın yaşına, cinsiyetine, beslenme koşullarına bağlı olarak değişebileceği de unutulmamalıdır.

5.4.4.2 Tavuk Göğüs Filetolarının Renk Değeri Sonuçları

Tavuk göğüs etinin aletsel renk değerleri (L*, a* ve b*) Şekil 5.31'de verilmiştir. Tavuk göğüs etlerindeki L* değeri 40,15 ile 43,71 arasında değişkenlik göstermiştir. Tavuk göğüs filetolarında en yüksek parlaklık değeri (43,71) depolamanın başlangıcında tespit edilmiştir. 0. günden 10. güne kadar örneklerdeki parlaklık değerinin önce 43,23'e (5. gün) ve daha sonra da 42,99'a (10. gün) düştüğü gözlenmesine rağmen bu düşüşün istatistiksel açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir (P>0,05). 10 ve 15. günlerde, örneklerin L* değerinde azalış trendi devam etmiş ve bu azalış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0,05). Depolamanın sonuna gelindiğinde ise, parlaklığın 40,15'e gerilediği ve ulaşılan bu değer başlangıçtan düşük olduğu gözlenmiştir. Modifiye atmosferde ambalajlama sırasında ortamın gaz kompozisyonu değiştiği için mikrobiyolojik ve fizikokimyasal değişiklikler sınırlanmaktadır. Atmosferik oksijen altında özellikle mikrobiyal gelişim hızı yüksek olduğu için açığa çıkan metabolik su fazla miktarda oluşmakta ve bunun sonucu olarak da paketin altına yerleştirilen su tutucu et pedi yeterli gelmemiştir. Oysa modifiye atmosferde ambalajlanan örneklerde su et pedi tarafından kolaylıkla hapsedilmiştir.

Sonuç olarak, MAP ile paketlenmiş tavuk göğüs etlerinde yüzey kurumasına bağlı olarak parlaklıkta bir azalma gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.



a, b, c: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

Şekil 5.31. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Tavuk Göğüs Filetolarının Aletsel Renk (L^* , a^* ve b^*) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Tavuk göğüs etlerinin atmosferik oksijen ve modifiye atmosferde (%30 N_2 ve %70 CO_2) paklendiği bir çalışmada, atmosferik oksijen ve modifiye atmosferde paketlenen örneklerdeki L^* değerlerinin depolamanın başlangıcında sırasıyla 54,20 ve 56,77 olduğu tespit edilmiş ve depolama boyunca (4°C , 12 gün) örneklerdeki parlaklık değerlerinin kademeli bir şekilde azaldığı ve depolamanın sonunda 49,48-49,55 seviyelerine gerilediği bildirilmiştir (Jaspal ve diğ., 2021). Kandeepan ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, tavuk but etleri atmosferik oksijen ve modifiye atmosferde (**MAP0:** %0 O_2 + %20 CO_2 + %80 N_2 ; **MAP10:** %10 O_2 + %40 CO_2 + %50 N_2 ; **MAP20:** %20 O_2 + %30 CO_2 + %50 N_2) paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C , 15 gün) atmosferik oksijenle paketlenen örneklerin parlaklık değerinde önemli artışlar yaşanırken (P<0,05) modifiye atmosferde paketlenen örneklerde ise belirgin farklılıklar tespit edilmemiştir (P>0,05).

Depolama boyunca modifiye atmosferde paketlenen tavuk göğüs filetolarının a^* (kırmızılık) değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.31'de verilmiştir.

Başlangıçta tavuk göğüs filetolarındaki kırmızılık değerinin 5,31 olduğu ve depolamanın ilk on gününe kadar bu değer önce 5,25'e ve daha sonra da 5,19'a düştüğü gözlenmiş ancak bu düşüşlerin istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). Depolamanın 10. gününden sonra ise örneklerin kırmızılık değerindeki düşüşün istatistiki açıdan önemli olduğu ($P<0,05$) ve depolamanın sonunda a^* değerinin 4,11'e ulaştığı belirlenmiştir. Depolama boyunca tavuk göğüs filetosunun a^* değerinde %22,60'lık bir azalma gözlenmişken bu değer dana kıymalarında %35,88 olmuştur. Myoglobin bakımından dana etinin daha zengin olduğu düşünüldüğünde tavuk etinde a^* değerindeki azalışın sınırlı kalması beklenen bir sonuçtur. Ortaya çıkan bu azalışın yine de myoglobin oksidasyonu kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Tavuk kıymasının farklı paketlenme yöntemleri (atmosferik oksijen, **MAP-1:** %80 O₂ + %20 CO₂; **MAP-2:** %0,4 CO + %19,60 CO₂ + %80 N₂) kullanılarak paketlenen bir çalışmada, depolama boyunca (2°C, 4 gün) modifiye atmosferde paketlenen kıymaların kırmızılık değerlerinde kısmi artışların olduğu gözlenirken (oksimyoglobine ve karboksimyoglobin miktarındaki artışa bağlı olarak), atmosferik oksijenle paketlenen et örneklerinde ise önemli düşüşlerin yaşandığı ($P<0,05$) belirtilmiştir (Hearn ve diğ., 2021). Nauman ve diğ. (2022) tarafından bir diğer çalışmada ise, atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde (%40 CO₂ + %60 N₂; %20 CO₂ + %40 CO₂ + %40 N₂) paketlenen tavuk göğüs filetolarındaki kırmızılık değerlerinin 9,26 ile 14,48 arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca (4°C, 10 gün) tüm tavuk göğüs filetolarındaki kırmızılık değerlerinde bir dalgalanmanın olduğu ($P>0,05$) bildirilmiştir.

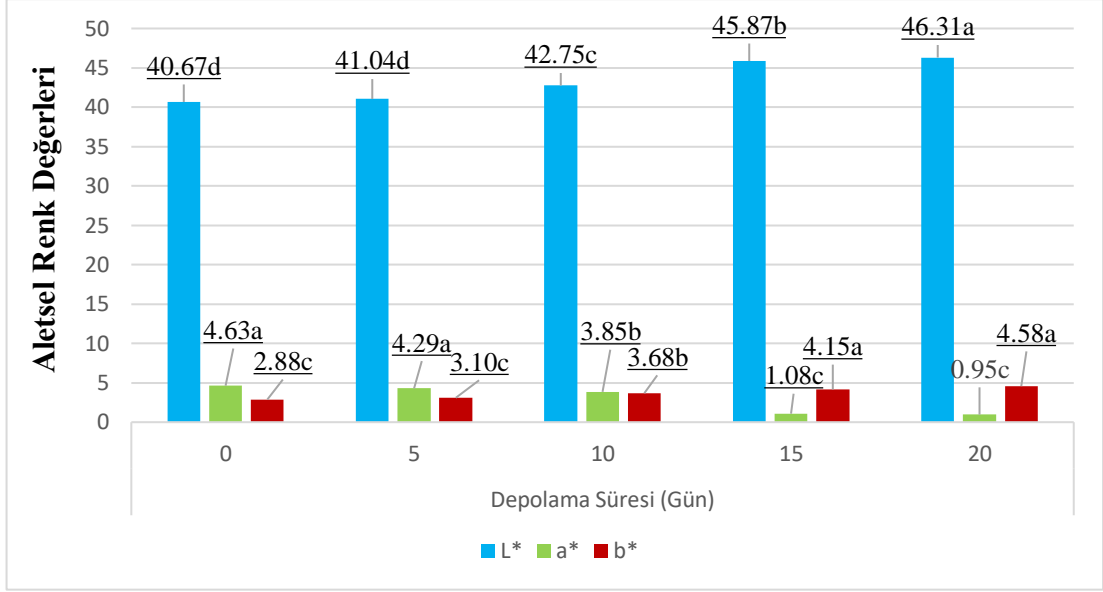
Depolama boyunca tavuk göğüs filetolarının b^* (sarılık) değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.31'de verilmiştir. Tavuk göğüs filetolarındaki sarılık değerleri 2,42 ile 4,15 arasında değişkenlik göstermiştir. En düşük sarılık değerinin depolamanın başlangıcında gözlendiği (2,42) ve depolama boyunca örneklerin sarılık değerlerinde önemli artışların ($P<0,05$) yaşandığı tespit edilmiş olup 20. günde (4,15) en yüksek sarılık değerine ulaşılmıştır. 0. günden 5. güne gelindiğinde örneklerin b^* değeri 2,42'den 2,51'e yükselmesine rağmen bu değişim istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($P>0,05$). 10. günde sarılık artmaya devan ederek hem 5 hem de 15. günden farklılık arz etmiştir ($P<0,05$). Yine 15. günden (3,84) 20. güne (4,15)

gelindiğinde, örneklerdeki sarılık değerinin artmaya devam ettiği ancak bu artışın anlamlı olmadığı görülmüştür ($P>0,05$).

Tavuk etlerinin farklı yöntemlerle (aktif ve modifiye atmosferde paketlenme [M1: %10 O₂, %30 CO₂ ve %60 N₂; M2: %30 CO₂ ve %70 N₂] paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 24 gün) tüm örneklerin sarılık değerlerinde önemli düşüşlerin yaşandığı ($P<0,05$) ve atmosferik oksijenle paketlenen örnekteki düşüşün daha fazla olduğu bildirilmiştir (Sivarajan ve diğ., 2017). Tavuk göğüs etlerinin atmosferik oksijenle paketlenildiği başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 5 gün) et örneklerinin sarılık değerleri 4,84'ten 6,57'ye yükselmesine rağmen bu yükselişin istatistiksel açıdan önemli olmadığı ($P>0,05$) belirtilmiştir (Takma ve Korel, 2019).

5.4.4.3 Alabalık Filetolarının Renk Değeri Sonuçları

Modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetolarının aletsel renk değerlerinde (L*, a* ve b*) meydana gelen değişimler Şekil 5.32'de verilmiştir. Başlangıçta, alabalık filetosunun parlaklık değerinin 40,67 olduğu gözlenmiştir. 5. güne (41,04) gelindiğinde alabalık filetosunun parlaklık değerinde bir artış görülmesine rağmen bu artış istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($P>0,05$). Depolamanın 10. gününden (42,75) itibaren örneklerin L* değerinde devam edegelen artışın önemli olduğu ($P<0,05$) ve depolamanın sonunda 46,31 seviyesine ulaşıldığı görülmüştür. Dana ve tavuk etleriyle karşılaştırıldığında, su ürünlerinin su aktivitesi ve pH değerlerinin yüksek olması nedeniyle mikrobiyal bozulmaya daha meyilli oldukları ve hızlı bozulma neticesinde ortaya çıkan mikrobiyal metabolitlerin parlaklığın artışı üzerine etkili oldukları düşünülmektedir.



a, b, c, d: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0,05$)

Şekil 5.32. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Alabalık Filetolarının Aletsel Renk (L^* , a^* ve b^*) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Taze somon balık filetolarının modifiye atmosferde (%60 CO_2 ve %40 N_2) pakletildiği bir çalışmada, L^* değerinin 56,50 ile 64,40 arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca (4°C , 20 gün) örneklerdeki parlaklığın arttığı (proteinlerin denatürasyonuna ve örneklerden ışığın yansımaya bağlı olarak) bildirilmiştir (Chan ve diğ., 2021). Hosseini ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C , 16 gün) atmosferik oksijenle paketlenen gökkuşağı alabalık filetolarındaki parlaklık değerinin kademeli bir şekilde azaldığı belirtilmiştir.

Modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetolarının a^* (kırmızılık) değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.32’de verilmiştir. Depolamanın başlangıcında alabalık filetosunun kırmızılık değeri 4,63 olarak bulunmuştur. Depolama boyunca alabalık filetolarındaki kırmızılık değerinin kademeli bir şekilde azaldığı ve bu azalışın istatistiksel açıdan önemli olduğu görülmüştür ($P < 0,05$). 0. gün (4,63) ile 5. gün (4,29) arasındaki kırmızılık değerlerinin istatistiksel açıdan benzer oldukları saptanmıştır ($P > 0,05$). Ayrıca, depolamanın 15. gününden depolamanın sonuna gelindiğinde alabalık filetolarındaki kırmızılığın 1,08’den 0,95 seviyesine

gerilediği ancak bu gerilemenin önemli olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). Genel anlamda, depolama boyunca örneklerin kırmızılık değerinde düşüş görülmesine rağmen en büyük düşüşün 10. günden (3,85) 15. güne (1,08) geldiğinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Depolamanın sonunda, mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak alabalık filetosunun yüzeyinde yer yer yeşillenmelerin olduğu ve bu durumun örneklerin a^* değerine belirgin bir şekilde yansiyarak bu değer in sıfıra gerilemesi şeklinde tezahür ettiği gözlenmiştir.

Vakum paketlenmiş gökkuşuğu alabalık filetolarında kırmızılık değerinin 3,00 ile 4,55 arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca (2°C , 16 gün) örneklerin kırmızılık değerinde önemli düşüşlerin olduğu ($P<0,05$) bildirilmiştir (Karsli ve diğ., 2021). *Balistes capriscus* cinsi balık filetolarının atmosferik oksijen altında, vakum ve modifiye atmosferde (%30 N_2 + %40 CO_2 + %30 O_2) ve paketlenildiği bir diğer çalışmada ise; depolama boyunca (4°C , 15 gün) atmosferik oksijen altında paketlenen örneklerin kırmızılık değerinde belirgin artışlar görülmesine ($P<0,05$) rağmen vakum ve modifiye atmosferde paketlenen balık filetolarında ise önce artış sonra düşüş daha sonra ise kısmi artışların olduğu belirtilmiştir (Estevez ve diğ., 2021a).

Depolama boyunca modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetolarının b^* (sarılık) değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.32’de verilmiştir. Alabalık filetolarının sarılık değerleri 2,88 ile 4,58 arasında değişkenlik göstermiştir. Depolamanın başlangıcında, b^* değerinin 2,88 olduğu ve depolamanın 5. gününe geldiğinde bu değer in biraz daha artarak 3,10 seviyesine ulaştığı görülmüştür ($P>0,05$). 10. günden (3,68) 15. güne (4,15) geldiğinde b^* değerindeki artışın sürdüğü ve bu artışın istatistiksel açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir ($P<0,05$). 15. gün (4,15) ile 20. gün (4,58) arasındaki sarılık değerlerinin istatistiksel açıdan benzer oldukları saptanmıştır ($P>0,05$). Depolama boyunca alabalık filetosunun sarılık değerinde meydana gelen artışın lipid ve protein oksidasyonu ile birlikte mikrobiyal aktivitenin kombinasyonu sonucunda olduğu düşünülmektedir.

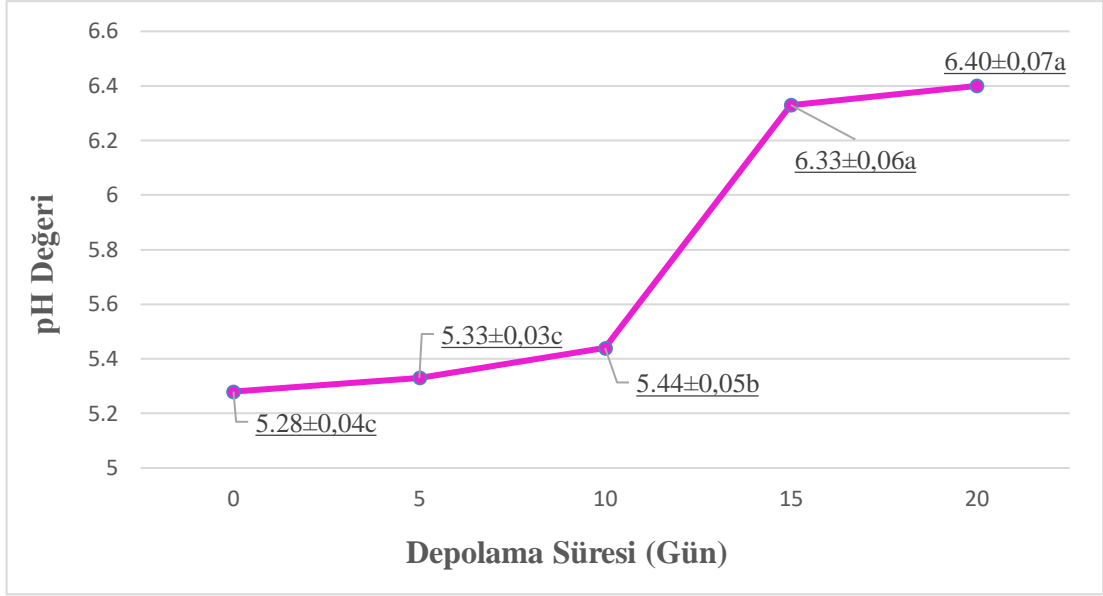
Mevut tez çalışmanın aksine, modifiye atmosferde (%100 CO_2) paketlenen somon balık filetolarının depolanması sırasında (2°C , 28 gün) örneklerin sarılık değerinde meydana gelen belirgin düşüşlerin lipid oksidasyonu ürünlerinden aldehitlerin proteinlerin amino gruplarıyla reaksiyona girmesinden kaynaklandığı bildirilmiştir (Merlo ve diğ., 2019). Anavatanı Afrika’ya özgü olan *Oreschromis*

niloticus cinsi tatlı su balıklarının modifiye atmosferde (%0,4 nitrik oksit ve %99,60 N₂) paketlenildiği bir diğer çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 15 gün) örneklerdeki sarılık değerinin 8,72'den 5,25 seviyesine düştüğü ve bu düşüşün anlamlı olduğu (P<0,05) belirtilmiştir (Wang ve diğ., 2019b).

5.4.5 pH Sonuçları

5.4.5.1 Dana Kıymasının pH Sonuçları

Depolama sırasında (4°C, 20 gün) dana kıymasının pH değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.33'te verilmiştir. Depolamanın başlangıcında dana kıymasının pH'nın 5,28 olduğu ve depolama sırasında örneklerin pH değerinin genel olarak belirgin bir şekilde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ancak, 0. (5,28) ile 5. gün (5,33) arasında istatistiksel açıdan önemli bir farklılık saptanmamıştır (P>0,05). Yine depolamanın 15. gününden 20. gününe gelindiğinde, örneklerin pH değeri 6,33'den 6,40 seviyesine yükselmesine rağmen bu artış anlamlı bulunmamıştır (P>0,05). Özellikle 10. günden itibaren örneklerin pH değerinde yaşanan ciddi sıçramaya paralel olarak 15. günde paketin açılmasıyla birlikte ağır bir kokuşmanın varlığı duyuşsal olarak da tespit edilmiştir. Taze dana eti örneklerinde duyuşsal açıdan (koku, renk, tekstür gibi) olumsuz birtakım değişikliklerin başladığı pH'nın 6,20-6,30 ve üzeri olduğu bilinmektedir (Öztañ, 2003). Ayrıca, 20. günde metil kırmızısı indikatörü haricinde diğer tüm indikatörlerin de renginin değişmesi mikrobiyal bozulmayı desteklemesi açısından önemli bulunmuştur.



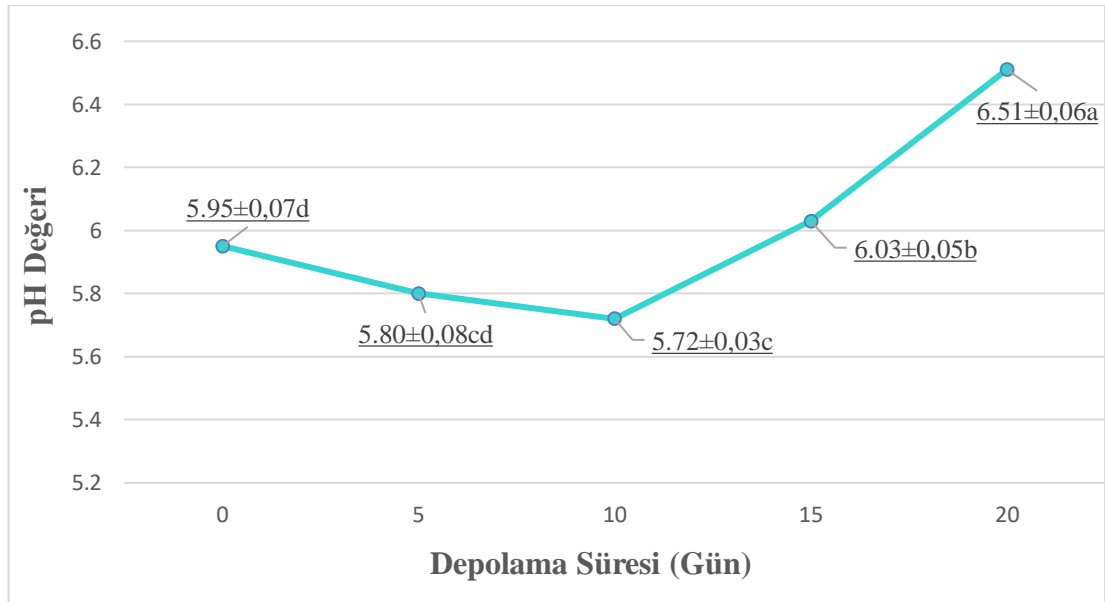
a, b, c: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0,05$)

Şekil 5.33. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Dana Kıymalarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Dana bifteklerinin modifiye atmosferde ($\%70 \text{ O}_2 + \%20 \text{ CO}_2 + \%10 \text{ N}_2$) paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C , 21 gün) örneklerdeki pH değerinin başlangıçta 5,65 olduğu ve depolamanın 8. gününe kadar önce bir düşüş daha sonra önemli bir artışın olduğu ($P < 0,05$) bildirilmiştir (Hilgarth ve diğ., 2018). Yang ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise, dana biftekleri vakum ve modifiye atmosferde ($\%50 \text{ O}_2 + \%30 \text{ CO}_2 + \%20 \text{ N}_2$) paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C , 21 gün) örneklerin pH değerlerinde artışların olduğu ancak bu artışların anlamlı olmadığı ($P > 0,05$) belirtilmiştir. Başka bir çalışmada ise, dana bifteklerinin paketlenmesinde iki farklı gaz kompozisyonu ($\%80 \text{ O}_2 + \%20 \text{ CO}_2$; $\%0,4 \text{ CO} + \%30 \text{ CO}_2 + \%69,60 \text{ N}_2$) test edilmiş ve depolama boyunca (4°C , 20 gün) $\%0,4$ karbonmonoksit gazıyla paketlenen örneklerin pH değerlerinde ciddi artışların gerçekleşmediği, yüksek oksijenle paketlenen et örneklerinde ise belirgin artışların ($5,58$ 'den $5,63$ 'e) yaşandığı ($P < 0,05$) tespit edilmiştir (Yang ve diğ., 2020).

5.4.5.2 Tavuk Göğsü Filetolarının pH Sonuçları

Depolama sırasında tavuk göğüs etinin pH değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.34'te verilmiştir. Depolamanın başlangıcında tavuk göğüs etindeki pH'nın 5,95 olduğu ve depolamanın ilk 10 gününe kadar örneklerdeki pH'nın önemli bir şekilde azaldığı ($P<0,05$) ve bu azalışın tavuk etinin bileşiminde yer alan proteinlerin dekarboksilasyonu sonucunda açığa çıkan çeşitli asidik karakterli bileşiklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 5. gün (5,80) ile 10. gün (5,72) arasında pH değerleri açısından önemli bir farklılık bulunmamıştır ($P>0,05$). 10. günden 20. güne gelindiğinde ise, tavuk etlerindeki pH'nın 5,72'den (10. gün) önce 6,03'e (15. gün) ve oradan da 6,51'e (20. gün) yükseldiği ve bu yükselişin istatistiksel açıdan önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Dolayısıyla, depolama boyunca tavuk göğüs eti filetosunun pH değerindeki artışın mikrobiyal aktiviteden kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle 10. günden sonra, modifiye atmosferde paketlenen tavuk göğüs filetolarının ambalajı açıldığında ağır bir kokunun varlığı tespit edilmiş ve 10. günden sonra indikatör renklerinde meydana gelen değişikliklerin hem mikrobiyolojik (toplam psikrofilik aerobik, maya-küf ve toplam koliform canlı sayımı) hem de bazı fizikokimyasal (su aktivitesi, TVB-N) analizlerle de desteklendiği görülmüştür.



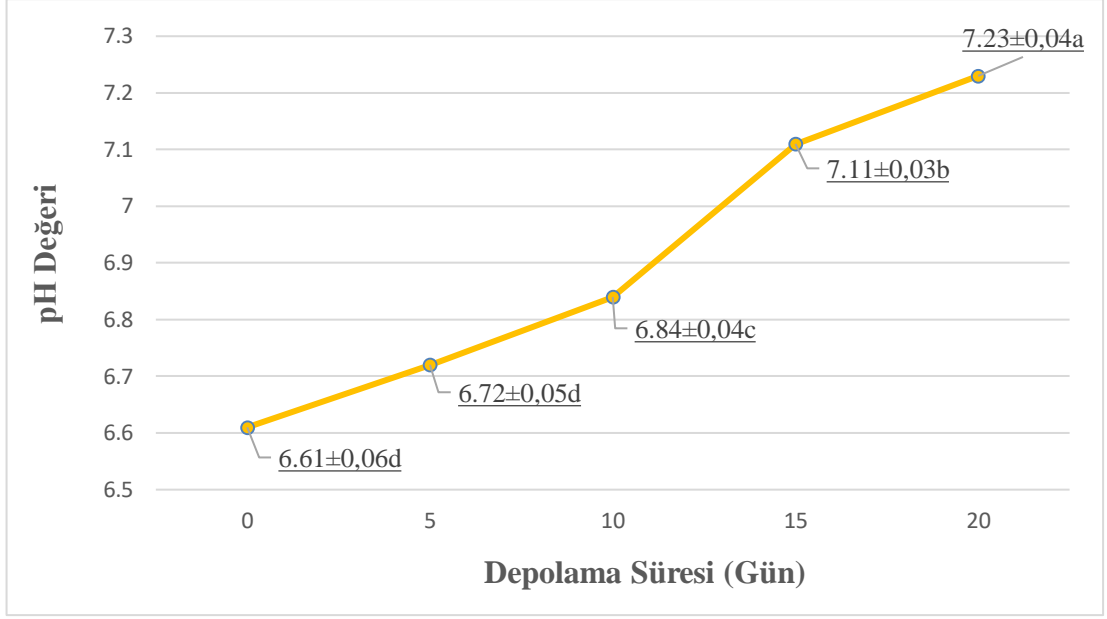
a, b, c, d: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

Şekil 5.34. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Tavuk Göğüs Filetolarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Tavuk göğüs etlerinin modifiye atmosferde paketlenmesi (%75 O₂ + %25 CO₂) bir çalışmada, depolama boyunca (2°C, 9 gün) pH'nın 5,90'dan 5,80'e düştüğü ve bu düşüşün paket içerisinde kalan karbondioksitin zamanla etin bünyesinde bulunan suyla reaksiyona girip karbonik aside dönüşümünden kaynaklandığı bildirilmiştir (Chmiel ve diğ., 2018). Hulankova ve diğ. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, tavuk göğüs etleri modifiye atmosferde paketlenmiş ve depolama boyunca (2°C, 14 gün) MAP-1 kodlu (%80 O₂ + %20 CO₂) örneklerin pH değerlerinin 6,02'den 6,05'e yükseldiği görülürken MAP-2 kodlu (%70 N₂ + %30 CO₂) örneklerdeki pH değerinin ise 5,87'den 5,79 seviyesine düştüğü ve bu düşüşün paket içindeki karbondioksitin etin yapısındaki su ile reaksiyona girip karbonik asidin oluşmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. 3 farklı şekilde modifiye atmosferde paketlenen (**M20**: %20 CO₂ + %80 N₂; **M60**: %60 CO₂ + %40 N₂; **M100**: %100 CO₂) tavuk göğüs etlerindeki pH değerlerinde önce bir artış daha sonra ise bir düşüşün anaerobik karakterli mikroorganizmaların ürettiği organik asitlerden kaynaklandığı belirtilmiştir (Wang ve diğ., 2022).

5.4.5.3 Alabalık Filetolarının pH Sonuçları

Depolama boyunca modifiye atmosferde (%30 CO₂ ve %70 N₂) paketlenen alabalık filetolarının pH değerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.35'te verilmiştir. Depolamanın başlangıcında örneklerin pH değerinin 6,61 olduğu tespit edilmiştir. 0. günden 5. güne gelindiğinde, pH 6,61'den 6,72'ye yükselmesine rağmen bu artış önemli bulunmamıştır (P>0,05). Sonraki günlerde, örneklerin pH değerinde önemli bir artışın olduğu (P<0,05), özellikle 10. günden sonra düzenli olarak artan pH depolamanın sonunda 7,23 olarak tespit edilmiştir. Balık etinin pH ve su aktivitesi değerinin diğer etlere (dana, tavuk, hindi eti) göre yüksek olması bu ürünün raf ömrünü sınırlandıran önemli kriterlerden biridir. Dolayısıyla, alabalık filetosu çok kısa bir sürede bozulmaya başlamış ve özellikle depolamanın 10. gününde (pH: 6,84) yoğun bir kokunun varlığı hissedilmiş ve bu durumun ürün pH'ını ve mikrobiyal yükünü (toplam psikrofil aerobik, maya-küf ve toplam koliform canlı sayımı) önemli oranda artırdığı tespit edilmiştir. Alabalık filetolarındaki pH artışının, mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak trimetil amin oksit bileşiğinin trimetil amine dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



a, b, c, d: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

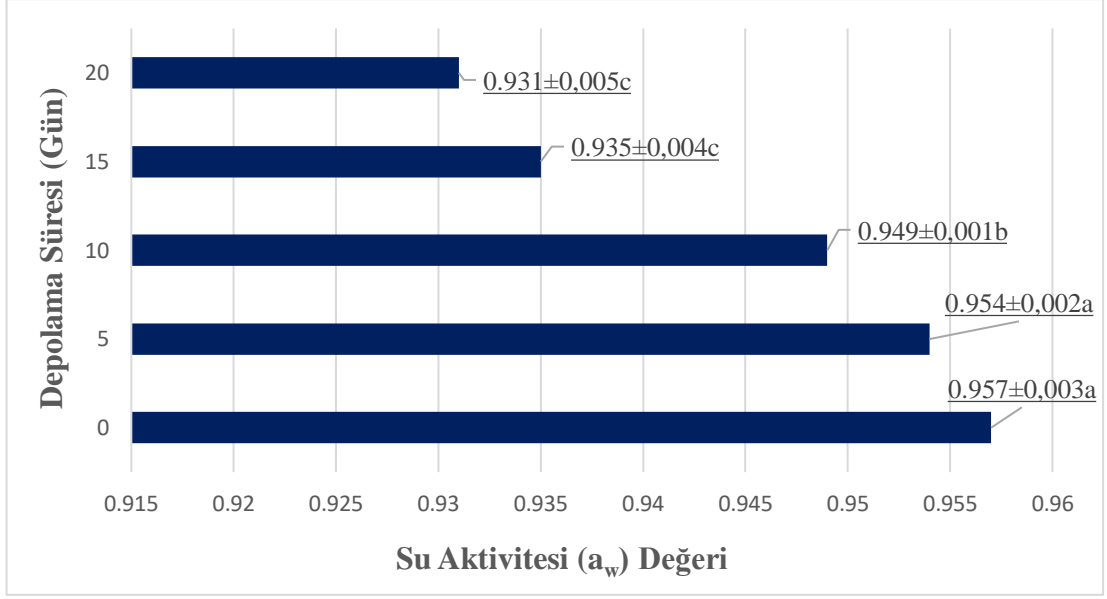
Şekil 5.35. Buzdolabı Koşullarında (4°C±1°C) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Alabalık Filetolarının pH Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

İşkine balık filetolarının vakum ve modifiye atmosferde (%50 CO₂ + %50 N₂) paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 15 gün) vakum paketlenen örneklerin pH değerleri 5,96'dan 6,10'a yükselirken (TVB-N artışına bağlı olarak) modifiye atmosferde paketlenen örneklerin pH değerlerinin ise 5,96'dan 5,92'ye düştüğü belirtilmiştir (Silbande ve diğ., 2018). Estevez ve diğ. (2021a) tarafından yapılan başka bir çalışmada, depolama boyunca vakum, atmosferik ve modifiye atmosferde (%30 N₂, %30 O₂ ve %40 CO₂) paketlenen *Balistes capriscus* cinsi balık filetolarının pH değerlerinde dalgalanmaların yaşandığı bildirilmiştir. Ot sazan balıklarının atmosferik oksijenle paketlenmesinde akıllı etiket olarak mor lahana ekstraktı katkılı kâğıt indikatörünün geliştirildiği başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 7 gün) indikatör renginin mordan maviye döndüğü ve örneklerdeki pH değerinin 6,10'dan 7,20'ye yükseldiği bildirilmiştir (Sun ve diğ., 2022).

5.4.6 Su Aktivitesi Sonuçları

5.4.6.1 Dana Kıymasının Su Aktivitesi Sonuçları

Soğuk muhafaza altında (4°C, 20 gün) modifiye atmosferde paketlenen dana kıymalarının su aktivitesi (a_w) değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.36'da verilmiştir. Başlangıçta örneklerdeki a_w değeri 0,957 olarak bulunmuş ve 10. güne kadar bu değer önce 0,954'e (5. günde) ardından da 0,949'a gerilediği görülmüştür. Ancak, 0. gün ile 5. gün arasında istatistiksel açıdan bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0,05$). Depolama boyunca örneklerdeki su aktivitesi değerinin azaldığı ve bu azalışın en çok 10. günden (0,949) 15. güne (0,935) gelindiğinde yaşandığı gözlenmiştir. 15. günden 20. güne gelindiğinde, dana kıymalarındaki a_w değeri 0,935'den 0,931 seviyesine gerilemesine rağmen bu değer istatistiksel açıdan benzer bulunmuştur ($P>0,05$). Depolamanın sonunda örneklerdeki a_w değerinin 0,931 seviyesine düştüğü görülmüştür. Depolama boyunca a_w 'deki azalışın ($P<0,05$) etlerin paketlenmesinde et pedi olarak kullanılan malzemenin zamanla gerek enzimatik gerekse de mikrobiyolojik aktivite sonucunda açığa çıkan metabolik suyu absorbe etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



a, b, c: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P < 0,05$)

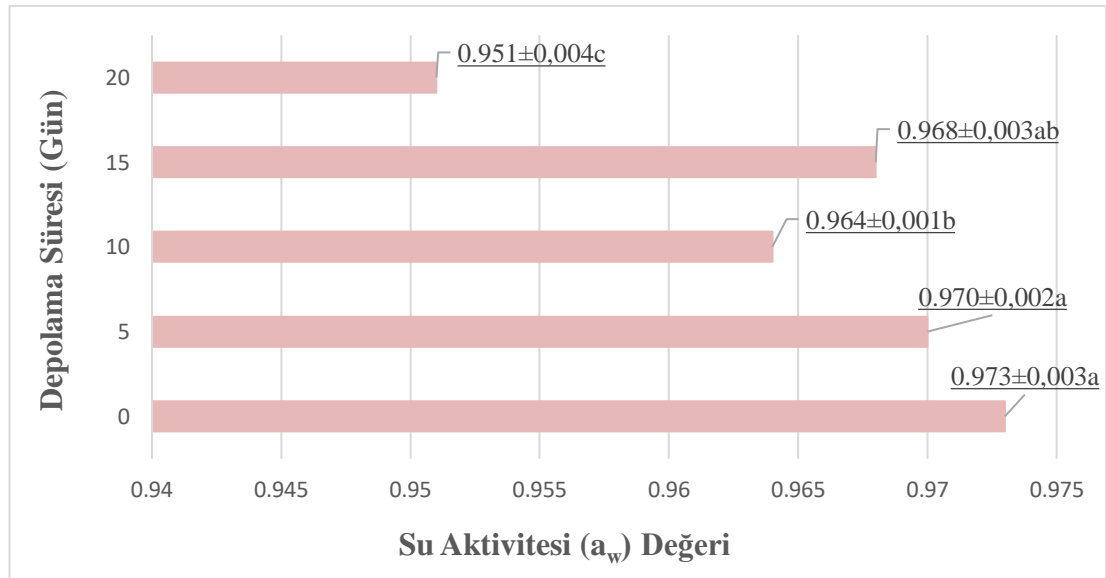
Şekil 5.36. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Dana Kıymalarının Su Aktivitesi (a_w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

İki farklı gaz kompozisyonu kullanılarak (%45 CO_2 + %20 CO_2 + %35 N_2 ; %20 CO_2 + %55 O_2 + %25 N_2) modifiye atmosferde paketlenen taze keçi etlerindeki a_w değerlerinin başlangıçta sırasıyla 0,969 ve 0,967 olduğu ve depolama boyunca (10°C , 14 gün) etlerdeki a_w değerinin 9. güne kadar arttığı (0,975 ve 0,972'lere yükselmiş), 9. günden sonra ise kısmi azalışların olduğu belirtilmiştir (Carrizosa ve diğ., 2017). Atmosferik oksijenle paketlenen dana bifteklerindeki su aktivitesinin başlangıçta 0,99 olduğu ve depolama boyunca (2°C , 32 gün) bifteklerdeki su aktivitesinin kademeli bir şekilde azalıp 0,72 seviyesine ulaştığı bildirilmiştir (McSharry ve diğ., 2021).

5.4.6.2 Tavuk Göğsü Filetolarının Su Aktivitesi Sonuçları

4°C 'de 20 gün süreyle modifiye atmosfer altında muhafaza edilen tavuk göğsü filetolarının su aktivitesi (a_w) değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.37'de verilmiştir. Tavuk göğsü filetolarındaki a_w değerleri 0,951 ile 0,973 arasında değişkenlik göstermiştir. Depolamanın başlangıcında örnekteki a_w değerinin 0,973

olduğu ve 5. gün (0,970) ile arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı görülmüştür ($P>0,05$). 5. günden 10. güne gelindiğinde, örneklerdeki a_w değerinin 0,970'den 0,964'e gerilediği ve bu gerilemenin önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). 10. günden 15. güne gelindiğinde ise, örneklerin a_w değeri 0,964'ten 0,968'e yükselmesine rağmen bu artış istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P>0,05$). a_w değeri üzerine depolama süresinin istatistiksel açıdan önemli olduğu ve (10. günden 15. güne gelindiğinde meydana gelen artış hariç) depolama boyunca tavuk göğüs filetosunun a_w değerinin anlamlı şekilde azaldığı belirlenmiştir. Depolama sırasında örneklerdeki a_w değerindeki düşüşün dana kıymasına benzer şekilde mikrobiyal aktivite sonucu açığa çıkan metabolik suyun et pedi tarafından absorbe edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



a, b, c: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

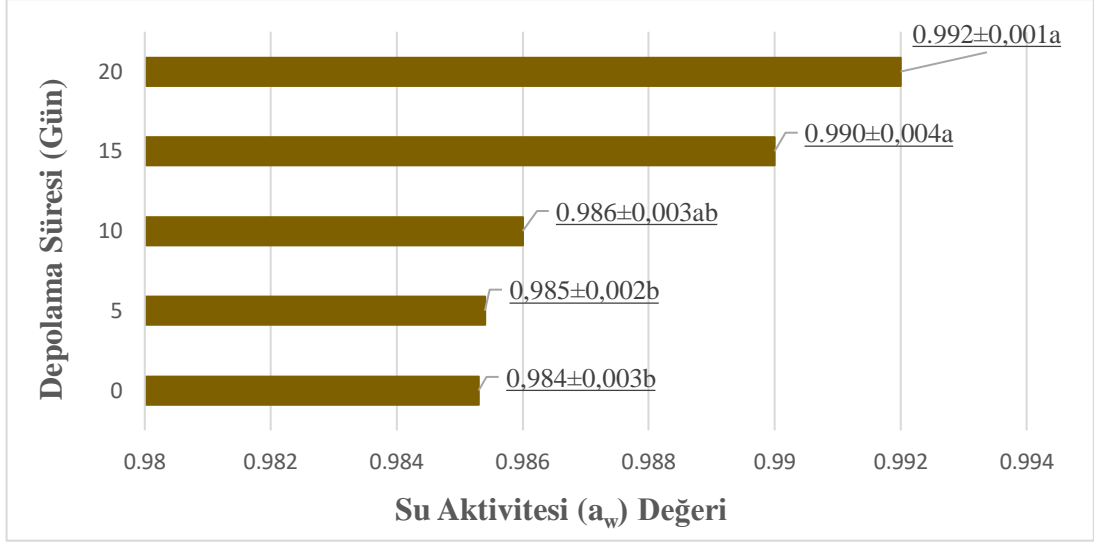
Şekil 5.37. Buzdolabı Koşullarında ($4^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Tavuk Göğüs Filetolarının Su Aktivitesi (a_w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Mathew ve diğ. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, depolama boyunca (-18°C , 60 gün) vakum paketlenmiş tavuk etlerindeki a_w değerinin 0,99'dan 0,95'e gerilediği belirtilmiştir. Vakum paketlenmiş tavuk etlerinin 4°C 'de 7 günlük depolama süresi boyunca ürünün fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada ise, depolama boyunca tavuk etlerindeki su aktivitesi değerlerinde vakum

ambalaj materyaline bağlı olarak dalgalanmaların (önce bir artış daha sonra ise bir düşüş) yaşandığı bildirilmiştir (Çiçek ve diğ., 2014).

5.4.6.3 Alabalık Filetolarının Su Aktivitesi Sonuçları

4°C’de 20 gün süreyle muhafaza edilen modifiye atmosferde paketlenmiş alabalık filetolarının su aktivitesi (a_w) değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.38’de verilmiştir. Başlangıçta, örneklerdeki su aktivitesi değerinin 0,984 olduğu, 5. güne gelindiğinde bu değer 0,985’e yükselmesine rağmen istatistiksel açıdan bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0,05$). 10. günde, a_w değerinin 0,986 olduğu ve bu değerin hem 5. (0,985) hem de 15. gündeki (0,99) değerlerle istatistiksel açıdan benzer oldukları saptanmıştır ($P>0,05$). 15. günden (0,990) 20. güne (0,992) gelindiğinde ise a_w değerinde kısmi bir artışın olduğu ancak yine bu artışın önemli olmadığı gözlenmiştir ($P>0,05$). Depolamanın sonunda alabalık filetosundaki su aktivitesi değeri 1’e yaklaşarak 0,992 değerine ulaşmıştır. Su ürünlerindeki nem içeriğinin normal koşullar altında dana ve tavuk etine nazaran daha yüksek olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, depolamanın başlangıcında alabalık filetosunun dana kıyması ve tavuk göğüs filetosuna göre daha yüksek su aktivitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın ilerleyen günlerinde örneklerin a_w değerlerindeki artışın ortamda gerçekleşen kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar sonucu açığa çıkan metabolik suyun et pedi tarafından absorbe edilemeyen kısmının balık etinin yüzeyinde tutulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



^{a, b}: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

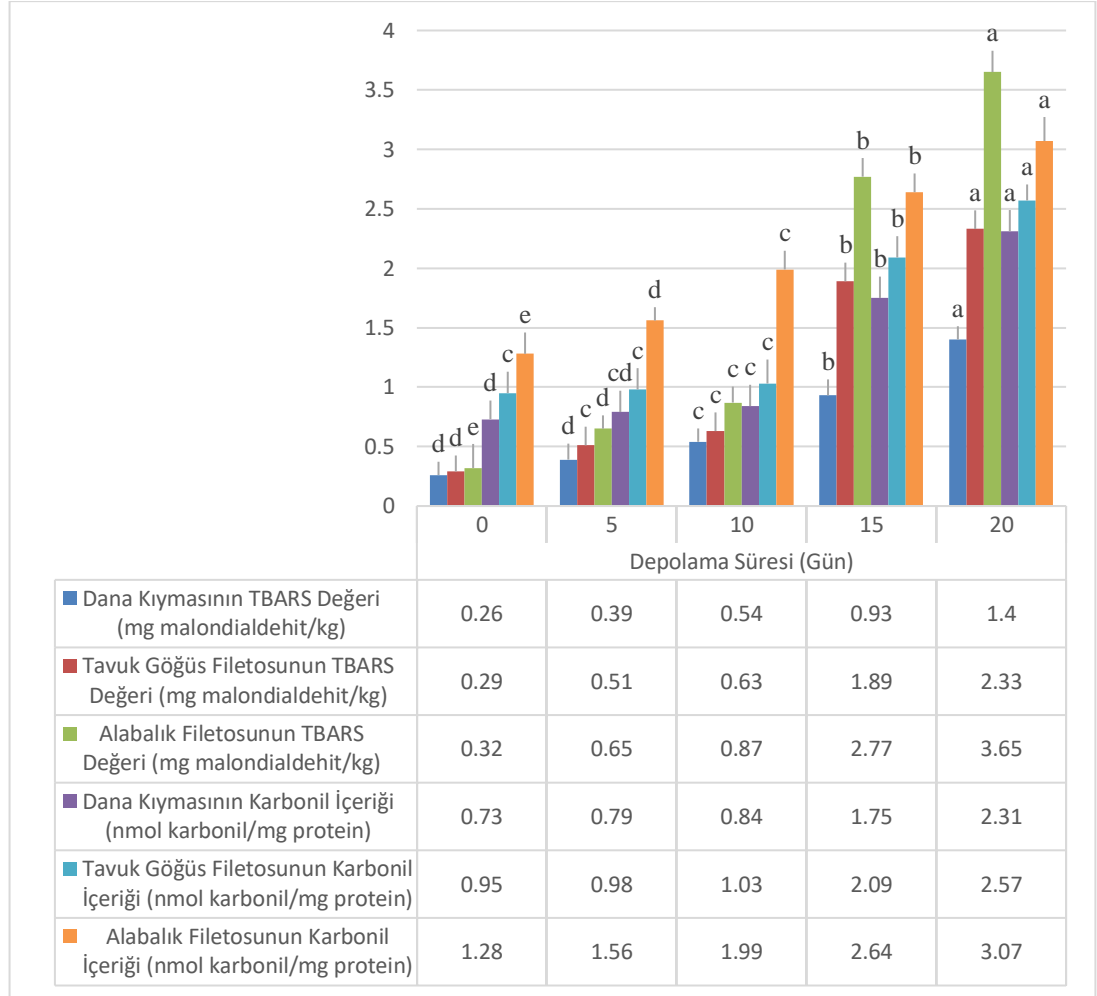
Şekil 5.38. Buzdolabı Koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) Muhafaza Edilen Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Alabalık Filetolarının Su Aktivitesi (a_w) Değerinde Meydana Gelen Değişiklikler

Gökkuşığı alabalık kıymalarının modifiye atmosferde pakletlendiği (**MAP-1:** %60 CO₂, %40 N₂; **MAP-2:** %75 CO₂, %25 N₂; **MAP-3:** %40 CO₂, %60 N₂) bir çalışmada, depolama boyunca (3°C , 28 gün) tüm kıyma örneklerinin su aktivitelerinde önce bir artış daha sonra bir düşüşün yaşandığı ve yaşanan bu değişikliklerin istatistiki açıdan anlamlı olduğu ($P<0,05$) bildirilmiştir (Kocatepe ve diğ., 2015). Külcü (2017) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (7 gün) farklı sıcaklıklarda (0, 2 ve 4°C) muhafaza edilen atmosferik oksijenle paketlenmiş palamut balıklarının (temizlenmemiş, bütün halde) su aktivitesi değerinde önemli değişikliklerin olmadığı ($P>0,05$) bildirilmiştir.

5.4.7 Et Örneklerinin TBARS Değeri ve Karbonil İçeriği Sonuçları

Depolama boyunca modifiye atmosferde paketlenen dana kıymalarının TBARS değerlerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.39'da verilmiştir. Depolamanın başlangıcında dana kıymasındaki TBARS değerinin 0,26 mg/kg malondialdehit olduğu ve depolama boyunca örneklerin TBARS değerlerinde kademeli bir artışın gözlemlendiği ancak ilk beş güne kadar TBARS değerlerinde anlamlı

bir değişikliğin olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). 20. günde, örneklerdeki TBARS değerinin 1,40 mg/kg malondialdehit seviyesine ulaştığı görülmüştür. İlk ve son günler kıyaslandığında, TBARS değerinin yaklaşık 4 kat (%438,46) arttığı ve bu artış neticesinde tüketilebilir eşik değer sınırına (1,0-2,0 mg/kg) yaklaşıldığı tespit edilmiştir.



a, b, c, d, e: Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

şekil 5.39. Depolama Boyunca (4°C, 20 gün) Modifiye Atmosferde Paketlenmiş Farklı Et Örneklerinin TBARS Değerinde (mg malondialdehit/kg) ve Karbonil İçeriğinde (nmol karbonil/mg protein) Meydana Gelen Değişiklikler

Süt danası etlerinin modifiye atmosferde paketlenerek (%20 CO₂ ve %80 O₂) 4°C'de 21 gün boyunca depolandığı örneklerde TBARS değerlerinin sürekli artarak depolamanın sonunda 3,00 mg MA/kg seviyesine ulaştığı bildirilmiştir (Fattahian ve

diğ., 2022). Zareian ve diğ. (2019) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, domuz kıymaları modifiye atmosferde (%30 CO₂ ve %70 O₂) paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 12 gün) örneklerdeki TBARS değerinin 0,011'den 0,21 mg MA/kg seviyesine yükseldiği belirtilmiştir.

Tavuk göğüs filetolarındaki TBARS değerlerinin 0,29 ile 2,33 mg MA/kg arasında değişkenlik gösterdiği ve en düşük TBARS değerinin 0. günde (0,29 mg MA/kg) elde edildiği görülmüştür (Şekil 5.39). 5. günden 10. güne gelindiğinde, örneklerdeki TBARS değerinin 0,51 mg MA/kg'dan 0,63 mg MA/kg'a yükseldiği ancak bu artışın önemli olmadığı görülmüştür (P>0,05). Her ne kadar depolama boyunca tavuk etinin TBARS değerinde önemli artışlar yaşansa da en büyük artış 10. günden (0,63 mg MA/kg) 15. güne (1,89 mg MA/kg) gelindiğinde gerçekleşmiştir. Depolama sonunda tavuk göğüs filetolarında lipid oksidasyonuna bağlı olarak TBARS değerlerinin 2,33 mg MA/kg'a ulaşarak ciddi şekilde arttığı ve bu artışın başlangıca göre yaklaşık 7 kat (%703,45) olduğu tespit edilmiştir. Aynı depolama süresi içerisinde dana kıyması daha yağlı olmasına rağmen dört katlık bir artış tavuk eti ise 7 katlık bir artış göstermiştir. Bu durumun tavuk etinin yağ asidi kompozisyonunun daha çok doymamış yağ asitlerinden ileri geldiği düşünülmektedir.

Chmiel ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, 3 farklı paketlenme yöntemiyle paketlenmiş tavuk göğüs etlerindeki malondialdehit miktarının depolama süresine bağlı olarak önemli oranda arttığı (P<0,05) görülürken modifiye atmosferde paketlenen örneklerdeki artışın daha fazla olduğu bildirilmiştir. Tavuk göğüs etlerinin iki farklı paketlenme yöntemi (atmosferik oksijen ve modifiye atmosferde paketlenme) kullanılarak paketlenildiği bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 15 gün) hem modifiye atmosferde (%65 CO₂, %30 N₂, %5 O₂) hem de atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğüs etlerinin TBARS değerlerinde önemli artışlar yaşanmasına (P<0,05) rağmen en fazla artışın atmosferik oksijenle paketlenen örnekte olduğu belirtilmiştir (Hosseini ve diğ., 2021).

Başlangıçta alabalık filetosunun TBARS değeri 0,32 mg MA/kg olarak bulunmuştur (Şekil 5.39). Depolama boyunca örneklerin TBARS değerinde önemli artışlar gözlenmesine rağmen (P<0,05) en belirgin artışın 10. günden (0,87 mg MA/kg) 15. güne (2,77 mg MA/kg) gelindiğinde yaşandığı tespit edilmiştir. Genel olarak, başlangıçla karşılaştırıldığında depolamanın sonunda TBARS değerinin 3,65 mg

MA/kg'a yükseldiği ve bu artışın yaklaşık 10 kat (%1040,63) olduğu görülmüştür. 3 farklı et ürünü içerisinde (dana, tavuk ve balık), aynı muhafaza koşulları altında en yüksek TBARS değerine alabalıkta ulaşılmış olup bu durumun doymamış yağ asitlerinin miktarına ve balık etinde kas yapısının zayıf olması neticesinde serbest radikallere daha fazla maruziyetten kaynaklandığı düşünülmektedir.

Cyprinidae familyasına bağlı bir balık türü olan ve daha çok Güney Asya nehirlerinde bulunan *Labeo rohita* cinsi balıkların fileto haline getirildikten sonra farklı yöntemlerle (atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde paketlenme) paketlenen bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 18 gün) balıklardaki TBARS değerlerinde önemli artışların gerçekleştiği ve en belirgin artışların modifiye atmosferde paketlenen (**MAP-1:** %50 CO₂ ve %50 N₂; **MAP-2:** %50 CO₂ ve %50 O₂) örnek gruplarında gerçekleştiği belirtilmiştir (Das ve diğ., 2021). Islam ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, dilimlenmiş kedi balığı etlerinde farklı paketlenme yöntemleri kullanılmış (vakum ve modifiye atmosfer paketlenme) ve 4°C'de 12 gün depolanmış vakum paketlenmiş örneklerin TBARS değerlerinde önemli artışların olduğu görülürken modifiye atmosferde paketlenen örneklerde ise önce bir artış daha sonra bir düşüş ve en son olarak da önemli bir artışın (P<0,05) yaşandığı bildirilmiştir.

4°C'de 20 gün süreyle muhafaza edilen dana kıymalarının karbonil içeriğinde meydana gelen değişiklikler Şekil 5.39'da verilmiştir. Dana kıymalarının karbonil içerikleri 0,73 ile 2,31 nmol karbonil/mg protein arasında değişkenlik göstermiştir. Depolamanın başlangıcında örneklerdeki karbonil içeriğinin 0,73 nmol karbonil/mg protein olduğu ve 5. güne gelindiğinde (0,79 nmol karbonil/mg protein) gerçekleşen artışın istatistiksel açıdan önemli olmadığı tespit edilmemiştir (P>0,05). Benzer şekilde, 5 (0,79 nmol karbonil/mg protein) ile 10. gün (0,84 nmol karbonil/mg protein) arasında da önemli bir farklılık gözlenmemiştir (P>0,05). TBARS değerlerine benzer şekilde karbonil içeriğinde de ciddi artışların 10 ile 15. gün arasında yaşandığı belirlenmiş olup bu durumun lipid oksidasyonu ürünlerinin protein oksidasyonunu tetiklemesine bağlı olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir. Son olarak 20. günde, karbonil içeriğinin 2,31 nmol karbonil/mg protein değerine ulaşarak başlangıç değerinin 1,6 katına yaklaştığı saptanmıştır. Dana kıymasında lipid oksidasyonun 4 kat, protein oksidasyonun ise 1,6 kat artması ortamda önce lipid oksidasyonunun

ardından protein oksidasyonunun gerçekleşmesini göstermesi açısından önemli bulunmuştur.

Dana bifteklerinin iki farklı gaz kompozisyonu kullanılarak modifiye atmosferde paketlenmiş bir çalışmada, başlangıçta MAP-1 (%78,8 O₂ + %18,8 CO₂ + %2,4 N₂) ve MAP-2 (%60 CO₂ ve %40 N₂) kodlu örneklerdeki toplam karbonil içeriğinin sırasıyla 1,56 ve 1,54 nmol karbonil/mg protein olduğu ve depolama boyunca etlerdeki karbonil içeriğinin önemli oranda (**MAP-1:** 1,56'dan 2,90 nmol karbonil/mg proteine; **MAP-2:** 1,54'den 2,29 nmol karbonil/mg protein) arttığı (P<0,05) belirtilmiştir (Lai ve diğ., 2023). Bir diğer çalışmada ise, depolama boyunca modifiye atmosferde (%80 O₂ ve %20 CO₂) paketlenmiş dana bifteklerindeki karbonil içeriğinin 0,70'den 1,50 nmol karbonil/g protein'e yükseldiği bildirilmiştir (Cui ve diğ., 2023).

Tavuk göğüs filetolarındaki karbonil içeriği 0,95 ile 2,57 nmol karbonil/mg protein arasında değişkenlik göstermiştir (Şekil 5.39). Başlangıçta örneklerdeki karbonil içeriğinin 0,95 nmol karbonil/mg protein olduğu ve depolamanın ilk 10 gününde gerçekleşen artışın istatistiksel açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir (P>0,05). Depolamanın 10. gününden sonra her bir depolama periyodunda karbonil içeriğinin anlamlı şekilde arttığı ve 20. güne gelindiğinde örneklerdeki karbonil içeriğinin 2,57 nmol karbonil/mg proteine ulaştığı gözlenmiştir (P<0,05). Analiz bulguları ışığında, tavuk etlerinde lipid oksidasyonunun bir sonucu olarak protein oksidasyonunun tetiklendiği ve 20 günlük depolama sonunda belirgin hale geldiği tespit edilmiştir.

Demirhan ve Candoğan (2017) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, tavuk but etleri iki farklı paketleme yöntemleri (atmosferik oksijen ve modifiye atmosferde paketleme) kullanılarak paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 19 gün) örneklerin karbonil içeriklerinde önemli dalgalanmaların (önce azalış sonra artış) yaşandığı bildirilmiştir. Tavuk etlerinin 3 farklı paketleme yöntemi [atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde (%30 CO₂ ve %70 N₂)] kullanılarak paketlenmiş başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 15 gün) etlerin karbonil içeriğinde önemli artışların olduğu (P<0,05) ve özellikle atmosferik oksijenle paketlenen örneklerde ise başlangıca göre karbonil içeriğinin yaklaşık 5 katına

(0,82'den 4 nmol karbonil/mg proteine) çıktığı belirtilmiştir (Gutierrez-Gonzalez ve diğ., 2023).

Alabalık filetolarındaki karbonil içeriğinin 1,28 ile 3,07 nmol karbonil/mg protein arasında değişkenlik gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 5.39). 0. günde, alabalık filetolarındaki karbonil içeriği 1,28 nmol karbonil/mg protein olarak bulunmuştur. İzleyen günlerde, örneklerin karbonil içeriğinde önemli artışların olduğu ($P < 0,05$) ve bu artışın en fazla depolamanın 10. gününden (1,99 nmol karbonil/mg protein) 15. güne (2,64 nmol karbonil/mg protein) geldiğinde yaşandığı görülmüştür. Taze etlerin tüketileceği ana kadar soğuk zincir altında muhafaza edilmesi gerekmektedir. Zaman zaman tüketiciler market veya kasaplardan aldıkları taze etleri ev ortamındaki soğutucularda (4°C) tüketileceği ana kadar muhafaza etmektedirler. Etlerin muhafazası sırasında kaliteyi olumsuz yönde etkileyen parametrelerin başında oksidasyon gelmekte ve oksidasyonun özellikle doymamış yağ asidi ve kolay sindirilebilir proteinler açısından zengin olan su ürünlerinde daha hızlı ilerlediği belirtilmektedir. Sonuç olarak örneklerin karbonil içeriğindeki artışın muhafaza sırasında gerçekleşen lipid ve protein oksidasyonunun kombine etkisinden ileri geldiği düşünülmektedir.

Bir tatlı su balığı cinsi olan *Oreochromis niloticus* balıkları fileto haline getirildikten sonra paketlenmiş (vakum paketlenme) ve depolama boyunca (4°C , 12 gün) ürünlerdeki karbonil içeriğinin 1,00'den 3,00 nmol karbonil/mg proteine yükseldiği belirtilmiştir (Zhao ve diğ., 2019). Yine, gökkuşuğu alabalık filetolarının atmosferik oksijen altında paklendiği başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C , 20 gün) örneklerdeki karbonil içeriğinin 0,80'den 2,90 nmol karbonil/mg proteine yükseldiği bildirilmiştir (Hashemabad ve diğ., 2018).

5.4.8 Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

5.4.8.1 Dana Kıymasının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Depolama boyunca (4°C , 20 gün) modifiye atmosferde paketlenen dana kıymalarının mikrobiyolojik özelliklerinde (toplam psikrofilik aerobik, toplam

koliform ve maya-küf sayımı) meydana gelen değişiklikler Tablo 5.17’te verilmiştir. Depolamanın başlangıcında dana kıymasında toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı 3,2 log CFU/g olarak bulunmuştur. 0. günden 5. güne gelindiğinde, örneklerdeki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının 3,2 log CFU/g’dan 3,55 log CFU/g’a yükseldiği ancak bu artışın anlamlı olmadığı görülmüştür ($P>0,05$). Ayrıca, 5. gün ile 10. gün arasındaki artışın anlamlı ($P<0,05$) bir şekilde devam ettiği ve en büyük artışın ise 10. günden (5,10 log CFU/g) 15. güne (7,05 log CFU/g) gelindiğinde yaşandığı tespit edilmiş ve eşik sınırın (6-7 log CFU/g) üzerine çıkmıştır. Tablo 5.14’te görüldüğü üzere, depolamanın 20. gününde dana kıymalarının paketlenmesinde akıllı etiket olarak kullanılan indikatörlerin renginde önemli değişikliklerin yaşandığı ve bu değişikliklerin mikrobiyolojik değişikliklerle de paralellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 5.17. Dana kıymalarının buzdolabı koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları, log (CFU/g)					
Parametre	Günler				
	0	5	10	15	20
TPAC	3,25±0,25 ^d	3,55±0,20 ^d	5,10±0,30 ^c	7,05±0,10 ^b	7,40±0,15 ^a
TKBS	2,70±0,30 ^d	2,90±0,15 ^{cd}	3,00±0,20 ^c	3,45±0,10 ^b	3,90±0,15 ^a
MK	2,20±0,10 ^c	2,55±0,20 ^b	2,80±0,15 ^a	2,90±0,25 ^a	3,20±0,10 ^a

^{a, b, c, d} Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

(**TPAC:** Toplam psikrofilik aerobik canlı sayısı; **TKBS:** Toplam koliform bakteri sayısı; **MK:** maya-küf sayısı)

Conte-Junior ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, dana kıymaları modifiye atmosferde (%90 O₂ + %10 CO₂; %80 O₂ + %20 CO₂; %70 O₂ + %30 CO₂; %60 O₂ + %40 CO₂; %50 O₂ + %50 CO₂) paketlenmiş ve depolama boyunca tüm örneklerin toplam psikrofilik aerobik bakteri sayılarında önemli artışların meydana geldiği ($P<0,05$) ve en büyük artışın %50 O₂ ve %50 CO₂ gaz kompozisyonuyla paketlenen örnekte olduğu bildirilmiştir. Dana etlerinin modifiye atmosferde (%50 O₂ + %30 CO₂ + %20 N₂) paketlenmesi başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 20 gün) örneklerdeki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının 4,8’den 7,40 log CFU/g seviyesine yükseldiği bildirilmiştir (Sirocchi ve diğ., 2017).

Dana kıymalarındaki toplam koliform bakteri sayısının 2,70 ile 3,90 log CFU/g arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 5.17). 0. günden 5. güne gelindiğinde, örneklerdeki toplam koliform bakteri sayısının 2,70'den 2,90 log CFU/g'a yükseldiğı ancak bu artışın istatistiksel açıdan önemli olmadığı görülmüştür ($P>0,05$). Depolama boyunca örneklerin toplam koliform bakteri sayılarında kademeli bir artışın gözleendiğı ve bu artışın istatistiksel açıdan anlamlı olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Depolamanın sonunda örneklerdeki toplam koliform bakteri sayısı 3,90 log CFU/g'a ulaşmıştır.

Mevcut tez çalışmanın aksine, domuz ve dana eti karışımından oluşan kıyma örneklerinin (1:1) farklı yöntemlerle (vakum ve modifiye atmosferde paketlenme [**MAP-1:** %20 O₂ + %50 CO₂ + %30 N₂; **MAP-2:** %20 O₂ + %30 CO₂ + %50 N₂]) paketleniğı bir çalışmada, 3°C'de 12 gün süreyle depolanan modifiye atmosferde paketlenmiş kıymalardaki toplam koliform bakteri sayısında önemli düşüşlerin ($P<0,05$) yaşandığını ve bu düşüşün paket içinde bulunan karbondioksit zamanla karbonik aside dönüşümü ile ilişkilendirildiğı bildirilmiştir (Djordjević ve diğ., 2019). Başka bir çalışmada ise, dana etleri atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosfer (%30 O₂ + %70 CO₂) altında paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 28 gün) atmosferik ve modifiye atmosferde paketlenen örneklerin toplam koliform bakteri sayılarında önce bir artış daha sonra ise bir azalış gözlenirken vakum paketlenen örneklerde ise bir artışın olduğu belirtilmiştir (Yu ve diğ., 2018).

4°C'de 20 günlük depolama süresi boyunca dana kıymasının maya-küf sayısının 2,20 ile 3,20 log CFU/g arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca örneklerdeki maya-küf sayısının arttığı tespit edilmiştir (Tablo 5.17). Depolamanın başlangıcından ilk on güne gelindiğinde, gerçekleşen artışların istatistiksel açıdan önemli oldukları ($P<0,05$) ancak depolamanın 10. gününden itibaren örneklerin toplam maya-küf canlı sayılarındaki artışın istatistiksel açıdan önemli olmadığı görülmüştür ($P>0,05$).

Dana filetoları atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde (%80 O₂ ve %20 CO₂) olmak üzere üç farklı şekilde paketlenmiş de depolama boyunca (4°C, 9 gün) vakum paketlenen örneklerin toplam maya-küf sayılarında önemli değişiklikler görülmezken modifiye atmosferde ve atmosferik oksijenle paketlenen örneklerde ise önemli bir artışın ($P<0,05$) yaşandığı bildirilmiştir (Rokaityte ve diğ., 2016). Argyri

ve diğ. (2015) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, atmosferik ve modifiye atmosferde (%40 CO₂, %30 O₂, %30 N₂) paketlenen dana kıymalarının farklı depolama sıcaklıklarından (0, 5, 10 ve 15°C) depolandığı ve depolama boyunca tüm örneklerin toplam maya-küf sayılarında artışın olduğu görülürken en fazla artışın 10 ve 15°C’de depolanan örnek gruplarında yaşandığı belirtilmiştir.

5.4.8.2 Tavuk Göğsü Filetolarının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Depolama boyunca modifiye atmosferde paketlenen tavuk göğüs filetolarındaki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısında meydana gelen değişiklikler Tablo 5.18’de verilmiştir. 0. günde, örneklerdeki TPAC sayısının 3,05 log CFU/g olduğu ve depolama boyunca örneklerin TPAC sayısında önemli bir artış görülmekle birlikte en belirgin artışın 10. günden (5,30 log CFU/g) 15. güne (7,15 log CFU/g) gelindiğinde gerçekleştiği gözlenmiştir. 15. gün (7,15 log CFU/g) ile 20. gün (7,30 log CFU/g) arasındaki TPAC sayılarının birbirlerine yakın değerler aldığı ve istatistiksel açıdan da önemli bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir (P>0,05). Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan değerlendirmeye göre, taze tavuk göğüs etlerinin insan tüketimi için kabul edilebilir toplam bakteri sayısı eşik sınırının 6,0-7,0 log CFU/g olduğu bildirilmiştir (Rukchon ve diğ., 2014; Senter ve diğ., 2000). Buna göre, 15. günde, TPAC sayısının 7,15 log CFU/g olduğu ve bu değer eşik sınırın üzerinde olduğu ve dolayısıyla örneklerin depolamanın 15. gününden itibaren insan tüketimine uygun olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, tavuk göğüs filetolarının modifiye atmosferde paketlenmesinde akıllı etiket olarak kullanılan indikatörlerin renklerinde önemli değişikliklerin görüldüğü (depolamanın 15. gününde) ve bu değişikliklerin etin mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişikliklerle de paralellik gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 5.18. Tavuk göğsü filetoalarının buzdolabı koşullarında (4°C±1°C) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları, log (CFU/g)					
Parametre	Depolama Süresi (Gün)				
	0	5	10	15	20
TPAC	3,05±0,10 ^d	4,80±0,20 ^c	5,30±0,15 ^b	7,15±0,10 ^a	7,30±0,20 ^a
TKBS	1,00±0,05 ^e	1,50±0,10 ^d	2,30±0,20 ^c	2,80±0,10 ^b	3,40±0,15 ^a
MK	1,90±0,10 ^c	2,15±0,20 ^{bc}	2,45±0,15 ^b	2,60±0,20 ^b	3,00±0,10 ^a

^{a, b, c, d, e} Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

(**TPAC**: Toplam psikrofilik aerobik canlı sayısı; **TKBS**: Toplam koliform bakteri sayısı; **MK**: maya-küf sayısı)

Tavuk kanatlarının vakum ve modifiye atmosfer (**MAP-1**: %60 CO₂ ve %40 N₂; **MAP-2**: %75 O₂ ve %25 CO₂) olmak üzere iki farklı şekilde paketlendiği bir çalışmada, depolama boyunca (0°C, 20 gün) tüm örneklerin toplam psikrofilik aerobik bakteri sayılarında önemli artışların (P<0,05) olduğu ve MAP-2 kodlu örneğin diğerlerine nazaran daha fazla artış gösterdiği bildirilmiştir (Heir ve diğ., 2022). Azlin-Hasim ve diğ. (2015) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 12 gün) modifiye atmosferde paketlenen tavuk göğüs filetoalarındaki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının 3,2 log CFU/g'dan 8 log CFU/g'a yükseldiği belirtilmiştir.

Tavuk göğüs etlerindeki koliform bakteri sayısının başlangıçta 1,00 log CFU/g olduğu ve depolamanın sonlarına doğru ürünlerdeki koliform bakteri sayısında önemli bir artış görülmekle birlikte (P<0,05) en büyük artışın 5. günden (1,50 log CFU/g) 10. güne (2,30 log CFU/g) gelindiğinde gerçekleştiği gözlenmiştir (Tablo 5.18). Depolamanın sonunda, tavuk göğüs etindeki koliform bakteri sayısının 3,40 log CFU/g seviyesine yükseldiği ve başlangıçtaki sayının yaklaşık 3,5 katına çıktığı tespit edilmiştir.

Tavuk göğüs filetoalarının vakumla paketlendiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 21 gün) örneklerdeki koliform bakteri sayısının 4 log CFU/g seviyesinden yaklaşık 8 log CFU/g seviyelerine ulaştığı bildirilmiştir (Yehia ve diğ., 2019). Benzer bir çalışmada ise, tavuk göğüs etleri atmosferik oksijenle paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 20 gün) örneklerdeki toplam koliform bakteri sayısının

2,00 log CFU/g seviyesinden 5,00 log CFU/g seviyesine ulaştığı belirtilmiştir (Moreno ve diğ., 2018).

4°C’de 20 günlük depolama süresi boyunca tavuk göğüs etlerindeki maya-küf sayısının 1,90 ile 3,00 log CFU/g arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca örneklerdeki maya-küf sayısının düzenli bir şekilde arttığı tespit edilmiştir (Tablo 5.18). Depolamanın 0. ve 5. günlerinde, örneklerdeki toplam maya-küf sayılarının sırasıyla 1,90 log CFU/g ve 2,15 log CFU/g olduğu ve bu değerlerin istatistiksel açıdan benzer oldukları saptanmıştır ($P>0,05$). Yine, 10. günden (2,45 log CFU/g) 15. güne (2,60 log CFU/g) gelindiğinde de örneklerin toplam maya-küf sayılarında bir artışın olduğu görülmesine rağmen bu artış anlamlı bulunmamıştır ($P>0,05$). Depolamanın sonunda örneklerdeki toplam maya-küf sayısı 3,00 log CFU/g olarak bulunmuştur. Atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğüs etleriyle karşılaştırıldığında, modifiye atmosferde paketlenen toplam maya-küf canlı sayısı üzerinde önemli etkilerinin olduğu ($P<0,05$) ve depolama sırasında modifiye atmosferde kullanılan karbondioksitin toplam maya küf sayıları üzerinde kısmen antimikrobiyal etki gösterdiği düşünülmektedir. Yine depolama sırasında atmosferik oksijenle paketlenen örneklerin toplam maya-küf sayılarında belirgin artışlar görülmesine rağmen ($P<0,05$) modifiye atmosferde paketlenen örneklerde ise bu artış biraz daha düşük bulunmuştur.

Tsarakidou ve diğ. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, tavuk kıymaları modifiye atmosferde (%30 CO₂ ve %70 N₂) paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 10 gün) örneklerdeki toplam maya-küf sayısında (3,23 ile 3,48 log CFU/ g arasında değişkenlik göstermiş) dalgalanmaların yaşandığı ancak bu dalgalanmanın istatistiksel açıdan önemli olmadığı ($P>0,05$) bildirilmiştir. Tavuk köftelerinin iki farklı paketlenme yöntemi (atmosferik oksijen ve modifiye atmosferde paketlenme [**MAP-1:** %100 CO₂, **MAP-2:** %50 CO₂ ve %50 N₂]) kullanılarak paketlenen bir çalışmada ise, depolama boyunca tüm örneklerin maya-küf sayılarında önemli artışların yaşandığı ($P<0,05$) ve bu artışın en fazla atmosferik oksijenle paketlenen örnek grubunda olduğu belirtilmiştir (Allam ve diğ., 2021).

5.4.8.3 Alabalık Filetolarının Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Depolama boyunca modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetolarında meydana gelen mikrobiyolojik değişiklikler (toplam psikrofilik aerobik, toplam koliform ve maya-küf sayımı) Tablo 5.19'da verilmiştir. 0. günde, alabalık filetosundaki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı 3,40 log CFU/g olarak bulunmuş ve depolama boyunca örneklerin TPAC sayısında önemli bir artış gözlenmesine rağmen en büyük artışın 10. günden (4,80 log CFU/g) 15. güne (7,20 log CFU/g) geldiğinde gerçekleştiği görülmüştür ($P<0,05$) ve depolamanın sonunda 7,90 log CFU/g seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Özellikle depolamanın 10. gününden itibaren bazı analizler için örneklerin paketi açıldığında ağır kokuların geldiği tespit edilmiştir. Tablo 5.16'da görüldüğü üzere, 10. günden sonra alabalık filetolarının paketlenmesinde akıllı etiket olarak kullanılan indikatörlerin renginde önemli değişikliklerin yaşandığı ve bu değişikliklerin mikrobiyolojik değişikliklerle de paralellik gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 5.19. Alabalık filetolarının buzdolabı koşullarında ($4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$) muhafazası sırasında mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler

Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları, log (CFU/g)					
Parametre	Depolama Süresi (Gün)				
	0	5	10	15	20
TPAC	3,40 \pm 0,15 ^c	3,95 \pm 0,20 ^d	4,80 \pm 0,05 ^c	7,20 \pm 0,10 ^b	7,90 \pm 0,25 ^a
TKBS	3,00 \pm 0,10 ^d	3,20 \pm 0,15 ^c	3,40 \pm 0,20 ^c	3,80 \pm 0,05 ^b	4,10 \pm 0,10 ^a
MK	1,85 \pm 0,20 ^d	2,10 \pm 0,10 ^d	2,80 \pm 0,05 ^c	3,30 \pm 0,10 ^b	3,75 \pm 0,25 ^a

^{a, b, c, d, e} Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir ($P<0,05$)

(**TPAC:** Toplam psikrofilik aerobik canlı sayısı; **TKBS:** Toplam koliform bakteri sayısı; **MK:** maya-küf sayısı)

Olatunde ve diğ. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, deniz levrek filetoları atmosferik oksijen ve modifiye atmosferde (%60 CO₂, %30 N₂ ve %10 O₂; %80 CO₂, %10 N₂ ve %10 O₂) paketlenmiş ve depolamaya bağlı (4°C, 18 gün) olarak tüm örneklerin toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının önemli oranda ($P<0,05$) arttığı belirtilmiştir. Tagrida ve diğ. (2021) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, *Oreochromis niloticus* cinsi balık filetoları modifiye atmosferde (%60 CO₂, %30 Ar ve %10 O₂) paketlenmiş ve depolama boyunca (4°C, 15 gün) balık filetolarındaki

toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının 3,38 log CFU/g seviyesinden yaklaşık 6,00 log CFU/g seviyesine yükseldiği bildirilmiştir. Tez çalışmasından elde edilen bulgular ile literatür verilerinin birbirleriyle uyumlu oldukları görülmektedir.

Modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetoalarının toplam koliform bakteri sayısında meydana gelen değişiklikler Tablo 5.19’da verilmiştir. Diğer et örnekleriyle karşılaştırıldığında, alabalık filetoalarında toplam koliform bakteri sayısının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum alabalıkların avlandığı bölgenin mikroflorası ile yakından ilişkilidir. Depolamanın başlangıcında alabalık filetoalarındaki toplam koliform bakteri sayısının 3,00 log CFU/g olduğu ve depolama boyunca örneklerin toplam koliform bakteri sayılarında önemli seviyede bir artış olduğu gözlenmiştir ($P<0,05$). 5. günden 10. güne gelindiğinde, örneklerdeki TKBS’nin 3,20 log CFU/g’den 3,40 log CFU/g’a yükseldiği ancak bu artışın önemli olmadığı görülmüştür ($P>0,05$). Depolamanın sonunda örneklerde TKBS’nin 4,10 log CFU/g’a yükseldiği tespit edilmiştir.

Iacumin ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, deniz levreği ve çipura balıklarının paketlenmesinde vakum ve modifiye atmosfer (%70 N₂ ve %30 CO₂) yöntemleri kullanılmış ve depolama boyunca (4°C, 14 gün) tüm örneklerin koliform bakteri sayılarında artışların olduğu ve depolamanın sonunda vakum ve modifiye atmosferde paketlenen örneklerin toplam koliform bakteri sayılarının sırasıyla 4 ve 4,80 log CFU/g seviyesine ulaştığı bildirilmiştir. *Oreochromis niloticus* cinsi alabalık filetoalarının vakum ve modifiye atmosferde (**MAP-1:** %50 CO₂ ve %50 N₂; **MAP-2:** %50 CO₂ ve %50 O₂) paklendiği başka bir çalışmada ise, depolama boyunca (4°C, 18 gün) tüm örneklerin toplam koliform bakteri sayılarında önemli artışların ($P<0,05$) gerçekleştiği belirtilmiştir (Karim ve diğ., 2020).

4°C’de 20 günlük depolama süresi boyunca alabalık filetoalarındaki toplam maya-küf sayısı 1,85 ile 3,75 log CFU/g arasında değişkenlik göstermiştir (Tablo 5.19). Başlangıçta örneklerdeki toplam maya-küf sayısının 1,85 log CFU/g olduğu ve depolamanın 5. gününe gelindiğinde bu sayının (1,85 log CFU/g) biraz daha üzerine çıkılarak 2,10 log CFU/g’a ulaşıldığı ancak bu artışın anlamlı olmadığı görülmüştür ($P>0,05$). Depolama boyunca örneklerdeki toplam maya-küf sayılarında önemli artışlar gözlenmiş olmasına rağmen ($P<0,05$) en büyük artışın 5. günden (2,10 log CFU/g) 10. güne (2,80 log CFU/g) gelindiğinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Örneklerdeki en yüksek toplam maya-küf canlı sayısına 20. günde (3,75 log CFU/g) ulaşıldığı belirlenmiştir.

Piştirilmiş ve modifiye atmosferde paketlenmiş (%40 CO₂ ve %60 N₂) Gökkuşaağı alabalık filetoalarının depolamaya bağılı olarak (4°C, 27 gün) toplam maya-küf sayısının 2,60 log CFU/g'dan 6,25 log CFU/g'a yükseldiğı belirtilmiştir (Kaba ve Corapcı, 2014). 4°C'de muhafaza edilen vakum paketlenmiş dikenli yılan balığının mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değışiklikler araştırılmış ve depolama boyunca (4°C, 35 gün) balıklardaki toplam maya-küf canlı sayısının 2,45'den 3,60 log CFU/g seviyesine yükseldiğı bildirilmiştir (Özpolat, 2020).

5.4.9 Toplam Uçucu Bazik Nitrojen Miktarı (TVB-N) Analiz Sonuçları

Depolama boyunca (4°C, 20 gün) modifiye atmosferde paketlenen (%70 O₂, %20 CO₂ ve %10 N₂) dana kıymalarının TVB-N analiz sonuçları Tablo 5.20'de verilmiştir. Dana kıymalarının TVB-N değerleri 5,13 ile 20,97 mg/100 g arasında değişkenlik göstermiştir. Depolamanın ilk beş gününde TVB-N değerlerinde önemli değişiklik gözlenmezken (P>0,05) 10. günden itibaren gerçekleşen artışların istatistiksel açıdan önemli oldukları (P<0,05) belirlenmiştir. Buzdolabı koşullarında muhafaza edilen dana kıymalarının TVB-N değerleri, 10. günde 10,89 mg/100 g, 15. günde 17,44 mg/100 g, 20. günde ise 20,97 mg/100 g olarak saptanmıştır (Tablo 5.20). Elde edilen bulgulara göre, dana kıymalarında eşik sınır olarak kabul edilen 20 mg/100 g'a 20. günün sonunda ulaşıldığı görülmüştür.

Tablo 5.20. Modifiye atmosferde paketlenen farklı et örneklerinin depolanması sırasında (4°C, 20 gün) TVB-N değerlerinde meydana gelen değişiklikler

TVB-N Değeri (mg/100 g)					
Gruplar	Depolama Süresi (Gün)				
	0	5	10	15	20
DK	5,13±0,33 ^D	5,73±0,35 ^D	10,89±0,31 ^C	17,44±0,36 ^B	20,97±0,41 ^A
TGF	6,31±0,24 ^E	10,07±0,29 ^D	14,45±0,30 ^C	20,56±0,42 ^B	26,28±0,45 ^A
AF	9,74±0,46 ^E	15,02±0,27 ^D	20,31±0,54 ^C	26,14±0,57 ^B	36,13±0,63 ^A

^{A, B, C, D, E} Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

(DK: Dana kıyması, **TGF:** Tavuk göğsü filetosu, **AF:** Alabalık filetosu)

Dana kıymalarının atmosferik oksijen, modifiye atmosfer ve vakum olmak üzere 9 farklı kombinasyon ile paketlenildiği bir çalışmada, depolama boyunca (2°C, 20 gün) tüm örneklerin TVB-N değerlerinde artışlar gözlenmesine rağmen depolama sonunda modifiye atmosferde paketlenen örneklerdeki TVB-N değerinin eşik sınır altında kaldığı tespit edilmiştir (Conte-Junior ve diğ., 2020). Dana filetolarının kitosanla kaplanıp vakumla paketlenmiş ve ürünün kalite karakteristiğinde meydana gelen değişiklikler araştırılmış ve depolama boyunca tüm (4°C, 45 gün) örneklerin TVB-N içeriğinde önemli artışlar (P<0,05) yaşanmıştır. Depolamanın sonunda, kontrol ve kitosanla kaplanan örneklerin TVB-N içeriği sırasıyla 14,93 ve 8,31 mg olarak bulunmuştur (Duran ve Kahve, 2021).

Modifiye atmosferde paketlenen (%30 CO₂ ve %70 N₂) tavuk göğüs filetolarının TVB-N değerleri üzerine depolama süresinin etkisi Tablo 5.20'de verilmiştir. Buna göre, örneklerdeki TVB-N değerlerinin 6,31 mg/100 g ile 26,28 mg/100 g arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. 0. günde, tavuk etindeki TVB-N değerinin 6,31 mg/100 g olduğu ve depolamanın 5., 10., 15. ve 20 günlerindeki TVB-N değerlerinin sırasıyla 10,07 mg/100 g, 14,45 mg/100 g, 20,56 mg/100 g ve 26,28 mg/100 g olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın sonunda örneklerin TVB-N değerlerindeki artışın başlangıca göre yaklaşık 3 kat (%316,48) arttığı ve bu artışın istatistiksel açıdan önemli olduğu (P<0,05) belirlenmiştir. Özellikle depolamanın 15. gününden itibaren eşik sınırın (>20 mg/100 g) üzerine çıkıldığı saptanmıştır.

Dolayısıyla, 10. günden itibaren tavuk göğüs filetolarındaki bozulma belirtilerin başladığı ve örneklerde ciddi anlamda kokuşmanın varlığı tespit edilmiştir.

Tavuk göğüs filetolarının paketlenmesinde kullanılan çeşitli yöntemlerin (atmosferik, modifiye atmosfer ve vakum paketleme) ürünün mikrobiyolojik ve fizikokimyasal özelliklerine olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, depolama boyunca (4°C, 10 gün) tüm örneklerin TVB-N değerlerinde önemli artışların olduğu (P<0,05) ve bu artışın en fazla atmosferik oksijenle paketlenen örnek grubunda (18,67'den 49,00 mg seviyesine yükselmiş) gerçekleştiği belirtilmiştir (Nauman ve diğ., 2022). Wang ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, tavuk göğüs etleri iki farklı depolama sıcaklığında (4 ve 25°C; 48 saat) depolanarak ürüne ait bir raf ömrü belirlenmeye çalışılmış ve depolama boyunca 4°C'de muhafaza edilen et örneklerindeki TVB-N değerinin 9,33'den 17,57 mg seviyesine ulaştığı görülürken 25°C'de muhafaza edilen örneklerin TVB-N değerindeki artışın ise daha fazla olduğu ve depolamanın sonunda (48 saat) 33,42 mg seviyesine yükseldiği belirtilmiştir. Farklı gaz kompozisyonları (**A:** %0,03 CO₂, %21 O₂ ve %78 N₂; **B:** %50 CO₂ ve %50 O₂; **C:** %100 CO₂) kullanılarak modifiye atmosferde paketlenen tavuk göğüs etlerindeki TVB-N değerinde meydana gelen değişikliklerin incelendiği bir çalışmada; depolama sırasında (5°C, 9 gün) et örneklerinin TVB-N değerlerinde önemli artışlar gözlenmiş ve bu artışın en fazla A kodlu örnek grubunda (14,759'dan 40,475 mg'a yükselmiştir) gerçekleştiği bildirilmiştir (Cortez-Vega ve diğ., 2012).

Tablo 5.20 incelendiğinde, alabalık filetolarındaki TVB-N değerlerinin dana kıyması ve tavuk göğüs filetosuna nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Depolamanın başlangıcında alabalık filetolarındaki TVB-N değeri 9,74 mg/100 g olarak bulunmuş ve depolama boyunca örneklerin TVB-N değerleri 5. günde 15,02 mg/100 g, 10. günde 20,31 mg/100 g, 15. günde 26,31 mg/100 g ve 20. günde de 36,13 mg/100 g seviyesine ulaşmış ve depolama boyunca TVB-N değerlerinde gözlenen artışın istatistiksel açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (P<0,05). Depolamanın 20. gününde (36,13 mg/100 g), eşik sınır olarak kabul edilen 35 mg/100 g seviyesinin üzerine çıktığı ve ürünün tüketilemeyecek hale geldiği tespit edilmiştir.

Yin ve diğ. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, atmosferik oksijen, vakum ve modifiye atmosferde (%45 CO₂, %45 N₂ ve %10 O₂) paketlenen gökkuşacağı alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) filetoları 3 farklı depolama sıcaklığında (4, 10 ve 15°C)

muhafaza edilmiştir. Her bir depolama periyodunda, örneklerin TVB-N değerlerinde artışların olduğu ve en büyük artışın atmosferik oksijenle paketlenen örnek grubunda gerçekleştiği ve bunu sırasıyla vakum ve modifiye atmosferde paketlenen örneklerin takip ettiği belirtilmiştir. Sazan balığı filetoalarının (*Cyprinus carpio*) modifiye atmosferde paklendiği (**MAP-1:** %80 O₂ ve %20 CO₂; **MAP-2:** %90 CO₂ ve %10 N₂) başka bir çalışmada ise, depolama boyunca tüm örneklerin TVB-N değerlerinde artışların olduğu gözlenirken depolamanın sonunda MAP-2 kodlu örneğin (18,31 mg) taze balık ve ürünlerinde eşik sınırın (20 mg/100 g) altında kaldığı tespit edilmiştir (Milijasevic ve diğ., 2018).

5.4.10 Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları

5.4.10.1 Dana Kıymasının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları

Depolama boyunca modifiye atmosferde paketlenen dana kıymalarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları Tablo 5.21’de verilmiştir. Buna göre, dana kıymalarında toplamda 30 adet aroma maddesi tespit edilmiştir. Bu maddeler içerisinde, 1 adet ester (etil asetat), 10 adet alkol (3-metil-1-bütanol, 1-pentanol, 1-hekzanol, 3-oktanol, 1-okten-3-ol, 1-heptanol, 2-etil-1-hekzanol, 1-oktanol, benzil alkol, feniletal alkol), 2 adet aldehit (hekzanal ve benzaldehit), 4 adet keton (2-3-Bütanedion, 2-heptanon, 3-oktanon, asetoin), 1 adet fenol, 3 adet kükürtlü bileşik (dimetil sülfid, dimetil disülfid ve metanethiol) ve 9 adet organik asit (asetik, 3-metil bütanoik, pentanoik, hekzanoik, heptanoik, oktanoik, nonanoik, dekanıik ve dodekanoik asit) saptanmıştır. Alkoller aroma bileşiklerinin önemli bir kısmını oluşturmakta ve bunu sırasıyla organik asitler, aldehitler, ketonlar, kükürtlü bileşikler takip etmektedir. Depolama boyunca alkollerin miktarında (3-metil-1-bütanol, 1-pentanol, 3-oktanol, 1-heptanol, 2-etil-1-hekzanol, 1 oktanol, benzil alkol ve feniletal alkol) önemli artışlar yaşanmasına ($P<0,05$) rağmen 1-okten-3-ol ve 1-hekzanol bileşiklerinin ise kademeli bir şekilde azaldığı ve bu azalışın istatistiksel açıdan önemli olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Depolama boyunca, hekzanoik ve oktanoik asit haricindeki diğer tüm organik asitlerin (asetik, pentanoik, heptanoik, dekanıik ve dodekanoik asit) miktarının arttığı ve bu artışın anlamlı olduğu gözlenmiştir ($P<0,05$).

Ancak, depolamanın 10. gününe kadar dana kıymalarındaki toplam 3-metil-bütanoik asit miktarı 275,55 µg/kg'dan 305,73 µg/kg'a yükselmesine rağmen bu artış istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($P>0,05$). Tablo 5.21'den elde edilen sonuçlara göre, depolama boyunca (4°C, 20 gün) dana kıymalarındaki toplam aldehit (hekzanal) miktarı oransal ve istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde azalırken ($P<0,05$), toplam keton miktarının (2-3-bütanedion, 2-heptanon, aseton) ise arttığı görülmüştür. Ancak, 3-oktanon miktarı depolamanın ilk 5 gününe kadar artarken 5. günden sonra ise kademeli bir şekilde azalmıştır. Et ve ürünlerinin bozulması sırasında açığa çıkan kükürtlü bileşiklerden (dimetil sülfid, dimetil disülfid, methanethiol vb.) özellikle methanethiol ve dimetil sülfid bileşiklerinin depolamanın 10. gününden sonra önemli oranda arttığı ve depolamanın sonunda sırasıyla 1164,79 µg/kg ve 1782,65 µg/kg seviyelerine ulaştığı görülmüştür. Tablo 5.21'den görüldüğü üzere, depolamanın başlangıcında örneklerdeki toplam asetat miktarı 211,05 µg/kg olarak bulunmuş ve depolama süresinin ilerlemesiyle birlikte toplam asetat miktarının önce 988,71 µg/kg'a (5. günde), daha sonra ise 988,71 µg/kg'dan 724,80 µg/kg'a (10. günde) gerilediği tespit edilmiştir. Depolamanın 5. günü (988,71 µg/kg) ile 15. günü (1020,81 µg/kg) arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0,05$). Depolamanın başlangıcında dana kıymalarındaki toplam fenol miktarının 34,46 µg/kg olduğu ve depolama boyunca örneklerdeki bu değer kademeli bir şekilde artarak 121,76 µg/kg (20. günde) seviyesine ulaştığı görülmüştür.

Sun ve diğ. (2020a) tarafından yapılan bir çalışmada, pişirilmiş dana köfteleri atmosferik oksijenle paketlenmiş ve depolama boyunca (-18°C, 90 gün) köftelerin uçucu aromatik bileşiklerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Toplamda 80 adet uçucu aromatik bileşik tespit edilmiş ve depolama sırasında köftelerdeki hekzanal, hekzanol ve 2-etil-1-hekzanol miktarı azalırken keton (aseton, 2-bütanon, metil-heptanon, 2-nonanon, piperiton) ve aldehit (heptenal, oktanal ve nonanal) miktarlarında önemli dalgalanmaların yaşandığı bildirilmiştir. Depolama sırasında (0°C, 24 gün) dana etlerinin uçucu aromatik bileşiklerinde meydana gelen değişikliklerin incelendiği bir çalışmada, hekzanal, heptanal, benzaldehit, oktanal, nonanal, dekanal miktarlarının kademeli bir şekilde azaldığı görülürken 2-oktil-1-nonanol, 2-3-bütandiol ve tetradekan miktarlarının ise önemli miktarda arttığı belirtilmiştir (Sun ve diğ., 2020b).

Tablo 5.21. Modifiye atmosferde paketlenen dana kıymalarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları

Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları (µg/kg)						
Bileşimin İsmi	RT	Depolama Süresi (Gün)				
		0	5	10	15	20
Methanethiol	1,718	224,48±7,31 ^E	389,21±9,11 ^D	584,65±10,10 ^C	10150,60±11,16 ^B	11164,79±176,64 ^A
Dimetil sülfid	1,8399	400,44±4,45 ^E	541,14±3,31 ^D	1067,03±8,89 ^C	1671,87±4,05 ^B	1782,65±10,13 ^A
Etil asetat	2,5721	211,05±4,02 ^D	988,71±9,08 ^B	724,80±6,54 ^C	1020,81±23,60 ^B	1423,97±10,19 ^A
2-3-Butanedione	3,5965	445,53±2,78 ^E	614,38±6,14 ^D	873,80±186,72 ^C	8602,94±4,20 ^B	8705,36±9,99 ^A
Dimetil disülfid	5,1902	362,33±3,03 ^E	884,56±4,11 ^D	1005,56±8,75 ^C	1324,88±8,12 ^B	1637,71±233,04 ^A
Hekzanal	5,5175	2917,49±228,25 ^A	966,55±8,67 ^B	473,57±3,74 ^C	449,30±0,13 ^D	303,07±4,31 ^E
2-Heptanon	7,979	510,81±37,32 ^E	774,63±9,87 ^D	963,39±9,74 ^C	1010,22±11,23 ^B	1124,58±13,64 ^A
2-Pentyl furan	8,8732	171,12±2,33 ^E	199,87±4,54 ^D	204,66±6,66 ^C	284,90±6,58 ^B	291,13±2,78 ^A
3-Metil-1-bütanol	9,1983	100,35±2,07 ^E	106,72±2,98 ^D	181,32±0,88 ^C	481,86±4,28 ^B	941,56±15,96 ^A
3-Oktanon	10,07	945,66±50,11 ^B	1724,10±22,13 ^A	1205,23±38,34 ^B	992,69±30,86 ^B	878,90±45,16 ^C
1-Pentanol	10,2269	187,62±14,03 ^E	356,11±9,56 ^D	450,67±5,06 ^C	480,44±3,13 ^B	500,33±2,10 ^A
Asetoin	10,7997	67,56±2,29 ^E	547,69±10,22 ^D	3559,38±1,71 ^C	4165,43±12,41 ^B	6783,08±127,23 ^A
1-Hekzanol	12,6119	224,18±12,64 ^E	513,58±8,89 ^D	864,23±7,47 ^C	1203,18±2,93 ^B	1222,22±9,83 ^A
3-Oktanol	13,431	301,17±1,45 ^E	587,96±3,55 ^D	1201,11±1,99 ^C	1624,33±4,75 ^B	1829,49±6,22 ^A
Asetik asit	14,1785	127,44±2,25 ^E	596,99±9,05 ^D	1182,28±40,45 ^C	1603,38±168,43 ^B	1843,60±1,97 ^A
1-Okten-3-ol	14,3918	1347,22±5,57 ^A	1285,04±180,39 ^A	877,91±22,10 ^B	729,54±11,72 ^C	630,08±8,18 ^D
1-Heptanol	14,5061	200,02±11,11 ^E	227,52±0,98 ^D	375,66±1,02 ^C	510,65±7,87 ^B	631,91±6,45 ^A
2-Etil-1-hekzanol	15,0907	44,20±2,58 ^E	60,23±0,58 ^D	233,89±1,78 ^C	240,64±2,65 ^B	251,64±6,63 ^A
Benzaldehit	15,4305	177,34±2,22 ^E	194,43±3,74 ^D	223,13±4,17 ^C	277,07±5,87 ^B	1273,87±40,85 ^A
1-Oktenol	16,1805	79,30±4,66 ^E	134,83±8,28 ^D	174,42±5,45 ^C	235,6±17,21 ^B	310,44±2,77 ^A
3-Metil bütanoik asit	17,5025	275,55±10,04 ^C	278,94±8,13 ^C	305,73±34,05 ^C	410,04±10,21 ^B	499,77±6,43 ^A
Pentanoik asit	17,5246	30,01±2,10 ^F	36,51±1,29 ^D	42,31±1,72 ^C	49,83±2,64 ^B	55,69±1,75 ^A
Hekzanoik asit	19,7416	772,02±31,28 ^A	398,98±6,06 ^B	350,77±8,19 ^C	212,40±0,73 ^D	173,38±1,11 ^E
Benzil alkol	20,1224	386,81±6,31 ^E	677,14±5,98 ^D	876,39±10,03 ^C	1020,21±17,41 ^B	1126,94±50,32 ^A
Feniletıl Alkol	20,6089	124,27±3,14 ^E	175,66±7,87 ^D	209,35±6,23 ^C	350,99±6,68 ^B	487,96±4,25 ^A
Heptanoik asit	20,9819	80,45±3,31 ^E	94,41±2,33 ^D	99,74±1,75 ^C	110,13±4,86 ^B	135,44±6,25 ^A
Fenol	21,4983	34,46±2,71 ^E	40,73±1,35 ^D	45,04±0,22 ^C	52,22±1,17 ^B	121,76±0,92 ^A
Oketanoik asit	22,1769	26,82±1,87 ^C	31,75±3,40 ^B	32,19±2,50 ^B	233,10±9,12 ^A	222,70±9,22 ^A
Nonanoik asit	23,2961	140,55±7,17 ^D	144,67±6,60 ^D	160,11±4,21 ^C	183,35±5,62 ^B	200,24±2,85 ^A
Dekanoik asit	24,3346	77,88±4,55 ^E	89,51±3,19 ^D	197,82±3,20 ^C	615,61±10,25 ^B	1219,87±56,07 ^A
Dodekanoik asit	26,3379	48,31±0,25 ^E	79,80±1,01 ^D	129,53±8,79 ^C	148,61±7,41 ^B	163,45±4,11 ^A

A, B, C, D, E Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

5.4.10.2 Tavuk Göğsü Filetolarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları

Depolama boyunca modifiye atmosferde paketlenen tavuk göğsü filetolarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları Tablo 5.22’de verilmiştir. Buna göre, tavuk

göğsü filetolarında toplamda 25 adet aroma maddesi tespit edilmiştir. 25 adet aroma maddesi içerisinde, 1 adet ester (etil asetat), 8 adet alkol (ethanol, 3-metil-1-bütanol, 1-pentanol, 1-hekzanol, 1-okten-3-ol, 2-etil-1-hekzanol, benzil alkol, feniletıl alkol), 2 adet aldehit (hekzanal ve benzaldehit), 3 adet keton (aseton, 2,3-oktanedion, asetoin), 1 adet fenol, 3 adet kükürtlü bileşik (dimetil disülfıt, dimetil trisülfıt ve methanethiol) ve 7 adet organik asit (asetik, propanoik, 3-metil bütanoik, hekzanoik, oktanoik, dekanıok ve tetradekanoik asit) belirlenmiştir. Alkollerin (etanol, 3-metil-1-bütanol, 1-pentanol, 1-hekzanol, 1-okten-3-ol, benzil alkol ve feniletıl alkol) toplam miktarı, depolama süresiyle doğru oranda artarken, 2-etil-1-hekzanol miktarında ise dalgalanmalar yaşanmıştır. En yüksek 2-etil-1-hekzanol miktarının depolamanın 10. gününde (1930,6 µg/kg) tespit edildiği ve depolamanın 5. günü (1874,79 µg/kg) ile 10. günü arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılığın olmadığı gözlenmiştir ($P>0,05$). Genel olarak, tavuk göğsü filetolarında tespit edilen organik asitlerin (asetik, propanoik, 3-metil bütanoik, oktanoik, dekanıok ve tetradekanoik asit) depolama sırasında önemli oranda arttığı ($P<0,05$) ve özellikle 10. günden sonra meydana gelen artışın daha büyük olduğu göze çarpmıştır. Ayrıca, hekzanoik asit miktarının depolamanın ilk 5. gününe kadar arttığı daha sonra 15. güne kadar azaldığı ve son olarak tekrar arttığı tespit edilmesine rağmen 15. gün hariç diğer günlerde istatistiksel açıdan bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0,05$). Depolama boyunca tüm keton bileşiklerin (aseton ve 2-3-oktanedion) miktarında önemli artışlar görülmesine rağmen ($P<0,05$) asetoin miktarında önemli dalgalanmalar yaşanmış ve depolamanın 15. ve 20. günlerinde örneklerin aseton ve 2-3-oktanedion miktarları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($P>0,05$). Kükürtlü bileşikler arasından dimetil disülfıt, dimetil trisülfıt ve methanethiolün depolamanın başlangıcında sırasıyla 301,08 µg/kg, 244,12 µg/kg ve 235,87 µg/kg olarak tespit edilmiş ve depolama boyunca tüm kükürtlü bileşiklerin miktarında önemli artışlar gözlenmiştir ($P<0,05$). Tablo 5.22 incelendiğinde, tavuk göğsü filetolarında 2 adet aldehit saptanmış ve bunlardan hekzanalın depolama sırasında kademeli bir şekilde azaldığı görülürken benzaldehitin ise önemli oranda arttığı görülmüştür ($P<0,05$). Ayrıca, örneklerdeki hekzanal miktarı göz önüne alındığında, 0. gün (794,05 µg/kg) ile 5. gün (736,01 µg/kg) arasında anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$). 0. günde, tavuk göğsü filetolarında etil asetat miktarının 503,24 µg/kg olduğu ve depolama sırasında bu değer önce 568,31 µg/kg'a (5. gün) daha sonra ise kademeli bir

şekilde sırasıyla 567,89 µg/kg (10. gün), 953,46 µg/kg (15. gün) ve 1104,55 µg/kg'a (20. gün) yükselmiştir.

Benzer bir çalışmada, modifiye atmosferde paketlenen (%40 CO₂, %30 N₂ ve %30 O₂) tavuk göğsü filetolarında uçucu aromatik bileşikleri tespit etmek için CAR/PDMS fibri kullanılmış ve depolama süresinin (4°C, 15 gün) uzamasıyla birlikte tavuk göğsü filetolardaki aseton, karbon disülfid, asetik asit, 2-bütanon, 2-3-bütanedion, dimetil sülfid, asetoin ve 3-metil-bütanol miktarlarının da arttığı bildirilmiştir (Ioannidis ve diğ., 2018).

Tablo 5.22. Modifiye atmosferde paketlenen tavuk göğsü filetolarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları

Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları (µg/kg)						
Bileşimin İsmi	RT	Depolama Süresi (Gün)				
		0	5	10	15	20
Methanethiol	1,718	235,87±2,35 ^E	634,21±9,23 ^D	1587,22±64,72 ^C	2304,66±107,33 ^B	5703,73±192,88 ^A
Aseton	2,1253	187,73±6,59 ^D	215,27±7,94 ^C	327,20±6,78 ^B	402,82±24,82 ^A	421,19±15,43 ^A
Etil asetat	2,5721	503,24±11,23 ^D	568,31±18,21 ^C	567,89±10,44 ^C	953,46±9,77 ^B	1104,55±35,24 ^A
Ethanol	3,156	199,98±3,21 ^E	224,21±5,63 ^D	245,66±8,89 ^C	497,93±9,29 ^B	533,39±19,44 ^A
Dimetildisülfid	5,1902	301,08±10,11 ^E	673,45±15,42 ^D	1154,54±45,14 ^C	1249,43±22,65 ^B	5643,33±145,34 ^A
Hekzanal	5,5175	794,05±52,4 ^A	736,01±6,88 ^A	502,56±17,09 ^B	485,76±10,23 ^B	420,18±9,01 ^C
3-Metil-1-bütanol	9,1983	320,78±10,27 ^E	583,86±27,71 ^D	662,31±49,77 ^C	833,15±20,19 ^B	1046,6±17,26 ^A
1-Pentanol	10,2269	47,19±2,28 ^E	96,70±4,56 ^D	145,12±17,42 ^C	326,78±9,78 ^B	411,10±10,24 ^A
Asetoin	10,7997	102,35±4,54 ^D	383,35±23,23 ^B	123,89±5,61 ^C	365,02±25,74 ^B	475,63±10,23 ^A
2,3-Oktanediön	11,8885	166,21±7,01 ^D	198,76±6,15 ^C	223,41±3,34 ^B	427,78±17,58 ^A	429,99±15,63 ^A
1-Hekzanol	12,6119	299,02±3,45 ^D	355,64±7,74 ^D	361,90±16,79 ^C	656,10±30,87 ^B	701,35±8,22 ^A
Dimetil trisülfid	12,8054	244,12±10,23 ^E	301,29±6,25 ^D	323,44±9,15 ^C	375,67±8,76 ^B	408,95±17,54 ^A
Asetik asit	14,1785	96,74±0,06 ^F	213,34±5,45 ^D	545,67±6,71 ^C	1250,96±32,41 ^B	2486,98±11,02 ^A
1-Okten-3-ol	14,3918	147,21±13,59 ^E	227,24±10,83 ^D	302,07±10,24 ^C	599,78±5,67 ^B	623,45±9,11 ^A
2-Etil-1-hekzanol	15,0907	136,51±15,09 ^D	1874,79±45,33 ^A	1930,6±45,90 ^A	785,08±4,19 ^B	234,52±11,93 ^C
Benzaldehit	15,4303	144,29±4,53 ^E	171,55±2,99 ^D	212,22±14,05 ^C	255,98±6,75 ^B	313,42±8,71 ^A
Propanoik asit	15,6373	29,67±1,44 ^E	33,87±1,15 ^D	46,21±1,23 ^C	139,26±16,77 ^B	387,72±22,09 ^A
3-Metil-bütanoik asit	17,5025	161,27±2,23 ^E	188,00±1,67 ^D	198,74±9,36 ^C	238,87±3,86 ^B	358,17±15,76 ^A
Hekzanoik asit	19,7416	63,07±9,29 ^A	71,47±8,02 ^A	68,89±7,13 ^A	32,75±2,29 ^B	51,42±10,23 ^A
Benzil alkol	20,1224	75,64±4,36 ^E	104,77±3,87 ^D	157,88±7,90 ^C	310,09±10,25 ^B	401,12±13,45 ^A
Feniletıl Alkol	20,6089	168,32±4,80 ^E	195,57±10,43 ^D	279,34±12,88 ^C	468,99±7,77 ^B	570,75±26,50 ^A
Fenol	21,4983	45,36±2,33 ^E	56,01±0,64 ^D	702,88±32,85 ^C	1159,3±3,69 ^B	5775,16±301,74 ^A
Oketanoik asit	22,1769	50,07±1,07 ^E	71,19±3,12 ^D	85,64±2,88 ^C	92,17±0,7 ^B	123,45±3,34 ^A
Dekanoik asit	24,334	89,97±2,33 ^E	101,29±4,55 ^D	136,21±7,51 ^C	479,67±6,04 ^B	513,34±7,88 ^A
Tetradekanoik asit	28,5555	198,03±1,22 ^E	204,80±0,84 ^D	250,67±7,13 ^C	485,68±3,25 ^B	509,23±6,45 ^A

A, B, C, D, E Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

5.4.10.3 Alabalık Filetolarının Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları

Depolama boyunca modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetolarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları Tablo 5.23'te verilmiştir. Buna göre, alabalık filetolarında toplamda 31 adet aroma maddesi tespit edilmiştir. 31 adet aroma maddesi içerisinde, 1 adet ester (etil asetat), 9 adet alkol (ethanol, 1-bütanol, 1-penten-3-ol, 3-metil-1-bütanol, 1-hekzanol, 1-okten-3-ol, 2-6-dimetil-4-heptanol, 2-etil-1-hekzanol ve feniletıl alkol), 4 adet aldehit (pentanal, 3-metil bütanal, hekzanal ve benzaldehit), 3 adet keton (2-pentanon, 2-heptanon ve asetoin), 1 adet fenol, 4 adet kükürtlü bileşikler (methanethiol, dimetil sülfıt, dimetil disülfıt ve dimetil trisülfıt) ve 9 adet organik asit (asetik, propanoik, 3-metil-bütanoik, pentanoik, hekzanoik, oktanoik, nonanoik, dekanıok ve tetradekanoik asit) saptanmıştır. Depolama süresinin alkol miktarları üzerine önemli etkisinin olduğu ancak depolama boyunca örneklerin 3-metil-1-bütanol miktarında önce bir artış (10. güne kadar) sonra azalış (10. günden 15. güne kadar) ve daha sonra ise tekrar bir artışın (15. günden 20. güne kadar) olduğu gözlenmiştir. 1-hekzanol miktarı açısından değerlendirildiğinde, depolamanın 5. günü (283,52 µg/kg) ile 15. günü (313,39 µg/kg) arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark saptanmamıştır ($P>0,05$). Örneklerdeki fenil etil alkol miktarı sırasıyla 457,77 µg/kg (0. gün), 1237,42 µg/kg (5. gün), 1243,73 µg/kg (10. gün), 1575,44 µg/kg (15. gün) ve 2152,46 µg/kg (20. gün) olarak bulunmuş ve depolamanın 5. günü ile 10. günü arasında anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($P>0,05$). Ayrıca, organik asitlerin miktarı depolama süresinin uzamasına bağlı olarak artmaktadır. Ancak, depolama boyunca hekzanoik asit miktarında önemli değişiklikler gözlenmemiştir ($P>0,05$). Alabalık filetolarının 3-metil bütanal miktarı 645,77 ile 2697,71 µg/kg arasında değişmiştir. Depolamanın 5. gününden itibaren örneklerin 3-metil bütanal miktarında artışlar görülmesine rağmen bu artış istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ($P>0,05$). Hekzanal miktarının depolama süresi ile ters etki gösterdiği ve depolama süresinin uzamasıyla örneklerdeki hekzanal miktarının anlamlı bir şekilde azaldığı (1962,97 µg/kg'dan 1083,22 µg/kg'dan azalmıştır) gözlenmiştir ($P<0,05$). Kükürtlü bileşikler grubunda yer alan methanethiolün her bir depolama periyodunda en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Genel olarak, alabalık filetolarında tespit edilen ketonların miktarı (2-pentanon ve asetoin) muhafaza süresinin uzamasıyla birlikte artmasına rağmen 2-heptanon miktarında ise önemli dalgalanmalar yaşanmıştır. 20. güne kadar örneklerin 2-heptanon miktarında önemli artışlar gözlenmiş olmasına

rağmen 10. gün (272,91 µg/kg) ile 20. gün (271,27 µg/kg) arasında istatistiksel açıdan önemli bir farklılık tespit edilmemiştir (P>0,05). Depolama sırasında, alabalık filetolarındaki etil asetat miktarı sırasıyla 466,23 µg/kg (0. gün), 688,64 µg/kg (5. gün), 731,44 µg/kg (10. gün), 809,45 µg/kg (15. gün) ve 897,65 µg/kg (20. gün) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, depolama boyunca örneklerin fenol miktarında önemli artışlar yaşanmasına rağmen özellikle depolamanın 10. gününden sonraki artışın (%324,27) daha fazla olduğu göze çarpmıştır.

Merluccius capensis cinsi balıklar fileto haline getirildikten sonra modifiye atmosferde (%40 CO₂ + %30 O₂ + %30 N₂; %0,039 CO₂ + %20,95 O₂ + %78 N₂) paketlenmiş ve depolama sırasında (4°C, 12 gün) balıkların uçucu aromatik bileşenlerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Buna göre her bir örnek grubunda 16 adet aromatik bileşen tespit edilmiş ve depolama boyunca balıkların alkol (etil alkol, 3-metil-1-bütanol, 2-etil-1-hekzanol vb.), keton (3-oktanon, pentanon vb.), asit (asetik asit), ester (etil asetat ve bütanoik asit etil ester) ve kükürtlü bileşiklerinde (dimetil sülfid, dimetil disülfid vb.) anlamlı artışların olduğu bildirilmiştir (Opara ve diğ., 2022). Barbun balıkları buharda ve fırında olmak üzere iki farklı pişirme yöntemiyle pişirilmiş ve pişirme yönteminin ürünün aromatik bileşikleri üzerine olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, her iki pişirme yöntemiyle üretilmiş balıklarda 27'şer adet aroma maddesi tespit edilmiş ve hem buharda hem de fırında pişirilen balıklarda, alkol grubu bileşiklerin sayı ve miktar olarak aroma maddelerinin en büyük kısmını oluşturduğu ifade edilmiştir (Erbay, 2017).

Tablo 5.23. Modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetolarının uçucu aromatik bileşen analiz sonuçları

Uçucu Aromatik Bileşen Analiz Sonuçları (µg/kg)						
Bileşimin İsmi	RT	Depolama Süresi (Gün)				
		0	5	10	15	20
Methanethiol	1,718	488,91±12,33 ^E	1756,21±207,28 ^D	2462,63±142,54 ^C	4688,46±205,81 ^B	7336,24±271,23 ^A
Dimetil sülfid	1,8399	511,27±12,01 ^E	763,29±51,02 ^D	1005,20±87,92 ^C	1657,88±34,55 ^B	2231,39±51,77 ^A
Etil Asetat	2,5721	466,23±18,76 ^E	688,64±25,69 ^D	731,44±15,64 ^C	809,45±21,30 ^B	897,65±20,08 ^A
Pentanal	2,8648	345,28±8,79 ^E	489,92±12,31 ^D	577,43±19,78 ^C	619,44±21,08 ^B	713,22±20,11 ^A
3-metil-Bütanal,	2,8692	645,77±65,89 ^C	1024,36±101,23 ^B	2697,71±281,21 ^A	2492,67±152,09 ^A	2727,65±144,37 ^A
Ethanol	3,156	605,42±18,76 ^E	675,24±16,45 ^D	724,85±0,41 ^C	1233,57±20,33 ^B	1645,62±52,85 ^A
2-Pentanon	3,6355	511,09±12,03 ^E	657,89±16,57 ^D	1003,27±21,34 ^C	1457,34±21,22 ^B	1926,31±20,01 ^A
Dimetil disülfid	5,1902	743,29±65,78 ^E	1468,77±94,97 ^D	1767,97±14,30 ^C	3442,32±376,32 ^B	5613,54±295,34 ^A
Hekzanal	5,5175	1962,97±18,69 ^A	1773,28±4,77 ^B	1675,40±5,56 ^C	1488,51±4,58 ^D	1083,22±20,66 ^E
1-Bütanol	7,4021	231,28±3,08 ^E	269,82±4,23 ^D	286,68±15,88 ^C	328,79±5,89 ^B	515,49±6,07 ^A
1-Penten-3-ol	7,6676	118,25±4,57 ^E	133,09±2,77 ^D	145,28±4,34 ^C	161,11±2,35 ^B	178,90±1,23 ^A
2-Heptanon	7,979	125,66±3,45 ^D	245,11±4,12 ^C	272,91±6,06 ^B	290,28±5,05 ^A	271,27±6,04 ^B
3-Metil-1-bütanol	9,1983	503,21±18,99 ^E	1507,76±20,09 ^C	2758,43±193,72 ^A	1276,5±0,64 ^D	2420,5±25,61 ^B
Asetoin	10,7997	71,75±0,22 ^E	92,23±2,35 ^D	103,84±3,17 ^C	119,44±0,13 ^B	178,53±0,85 ^A
1-Hekzanol	12,6119	128,77±10,12 ^C	283,52±20,23 ^B	369,29±4,87 ^A	313,39±21,47 ^B	137,84±12,77 ^C
Dimetil trisülfid	12,8054	176,42±1,88 ^D	202,19±2,17 ^C	225,67±3,12 ^B	233,04±5,45 ^B	250,30±8,53 ^A
Asetik asit	14,1785	66,51±0,59 ^E	298,13±19,42 ^D	936,55±40,95 ^C	1319,34±29,84 ^B	1664,9±16,88 ^A
1-Okten-3-ol	14,3918	189,94±17,65 ^E	251,11±10,59 ^D	388,54±12,36 ^C	512,00±1,34 ^B	817,47±20,6 ^A
2-6-Dimetil-4-heptanol	14,64	71,32±2,01 ^E	79,02±1,99 ^D	85,44±2,77 ^C	97,92±2,72 ^B	107,88±3,44 ^A
2-Etil-1-hekzanol	15,0907	33,28±3,25 ^E	45,86±5,66 ^D	65,60±0,79 ^C	70,01±4,78 ^B	84,29±4,01 ^A
Benzaldehit	15,4303	199,86±3,45 ^D	244,80±1,8 ^C	571,39±32,93 ^B	584,64±18,97 ^B	1165,98±30,27 ^A
Propanoik asit	15,6373	70,13±2,12 ^E	80,40±1,30 ^D	129,39±7,6 ^C	323,66±4,87 ^B	480,9±1,02 ^A
3-Metil-bütanoik asit	17,5025	488,95±2,34 ^E	573,31±1,40 ^B	531,09±2,82 ^C	494,30±3,85 ^D	602,52±12,50 ^A
Pentanoik asit	17,5246	61,03±1,99 ^D	64,61±0,44 ^C	66,18±1,03 ^B	68,17±2,02 ^B	75,89±2,3 ^A
Hekzanoik asit	19,7416	101,02±10,11 ^A	109,87±9,85 ^A	115,34±11,23 ^A	104,68±11,17 ^A	105,69±9,99 ^A
Feniletil Alkol	20,6089	457,77±11,27 ^D	1237,42±12,65 ^C	1243,73±22,66 ^C	1575,44±40,61 ^B	2152,46±36,03 ^A
Fenol	21,4983	72,63±1,92 ^E	87,69±2,17 ^D	100,71±2,94 ^C	427,28±3,19 ^B	596,25±3,53 ^A
Oktanoik asit	22,1769	103,45±2,11 ^E	117,66±5,07 ^D	127,74±6,52 ^C	231,7±0,85 ^B	267,83±4,01 ^A
Nonanoik asit	23,2961	28,72±2,01 ^D	33,24±3,45 ^C	35,59±2,46 ^C	44,77±1,77 ^B	58,91±2,33 ^A
Dekanoik asit	24,3346	110,02±3,12 ^E	121,27±5,77 ^D	138,49±0,38 ^C	345,67±3,45 ^B	516,17±22,3 ^A
Tetradekanoik asit	28,5555	122,13±3,86 ^E	144,37±4,47 ^D	164,5±6,05 ^C	359,51±16,71 ^B	453,79±7,97 ^A

A, B, C, D, E Aynı satırda bulunan harfler istatistiksel olarak önemlidir (P<0,05)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı et örneklerinin (dana kıyması, tavuk göğüs filetosu ve alabalık filetosu) paketlenmesinde (modifiye atmosfer ve atmosferik oksijen) tüketicilerin dikkatini çekebilen ve akıllı etiket olarak tarif edilen doğal (Hicaz narı, şalgam ve kırmızı lahana suyu) ve yapay (metil kırmızısı ve bromokresol yeşili) renk maddesi katkılı kâğıt tipi pH indikatörlerinin üretimi ve depolama boyunca gösterdikleri değişim incelenmiştir. Modifiye atmosferde paketlenen dana kıymaları, %70 O₂, %20 CO₂ ve %10 N₂ gaz kompozisyonlarında paketlenirken tavuk göğüs filetoları ve alabalık filetoları ise %30 CO₂ ve %70 N₂ gaz kompozisyonunda paketlenmiştir. Atmosferik oksijenle paketlenen et örnekleri buzdolabı koşullarında 10 gün süreyle depolanırken modifiye atmosferde paketlenen et örnekleri ise 20 gün süreyle 4°C'de depolanmıştır. Depolama boyunca, et örneklerinin fizikokimyasal (pH, aletsel renk değerleri, su aktivitesi, lipid ve protein oksidasyonu, TVB-N değeri, uçucu aromatik bileşikler) ve mikrobiyolojik özelliklerinde (toplam psikrofilik aerobik, toplam koliform ve toplam maya-küf canlı sayımı) gerçekleşen değişiklikler araştırılmıştır. Ayrıca, indikatör üretiminde kullanılan pH:3'e ayarlanmış doğal boyaların toplam antioksidan aktivite (% antiradikal aktivite), toplam fenolik madde (mg gallik asit/100 g ürün) ve toplam antosiyanin madde miktarları (siyanidin-3-glikozit, mg/L) tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

- ✓ Nar suyunun pH:1 ile 4 aralığında kırmızı bir renge sahip olduğu, pH:5 ile 6 aralığında ise rengin kırmızıdan turuncumsu-kahverengi bir renge dönüştüğü gözlenmiştir. pH arttıkça (pH:7'den pH:13'e kadar) nar suyundaki kahverengi rengin daha da yoğun (koyu) hale geldiği ve pH:12'den sonra ise, nar suyundaki koyu kahverengi rengin açık kahverengiye dönüştüğü belirlenmiştir.
- ✓ Kırmızılahaana suyunun pH:1 ve 2'de kırmızı, pH:2'den 3 gelindiğinde ise pembemsi bir renge dönüştüğü görülmüştür. Kırmızı lahana suyunun pH:4 ile 7 aralığında mor bir renge, pH:8 ile 9 aralığında mavi bir renge, pH:10 ile 11 aralığında ise yeşil bir renge sahip olduğu gözlenmiştir. pH:11'den sonra ise kırmızı lahana suyu renginin sarı bir renge sahip olduğu ve pH değerinin artışına bağlı olarak bu sarı rengin açılmaya başladığı görülmüştür.

- ✓ Şalgam suyunun pH:1'de kırmızı renge sahip olduğu ve pH arttıkça (pH:4'e kadar) şalgam suyundaki kırmızı rengin daha da koyu kırmızı bir renge dönüştüğü görülmüştür. pH:3'ten pH:4' gelindiğinde, koyu kırmızı renkli şalgam suyunun kırmızımsı-morumsu bir renge dönüştüğü ve pH:5 ile 9 aralığında şalgam suyunun renginde (mor renk) herhangi bir değişikliğin yaşanmadığı gözlenmiştir. pH:8'den pH:9'a gelindiğinde, mor rengin kahverengiye dönüştüğü ve pH:8'den pH:14'e kadar şalgam suyunun renginde (kahverengi renk) ise önemli değişiklikler yaşanmamış olup pH:14'te rengin koyu sarıya dönüştüğü tespit edilmiştir.
- ✓ pH:1 ile 3 aralığında bromkresol yeşilinin sarı renkte olduğu ve pH artışına bağlı olarak rengin açık sarıdan koyu sarıya dönüştüğü görülmüştür. pH:4'te bu boya fıstık yeşili rengine dönüşürken pH:4'ten pH:5'e gelindiğinde ise fıstık yeşili renginin koyu yeşile dönüştüğü gözlenmiştir. pH:5'ten sonra bromkresol yeşilinin mavi renkte olduğu ve pH:13 ile 14 aralığında bu mavi rengin açık maviye dönüştüğü tespit edilmiştir.
- ✓ Metil kırmızı boyasının pH:1 ile 2 aralığında kırmızı bir renkte olduğu, pH:3 ile 8 aralığında turuncu renge döndüğü ve özellikle pH:7'den sonra metil kırmızısı boyasının turuncu renginin kademeli bir şekilde açılmaya başladığı gözlenmiştir. pH:9'a gelindiğinde, metil kırmızısının turuncudan koyu sarıya döndüğü ve bu pH değerinin üzerine çıkıldığında ise rengin sarı olarak kaldığı tespit edilmiştir.
- ✓ Kırmızı lahana ($1923 \pm 7,87$) ve şalgam suyunun ($1945 \pm 9,63$) toplam fenolik madde miktarlarının birbirine yakın olduğu ve istatistiksel açıdan önemli bir farklılığın olmadığı görülmüştür ($P > 0,05$). Hicaz nar suyundaki toplam fenolik madde miktarı $1635 \pm 10,02$ mg gallik asit/100 g olarak bulunmuştur.
- ✓ En yüksek antiradikal aktivite değerine sahip olan örneğin kırmızı lahana suyunda (%42,89) olduğu gözlenmiştir. Kırmızı lahana (%42,89) ve şalgam suyundaki (%41,45) antiradikal aktivite değerlerinin birbirine yakın ve istatistiksel açıdan da benzer olduğu tespit edilmiştir ($P > 0,05$).

- ✓ Örneklerdeki toplam antosiyanin içeriği 366 ile 380 mg-siyanidin-3-glikozit/L arasında değişkenlik göstermiştir. Kırmızı lahana ve şalgam sularının toplam antosiyanin içeriğinin sırasıyla 335 ve 366 mg siyanidin-3-glikozit/L olduğu ve istatistiksel açıdan benzer değerlere ($P>0,05$) sahip olduğu gözlenmiştir.
- ✓ Çalışmada kullanılan dana kıymalarının nem, protein, yağ, kül ve karbonhidrat miktarları sırasıyla %56,85, 20,13, 19,76, 2,11 ve 1,15 olarak bulunmuştur. Tavuk göğüs eti filetosunun nem, protein, yağ, kül ve karbonhidrat miktarları sırasıyla %73,08, 22,36, 2,05, 1,73 ve 0,78 olarak tespit edilirken alabalık filetolarının nem, protein, yağ, kül ve karbonhidrat miktarları sırasıyla %70,11, 22,08, 5,43, 1,54 ve 0,84 olarak bulunmuştur.
- ✓ Depolamanın başlangıcından 3.güne gelindiğinde, atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarındaki B (bromkresol yeşili) ve M (metil kırmızısı) kodlu indikatörlerin (sırasıyla sarıdan maviye ve kırmızıdan turuncuya) renklerinde önemli değişikliklerin yaşandığı görülürken doğal boya katkı indikatörlerin ise depolamanın 7. gününde önemli renk değişikliğine uğradığı tespit edilmiştir. Modifiye atmosferde paketlenen (%70 O₂, %20 CO₂ ve %10 N₂) dana kıymalarında ise depolamanın 15. gününde bromkresol yeşili katkı indikatör renginin sarıdan maviye döndüğü görülürken doğal boya katkı indikatörlerin renklerinin ise depolamanın 20. gününde değişikliğe uğradığı gözlenmiştir.
- ✓ Depolama boyunca, atmosferik oksijen ile paketlenen tavuk göğüs filetolarında kullanılan yapay boya katkı akıllı etiketlerdeki renk değişikliklerinin depolamanın 3. gününde gerçekleştiği (M kodlu indikatörün kırmızıdan turuncuya dönmüştür) belirlenirken depolamanın 7. gününde, doğal boya katkı indikatörler olan Ş (şalgam suyu katkı indikatör), N (nar suyu katkı indikatör) ve K (kırmızı lahana suyu katkı indikatör) kodlu indikatörlerin ise sırasıyla kırmızıdan-mora, kırmızıdan-pembeye ve kırmızıdan maviye döndüğü gözlenmiştir. Modifiye atmosferde paketlenen (%30 CO₂ ve %70 N₂) tavuk göğüs filetolarında ise, doğal boya katkı ve yapay boya katkı

(metil kırmızısı katkılı indikatör hariç) indikatörlerde depolamanın 10. gününde önemli renk değişikliklerine uğradıkları görülmüştür.

- ✓ Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetolarındaki indikatörlerin renklerinde meydana gelen değişiklikler incelendiğinde, depolamanın 3. gününde, bromkresol ve metil kırmızısı katkılı indikatörlerin renklerinde önemli değişikliklerin olduğu, B kodlu indikatörün renginin sarıdan yeşilimtırak-mavi renge döndüğü görülürken M kodlu indikatörün ise kırmızıdan turuncuya döndüğü görülmüştür. 7. günde, Ş ve N kodlu indikatörlerin renklerinde önemli değişikliklerin olduğu, Ş kodlu indikatörün kırmızıdan mora, N kodlu indikatörün ise gül kuru renginden grimsi-yeşil renge döndüğü belirlenmiştir. Depolamanın sonunda ise, N kodlu indikatörün rengi yeşile dönmüştür. Modifiye atmosferde paketlenen (%30 CO₂ ve %70 N₂) alabalık filetolarında ise, 5. günde, sadece bromkresol yeşili ve metil kırmızısı katkılı indikatörlerin sırasıyla sarıdan-maviye ve kırmızıdan turuncuya döndüğü görülürken Hicaz narı, kırmızı lahana ve şalgam suyu katkılı indikatörlerin depolamanın 10. gününde sırasıyla kırmızıdan yeşile, maviye ve mor renge döndüğü saptanmıştır.
- ✓ Atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarındaki L* (parlaklık) değerlerinin 39,80 ile 46,12 arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca örneklerin parlaklık değerinde önemli bir düşüşün olduğu tespit edilmiştir (P<0,05). Depolamanın başında dana kıymasının kırmızılık değerinin 19,39 olduğu, depolama boyunca bu değer düşüşü ve oransal olarak bu düşüşün %41,77 olduğu belirlenmiştir. 0. günden 3. güne gelindiğinde dana kıymasının sarılık değerinde bir düşüş (7,53'ten 7,33'e) gözlenmesine rağmen istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamış (P>0,05) ancak 5. günden (7,04) 10. güne (9,48) gelindiğinde ise örneklerin sarılık değerinde önemli bir artış tespit edilmiştir (P<0,05).
- ✓ Depolamanın başlangıcında modifiye atmosferde paketlenen dana kıymalarındaki parlaklık değerinin 46,12 olduğu ve bu değer 20. güne gelindiğinde kısmen artarak 50,49'a ulaştığı görülmüştür (P<0,05). Depolama boyunca dana kıymalarındaki kırmızılığın kademeli bir şekilde azaldığı (19,39'dan 12,45'e azalmış) ve bu azalışın oransal

olarak %55,74 olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin sarılık değerlerinde depolama boyunca önce bir artış daha sonra ise bir düşüş görülmüş ancak yaşanan bu dalgalanmanın (ilk 10 gününe kadar) istatistiksel açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir ($P>0,05$).

- ✓ Atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğüs etindeki L^* değerinin 40,48 ile 43,71 arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca örneklerin parlaklık değerinde önemli bir düşüşün olduğu gözlenmiş ve bu düşüş istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Depolama boyunca tavuk göğüs etinin kırmızılık değerinde önemli bir düşüşün olduğu ($P<0,05$) ve bu düşüşün oransal olarak %64,40 olduğu tespit edilmiştir. Depolama boyunca, tavuk göğüs etinin b^* (sarılık) değerinde önemli bir artış gözlenmiş ($P<0,05$) ve oransal olarak en büyük artışın (%1260,3) 0. günden (2,42) 5. güne (5,47) gelindiğinde yaşandığı görülmüştür.
- ✓ Depolama boyunca modifiye atmosferde paketlenen tavuk göğüs filetoalarının parlaklık değerinde kısmi düşüşler gözlenmesine rağmen depolamanın 15. gününe kadar gerçekleşen düşüşün anlamlı olmadığı saptanmıştır ($P>0,05$). Depolama boyunca tavuk göğüs filetoalarındaki kırmızılık değerinin 5,31'den 4,11'e kademeli bir şekilde düştüğü belirlenmiştir. En düşük sarılık değerinin depolamanın başlangıcında gözlemlendiği ve depolama boyunca tavuk etlerindeki sarılık değerlerinde önemli artışların ($P<0,05$) yaşandığı tespit edilmiştir.
- ✓ Genel olarak, depolama sırasında atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetoaların parlaklık değerinde bir artışın olduğu ve oransal olarak bu artışın (%18,16) 5. günden (41,36) 7. güne (48,87) gelindiğinde gerçekleştiği görülmüştür. Depolamanın başlangıcında, alabalık filetosunun kırmızılık değeri 4,63 olarak bulunmuş ve depolama boyunca örneklerin kırmızılık değerinde önemli bir düşüş gözlenmiştir ($P<0,05$). Depolamanın başlangıcında, alabalık filetosunda sarılık değeri 2,88 olarak bulunmuş ve depolamanın sonunda bu değerin 5,76'ya yükseldiği tespit edilmiştir ($P<0,05$).
- ✓ Modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetoalarının parlaklık değeri başlangıçta 40,67 iken depolama sonunda bu değer 46,31'e ulaşmıştır. Depolama boyunca örneklerin kırmızılık değerinde düşüş görülmesine

rağmen en büyük düşüşün 10. günden (3,85) 15. güne (1,08) geldiğinde yaşandığı gözlenmiştir. Örneklerin sarılık değerlerinin 2,88 ile 4,58 arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca bu değerler kademeli bir şekilde arttığı belirlenmiştir ($P<0,05$).

- ✓ Depolamanın başlangıcında hem atmosferik oksijen hem de modifiye atmosferde paketlenen dana kıymalarındaki pH'nın 5,28 olduğu ve depolama sırasında örneklerin pH değerlerinde önemli artışların gerçekleştiği tespit edilmiştir ($P<0,05$).
- ✓ Depolamanın başlangıcında atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğüs etindeki pH'nın 5,95 olduğu ve depolama sonunda bu değer 6,92'ye ulaştığı görülmüştür. Modifiye atmosferde paketlenen örneklerde ise pH değerinde önce bir düşüş (10. güne kadar) daha sonra ise belirgin bir artış tespit edilmiştir ($P<0,05$).
- ✓ Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetoalarının depolama boyunca pH değerinde önemli bir artışın olduğu ($P<0,05$) ve özellikle 5. günden sonra meydana gelen artışın daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Modifiye atmosferde paketlenen örneklerde ise başlangıç pH değerinin 6,61 olduğu ve bu değer 7,23 seviyesine kadar yükseldiği belirlenmiştir.
- ✓ Depolama boyunca atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarındaki a_w değerlerinin kademeli olarak arttığı ve en büyük artışın 5. günden (0,968) 7. güne (0,979) geldiğinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu durumun aksine, modifiye atmosferde paketlenen örneklerdeki a_w değerinin azaldığı ve bu azalışın en fazla 10. günden (0,949) 15. güne (0,935) geldiğinde gerçekleştiği gözlenmiştir.
- ✓ Atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğüs filetoalarındaki su aktivitesi değerinin 0,973 ile 0,992 arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. a_w değeri üzerine depolama süresinin istatistiksel açıdan önemli olduğu ($P<0,05$), depolama boyunca tavuk etinin a_w değerinde önemli bir artışın olduğu ($P<0,05$) görülmüştür. Bu durumun aksine modifiye atmosferde paketlenen örneklerin a_w değerlerinin ise 0,973'den 0,951 seviyesine düştüğü gözlenmiştir.
- ✓ Atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetoalarındaki a_w değerinin 0,983 ile 0,994 arasında değişkenlik gösterdiği ve depolama boyunca

bu değerin kademeli olarak arttığı belirlenmiştir. Modifiye atmosferde paketlenen örneklerde de benzer artışlar tespit edilmiştir.

- ✓ Lipid oksidasyonu açısından değerlendirildiğinde, her iki paketleme yöntemi ve her  et örneğinde de malondialdehit miktarı depolamaya bağlı olarak artış göstermiştir. Ambalajlama yöntemleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde, atmosferik oksijenle paketlenen rneklelerin MAP'lı örneklere nazaran daha kolay okside olduğu, et rnekleleri içerisinde ise alabalıkların her iki paketleme yönteminde de daha hızlı oksidasyona uğradığı tespit edilmiştir.
- ✓ Protein oksidasyonu açısından bakıldığında, lipid oksidasyonuna benzer şekilde MAP'lı rneklelerde protein oksidasyonunun sınırlı kaldığı görülürken atmosferik oksijen altında protein oksidasyonu daha hızlı ilerlediği grlmştir. rnekleler kendi içerisinde değerlendirildiğinde, alabalık filetoalarının lipid oksidasyonunun da tetiklemesiyle daha hızlı okside olduğu belirlenmiştir.
- ✓ Depolama boyunca atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarındaki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısında önemli bir artışın olduğu ve 7. günde çeşitli et ve ürünlerinde insan tüketimi için kabul edilen eşik sınırın (6-7 log CFU/g) zerine çıkılarak 7,10 log CFU/g seviyesine ulaşıldığı gözlenmiştir. MAP'lı rneklelerde ise eşik sınır 10. günden sonra (7,05 log CFU/g) aşılmıştır.
- ✓ Toplam koliform bakteri sayısı açısından kıyma rnekleleri her iki yöntemde de başlangıç olarak benzer değerler alırken depolama sonunda atmosferik oksijenle paketlenen rneklelerde koliform sayısı sırasıyla 5,20 log CFU/ g ve 3,90 log CFU/g olarak tespit edilmiştir (P<0,05).
- ✓ Her iki yöntemle de depolanan rneklelerin maya-küf sayıları başlangıca göre artmış olmasına rağmen bu artış oranı toplam psikrofilik ve koliformlar kadar belirgin olmamıştır.
- ✓ Depolama boyunca, atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğüs etlerindeki toplam psikrofilik bakteri sayısında en büyük artışın 5. günden (4,80 log CFU/g) 7. güne (7,30 log CFU/g) gelindiğinde ortaya çıktığı gözlenmiştir. MAP'lı rneklelerde ise başlangıçta 3,05 log CFU/g olan bu değer 15. gün itibariyle eşik sınırı geçmiştir.

- ✓ Atmosferik oksijenle paketlenen tavuk göğüs filetolarındaki toplam koliform bakteri sayısının başlangıçta 1,00 log CFU/g olduğu ve depolamanın sonlarına doğru (4,30 log CFU/ g seviyesine çıkmıştır) ürünlerdeki koliform bakteri sayısında önemli bir artışın olduğu görülmüştür (P<0,05). MAP'lı örneklerde ise depolama sonunda başlangıç yükünün yaklaşık 3,5 katına çıktığı tespit edilmiştir.
- ✓ Tavuk göğüs filetolarının dana kıymalarına benzer şekilde maya-küf sayılarındaki artışın diğer mikroorganizmalara nazaran daha düşük kaldığı, paketlenme yöntemi açısından ise önemli bir farklılığın olmadığı görülmüştür.
- ✓ 0. günde, atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetolarındaki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının 3,60 log CFU/g olduğu ve 5. günden sonra eşik sınıra (7,70 log CFU/g) ulaşıldığı belirlenmiştir (P<0,05). Modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetosundaki toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı başlangıçta 3,40 log CFU/g olarak bulunmuş ve depolama boyunca örneklerin toplam psikrofilik aerobik bakteri sayıları önemli artışlar göstermiştir (P<0,05).
- ✓ Depolamanın başlangıcında atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetolarındaki toplam koliform bakteri sayısının 3,10 log CFU/g olduğu ve depolamanın sonunda bu değer 5,50 log CFU/g'a yükseldiği tespit edilmiştir (P<0,05). MAP'lı örneklerde de benzer artışlar gözlenmiştir.
- ✓ 4°C'de 10 günlük depolama süresi boyunca atmosferik oksijenle paketlenen alabalık filetolarındaki maya-küf sayısının önemli oranda (1,85'den 5,15 log CFU/g'a) arttığı tespit edilmiştir (P<0,05). MAP'lı örneklerde ise, bu artışın daha düşük seviyelerde gerçekleştiği belirlenmiştir.
- ✓ Mevcut tez çalışmasında toplam psikrofilik aerobik bakteri sonuçları incelendiğinde, atmosferik oksijen altında paketlenen etlerin depolamanın 7. gününde, modifiye atmosferde paketlenen örneklerin ise depolamanın 15. gününde eşik sınır olarak kabul edilen değerin (6-7 log CFU/g) üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Mikrobiyolojik analiz sonuçlarıyla indikatörlerin renkleri arasında önemli bir korelasyon bulunmaktadır. Ticari boyutta düşünüldüğünde, doğal ve yapay boya

katkılı indikatörlerin et çeşidi ve paketlenme yöntemine göre değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. Buna göre; atmosferik oksijen altında paketlenen dana kıymalarında nar suyu katkılı indikatör, tavuk göğsü filetoları için şalgam ve kırmızı lahana suyu katkılı indikatörler, alabalık filetolarında ise şalgam ve nar suyu katkılı indikatörlerin başarılı olduğu görülürken modifiye atmosferde paketlenen etlerde ise durum biraz farklıdır. Buna göre, dana kıymalarında kırmızı lahana ve bromkresol yeşili katkılı indikatörler, tavuk göğsü filetolarında şalgam ve nar suyu katkılı indikatörler ve alabalık filetolarında ise kırmızı lahana ve nar suyu indikatörlerin akıllı etiket olarak kullanımının daha uygun olacağı belirlenmiştir.

- ✓ Depolamanın başlangıcında, atmosferik oksijenle paketlenen dana kıymalarının TVB-N değeri 4,61 mg/100 g olarak tespit edilirken depolama süresinin uzamasıyla birlikte örneklerdeki TVB-N değerinin artış eğilimi gösterdiği ve depolamanın sonunda (10. günde) 21,45 mg/100 g seviyesine ulaştığı görülmüştür. MAP'lı örneklerde de benzer sonuçlar elde edilmiş olup depolamanın sonunda 20,97 mg/100 g'a ulaştığı belirlenmiştir.
- ✓ Başlangıçta tavuk göğsü filetolarındaki TVB-N değerinin 6,20 mg/100 g olarak bulunduğu ve özellikle depolamanın 7. gününden sonra et ve ürünlerinde eşik sınır olarak kabul edilen 20 mg/100 g seviyesinin üzerine çıkarak 22,11 mg/100 g'a ve oradan da depolamanın sonunda 27,33 mg/100 g'a yükseldiği tespit edilmiştir. MAP'lı örneklerde de benzer artışlar gözlenmiş ve eşik sınıra 15. günde (20,56 mg/100 g) ulaşılmıştır.
- ✓ Hem atmosferik oksijen hem de modifiye atmosferde paketlenen alabalık filetolarındaki TVB-N değerlerinin depolamaya bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Atmosferik oksijenle paketlenen örnekler TVB-N eşik sınırına depolamanın 10. gününde (37,67 mg/100 g) ulaşırken MAP'lı örneklerde ise bu eşik sınır değerine depolamanın sonunda (36,13 mg/100 g) ulaşılmıştır.
- ✓ Depolama sırasında hem atmosferik oksijenle hem de modifiye atmosferde paketlenen et örneklerinde çeşitli uçucu aromatik bileşenler (alkoller, aldehitler, ketonlar, kükürtlü bileşikler ve organik asitler)

tespit edilmiştir. Alkoller, aroma bileşiklerin önemli bir kısmını oluşturmuştur. Özellikle alkol ve aseton bileşiklerinin pH'ı 7'nin üzerindedir. Mikrobiyal ve kimyasal bozulmaya bağlı olarak oluşan bu bileşikler, et pH'nı yükselterek indikatörlerin renklerinde belirgin değişikliklere yol açmıştır. 7. günde, atmosferik oksijen altında paketlenen örneklerin paketi açıldığında ağır kokuların varlığı tespit edilirken modifiye atmosferde paketlenen örneklerde ise depolamanın 15. gününden itibaren yoğun kokular hissedilmiştir. Her iki paketleme yöntemiyle paketlenmiş etlerde, doğal boya katkılı indikatörlerin sentetik boya katkılı indikatörlere göre daha başarılı oldukları saptanmıştır. Sonuç olarak, genellikle şalgam ve nar suyu katkılı indikatörlerin ortam pH'ından etkilendiği ve böylece et paketleri üzerinde yazılı olan son kullanma tarihine alternatif olabileceği öngörülmektedir.

Depolama sırasında, farklı et örneklerinin (dana kıyması, tavuk göğüs filetosu ve alabalık filetosu) atmosferik oksijen ve modifiye atmosferde paketlenmelerinde akıllı etiket olarak geliştirilen doğal ve yapay boya katkılı indikatörlerin renklerinde önemli değişiklikler yaşanmıştır. İndikatörlerin renklerinde meydana gelen değişikliklerin çeşitli fizikokimyasal (pH, renk, lipid ve protein oksidasyonu, TVB-N ve uçucu aromatik bileşikler) ve mikrobiyolojik analiz (toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı, toplam koliform bakteri sayısı ve toplam maya-küf canlı sayısı) sonuçlarıyla da paralellik göstermesi bu indikatörlerin et endüstrisinde kullanılabilme potansiyeli açısından büyük önem arz etmektedir. Çünkü, tüketiciler indikatörlerin renklerine bakarak ürünün tazeliği veya bayatlığı hakkında bir fikir edinebilirler. Bu durum aynı zamanda ürün paketlerinin üzerine yazılan son kullanma tarihine destek veya alternatif olunabileceğini göstermiştir. Geliştirilen kâğıt tipi indikatörlerin ucuz, kullanımının kolay ve güvenilir araçlar olmaları bunların başta et endüstrisi olmak üzere çeşitli gıdalarda akıllı etiket olarak başarılı bir şekilde değerlendirilebileceği anlamı taşımasından dolayı önemli bulunmuştur.

7. KAYNAKLAR

Abouel-Yazeed, A. M., “Maintaining Quality and Extending Shelf–Life of Tilapia *Oreochromis niloticus* Fish during Storage at 4°C”, *Journal of The Arabian Aquaculture Society*, 8(2), 293-306, (2013).

Acosta-Estrada, B. A., Gutierrez-Urbe, J., Serna-Saldivar, S. O., “Bound phenolics in foods, a review”, *Food Chemistry*, 152, 46-55, (2014).

Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A.L., Li, Z., Qazi, I.M., Pavase, T.R., Lv, L., “A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods”, *Food Control*, 82, 163-178, (2017).

Ahvenainen, R., “Active and intelligent packaging: an introduction”, (editör: R. Ahvenainen), *Novel food packaging techniques*, Cambridge: Woodhead Publishing Ltd., 5-21, (2003).

Ahvenainen, R., Hurme, E., “Active and smart packaging for meeting consumer demands for quality and safety”, *Food Additives and Contamination*, 14, 753-763, (1997).

Akhavan, H., Barzegar, M., Weidlich, H., Zimmermann, B. F., “Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Juices from Ten Iranian Pomegranate Cultivars Depend on Extraction”, *Journal of Chemistry*, 1-8, (2015).

Allam, A. I., El-Sayed, S. M., Aboul-Anean, H., “Influence of Modified Atmosphere Packaging to Prolong Shelf Life of Chicken Patties”, *J. of Food and Dairy Sci., Mansoura Univ.*, 12(6), 137-146, (2021).

Alexandre, A. C. S., Albergaria, F. C., Silva, L. M. S. F., Fernandes, L. A. C., Gomes, M. E. S., Pimenta, C. J., “Effect of natural and synthetic antioxidants on oxidation and storage stability of mechanically separated tilapia meat”, *LWT*, 154, 112679, (2022).

Alizadeh-Sani, M., Mohammadian, E., Rhim, J. W., Jafari, S. M., “pH sensitive (halochromic) smart packaging films based on natural food colorants for the

monitoring of food quality and safety”, *Trends in Food Science & Technology*, 105, 93-144, (2020).

Altunboy, A., “Piliç Göğüs Filetolarının Mikrobiyal Kalitesi ve Raf Ömrü Üzerine Normal Hava ve Modifiye Atmosferde Paketlemenin Etkilerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, (2019).

Amalia, R. I., Firly, B. R., Simamora, B. A., Sakinah, N., Rialita, T., Utama, G. L., “Determination of Critical Point of Chicken Fillet Damage Using Polyethylene Packaging At 4°C Storage Temperature”, *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 20(1), 27-32, (2020).

Anonim (2014). <http://www.varcode.com/>, (Accessed 24 July 2016).

Antunes, P., J. Mourão, J. Campos, L. Peixe., “Salmonellosis: The Role of Poultry Meat”, *Clinical Microbiology and Infection*, 22, 110-121, (2016).

Anusankari, S., Ganesh, A. B., Subasri, R., Deepa, N., “Optical determination of carbon dioxide and oxygen by a fluorescent membrane to evaluate the freshness of meat products”, *Instrumentation Science & Technology*, 47(6), 640-665, (2019).

Arfat, Y. A., Ahmed, J., Hiremath, N., Auras, R., Joseph, A., “Thermo-mechanical, rheological, structural and antimicrobial properties of bio nanocomposite films based on fish skin gelatin and silver-copper nanoparticles”, *Food Hydrocolloids*, 62, 191-202, (2017).

Argyri, A. A., Mallouchos, A., Panagou, E. Z., Nychas, G. J. E., “The dynamics of the HS/SPME–GC/MS as a tool to assess the spoilage of minced beef stored under different packaging and temperature conditions”, *Meat Science*, 193, 51-58, (2015).

Association of Official Analytical Chemists, AOAC, ‘Official methods of analysis’, Horwitz, W., Latimer, G.W. (Eds.), 2005 Current Through Revision 1. 18th ed. Gaithersburg, MD, USA, (2006).

Ayranci, U. G., Özünlü, O., Ergezer, H., Karaca, H., “Effects of Ozone Treatment on Microbiological Quality and Physicochemical Properties of Turkey Breast Meat”, *Ozone: Science & Engineering*, 42(1), 95-103, (2020).

Aykın-Dinçer, E., Erbaş, Z., “Effect of packaging method and storage temperature on quality properties of cold-dried beef slices”, *LWT-Food Science and Technology*, 124, 109171, (2020).

Azlin-Hasim, S., Cruz-Romero, M. C., Morris, M. A., Cummins, E., Kerry, J. P., “Effects of a combination of antimicrobial silver low density polyethylene nanocomposite films and modified atmosphere packaging on the shelf life of chicken breast fillets”, *Food Packaging and Shelf Life*, 4, 26-35, (2015).

Baele, M., Vermeulen, A., Leloup, F. B., Adons, D., Peeters, R., Devlieghere, F., Meulenaer, B. D., Ragaert, P., “Applicability of oxygen scavengers for shelf-life extension during illuminated storage of cured cooked meat products packaged under modified atmosphere in materials with high and low oxygen permeability”, *Packaging Technology and Science*, 34, 161-173, (2021).

Bağdatlı, A. B., Kayaardı, S., “Et ve Et Ürünlerinde Kullanılan Paketleme Yöntemleri”, *Akademik Gıda*, 8, 24-30, (2010).

Bahmani, Z., Hosseini, S. V., Amanpour, A., “Effect of Nanocomposite Clay/low-density Polyethylene Film on the Quality of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fillets Stored with Four Different Packaging Conditions”, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30(10), 1315-1329. (2021).

Balamatsia, C. C., Patsias, A., Kontominas, M. G., Savvaıdis, I. N., “Possible role of volatile amines as quality-indicating metabolites in modified atmosphere-packaged chicken fillets: Correlation with microbiological and sensory attributes”, *Food Chemistry*, 104, 1622–1628, (2007).

Balbinot-Alfaro, E., Craveiro, D. V., Lima, K. O., Costa, H. L. G., Lopes, D. R., Prentice, C., “Intelligent Packaging with pH Indicator Potential”, *Food Engineering Reviews*, 11, 235-244, (2019).

Bastioğlu, A.Z., “Farklı Yöntemler ile Üretilen Dana ve Hindi Sucuklarında Et Yağı İkamesi Olarak Zeytinyağı Kullanımının Protein Oksidasyonu Üzerine Etkileri”, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, (2019).

Baş, S. Z., Gülce, H., Yıldız, S. “Hypoxanthine Biosensor Based on Immobilization of Xanthine Oxidase on Modified Pt Electrode and Its Application for Fish Meat”, *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 63, 456-461, (2014).

Bayrakal, G. M., “Taze Et Ürünlerinin Raf Ömürlerinin İzlenebilirliğinde Biyo-İndikatörlerin Akıllı Ambalajlama Sistemi İçerisinde Kullanımı”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2016).

Beigmohammadi, F., Peighamardoust, S. H., Hesari, J., Azadmard-Damirchi, S., Peighamardoust, S. J., Khosrowshahi, N. K. “Antibacterial properties of LDPE nanocomposite films in packaging of UF cheese”, *LWT*, 65, 106-111, (2016).

Bekhit, A. E. D. A., Holman, B. W. B., Giteru, S. G., Hopkins, D. L., “Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review”, *Trend in Food Science & Technology*, 109, 280-302.

Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., Bekhit, A. E. D. A., “Role of calpain system in meat tenderness: A review”, *Food Science and Human Wellness*, 7, 196-204.

Biesalski, H. K., “Meat as a component of a healthy diet-are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet?”, *Meat Science*, 70, 509-524, (2005).

Biji, K. B., Ravishankar, C. N., Mohan, C. O., Gopal, T. K. S., “Smart packaging systems for food applications: a review”, *Journal of Food Science and Technology*, 52, 6125-6135, (2015).

Bilska, A., “Packaging Systems for Animal Origin Food”, *Scientific Journal of Logistics*, 7(1), 35-44, (2011).

Bingol, E. B., Ergun, O., “Effects of modified atmosphere packaging (MAP) on the microbiological quality and shelf life of ostrich meat”, *Meat Science*, 88, 774-785, (2011).

Bodenhamer, W. T., “Method and Apparatus for Selective Biological Material detection”, US Patent 6,051,388. (Toxin Alert, Inc., Canada), (2000).

Bolumar, T., Andersen, M. L., Orlien, V., “Antioxidant active packaging for chicken meat processed by high pressure treatment”, *Food Chemistry*, 129, 1406-1412, (2011).

Borch, E., Kant-Muermans, M. L., Blixt, Y., “Bacterial spoilage of meat and cured meat products”, *International Journal of Food Microbiology*, 33, 103-120, (1996).

Bordes, P., Pollet, E., Averous, L., “Nano-biocomposites: Biodegradable polyester/nanoclay systems”, *Progress in Polymer Science*, 34(2), 125-155, (2009).

Bueno, J. M., Sáez-Plaza, P., Ramos-Escudero, F., Jiménez, A. M., Fett, R., Asuero, A. G., “Analysis and Antioxidant Capacity of Anthocyanin Pigments. Part II: Chemical Structure, Color, and Intake of Anthocyanins”, *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 42, 126-151, (2012).

Bueno, M., Resconi, V. C., Campo, M. M., Ferreira, V., Escudero, A. “Development of a robust HS-SPME-GC-MS method for the analysis of solid food samples. Analysis of volatile compounds in fresh raw beef of differing lipid oxidation degrees”, *Food Chemistry*, 281, 49-56, (2019).

Burt, S., “Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review”, *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223-253, (2004).

Cai, J., Chen, Q., Wan, X., Zhao, J., “Determination of total volatile basic nitrogen (TVB-N) content and Warner-Bratzler shear force (WBSF) in pork using Fourier transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy”, *Food Chemistry*, 126, 1354-1360, (2011).

Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., Lugo-Cervantes, E., “Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry”, *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100089, (2022).

Can, F., “Karbon dioksit Tünelinde Soğutulmuş Dana Etinin Depolama Süresince Bazı Fiziksel ve Kimyasal Değişimlerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Konya, (2019).

Cao, L., Sun, G., Zhang, C., Liu, W., Li, J., Wang, L., “An Intelligent Film Based on Cassia Gum Containing Bromothymol Blue-Anchored Cellulose Fibers for Real-Time Detection of Meat Freshness”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 2066-2074, (2019).

Carrizosa, E., Benito, M.J., Ruiz-Moyano, S., Hernandez, A., Villalobos, M.D.C., Martin, A., Cordoba, M.D.G., “Bacterial communities of fresh goat meat packaged in modified atmosphere”, *Food Microbiology*, 65, 57-63, (2017).

Casaburi, A., De Filippis, F., Villani, F., Ercolini, D., “Activities of strains of *Brochothrix thermosphacta* in vitro and in meat”, *Food Res. Int.*, 62, 366-374, (2014).

Casaburi, A., Piombino, P., Nychas, G.J.E., Villani, F., Ercolini, D., “Bacterial population and volatiles associated to meat spoilage”, *Food Microbiology*, 45(A), 83-102, (2015).

Castaneda-Ovando, A., Pacheco-Hernandez, M. L., Paez-Hernandez, M. E., Rodriguez, J. A., Galan-Vidal, C. A., “Chemical studies of anthocyanins: A review”, *Food Chemistry*, 113, 859-871, (2009).

Castrica, M., Miraglia, D., Menchetti, L., Branciari, R., Ranucci, D., Balzaretto, C. M., “Antibacterial Effect of an Active Absorbent Pad on Fresh Beef Meat during the Shelf-Life: Preliminary Results”, *Applied Sciences*, 10, 7904, (2020).

Cenci-Coga, B. T., Iulietto, M. F., Sechi, P., Borgogni, E., Karama, M., Grispoli, L., “New Trends in Meat Packaging”, *Microbiology Research*, 11, 56-67, (2020a).

Cenci-Goga, B. T., Karama, M., Hadjichralambous, C., Sechi, P., Grispoli, L., “Is EU regulation on the use of antioxidants in meat preparation and in meat products still cutting edge?”, *European Food Research and Technology*, 246, 661-668, (2020b).

Cevallos-Casals, B. A., Cisneros-Zevallos, L. C., “Stoichiometric and Kinetic Studies of Phenolic Antioxidants from Andean Purple Corn and Red-Fleshed Sweetpotato”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3313-3319, (2003).

Chaijan, S., Panpipat, W., Panya, A., Cheong, L. Z., Chaijan, M., “Preservation of chilled Asian sea bass (*Lates calcarifer*) steak by whey protein isolate coating containing polyphenol extract from ginger, lemongrass, or green tea”, *Food Control*, 118, 107400, (2020).

Chan, S. S., Skare, M., Rotabakk, B. T., Sivertsvik, M., Lerfall, J., Lovdal, T., Roth, B., “Evaluation of physical and instrumentally determined sensory attributes of Atlantic salmon portions packaged in modified atmosphere and vacuum skin”, *LWT-Food Science and Technology*, 146, 111404, (2021).

Chandrasekhar, J., Madhusudhan, M. C., Raghavarao, K. S. M. S., “Extraction of anthocyanins from red cabbage and purification using adsorption”, *Food and Bioproducts Processing*, 90, 615–623, (2012).

Chen, H. Z., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. H., “Development of a novel colorimetric food package label for monitoring lean pork freshness”, *LWT-Food Science and Technology*, 99, 43-49, (2019).

Chen, F., Li, S., Zhong, G., Liu, Y., “Properties of novel chitosan incorporated with hexahydro- β -acids edible films and its effect on shelf life of pork”, *Journal of Food Science*, 85(4), 947-955, (2020).

Cheng, Y., Hu, J., Wu, S., “Chitosan based coatings extend the shelf-life of beef slices during refrigerated storage”, *LWT-Food Science and Technology*, 138, 110694, (2021).

Chidan Kumar, C. S., Chandraju, S., Ahmad, T., Mythily, R., Gowda, N. M. M., “Extraction and Evaluation of a New Acid-Base Indicator from Black Gram Husk (*Vigna mungo*)”, *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 42, 498-501, (2017).

Chmiel, M., Hac-Szymanczuk, E., Adamczak, L., Pietrzak, D., Florowski, T., Cegielka, A., “Quality changes of chicken breast meat packaged in a normal and in a modified atmosphere”, *J. Appl. Poult. Res.*, 27, 349-362, (2018).

Chmiel, M., Roszko, M., Adamczak, I., Florowski, T., Pietrzak, D., “Influence of storage and packaging method on chicken breast meat chemical composition and fat oxidation”, *Poultry Science*, 98, 2679-2690, (2019).

Chmiel, M., Roszko, M., Hac-Szymanczuk, E., Adamczak, L., Florowski, T., Pietrzak, D., Cegielka, A., Bryła, M., “Time evolution of microbiological quality and content of volatile compounds in chicken fillets packed using various techniques and stored under different conditions”, *Poultry Science*, 99, 1107-1116, (2020).

Choe, J., Kim, K. T., Lee, H. J., Oh, J., Kim, H. C., Park, B., Choi, Y. I., Jo, C., “Storage stability of dry-aged beef: the effects of the packaging method and storage temperature”, *Korean Journal of Agricultural Science*, 45(2), 211-218, (2018).

Choi, I., Lee, J. Y., Lacroix, M., Han, J., “Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato”, *Food Chemistry*, 218, 122-128, (2017).

Chun, H. N., Kim, B., Shin, H. S., “Evaluation of a Freshness Indicator for Quality of Fish Products during Storage”, *Food Sci. Biotechnol.*, 23(5), 1719-1725, (2014).

Chung, C., Rojanasasithara, T., Mutilangi, W., McClements, D. J., “Stabilization of Natural Colors and Nutraceuticals: Inhibition of Anthocyanin Degradation in Model Beverages using Polyphenols”, *Food Chemistry*, 1-18, (2016).

Chung, H. Y., Yung, I. K. S., Joyce M. A., Kim, J. S., “Analysis of Volatile Components in Frozen and Dried Scallops (*Patinopecten yessoensis*) by Gas Chromatography/Mass Spectrometry”, *Food Res. Intern.*, 35, 43-53, (2002).

Ciolacu, L., Nicolau, A., Hoorfar, J., “Global safety of fresh produce: a handbook of best practice, innovative commercial solutions and case studies”, (editör: J. Hoorfar), *Global Safety of Fresh Produce*, Woodhead Publishing: Elsevier, 419-436, (2014).

Conte-Junior, C. A., Monteiro, M. L. G., Patrícia, R., Mársico, E. T., Lopes, M. M., Alvares, T. S., Mano, S. B., “The Effect of Different Packaging Systems on the Shelf Life of Refrigerated Ground Beef”, *Foods*, 9, 495, (2020).

Contini, C., Katsikogianni, M. G., O’Neill, F. T., O’Sullivan, M., Dowling, D. P., Monahan, F. J., “Development of active packaging containing natural antioxidants”, *Procedia Food Science*, 1, 224-228, (2011).

Contini, C., Álvarez, R., O’Sullivan, M., Dowling, D. P., Gargan, S. G., Monahan, F. J., “Effect of an active packaging with citrus extract on lipid oxidation and sensory quality of cooked turkey meat”, *Meat Science*, 96, 1171-1176, (2014).

Cortez-Vega, W. R., Pizato, S., Pirentice, C., “Quality of Raw Chicken Breast Stored at 5°C and Packaged Under Different Modified Atmospheres”, *Journal of Food Safety*, 32, 360-368, (2012).

Cui, Y., Qi, J., Li, J., Zhang, Y., Yang, X., Xin, L., Niu, L., Xu, B., Qian, Z., Zhu, L., Liang, R., “Effects of dietary resveratrol supplementation in cattle on the anti-oxidative capacity and meat quality of beef steaks under high-oxygen packaging”, *Meat Science*, 204, 109238, (2023).

Custode, I. S. A., Campbell, J. A., Cassar, J. R., Mills, E. W., “Oxygen Scavengers affect Gas Mixture and Color Stability of Master Packed Ground Beef”, *Meat and Muscle Biology*, 1, 181-191, (2017).

Cutter, C. N., “Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods”, *Meat Sci.* 74(1), 131-142, (2006).

Çankaya, A., “Şalgam Suyunun Antioksidan Aktivite, Antosiyanin ve Fenolik Bileşikleri Üzerine Farklı Fermantasyon Sıcaklığı ve Üretim Yönteminin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Niğde, (2018).

Çapan, B., Bağdatlı, A., “Investigation of physicochemical, microbiological, and sensorial properties for organic and conventional retail chicken meat”, *Food Science and Human Wellness*, 10, 183-190, (2021).

Çelik, P., “Kanatlı Eti (Hindi Eti ve Tavuk Eti) ve Kırmızı Et Karışımı ile Elde Edilen Köftelerin Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Tekirdağ, (2012).

Çiçek, Ü., Karabıyıklı, Ş., Kılınçer, F. N., Yıldırım, A. T., Cevahiroğlu, H., “Vakum Ambalajlı Olarak Soğukta Muhafaza Edilen Dana, Kuzu ve Tavuk Etlerinin Bazı Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri”, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(1), 54-62, (2014).

Dallas, P., Sharma, V. K., Zboril, V., “Silver polymeric nanocomposites as advanced antimicrobial agents: Classification, synthetic paths, applications, and perspectives”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 166, 119–135, (2011).

Da Silva, J. L., Cadavez, V., Lorenzo, J. M., de Souza Figueiredo, E. E., Gonzales-Barron, U., “Effects of Camu-Camu (*Myrciaria dubia*) Powder on the Physicochemical and Kinetic Parameters of Deteriorating Microorganisms and *Salmonella enterica* Subsp. *Enterica* Serovar *typhimurium* in Refrigerated Vacuum-Packed Ground Beef”, *Agriculture*, 11, 252, (2021).

Das, K. C., Alice, E. J., Hossain, M. A., Mehbub, M. F., Islam, M. T., “Effects of vacuum and modified atmosphere packaging on the shelf life of Rohu fish (*Labeo rohita*) stored at refrigerated temperature (4°C)”, *International Food Research Journal*, 28(3), 586-593, (2021).

Davies, M. J., “Protein oxidation and peroxidation”, *Biochemical Journal*, 473, 805-825, (2016).

Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J. A., Voilley, A., “Edible Films and Coatings: Tomorrow's Packagings: A Review”, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 38(4), 299-313, (1998).

Degirmencioglu, N., Esmer, O. K., Irkin, R., Degirmencioglu, A., “Effects of Vacuum and Modified Atmosphere Packaging on Shelf Life Extension of Minced Meat Chemical and Microbiological Changes”, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11(7), 898-911, (2012).

Delves-Broughton, J., Blackburn, P., Evans, R. J., Hugenholtz, J., “Applications of the bacteriocin, nişin”, *Antonie van Leeuwenhoek*, 69, 193-202, (1996).

Demirhan, B., Candoğan, K., “Active packaging of chicken meats with modified atmosphere including oxygen scavengers”, *Poultry Science*, 96, 1394-1401, (2017).

Dena, A. S. A., Khalid, S. A., Ghanem, A. F., Shehata, A. I., El-Sherbiny, I. M., “User-friendly lab-on-paper optical sensor for the rapid detection of bacterial spoilage in packaged meat products”, *RSC Adv.*, 11, 35165-35173, (2021).

Dirpan, A., Djalal, M., Kamaruddin, I., “Application of an Intelligent Sensor and Active Packaging System Based on the Bacterial Cellulose of *Acetobacter xylinum* to Meat Products”, *Sensors*, 22, 544, (2022).

Djordjevic, J., Lazic, I. B., Cabrol, M. B., Dordević, V., “Spoilage-related bacteria of pork and beef minced meat under vacuum and modified atmosphere”, *Rom Biotechnol Lett.*, 24(4), 658-668, (2019).

Dobrucka, R., Przekop, R., “New perspectives in active and intelligent food packaging”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 43, 1-9, (2019).

Dobrucka, R., Cierpiszewski, R., “Active and Intelligent Packaging Food-Research and Development-A Review”, *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 64(1), 7-15, (2014).

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., Lorenzo, J. M., “A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products”, *Antioxidants*, 8, 1-31, (2019).

Du, H., Liu, C., Unsalan, O., Altunayar-Unsalan, C., Xiong, S., Manyande, A., Chen, H., “Development and characterization of fish myofibrillar protein/chitosan/rosemary extract composite edible films and the improvement of lipid oxidation stability during the grass carp fillets storage”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 184, 463-475, (2021).

Duncan, T. V., “Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1-24, (2011).

Duran, A., Kahve, H. İ., “The effect of chitosan coating and vacuum packaging on the microbiological and chemical properties of beef”, *Meat Science*, 162, 107961, (2021).

Dutta, P. K., Tripathi, S., Mehrotra, G. K., Dutta, J., “Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications”, *Food Chem.*, 114(4), 1173-1182, (2009).

Düzarduç, P., “Füme Alabalık Derisinin Balık Köftesi Kaplama Materyali Olarak Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Denizli, (2022).

Ebadi, Z., Khodanazary, A., Hosseini, S. M., Zanguee, N., “The shelf-life extension of refrigerated *Nemipterus japonicus* fillets by chitosan coating incorporated with propolis extract”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 94-102, (2019).

Elsabee, M. Z., Abdou, E. S., “Chitosan based edible films and coatings: A review”, *Mater. Sci. Eng.*, 33(4), 1819-1841, (2013).

Erbay, P. S., “Barbun (*Mullus barbatus linnaneus*, 1758) Balığının Aroma ve Aroma Aktif Bileşikleri ve Bu Bileşikler Üzerine Farklı Pişirme Yöntemlerinin Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana, (2017).

Ercolini, D., Russo, F., Nasi, A., Ferranti, P., Villani, F., “Mesophilic and psychrotrophic bacteria from meat and their spoilage potential in vitro and in beef”, *Appl. Environ. Microbiol.* 75, 1990-2001, (2009).

Ergezer, H., “Enginar Atıklarından Elde Edilen Ekstraktın Çiğ ve Pişirilmiş Köftelerde Antioksidatif Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, (2013).

Esfahani, A., Nafchi, A. M., Baghaei, H., Nouri, L., “Fabrication and characterization of a smart film based on cassava starch and pomegranate peel

powder for monitoring lamb meat freshness”, *Food Science & Nutrition*, 10, 3293-3301, (2022).

Esposito, S., Veneziani, G., Taticchi, A., Urbani, S., Selvaggini, R., Sordini, B., Daidone, L., Gironi, G., Servili, M., “Chemical Composition, Antioxidant Activity, and Sensory Characterization of Commercial Pomegranate Juices”, *Antioxidants*, 10, 1381-1405, (2021).

Estévez, M., “Protein carbonyls in meat systems: A review”, *Meat Science*, 89, 259-279, (2011).

Esteves, E., Guerra, L., Aníbal, J., “Effects of Vacuum and Modified Atmosphere Packaging on the Quality and Shelf-Life of Gray Triggerfish (*Balistes capriscus*) Fillets”, *Foods*, 10, 250, (2021a).

Estevez, M., Morcuende, D., Antequera, T., “Interplay Between Lipid and Protein Carbonyls During Oxidative Reactions”, *Journal of The American Oil Chemists Society*, 98, 131-132, (2021b).

Ezati, P., Tajik, H., Moradi, M., “Fabrication and characterization of alizarin colorimetric indicator based on cellulose-chitosan to monitor the freshness of minced beef”, *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 285, 519-528, (2019a).

Ezati, P., Tajik, H., Moradi, M., Molaei, R., “Intelligent pH-sensitive indicator based on starch-cellulose and alizarin dye to track freshness of rainbow trout fillet”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 157-165, (2019b).

Ezati, P., Bang, Y. J., Rhim, J. W., “Preparation of a shikonin-based pH-sensitive color indicator for monitoring the freshness of fish and pork”, *Food Chemistry*, 337, 127995, (2021).

Fang, Z., Zhao, Y., Warner, R. D., Johnson, S. K., “Active and intelligent packaging in meat industry”, *Trends in Food Science & Technology*, 61, 60-71, (2017).

Fattahian, A., Fazlara, A., Maktabi, S., Pourmahdi, M., Bavarsad, N., “The effects of chitosan containing nano-capsulated *Cuminum cyminum* essential oil on the shelf-life of veal in modified atmosphere packaging”, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16, 920-933, (2022).

Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., Suman, S.P., “Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control”, *Meat Science*, 86, 86-94, (2010).

Fearnley, E., Raupach, J., Lagala, F., Cameron, S. “Salmonella in Chicken Meat, Eggs and Humans; Adelaide, South Australia, 2008”, *International Journal of Food Microbiology*, 146, 219-227, (2011).

Feiner, G., “Quality and Safety Issues”, *Meat products handbook: Practical science and technology*, İngiltere: CRC Press, 640-648, (2006).

Feng, X., Fu, C., Yang, H., “Gelatin Addition Improves the Nutrient Retention, Texture and Mass Transfer of Fish Balls without Altering Their Nanostructure during Boiling”, *LWT*, 1-33, (2017).

Feng, X., Ng, V.K., Mikš-Krajnik, M., Yang, H., “Effects of Fish Gelatin and Tea Polyphenol Coating on the Spoilage and Degradation of Myofibril in Fish Fillet During Cold Storage”, *Food and Bioprocess Technology*, 10, 89-102, (2016).

Fernandez, J., Perez-Alvarez, J. A., Fernandez-Lopez, J. A., “Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat”, *Food Chemistry*, 59, 345-353, (1997).

Flores, F. P., Singh, R.K., Kong, F., “Anthocyanin extraction, microencapsulation, and release properties during in vitro digestion”, *Food Reviews International*, 32(1), 46-67, 2016.

Floros, J. D., Dock, L. L., Han, J. H., “Active packaging technologies and applications”, *Food Cosmetics and Drug Packaging*, 20, 10-17, (1997).

Flynn, A. W., Brambert, V.D., “Effects of frozen storage cooking methods and muscle quality attributes of pork loins”, *Journal of Food Science*, 40, 631-633, (1975).

Forghani, S., Almasi, H., Moradi, M., “Electro spun nanofibers as food freshness and time-temperature indicators: A new approach in food intelligent packaging”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 73, 102804, (2021).

Franco, M. R., Cunha, L. R., Bianchi, R. F., “Janus principle applied to food safety: An active two-faced indicator label for tracking meat freshness”, *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 333, 129466, (2021).

Frazao, G. G. S., Blank, A. F., de Aquino Santana, L. C. L., “Optimization of edible chitosan coatings formulations incorporating *Myrcia ovata* Cambessedes essential oil with antimicrobial potential against foodborne bacteria and natural microflora of mangaba fruits”, *Food Sci. Technol.* 79, 1-10, (2017).

Fu, Q., Liu, R., Zhang, W., Li, Y., Wang, J., Zhou, G., “Effects of Different Packaging Systems on Beef Tenderness Through Protein Modifications”, *Food Bioprocess Technol*, 8, 580-588, (2015).

Gaikwad, K. K., Singh, S., Ajji, A., “Moisture absorbers for food packaging applications”, *Environmental Chemistry Letters*, 17, 609-628, (2019).

Ganhão, R., Morcuende, D., Estévez, M., “Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on color and texture deterioration during chill storage”, *Meat Science*, 85, 402-409, (2010).

García-Linares, M. C., Gonzalez-Fandos, E., García-Fernández, M. C., García-Arias, M. T., “Microbiological and Nutritional Quality of Sous Vide Or Traditionally Processed Fish: Influence of Fat Content”, *Journal of Food Quality*, 27, 371-387, (2004).

Garrido, M. D., Hernández, M. D., Espinosa, M. C., López, M. B., “Enhanced Quality Characteristics of Refrigerated Seabream (*Sparus aurata*) Fillets Packed Under Different Systems (Modified Atmosphere vs. Vacuum)”, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(2), 156-168, (2016).

Gelen, B., “Siyah Çaya Demleme Aşamasında Eklenen Bazı Aromatik Bitkilerin Siyah Çayın Aroma ve Aroma Aktif Bileşikleri, Antioksidan Kapasitesi ve Antibakteriyel Aktivitesi Üzerine Etkileri”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı, Adana, (2022).

Ghorbani, M., Divsalar, E., Molaei, R., Ezati, P., Moradi, M., Tajik, H., Abbaszadeh, M., “A halochromic indicator based on polylactic acid and anthocyanins for visual freshness monitoring of minced meat, chicken fillet, shrimp, and fish roe”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 74, 102864, (2021).

Gill, C. O. (1996). “Extending the storage life of raw meat”, *Meat Science*, 43(1), 99-109, (1996).

Gill, C. O., “Application of preservative packaging to chilled raw meats”, *Canadian Meat Science Association Symposium*, Canada, 7, 1-8, (1992).

Giusti, M. M., Wrolstad, R. E., “Acylylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems”, *Biochemical Engineering Journal*, 14, 217-225, (2003).

Gogus, U., Smith, C., “n-3 Omega Fatty Acids: A Review of Current Knowledge”, *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 417-436, (2010).

Goldsmith, R. M., Goldsmith, C., Woodaman, J. G., Park, D. L., Ayala, C. E., “Food sentinel system TM. World Intellectual Property Organization”, WO/1999/014598 Patent, (1999).

Gómez, M., Lorenzo, J. M., Lorenzo, J. M., “Effect of packaging conditions on shelf-life of fresh foal meat”, *Meat Science*, 91, 513-520, (2012).

Gomez-Estaca, J., Lopez-de-Dicastillo, C., Hernandez-Munoz, P., Catala, R., Gavara, R., “Advances in antioxidant active food packaging”, *Trends in Food Science & Technology*, 35, 42-51, (2014).

Gonzalez-Fandos, E., Garcia-Linares, M. C., Villarino-Rodriguez, A., Garcia-Arias, M. T., Garcia-Fernandez, M.C., “Evaluation of the microbiological safety and sensory quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) processed by the sous vide method”, *Food Microbiology*, 21, 193-201, (2004).

Guo, Z., Ge, X., Gou, Q., Yang, L., Han, M., Han, G., Yu, L., Han, L., “Changes in chilled beef packaged in starch film containing sea buckthorn pomace extract and quality changes in the film during super-chilled storage”, *Meat Science*, 182, 108620, (2021).

Gutierrez-Gonzalez, V., Rivero-Perez, M.D., Gerardi, G., Muniz, P., Gonzalez-SanJose, M.L., Jaime, I., Cavia-Saiz, M., “Influence of the packaging systems on the phenolic profile and antioxidant properties of wine pomace used as seasoning in chicken meat”, *Food Chemistry*, 427(30), 136625, (2023).

Haghighatpanah, N., Omar-Aziz, M., Gharaghani, M., Khodaiyan, F., Hosseini, S. S., Kennedy, J. F., “Effect of mung bean protein isolate/pullulan films containing marjoram (*Origanum majorana* L.) essential oil on chemical and microbial properties of minced beef meat”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 201, 318-329, (2022).

Han, J. H., Gennadios, A., “Intelligent Packaging”, (editör: J. Han), *Innovations in Food Packaging*, Kalifornia: Elsevier, 138-153, (2005).

Hansen, A. A., Morkore, T., Rudi, K., Olsen, E., Eie, T., “Quality Changes during Refrigerated Storage of MA-Packaged Pre-rigor Fillets of Farmed Atlantic Cod (*Gadus morhua* L.) Using Traditional MAP, CO₂ Emitter, and Vacuum”, *Journal of Food Science*, 72, 423-430, (2007).

Harlioğlu, A.G., “Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus Mykiss* Walbaum, 1792)’nin Tam Yağlı Soya ve Soya Küşesi Proteinlerini Değerlendirmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Ana Bilim Dalı, Elâzığ, (2010).

Hashemabad, Z. N., Shabanpour, B., Azizi, H., Ojagh, S. M., Alishahi, A., “Effects of TiO₂ Nanocomposite Packaging and Gamma Irradiation on the Shelf-life of Rainbow trout Stored at (+4°C)”, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18, 1387-1397, (2018).

He, J., Giusti, M. M., “Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties”, *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 1, 163-187, (2010).

Hearn, K., Denzer, M., Mitacek, R., Maheswarappa, N. B., McDaniel, C., Jadeja, R., Mafi, G. G., Beker, A., Pezeshki, A., Ramanathan, R., “Effects of Modified Atmospheric Packaging on Ground Chicken Color and Lipid Oxidation”, *Meat and Muscle Biology*, 5(1), 1-9, (2021).

Heir, E., Solberg, L. E., Jensen, M. R., Skaret, J., Grovlen, M. S., Holck, A. L., “Improved microbial and sensory quality of chicken meat by treatment with lactic acid, organic acid salts and modified atmosphere packaging”, *International Journal of Food Microbiology*, 362, 109498, (2022).

Hematizad, I., Khanjari, A., Basti, A. A., Karabagias, I. K., Noori, N., Ghadami, F., Gholami, F., Teimourifard, R., “In vitro antibacterial activity of gelatin-nano chitosan films incorporated with *Zataria multiflora* Boiss essential oil and its influence on microbial, chemical, and sensorial properties of chicken breast meat during refrigerated storage”, *Food Packaging and Shelf Life*, 30, 100751, (2021).

Hernandez-Macedo, M.L., Contreras-Castillo, C.J., Tsai, S.M., Da Cruz, S.H., Sarantopoulos, C.I.G.L., Padula, M., Dia, C.T.S., “Gases and volatile compounds associated with microorganisms in blown pack spoilage of Brazilian vacuum-packed beef”, *Lett. Appl. Microbiol.* 55, 467-475, (2012).

Hilgarth, M., Behr, J., Vogel, R.F., “Monitoring of spoilage-associated microbiota on modified atmosphere packaged beef and differentiation of psychrophilic and psychotropic strains”, *Journal of Applied Microbiology*, 124, 740-753, (2018).

Holck, A. L., Pettersen, M. K., Moen, M. H., Sorheim, O., “Prolonged Shelf Life and Reduced Drip Loss of Chicken Filets by the Use of Carbon Dioxide Emitters and Modified Atmosphere Packaging”, *Journal of Food Protection*, 77(7), 1133-1141, (2014).

Holman, B. W. B., Kerry, J. P., Hopkins, D. L., “A review of patents for the smart packaging of meat and muscle-based food products”, *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 9, 4-15, (2017).

Holte, B., “An Apparatus for Indicating the Presence of CO₂ and a Method of Measuring and Indicating Bacterial Activity within a Container or Bag”, PCT International Patent Application WO 93/15402, (1993).

Hong, S. I., Park, W. S., “Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation”, *Journal of Food Engineering*, 46, 67-72, (2000).

Horan, T. J., “Method for determining deleterious bacterial growth in packaged food utilizing hydrophilic polymers”, US Patent 6149952, (2000).

Hosseini, M., Jamshidi, A., Raeisi, M., Azizzadeh, M., “Effect of sodium alginate coating containing clove (*Syzygium aromaticum*) and lemon verbena (*Aloysia citriodora*) essential oils and different packaging treatments on shelf-life extension of refrigerated chicken breast”, *J Food Process Preserv.*, 45, e14946, (2021).

Hosseini, S. F., Ghaderi, J., Gomez-Guillen, M. C., “Tailoring physico-mechanical and antimicrobial/antioxidant properties of biopolymeric films by cinnamaldehyde-loaded chitosan nanoparticles and their application in packaging of fresh rainbow trout fillets”, *Food Hydrocolloids*, 124, 107249, (2022).

Huang, L., Zhao, J., Chen, Q., Zhang, Y., “Nondestructive measurement of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in pork meat by integrating near infrared spectroscopy, computer vision and electronic nose techniques”, *Food Chemistry*, 145, 228-236, (2014).

Huang, S., Xiong, Y., Zou, Y., Dong, Q., Ding, F., Liu, X., Li, H., “A novel colorimetric indicator based on agar incorporated with *Arnebia euchroma* root extracts for monitoring fish freshness”, *Food Hydrocolloids*, 90, 198-205, (2019).

Hulankova, R., Borilova, G., Abdullah, F. A. A., Buchtova, H., “Microbiological quality of organic chicken meat during refrigerated storage in air and modified atmospheres”, *British Poultry Science*, 59(5), 506-513. (2018).

Iacumin, L., Jayasinghe, A. S., Pellegrini, M., Comi, G., “Evaluation of Different Techniques, including Modified Atmosphere, under Vacuum Packaging, Washing, and *Lactobacillus sakei* as a Bioprotective Agent, to Increase the Shelf-Life of Fresh Guttled Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) and Sea Bream (*Sparus aurata*) Stored at $6\pm 2^{\circ}\text{C}$ ”, *Biology*, 11, 217, (2022).

Ioannidis, A. G., Walgraeve, C., Vanderroost, M., Langenhove, H. V., Devlieghere, F., Meulenaer, B. D., “Non-Destructive Measurement of Volatile Organic Compounds in Modified Atmosphere Packaged Poultry Using SPME-SIFT-MS in Tandem with Headspace TD-GC-MS”, *Food Anal. Methods.*, 11, 848-861, (2018).

Insausti, K., Beriain, M.J., Gorraiz, C., Purroy, A., “Volatile compounds of raw beef from 5 local Spanish cattle breeds stored under modified atmosphere”, *J. Food Sci.*, 67, 1580-1589, (2002).

Irkin, R., Esmer, O. K., Degirmencioglu, N., Degirmencioglu, A., “Influence of packaging conditions on some microbial properties of minced beef meat at 4°C storage”, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(5), 655-663, (2011).

Islam, M. T., Alice, E. J., Saha, S., Karim, M. A., Amanullah, M., Rahman, M., Chowdhury, P., “Shelf-life of vacuum and modified atmosphere packaged sliced pangasius catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) under refrigerated storage condition”, *Bangladesh J. Fish.* 32(1), 73-82, (2020).

Iulietto, M. F., Sechi, P., Borgogni, E., Goga, B. T. C., “Meat Spoilage: A Critical Review of a Neglected Alteration Due to Ropy Slime Producing Bacteria”, *Italian Journal of Animal Science*, 14, 1594-4077, (2015).

Iulietto, M. F., Sechi, P., Mattei, S., Novelli, S., Cenci-Goga, B. T., “Ropy slime formation on meat products: An old problem, a new concern”, *In Proceedings of the LXVIII Annual Meeting of the Italian Society for Veterinary Sciences*, 4, 16-18, (2014).

Izzo, L., Rodríguez-Carrasco, Y., Pacifico, S., Castaldo, L., Narváez, A., Ritieni, A., “Colon Bio accessibility under In Vitro Gastrointestinal Digestion of a Red Cabbage Extract Chemically Profiled through UHPLC-Q-Orbitrap HRMS”, *Antioxidants*, 9, 955, (2020).

İkinci, A., Dursun, E., Karaoğul, E., “Şanlıurfa’da Yetiştirilen Bazı Nar (*Punica granatum* L.) Çeşitlerinin Fenolik Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 31(3), 699-709, (2021).

Jaakola, L., “New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits”, *Trends in Plant Science*, 1-71, (2013).

Jääskeläinen, E., Johansson, P., Kostianen, Olli, Nieminen, T., Schmidt, G., Somervuo, P., Mohsina, M., Vanninen, P., Auvinen, P., Björkroth, J., “Significance of homebased respiration in meat spoilage caused by *Leuconostoc gasicomitatum*”, *Appl. Environ. Microbiol.* 79, 1078-1085, (2013).

Jaberi, R., Kaban, G., Kaya, M., “Effects of vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of

minced water buffalo meat”, *Asian-Australas J Anim Sci.*, 32(3), 421-429, (2019).

Jamroz, E., Kulawik, P., Guzik, P., Duda, I., “The verification of intelligent properties of furcellaran films with plant extracts on the stored fresh Atlantic mackerel during storage at 2°C”, *Food Hydrocolloids*, 97, 105211, (2019).

Jaspal, M. H., Ijaz, M., Haq, H. A., Yar, M. K., Asghar, B., Manzoor, A., Badar, I. H., Ullah, S., Islam, M. S., Hussain, J., “Effect of oregano essential oil or lactic acid treatments combined with air and modified atmosphere packaging on the quality and storage properties of chicken breast meat”, *LWT- Food Science and Technology*, 146, 111459, (2021).

Jayasena, D. D., Jo, C., “Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: A review”, *Trends in Food Science & Technology*, 34, 96-108, (2013).

Jeremiah, L. E., “Packaging alternatives to deliver fresh meats using short- or long-term distribution”, *Food Research International*, 34, 749-772, (2001).

Jiang, G., Hou, X., Zeng, X., Zhang, C., Wu, H., Shen, G., Li, S., Luo, Q., Li, M., Liu, X., Chen, A., Wang, Z., Zhang, Z., “Preparation and characterization of indicator films from carboxymethyl-cellulose/starch and purple sweet potato (*Ipomoea batatas*) anthocyanins for monitoring fish freshness”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 359-372, (2020).

Jianglian, D., Shaoying, Z., “Application of Chitosan Based Coating in Fruit and Vegetable Preservation: A Review”, *Journal of Food Processing & Technology*, 4(5), 1-4, (2013).

Jouki, M., Khazaei, N., “Color and Oxidation Changes in Camel Meat During Storage”, *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3(1), 164-170, (2012).

Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., Koocheki, A., Khazaei, N., “Use of quince seed mucilage edible films containing natural preservatives to enhance

physicochemical quality of rainbow trout fillets during cold storage”, *Food Science and Human Wellness*, 3, 65-72, (2014).

Juang, E. Y., Hwang, Y. H., Joo, S. T., “Muscle profiling to improve the value of retail meat cuts”, *Meat Science*, 120, 47-53, (2016).

Jurado, A., García, C., Timon, M. L., Carrapiso, A. I., “Effect of ripening time and rearing system on amino acid-related flavor compounds of Iberian ham”, *Meat Science*, 75, 585-594, (2007).

Kaba, N., Corapçı, B., “Effects of Two Different Modified Atmosphere Compositions On Durability Of Steam-Cooked Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*, Walbaum, 1792)”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 2155-2166, (2014).

Kanatt, S. R., “Development of active/intelligent food packaging film containing Amaranthus leaf extract for shelf-life extension of chicken/fish during chilled Storage”, *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100506, (2020).

Kanda, N., Asano, T., Itoh, T., “Preparing "Chameleon Balls" from Natural Plants”, *Journal of Chemical Education*, 72(12), 1131-1132, (1995).

Kandeepan, G., Aliya, T., Shashikumar, M., Babji, Y., Muniswamy, K., “The effect of aerobic and modified atmospheric packaging on the color chemistry of refrigerated chicken leg meat”, *Indian J Anim Health*, 60(2), 183-192, (2021).

Kanmani, P., Rhim, J. W., “Physical, mechanical and antimicrobial properties of gelatin based active nanocomposite films containing AgNPs and nano clay”, *Food Hydrocolloids*, 35, 644-652, (2014).

Karim, M. A., Rahman, M., Alice, E. J., Amanullah, M., Hossain, M. A., Islam, M. T., “Quality of Refrigerated Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Slices under Vacuum and Modified Atmosphere Packaging”, *Squalen Bull. of Mar. and Fish. Postharvest and Biotech.*, 15(3), 99-107, (2020).

Karimnezhad, F., Razavilar, V., Anvar, A. A., Dashtgol, S., Zavareh, A. P., “Combined Effect of Chitosan-Based Edible Film Containing Oregano Essential Oil on the Shelf-Life Extension of Fresh Chicken Meat”, *Journal of Nutrition and Food Security*, 4(4), 236-242, (2019).

Karki, R., Bremer, P., Silcock, P., Oey, I., “Effect of Sous vide Processing on Quality Parameters of Beef Short Ribs and Optimization of Sous vide Time and Temperature Using Third-Order Multiple Regression”, *Food and Bioprocess Technology*, 15, 1629-1646, (2022).

Karsli, B., Caglak, E., Kilic, O., “Application of Black Cumin and Green Tea Extracts and Oils for Microbiological, Physicochemical, Textural and Sensorial Quality of Vacuum Packaged Rainbow Trout Fillets Stored at $2\pm 1^{\circ}\text{C}$ ”, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 30(3), 271-282, (2021).

Katiyo, W., de Kock, H. L., Coorey, R., Buys, E. M., “Sensory implications of chicken meat spoilage in relation to microbial and physicochemical characteristics during refrigerated storage”, *LWT-Food Science and Technology*, 128, 109468, (2020).

Katsumoto, Y. K., Fukuchi-Mizutani, M., Fukui, Y., Brugliera, F., Holton, T. A., Karan, M., Nakamura, N., Yonekura-Sakakibara, K., Togami, J., Pigeaire, A., Tao, G. Q., Nehra, N. S., Lu, C. Y., Dyson, B. K., Tsuda, S., Ashikari, T., Kusumi, T., Mason, J. G., Tanaka, Y., “Engineering of the Rose Flavonoid Biosynthetic Pathway Successfully Generated Blue-Hued Flowers Accumulating Delphinidin”, *Plant Cell Physiol.*, 48(11), 1589-1600, (2007).

Kerry, J. P., O’Grady, M. N., Hogan, S. A., “Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review”, *Meat Science*, 74, 113-130, (2006).

Khalaf, J. H., Al-Asadi, M. H., Al-Hilphy, A. R., “Influence of Modified Atmosphere Packaging and Frozen-Storage Period in the Color Characteristics of Poultry Meat”, *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 32(2), 60-73, (2019).

Khan, P. M. A., Farooqui, M., “Analytical Applications of Plant Extract as Natural pH Indicator: A Review”, *Journal of Advanced Scientific Research*, 2(4), 20-27, (2011).

Khan, M. K. I., Schutyser, M. A. I., Schroën, K., Boom, R., “The potential of electro spraying for hydrophobic film coating on foods”, *J. Food Eng.*, 108(3), 410- 416, (2012).

Khan, A., “Effects of Processing and Packaging Modifications on the Quality and Shelf Life in Meats”, Master of Science, *Utah State University Nutrition and Food Sciences*, Nutrition, Dietetics and Food Sciences, Logan, (2014).

Khanipour, A., Bahmani, Z., Oromiehie, A., Motalebi, A., “Effect of packaging with nano-composite clay/LDPE film on the quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet at refrigerated storage”, *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(2) 698-714, (2018).

Khorshidian, N., Yousefi, M., Khanniri, E., Mortazavian, A. M., “Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45, 62-72, (2018).

Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., Lim, S. M., “Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits”, *Food & Nutrition Research*, 61, 1361779, (2017).

Kim, D., Lee, S., Lee, K., Baek, S., Seo, J., “Development of a pH indicator composed of high moisture absorbing materials for real-time monitoring of chicken breast freshness”, *Food Sci. Biotechnol.*, 26(1), 37-42, (2017).

Kim, Y. H., Yang, Y. J., Kim, J. S., Choi, D. S., Park, S. H., Jin, S. Y., Park, J. S., “Non-destructive monitoring of apple ripeness using an aldehyde sensitive colorimetric sensor”, *Food Chemistry*, 267, 149-156, (2018).

Kim, H. J., Kim, H. J., Jeon, J., Nam, K. C., Shim, K. S., Jung, J. H., Kim, K. S., Choi, Y., Kim, S. H., Jang, A., “Comparison of the quality characteristics

of chicken breast meat from conventional and animal welfare farms under refrigerated storage”, *Poultry Science*, 99, 1788-1796, (2020).

Kocatepe, D., Turan, H., Altan, C. O., Keskin, İ., Ceylan, A., “Effect of modified atmosphere packaging on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) mince”, *Food Science and Technology International*, 0(0), 1–10, (2015).

Kotsianis, I. S., Giannou, V., Tzia, C., “Production and packaging of bakery products using MAP technology”, *Trends in Food Science & Technology*, 13, 319-324, (2002).

Kuorwel, K. K., Cran, M. J., Orbell, J. D., Buddhadasa, S., Bigger, S. W., “Review of mechanical properties, migration, and potential applications in active food packaging systems containing nano clays and nano silver”, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), 411-430, (2015).

Kurniawan, M. F., Fitrilia, T., Chosida, H. N., Nacing, N., “Sappan (*Caesalpinia sappan* L.) Extract-Based Label for Detection of Chicken Meat Spoilage”, *Indonesian Journal of Applied Research*, 2(3), 153-160, (2021).

Kuswandi, B., Nurfawaidi, A., “On-package dual sensors label based on pH indicators for real-time monitoring of beef freshness”, *Food Control*, 82, 91-100, (2017).

Kuulialaa, L., Pippurib, T., Hultmanb, J., Auvinena, S. M., Kolppoa, K., Nieminenb, T., Karp, M., Björkroth, J., Kuusipalo, J., “Preparation and antimicrobial characterization of silver-containing packaging materials for meat”, *Food Packaging and Shelf Life*, 6, 53-60, (2015).

Külcü, D. B., “Farklı sıcaklıklarda muhafaza edilen palamut (*sarda sarda*) balığının bazı kimyasal kalite niteliklerinin belirlenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(3), 403-410, (2017).

Kwon, S. J., Chang, Y., Han, J., “Oregano essential oil-based natural antimicrobial packaging film to inactivate *Salmonella enterica* and yeasts/molds in the atmosphere surrounding cherry tomatoes”, *Food Microbiology*, 65, 114-121, (2017).

Lai, J., Wang, Y., Zhang, X., Zhou, L., Zhu, Y., “Effects of active modified atmosphere on lipid and protein oxidation, moisture migration and quality properties of beef steaks”, *Packaging Technology and Science*, 36, 111-123, (2023).

La Storia, A., Ferrocino, I., Torrieri, E., Di Monaco, R., Mauriello, G., Villani, F., Ercolini, D., “A combination of modified atmosphere and antimicrobial packaging to extend the shelf-life of beefsteaks stored at chill temperature”, *Int. J. Food Microbiol.*, 158, 186-194, (2012).

Latos-Brozio, M., Masek, A., “The application of natural food colorants as indicator substances in intelligent biodegradable packaging materials”, *Food and Chemical Toxicology*, 135, 110975, (2020).

Lee, S. J., Lee, S. Y., Kim, G. D., Kim, G. B., Jin, S. K., Hur, S. J., “Effects of self-carbon dioxide-generation material for active packaging on pH, water-holding capacity, meat color, lipid oxidation and microbial growth in beef during cold storage”, *J Sci Food Agric.*, 97, 3642–3648, (2017).

Lee, K., Park, H., Baek, S., Han, S., Kim, D., Chung, S., Yoon, J. Y., Seo, J., “Colorimetric array freshness indicator and digital color processing for monitoring the freshness of packaged chicken breast”, *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100408, (2019).

Lee, E. J., Shin, H. S., “Development of a freshness indicator for monitoring the quality of beef during storage”, *Food Sci Biotechnol.*, 28(6), 1899-1906, (2019).

Leroy, F., Vasilopoulos, C., Van Hemelryck, S., Falony, G., De Vuyst, L., “Volatile analysis of spoiled, artisan-type, modified-atmosphere-packaged

cooked ham stored under different temperatures”, *Food Microbiology*, 26, 94-102, (2009).

Leygonie, C., Britz, T. J., Hoffman, L. C., “Protein and lipid oxidative stability of fresh ostrich *M. Iliofibularis* packaged under different modified atmospheric packaging conditions”, *Food Chemistry*, 127, 1659-1667, (2011).

Liang, T., Sun, G., Cao, L., Li, J., Wang, L., “A pH and NH₃ sensing intelligent film based on *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum and red cabbage anthocyanins anchored by carboxymethyl cellulose sodium added as a host complex”, *Food Hydrocolloids*, 87, 858-868, (2019).

Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., Cheng, S., “Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract”, *Food Chemistry*, 96, 254-260, (2006).

Li, J., Zheng, F., Jiang, J., Lin, H., Hui, G., “Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) quality determination based on an electronic nose and non-linear dynamic model”, *Anal. Methods*, 7, 9928-9939, (2015).

Li Y., Ying, Y., Zhou, Y., Ge, Y., Yuan, C., Wu, C., Hu, Y., “A pH-indicating intelligent packaging composed of chitosan-purple potato extractions strength by surface-deacetylated chitin nanofibers”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 127, 376-384, (2019).

Li, X., Tu, Z., Sha, X., Li, Z., Li, J., Huang, M., “Effect of coating on flavor metabolism of fish under different storage temperatures”, *Food Chemistry*, 13, 100256, (2022).

Lin, Y. Q., Fang, Z. S., “Study on pork freshness detections”, *Meat Research*, 25(5), 62-65, (2011).

Linares, M. B., Berruga, M. I., Bornezv, R., Vergara, H., “Lipid oxidation in lamb meat: Effect of the weight, handling previous slaughter and modified atmospheres”, *Meat Science*, 76, 715-720, (2007).

Listyarini, A., Sholihah, W., Imawan, C., “A paper-based Colorimetric Indicator Label using Natural Dye for Monitoring Shrimp Spoilage”, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 367, 012045, (2018).

Liu, G. F., Song, H. Y., Zhang, Q., Wang, J. Q., Wang, L. J., Zhang, Z. J., “Cellulose-based absorbent pad loaded with *Carum copticum* essential oil for shelf-life extension of refrigerated chicken meat”, *Packaging Technology and Science*, 35, 425-433, (2022).

Liu, D., Zhang, C., Pu, Y., Chen, S., Li, H., Zhong, Y., “Novel colorimetric films based on polyvinyl alcohol/sodium carboxymethyl cellulose doped with anthocyanins and betacyanin to monitor pork freshness”, *Food Chemistry*, 404, 134426, (2023).

Liu, L., Hu, J., Zhang, J., Fu, Z., Zhang, J., “Development of time- temperature data collection program for frozen fish in the cold chain”, *Sensor Letters*, 8(1), 47-51, (2010).

Liu, X., Chen, K., Wang, J., Wang, Y., Tang, Y., Gao, X., Zhu, L., Li, X., Li, J., “An on-package colorimetric sensing label based on a sol-gel matrix for fish freshness monitoring”, *Food Chemistry*, 307, 125580, (2020a).

Liu, Y., Zhang, X., Li, C., Qin, Y., Xiao, L., Liu, J., “Comparison of the structural, physical and functional properties of κ -carrageenan films incorporated with pomegranate flesh and peel extracts”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 1076-1088, (2020b).

Lomate, G. B., Dandi, B., Mishra, S., “Development of antimicrobial LDPE/Cu nanocomposite food packaging film for extended shelf life of Peda”, *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 211-219, (2018).

López-Rubio, A., Almenar, E., Hernandez-Muñoz, P., Lagarón, J. M., Catalá, R., Gavara, R., “Overview of Active Polymer-Based Packaging Technologies for Food Applications”, *Food Reviews International*, 20(4), 357-387, (2004).

- Lu, X., Zhang, Y., Zhu, L., Luo, X., Hopkins, D. L., “Effect of super chilled storage on shelf life and quality characteristics of *M. longissimus lumborum* from Chinese Yellow cattle”, *Meat Science*, 149, 79-84, (2019).
- Lu, P., Yang, Y., Liu, R., Liu, X., Ma, J., Wu, M., Wang, S., “Preparation of sugarcane bagasse nanocellulose hydrogel as a colorimetric freshness indicator for intelligent food packaging”, *Carbohydrate Polymers*, 249, 116831, (2020a).
- Lu, X., Cornforth, D.P., Carpenter, C.E., Zhu, L., Luo, X., “Effect of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on color changes of the *M. longissimus thoraces et lumborum* from dark cutting beef carcasses”, *Meat Science*, 161, 107999, (2020b).
- Luna, G., Aparicio-Ruiz, R., García-González, D.L., “A tentative characterization of white dry-cured hams from Teruel (Spain) by SPME–GC”, *Food Chemistry*, 97, 621-630, (2006).
- MacIel, V. B. V., Franco, T. T., Yoshida, C. M. P., “Alternative intelligent material for packaging using chitosan films as colorimetric temperature indicators”, *Polimeros*, 22(4), 318-324, (2012).
- Magnaghi, L. R., Capone, F., Zanoni, C., Alberti, G., Quadrelli, P., Biesuz, R., “Colorimetric Sensor Array for Monitoring, Modelling and Comparing Spoilage Processes of Different Meat and Fish Foods”, *Foods*, 9, 684, (2020).
- Manthou, V., Vlachopoulou, M., “Bar-code technology for inventory and marketing management systems: A model for its development and implementation”, *Int. J. Production Economics*, 71, 157-164, (2001).
- Martins, V. G., Santos, L. G., Romani, V. P., Fernandes, S.S., “Bio-based sensing: Role of natural dyes in food freshness indicators”, (editör: A. K. Shukla), *Food Chemistry, Function and Analysis*, İngiltere: Royal Society of Chemistry, 37-62, 2022.

Mashau, M. E., Ramatsetse, K. E., Ramashia, S. E., “Effects of adding *Moringa oleifera* Leaves Powder on the Nutritional Properties, Lipid Oxidation and Microbial Growth in Ground Beef during Cold Storage”, *Applied Sciences*, 11, 2944, (2021).

Maqsood, S., Haddad, N. A. A., Mudgil, P., “Vacuum packaging as an effective strategy to retard off-odor development, microbial spoilage, protein degradation and retain sensory quality of camel meat”, *LWT*, 72, 55-62, (2016).

Mathew, R., Jaganathan, D., Anandakumar, S., “Effect of Vacuum Packaging Method on Shelf Life of Chicken”, *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2(10), 1859-1866, (2016).

McMillin, K. W. “Advancements in meat packaging”, *Meat Science*, 132, 153-162, (2017).

McMillin, K. W., “Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat”, *Meat Science*, 80, 43-65, (2008).

McSharry, S., Koolman, L., Whyte, P., Bolton, D., “An investigation of the survival and/or growth of *Clostridioides (Clostridium) difficile* in beef stored under aerobic, anaerobic and commercial vacuum packaging conditions at 2°C and 20°C”, *Food Control*, 119, 107475, (2021).

McSharry, S., Koolman, L., Whyte, P., Bolton, D., “The microbiology of beef steaks stored aerobically or anaerobically in vacuum pack films with different oxygen barrier properties”, *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100597, (2020).

Mehdizadeh, T., Langroodi, A. M., “Chitosan coatings incorporated with propolis extract and *Zataria multiflora* Boiss. oil for active packaging of chicken breast meat”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 141, 401-409, (2019).

Mennecke, B., Townsend, A., “Radio frequency identification tagging as a mechanism of creating a viable producer's brand in the cattle industry”, *MATRIC Research Papers CARD Reports and Working Papers*, 1-33, (2005).

Menzies, I. J., Youard, L. W., Lord, J. M., Carpenter, K. L., Klink, J. W., Perry, N. B., Schaefer, H. M., Gould, K. S., “Leaf color polymorphisms: a balance between plant defense and photosynthesis”, *Journal of Ecology*, 104, 104-113, (2016).

Merlo, T. C., Contreras-Castillo, C. J., Saldaña, E., Barancelli, G. V., Dargelio, M. D. B., Yoshida, C. M. P., Junior, E. E. R., Massarioli, A., Venturini, A. C., “Incorporation of pink pepper residue extract into chitosan film combined with a modified atmosphere packaging: Effects on the shelf life of salmon fillets”, *Food Research International*, 125, 108633, (2019).

Merdzhanova, A., Makedonski, L., Stancheva, M., “Black Sea Shad and Red Mullet as Sources of Omega 3 Fatty Acids”, *Scripta Scientifica Medica*, 45, 17-22, (2013).

Milani, M.A., Dana, M.G., Ghanbarzadeh, B., Alizadeh, A., Afshar, P.G., “Effect of novel bioactive coating enriched with nano emulsion of mustard essential oil on the quality of turkey meat”, *Journal of Food and Nutrition Research*, 59(1), 71-80, (2020).

Milijasevic, J. B., Milijasevic, M., Vranic, D., Stajanovic, J. D., Lilic, S., Koricanac, V., “Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Shelf Life of Chilled Common Carp (*Cyprinus carpio*) Steaks: Chemical and Sensory Attributes”, *Czech Journal of Food Sciences*, 36(3), 221-226, (2018).

Mitsumoto, M., O’Grad, M. N., Kerry, J. P., Buckley, D. J., “Addition of tea catechins and vitamin C on sensory evaluation, color and lipid stability during chilled storage I cooked or raw beef and chicken patties”, *Meat Science*, 69(4), 773-779, (2005).

Mittal, V., “Bio-nanocomposites: future high value materials. In: Nanocomposites with biodegradable polymers”, (editör: V. Mittal), Synthesis, properties and future perspectives, İngiltere: Oxford University Press, 17-46, (2011).

Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., Gopal, T. K. S., “Active packaging of fishery products- a review”, *Fishery Technology*, 47(1), 1-18, (2010).

Mohan, C. O., Ashitha, V. A., Kishore, P., Panda, S. K., Ravishankar, C. N., “Influence of Mono- and Multilayered Packaging Material on the Quality of Seer Fish (*Scomberomorus commerson*) During Chilled Storage”, *Journal of Packaging Technology and Research*, 2, 67-76, (2018).

Mohammadalinejad, S., Almasi, H., Moradi, M., “Immobilization of *Echium amoenum* anthocyanins into bacterial cellulose film: A novel colorimetric pH indicator for freshness/spoilage monitoring of shrimp”, *Food Control*, 113, 107169, (2020).

Moradi, M., Tajik, H., Almasi, H., Forough, M., Ezati, P., “A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness”, *Carbohydrate Polymers*, 222, 115030, (2019).

Moreno, O., Atarés, L., Chiralt, A., Cruz-Romero, M. C., Kerry, J., “Starch-gelatin antimicrobial packaging materials to extend the shelf life of chicken breast fillets”, *LWT-Food Science and Technology*, 97, 483-490, (2018).

Mousavi, A., Sarhavi, M., Lenk, A., Fawcett, S., “Tracking and traceability in the meat processing industry: A solution”, *British Food Journal*, 104, 7-19, (2002).

Mozaffarzogh, M., Misaghi, A., Shahbazi, Y., Kamkar, A., “Evaluation of probiotic carboxymethyl cellulose-sodium caseinate films and their application in extending shelf-life quality of fresh trout fillets”, *LWT-Food Science and Technology*, 126, 109305, (2020).

Mulders, J. W., Boerrigter, I. J., Rollema, H. S., Siezen, R. J., de Vos, W. M. “Identification and characterization of the lantibiotic nisin 2, a natural nisin variant”, *Eur. J. Biochem.*, 201, 581-584, (1991).

Nam, K. C., Ko, K. Y., Min, B. R., Ismail, H., Lee, E. J., Cordray, J., Ahn, D. U., “Influence of rosemary–tocopherol/packaging combination on meat quality

and the survival of pathogens in restructured irradiated pork loins”, *Meat Science*, 74, 380–387, (2006).

Nauman, K., Jaspal, M. H., Asghar, B., Manzoor, A., Akhtar, K. H., Ali, U., Ali, S., Nasir, J., Sohaib, M., Badar, I. H., “Effect of Different Packaging Atmosphere on Microbiological Shelf Life, Physicochemical Attributes, and Sensory Characteristics of Chilled Poultry Fillets”, *Food Science of Animal Resources*, 42(1), 153-174, (2022).

Naveena, B. M., Sen, A. R., Vaithyanathan, S., Babji, Y., Kondaiah, N., “Comparative efficacy of pomegranate juice, pomegranate rind powder extract and BHT as antioxidants in cooked chicken patties”, *Meat Science*, 80, 1304-1308, (2008).

Niu, X., Liu, Y., Song, Y., Han, J., Pan, H., “Rosin modified cellulose nanofiber as a reinforcing and co-antimicrobial agent in polylactic acid /chitosan composite film for food packaging”, *Carbohydrate Polymers*, 183, 102-109, (2018).

Okoduwa, S. I. R., Mbora, L. O., Adu, M. E., Adeyi, A. A., “Comparative Analysis of the Properties of Acid-Base Indicator of Rose (*Rosa setigera*), Allamanda (*Allamanda cathartica*), and Hibiscus (*Hibiscus rosa-sinensis*) Flowers”, *Biochemistry Research International*, 1, 1-6, (2015).

Olatunde, O. O., Benjakul, S., Vongkamjan, K., “Combined Effect of Ethanolic Coconut Husk Extract and Modified Atmospheric Packaging (MAP) in Extending the Shelf Life of Asian Sea Bass Slices”, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(6), 689-702, (2019).

Oliver, C. N., Ahn, B. W., Moerman, E. J., Goldstein, S., Stadtman, E. R., “Aged-related changes in oxidized proteins”, *Journal of Biological Chemistry*, 262, 5488–5491, (1987).

Opara, U. L., Fadiji, T., Caleb, O. J., Oluwole, A. O., “Changes in Volatile Composition of Cape Hake Fillets under Modified Atmosphere Packaging Systems during Cold Storage”, *Foods*, 11, 1292, (2022).

O'Sullivan, M.G., Byrne, D.V., Jensen, M.T., Andersen, H.J., Vestergaard, J., "A comparison of warmed-over flavor in pork by sensory analysis, GC/MS and the electronic nose", *Meat Science*, 65, 1125-1138, (2003).

Ozdemir, M., Floros, J. D., "Active Food Packaging Technologies", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 185-193, (2004).

Ozturk, M., Demir, E., Ozdal, T., "Voltametric and spectrophotometric pathways for the determination of total antioxidant capacity in commercial turnip juice", *Journal of the Turkish Chemical Society*, 8(1), 163-172, (2021).

Özoğul, İ., "Spirulina platensis ve Chlorella vulgaris'den Elde Edilen Ekstraktların Soğuk Depolanan ($4\pm 1^{\circ}\text{C}$) Sardalya (*Sardinella aurita*) Filetoları Üzerindeki Antioksidan ve Antimikrobiyal Etkileri", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana, (2018).

Özpolat, E., "Dikenli yılan balığı (*Mastacembelus mastacembelus*) gravlaksının 4°C 'deki muhafazasında mikrobiyolojik ve besin değerleri", *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 22(2), 741-747, (2020).

Öztaş, T., (2006). "Mor Havuç, Konsantresi, Şalgam Suyu, Nar Suyu ve Nar Ekşisi Ürünlerinde Antioksidan Aktivitesi Tayini ve Fenolik Madde Profiline Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, (2006).

Öztaş, A., Et Bilimi ve Teknolojisi, Ankara: TMMOB Gıda Mühendisleri Odası Yayınları Kitaplar Serisi Yayın No:1, 4. baskı, (2003).

Öztürk, B., "Kanatlı Eti Ürünleri Üretiminde Yenilikçi Formülasyon Yaklaşımları: Farklı Teknolojilerle Üretilen Tavuk Eti Ürünlerinde Fosfat ve Gluten Alternatifi Bileşenlerin Kullanımının Araştırılması", Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, (2018).

Özünlü, O., Ergezer, H., “Development of novel paper-based colorimetric indicator labels for monitoring shelf life of chicken breast fillets”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e17013, (2022).

Park, C. H., Lee, B., Oh, E., Kim, Y. S., Choi, Y. M., “Combined effects of sous-vide cooking conditions on meat and sensory quality characteristics of chicken breast meat”, *Poultry Science*, 99, 3286-3291, (2020).

Park, H. J., “Development of advanced edible coatings for fruits”, *Trends Food Sci. Technol.*, 10(8), 254-260, (1999).

Papastergiadis, A., Mubiru, E., Langenhove, H. V., De Meulenaer, B., “Malondialdehyde measurement in oxidized foods: evaluation of the spectrophotometric thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) test in various foods”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(38), 9589-9594, (2012).

Pavlidis, D. E., Mallouchos, A., Ercolini, D., Panagou, E. Z., Nychas, G. J. E., “A volatilomics approach for off-line discrimination of minced beef and pork meat and their admixture using HS-SPME GC/MS in tandem with multivariate data analysis”, *Meat Science*, 151, 43-53, (2019).

Pereira De Abreu, D. A., Cruz, J. M., Losada, P. P., “Active and Intelligent Packaging for The Food Industry”, *Food Reviews International*, 28, 146-187, (2012).

Perez-Gago, M. B., Serra, M., Alonso, M., Mateos, M., “Effect of whey protein and hydroxypropyl methylcellulose-based edible composite coatings on color change of fresh-cut apples”, *Postharvest Biol. Technol.*, 36(1), 77-85, (2005).

Pinheiro, A. C. A. S., Tappi, S., Patrignani, F., Lanciotti, R., Romani, S., Rocculi, P., “Effects of novel modified atmosphere packaging on lipid quality and stability of sardine (*Sardina pilchardus*) fillets”, *International Journal of Food Science and Technology*, 56, 945-953, (2021).

Popova, T., Marinova, P., “Lipid and protein oxidation during cooking in meat of lambs reared indoors and on pasture”, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(3), 590-594, (2013).

Pranoto, Y., Salokhe, V. M., Rakshit, S. K., “Physical and antibacterial properties of alginate-based edible film incorporated with garlic oil”, *Food Res. Int.*, 38(3), 267-272, (2005).

Qian, Q., Zhang, J., Cui, M., Han, B., “Synthesis of acetic acid via methanol hydrocarboxylation with CO₂ and H₂”, *Nature Communications*, 7, 11481, (2016).

Quan, C., Stevens, R., “Protein Coupled Colorimetric Analyte Detectors”, PCT International Patent Application WO 95/33991, (1998).

Raharjo, S., Sofos, J. N., “Methodology for measuring malonaldehyde as a product of lipid peroxidation in muscle tissues: A review”, *Meat Science*, 35, 145-169, (1993).

Rajaei, A., Hadian, M., Mohsenifar, A., Rahmani-Cherati, T., Tabatabaei, M., “A coating based on clove essential oils encapsulated by chitosan-myristic acid nanogel efficiently enhanced the shelf-life of beef cutlets”, *Food Packaging and Shelf Life*, 14, 137-145, (2017).

Ramachandraiah, K., Han, S. G., Chin, K. B., “Nanotechnology in meat processing and packaging: Potential applications-a review”, *Asian-australasian Journal of Animal Sciences*, 28(2), 290, (2015).

Rastiani, F., Jebali, A., Hekmatimoghaddam, S. H., Sadrabad, E. K., Mohajeri, F. A., Dehghani-Tafti, A., “Monitoring the Freshness of Rainbow Trout Using Intelligent pH-sensitive Indicator During Storage”, *Journal of Nutrition and Food Security*, 4(4), 225-235, (2020).

Ratnawati, S. E., Kuuliala, L., Walgraeve, C., Demeestere, K., Ragaert, P., Devlieghere, F., “The effect of high oxygen modified atmospheres on the

quality degradation of packed live blue mussels (*Mytilus edulis*)”, *LWT*, 177, 114537, (2023).

Ready, C.A., “Method of preparing and preserving ready to eat foods”, US Patent 3, 607,312, 4, (1971).

Realini, C.E., Marcos, B., “Active and Intelligent Packaging Systems for a Modern Society”, *Meat Science*, 98, 404-419, (2014).

Reyes, L. F., Cisneros-Zevallos, L., “Degradation kinetics and color of anthocyanins in aqueous extracts of purple and red-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.)”, *Food Chemistry*, 100, 885-894, (2007).

Reyes, T. M., Wagoner, M. P., Zorn, V. E., Coursen, M. M., Wilborn, B. S., Bonner, T., Brandebourg, T. D., Rodning, S. P., Sawyer, J. T., “Vacuum Packaging Can Extend Fresh Color Characteristics of Beef Steaks during Simulated Display Conditions”, *Foods*, 11, 520, (2022).

Rezaeifar, M., Mehdizadeh, T., Langroodi, A. M., Rezaei, F., “Effect of chitosan edible coating enriched with lemon verbena extract and essential oil on the shelf life of vacuum rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)”, *Journal of Food Safety*, 40, e12781, (2020).

Rhim, J. W., “Effect of clay contents on mechanical and water vapor barrier properties of agar-based nanocomposite films”, *Carbohydrate Polymers*, 86(2), 691-699, (2011).

Rhim, J. W., Wang, L. F., Hong, S. I., “Preparation and characterization of agar/silver nanoparticles composite films with antimicrobial activity”, *Food Hydrocolloids*, 33, 327-335, (2013).

Riahi, M., Sadrabad, E. K., Jebali, A., Moghaddam, S. H. H., Mohajeri, F. A., “Development of a pH-Sensitive Indicator Label for the Real-Time Monitoring of Chicken Meat Freshness”, *Journal of Nutrition Fasting and Health*, 7(4), 213-220, (2019).

- Riaz, A., Lei, S., Akhtar, H. M. S., Wan, P., Chen, D., Jabbar, S., Abid, M., Hashim, M. M., Zeng, X., “Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial active food packaging film incorporated with apple peel polyphenols”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 547-555, (2018).
- Rivai, M., Attamimi, M., Firdaus, M. H., “Fish Quality Recognition using Electrochemical Gas Sensor Array and Neural Network”, *International Conference of Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM)*, 1-5, 2019.
- Rodrigues, I., Trindade, M.A., Palu, A.F., Baldin, J.C., de Lima, C.G., de Alvarenga, F.M.T.A., “Modified atmosphere packaging for lamb meat: evaluation of gas composition in the extension of shelf life and consumer acceptance”, *J Food Sci Technol.*, 55(9), 3547-3555, (2018).
- Rodriguez-Amaya, D. B., “Update on natural food pigments-A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains”, *Food Research International*, 124, 200-205, 2019.
- Rokaityte, A., Zaborskiene, G., Macioniene, I., Rokaitis, I., Sekmokiene, D., “Combined Effect of Lactic Acid, Bioactive Components and Modified Atmosphere Packaging on the Quality of Minced Meat”, *Czech J. Food Sci.*, 34(1), 52-60, (2016).
- Rooney, M. L., “Active Food Packaging”, İngiltere: Chapman & Hall, 1-37, (1995).
- Rossi, C., Chaves-López, C., Serio, A., Goredó, E., Goga, B. T. C., Paparella, A., “Influence of incubation conditions on biofilm formation by *Pseudomonas fluorescens* isolated from dairy products and dairy manufacturing plants”, *Italian Journal of Food Safety*, 5, 5793, (2016).
- Roy, S., Rhim, J. W., “Anthocyanin food colorant and its application in pH-responsive color change indicator films”, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(14), 2297-2325, (2020).

Rukchon, C., Nopwinyuwong, A., Trevanich, S., Jinkarn, T., Suppakul, P., “Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast”, *Talanta*, 130, 547-554, (2014).

Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., “The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 79, 42-50, (2011).

Salum, P., Erbay, Z., Kelebek, H., Selli, S., “Optimization of Headspace Solid-Phase Microextraction with Different Fibers for the Analysis of Volatile Compounds of White-Brined Cheese by Using Response Surface Methodology”, *Food Anal. Methods.*, 10, 1956-1964, (2017).

Sarfraz, J., Hansen, A. A., Haugen, J. E., Le, T. A., Nilsen, J., Skaret, J., Huynh, T. P., Pettersen, M. K., “Biodegradable Active Packaging as an Alternative to Conventional Packaging: A Case Study with Chicken Fillets”, *Foods*, 10, 1126, (2021).

Saini, S., Sillard, C., Belgacem, M. N., Bras, J., “Nisin anchored cellulose nanofibers for long term antimicrobial active food packaging”, *The Royal Society of Chemistry*, 6, 12422-12430, (2016).

Sanches, M. A. R., Camelo-Silva, C. da Silva Carvalho, C., de Mello, J. R., Barroso, N. G., da Silva Barros, E. L., Silva, P. P., Pertuzatti, P. B., “Active packaging with starch, red cabbage extract and sweet whey: Characterization and application in meat”, *LWT*, 135, 110275, (2021).

Saucier, L., “Microbial spoilage, quality and safety within the context of meat sustainability”, *Meat Science*, 120, 78-84, (2016).

Scannell, A. G. M., Hill, C., Ross, R. P., Marx, S., Hartmeier, W., Arendt, E. K., “Development of bioactive food packaging materials using immobilized bacteriocins Lacticin 3147 and Nisaplin”, *International Journal of Food Microbiology*, 60, 241-249, (2000).

Seideman, S. C., Durland, P. R., "Vacuum packaging of fresh beef. A review", *Journal of Food Quality*, 6, 29-47, (1983).

Sepulveda, E., Saenz, C., Pena, A., Robert, P., Bartolome, B., Gomez-Cordoves, C., "Influence of The Genotype on The Anthocyanin Composition, Antioxidant Capacity and Color of Chilean Pomegranate (*Punica granatum* L.) Juices", *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1), 50-57, (2010).

Senter, S. D., Arnold, J. W., Chew, V., "APC values and volatile compounds formed in commercially processed, raw chicken parts during storage at 4 and 13°C and under simulated temperature abuse conditions", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1559-1564, (2000).

Shah, M. A., Bosco, S. J. D., Mir, S. A., "Effect of *Moringa oleifera* leaf extract on the physicochemical properties of modified atmosphere packaged raw beef", *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 31-38, (2015).

Shahbazi, Y., Shavisi, N., "A novel active food packaging film for shelf-life extension of minced beef meat", *Journal of Food Safety*, 38, 1-11, (2018).

Shankar, S., Rhim, J. W., "Polymer nanocomposites for food packaging applications", (editör: I., Dasari., J. Njuguna), Amerika: John Wiley and Sons Ltd., Functional and physical properties of polymer nanocomposites, 29-55, (2016).

Shankar, S., Chorachoo, J., Jaiswal, L., Voravuthikunchai, S. P., "Effect of reducing agent concentrations and temperature on characteristics and antimicrobial activity of silver nanoparticles", *Materials Letters*, 137, 160-163, (2014a).

Shankar, S., Rhim, J. W., "Effect of copper salts and reducing agents on characteristics and antimicrobial activity of copper nanoparticles", *Materials Letters*, 132, 307-311, (2014b).

Shi, H. L., Noguchi, N., Niki, E., “Introducing natural antioxidants”, (editör: J. Pokorny), *Antioxidants in food: Practical applications*, Amerika: CRC Press, 147-159, (2001).

Shi, C., Zhang, J., Jia, Z., Yang, X., Zhou, Z., “Intelligent pH indicator films containing anthocyanins extracted from blueberry peel for monitoring tilapia fillet freshness”, *J Sci Food Agric.*, 1-12, (2020).

Shin, C., Zhang, J., Jia, Z., Yang, X., Zhou, Z., “Intelligent pH indicator films containing anthocyanins extracted from blueberry peel for monitoring tilapia fillet freshness”, *J Sci Food Agric.*, 101, 1800-1811, (2021).

Shipman, D., Durmuş, B., “The Effect of Culture on Food Consumption; a Case of Special Religious Days in Turkey”, *Journal of Food Research*, 6(2), 92-99, (2017).

Shiyan, S., Herlina, S., Sari, L. R., “Nephroprotective of Anthocyanin Pigments Extract from Red Cabbage (*Brassica oleracea* L. Var. Capitata F. Rubra) against Gentamicin-Captopril-Induced Nephrotoxicity in Rats”, *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 11(4), 432-436, (2018).

Silbande, A., Adenet, S., Chopin, C., Cornet, J., Smith-Ravin, J., Rochefort, K., Leroi, F., “Effect of vacuum and modified atmosphere packaging on the microbiological, chemical and sensory properties of tropical red drum (*Sciaenops ocellatus*) filets stored at 4°C”, *International Journal of Food Microbiology*, 266, 31–41, (2018).

Silva, R. O., Rouxinol, M. I. F. C., Patarata, L. A. S. C., “The use of photography to perform an online consumer test on the freshness of chicken breast and the extension of shelf life”, *J Sens Stud.*, 35, 1-7, (2020).

Singh, P., “Active packaging of food products: recent trends”, *Packaging of food products*, 41(4), 249-260, (2000).

Singh, S., Gaikwad, K. K., Lee, Y. S., “Anthocyanin-A Natural Dye for Smart Food Packaging Systems”, *Korean Journal of Packaging Science & Technology*, 24(3), 167-180, (2018).

Sirocchi, V., Caprioli, G., Cecchini, C., Coman, M. M., Cresci, A., Maggi, F., Papa, F., Ricciutelli, M., Vittori, S., Sagratini, G., “Biogenic amines as freshness index of meat wrapped in a new active packaging system formulated with essential oils of *Rosmarinus officinalis*”, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(8), 921-928, (2013).

Sirocchi, V., Devlieghere, F., Peelman, N., Sagratini, G., Maggi, F., Vittori, S., Ragaert, P., “Effect of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil combined with different packaging conditions to extend the shelf life of refrigerated beef meat”, *Food Chemistry*, 221, 1069-1076, (2017).

Sivarajan, M., Lalithapriya, U., Mariajenita, P., Vajiha, B.A., Harini, K., Madhushalini, D., Sukumar, M., “Synergistic effect of spice extracts and modified atmospheric packaging towards non-thermal preservation of chicken meat under refrigerated storage”, *Poultry Science*, 96, 2839-2844, (2017).

Sivertsvik, M., Jeksrud, W. K., Vagane, A., Rosnes, J. T., “Solubility and absorption rate of carbon dioxide into non respiring foods: Part 1: Development and validation of experimental apparatus using a monomeric method”, *Journal of Food Engineering*, 61, 449-458, (2004).

Skąlecki, P., Florek, M., Kędzierska-Matysek, M., Poleszak, E., Domaradzki, P., Kaliniak-Dziura, A., “Mineral and trace element composition of the roe and muscle tissue of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with respect to nutrient requirements Elements in rainbow trout products”, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 62, 126619, (2020).

Slimestad, R., Solheim, H., “Anthocyanins from Black Currants (*Ribes nigrum* L.)”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3228-3231, (2002).

Śmiecińska, K., Daszkiewicz, T., “Lipid oxidation and color changes in beef stored under different modified atmospheres”, *J Food Process Preserv.*, 45, e15263, (2020).

Smit, G., Smit, B.A., Engels, W.J.M., “Flavor formation by lactic acid bacteria and biochemical flavor profiling of cheese products”, *FEMS Microbiol. Rev.* 29, 591-610, (2005).

Smolander, M., “Freshness indicators for direct quality evaluation of packaged foods”, *In International conference on active and intelligent packaging, conference proceedings, 7-8 September, İngiltere: Campden & Chorleywood Food Research Association Group.*, 1-16, (2000).

Smolander, M., Hurme, E., Latva-Kala, K., Luoma, T., Alakomi, H. L., Ahvenainen, R., “Myoglobin-based indicators for the evaluation of freshness of unmarinated broiler cuts”, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3, 279-288, (2002).

Smolander, M., “The use of freshness indicators in packaging”. (editör: R. Ahvenainen), *Novel food packaging techniques*, İngiltere: Woodhead Publishing Ltd., 128-143, (2003).

Smolander, M., Alakomi, H. L., Ritvanen, T., Vainionpaa, J., Ahvenainen, R., “Monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts stored in different temperature conditions: Time-temperature indicators as quality-indicating tools”, *Food Control*, 15, 217-229, (2004).

Stadtman, E. R., Berlett, B. S., “Fenton Chemistry”, *The Journal of Biological Chemistry*, 266(26), 17201-17211, (1991).

Stiles, M. E., “Modified atmosphere packaging of meat, poultry, and their products”, (editör: M. E. Stiles), *Modified atmosphere packaging of food*, New York: E. Horwood., 118-147, (1990).

Sujiwo, J., Kim, D., Jang, A., “Relation among quality traits of chicken breast meat during cold storage: correlations between freshness traits and torrymeter values”, *Poultry Science*, 97, 2887-2894, (2018).

Sujiwo, J., Kim, H. J., Song, S.O., Jang, A., “Relationship between quality and freshness traits and torrymeter value of beef loin during cold storage”, *Meat Science*, 149, 120-125, (2019).

Sun, S., Zhang, Y., Song, H., “Variation of aroma components during frozen storage of cooked beef balls by SPME and SAFE coupled with GC-O-MS”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, e15036, (2020a).

Sun, S., Zhao, J., Luo, Z., Lin, Q., Luo, F., Yang, T., “Systematic evaluation of the physicochemical properties and the volatile flavors of yak meat during chilled and controlled freezing-point storage”, *Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1351-1361, (2020b).

Sun, Y., Wen, J., Chen, Z., Qiu, S., Wang, Y., Yin, E., Li, H., Liu, X., “Non-destructive and Rapid Method for Monitoring Fish Freshness of Grass Carp Based on Printable Colorimetric Paper Sensor in Modified Atmosphere Packaging”, *Food Analytical Methods*, 15, 792-802, (2022).

Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., Bigger, W., “Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and its Applications”, *Journal of Food Science*, 68(2), 408-420, (2003).

Sutthasupa, S., Padungkit, C., Suriyong, S., “Colorimetric ammonia (NH₃) sensor based on an alginate-methylcellulose blend hydrogel and the potential opportunity for the development of a minced pork spoilage indicator”, *Food Chemistry*, 362, 130151, (2021).

Swedberg, C., “Beef tracking, the RFID way”, *RFID Journal*, 1(1), 1-9, (2006).

Syahida, S. N., Ismail-Fitry, M. R., Ainun, Z. M. A., Hanani, Z. A. N., “Effects of gelatin/palm wax/lemongrass essential oil (GPL)-coated Kraft paper on the

quality and shelf life of ground beef stored at 4°C”, *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100640, (2021).

Tagrida, M., Benjakul, S., Zhang, B., “Use of betel leaf (*Piper betle* L.) ethanolic extract in combination with modified atmospheric packaging and nonthermal plasma for shelf-life extension of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets”, *J. Food Sci.*, 86, 5226-5239, (2021).

Taherkhani, E., Moradi, M., Tajik, H., Molaei, R., Ezati, P., “Preparation of on-package halochromic freshness/spoilage nanocellulose label for the visual shelf-life estimation of meat”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 2632-2640, (2020).

Takma, D. K., Korel, F., “Active packaging films as a carrier of black cumin essential oil: Development and effect on quality and shelf-life of chicken breast meat”, *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 210-217, (2019).

Talukder, S., Mendiratta, S. K., Kumar, R. R., Agrawal, R. K., Soni, A., Luke, A., Chand, S., “Jamun fruit (*Syzgium cumini*) skin extract-based indicator for monitoring chicken patties quality during storage”, *Journal of Food Science and Technology*, 57(2), 537-548, (2020).

Tangüler, H., Cankaya, A., Agcam, E., Uslu, H., “Effect of temperature and production method on some quality parameters of fermented carrot juice (*Shalgam*)”, *Food Bioscience*, 41, 100973, (2021).

Tanrıseven, D., Dıblan, S., Selli, S., Kelebek, H., “Şalgam suyunun üretim yöntemleri ve biyoaktif bileşenleri”, *Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 38-45, (2018).

Taoukis, P. S., Labuza, T. P., “Applicability of time temperature indicators as shelf-life monitors of food products”, *Journal of Food Science*, 54, 783-788, (1989).

Timmers, M. A., Grace, M. H., Yousef, G. G., Lila, M. A., “Inter- and intra-seasonal changes in anthocyanin accumulation and global metabolite profiling

of six blueberry genotypes”, *Journal of Food Composition Analysis*, 17, 30065, (2017).

Tirtashi, F. E., Moradi, M., Tajik, H., Forough, M., Ezati, P., Kuswandi, B., “Cellulose/chitosan pH-responsive indicator incorporated with carrot anthocyanins for intelligent food packaging”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 920-926, (2019).

Toldra, F., “Proteolysis and lipolysis in flavor development of dry-cured meat products”, *Meat Science*, 49, 101-110, (1998).

Tomasevic, I., Tomovic, V., Ikonc, P., Rodriguez, J.M.L., Barba, F.J., Djekic, I., Nastasijevic, I., Stajic, S., Zivkovic, D., “Evaluation of poultry meat colour using computer vision system and colorimeter Is there a difference?”, *British Food Journal*, 121(5), 1078-1087, (2019).

Tornuk, F., Hancer, M., Sagdic, O., Yetim, H., “LLDPE based food packaging incorporated with nano clays grafted with bioactive compounds to extend shelf life of some meat products”, *LWT*, 64, 540-546, (2015).

Trindade, M. A. Villanueva, N. D. M., Antunes, C. V., “Active packaged lamb with oxygen scavenger/carbon dioxide emitter sachet: physical-chemical and microbiological stability during refrigerated storage”, *Brazilian Journal of Food Technology*, 16(3), 216-225, (2013).

Tsigarida, E., Boziaris, I.S., Nychas, G-J.E., “Bacterial synergism or antagonism in a gel cassette system”, *Appl. Environ. Microbiol.*, 69, 7204-7209, (2003).

Tsarakidou, P., Sameli, N., Bosnea, L., Chorianopoulos, N., “Assessment of the spoilage microbiota in minced free-range chicken meat during storage at 4°C in retail modified atmosphere packages”, *Food Microbiology*, 99, 103822, (2021).

Tsai, Y. H., Chang, S. C., Kung, H. F., Wei, C. I., Hwang, D. F., “Histamine production by *Enterobacter aerogenes* in sailfish and milkfish at various storage temperatures”, *Journal of Food Protection*, 68(8), 1690-1695, (2005).

Tunçtaş, N., “Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Filetolarında Modifiye Atmosfer ve Oksijen Emici Etiketinin Ürün Kalitesi Üzerine Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sinop, (2019).

Turgut, D. Y., Seydim, A. C., “Akdeniz Bölgesi’nde Yetiştirilen Bazı Nar (*Punica granatum*, L.) Çeşit ve Genotiplerinin Fenolik Bileşenleri ve Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi”, *Akademik Gıda*, 11(2), 51-59, (2013).

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu), <https://www.tuik.gov.tr/>, (2023).

Uğurluay, G., “Paketlemede Ambalaj Materyali Olarak Kullanılan Nem Tutucu Filtrelerin Hindi Etinin Raf Ömrü Üzerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul, (2010).

Utami, R., Khasanah, L. U., Manuhara, G. J., Ayuningrum, Z. K., “Effects of Cinnamon Bark Essential Oil (*Cinnamomum burmannii*) on Characteristics of Edible Film and Quality of Fresh Beef”, *Tropical Agricultural Science*, 42(4), 1173-1184, (2019).

Uyarcan, M., Söbeli, C., Dağbağlı, S., Akpınar, A., Kayaardı, S., “Gıda Ambalajlamada Nanoteknolojinin Kullanımı”, *Plastik ve Ambalaj Teknolojisi*, 58-65, 2019.

Van Den Dool, H., Kratz, P. D., “A Generalization of the Retention Index System Including Linear Temperature Programmed Gas-Liquid Partition Chromatography”, *Journal of Chromatography*, 11, 463-471, (1963).

Varlık, C., Baygar, T., Özden, Ö., Erkan, N., Metin, S., “Soğukta Depolanan Karideslerin (*Parapenaeus longirostris*, LUCAS 1846) Bazı Duygusal,

Fiziksel ve Kimyasal Parametrelerinin Belirlenmesi”, *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 24, 181-185, (2000).

Verme, S. P., Sahoo, J., “Improving the quality of ground chevon during refrigerated storage by tocopherol acetate preblending”, *Meat Science*, 56, 403-413, (2000).

Vermeiren, L., Devlieghere, F., van Beest, M., de Kruijf, N., Debevere, J., “Developments in the active packaging of foods”, *Trends in Food Science & Technology*, 10, 77-86, (1999).

Vidal, N. P., Manzanos, M. J., Goicoechea, E. Guillen, M. D. “Farmed and Wild Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Volatile Metabolites: A Comparative Study by SPME-GC/MS”, *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 96, 1181-1193, (2016).

Villaño, D., García-Viguera, C., Mena, P., “Colors: Health Effects”, *Encyclopedia of Food and Health*, 1(1), 265-272, (2015).

Vital, A. C. P., Guerrero, A., de Oliveira Monteschio, J., Valero, M. V., Carvalho, C. B., de Abreu Filho, B. A., Madrona, G. S., do Prado, I. N., “Effect of Edible and Active Coating (with Rosemary and Oregano Essential Oils) on Beef Characteristics and Consumer Acceptability”, *Plos One*, 11(8), 1-15, (2016).

Vo, T. V., Dang, T. H., Chen, B. H., “Synthesis of Intelligent pH Indicative Films from Chitosan/Poly (vinyl alcohol)/Anthocyanin Extracted from Red Cabbage”, *Polymers*, 11, 1088, (2019).

Vongsawasdi, P., Wongwicharn, A., Khunajakr, N., Dejsuk, N., “Shelf-life extension of precooked chicken fillets by modified atmosphere packaging”, *J Agri Nat Sci.*, 42(5), 127-135, (2008).

Vukoja, J., Pichler, A., Kopjar, M., “Stability of Anthocyanins, Phenolics and Color of Tart Cherry Jams”, *Foods*, 8, 255, (2019).

Wallace, T. C., Giusti, M. M., “Anthocyanins-Nature’s Bold, Beautiful, and Health-Promoting Colors”, *Foods*, 8, 550, (2019).

Wallace, T. C., “Anthocyanins in Cardiovascular Disease”, *American Society for Nutrition. Adv. Nutr.*, 2, 1-7, (2011).

Wang, Z., Li, P., Zhou, H., Xu, B., Cai, K., Li, P., Zhou, K., Wang, Z., Han, Q., “An insight into the changes in the microbial community of Kantuan-sliced chicken during storage at different temperatures”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, e16614, (2022).

Wang, Z. C., Lu, Y., Yan, Y., Nisar, T., Fang, Z., Xia, N., Guo, Y., Chen, D. W., “Effective inhibition and simplified detection of lipid oxidation in tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets during ice storage”, *Aquaculture*, 511, 634183, (2019a).

Wang, Z.C., Yan, Y., Fang, Z., Nisar, T., Sun, L., Guo, Y., Xia, N., Wang, H., Chen, D.W., “Application of nitric oxide in modified atmosphere packaging of tilapia (*Oreschromis niloticus*) fillets”, *Food Control*, 98, 209-215, (2019b).

Wang, Z., He, Z., Gan, X., Li, H., “Interrelationship among ferrous myoglobin, lipid, and protein oxidations in rabbit meat during refrigerated and super-chilled storage”, *Meat Science*, 146, 131-139, (2018).

Wang, X., Zhu, L., Han, Y., Xu, L., Jin, J., Cai, Y., Wang, H., “Analysis of volatile compounds between raw and cooked beef by HS-SPME–GC–MS”, *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, e13503, (2017).

Weber, F., Boch, K., Schieber, A., “Influence of co-pigmentation on the stability of spray dried anthocyanins from blackberry”, *LWT-Food Science and Technology*, 75, 72e77, (2017).

Wells, N., Yusufu, D., Mills, A., “Calorimetric plastic film indicator for the detection of the volatile basic nitrogen compounds associated with fish spoilage”, *Talanta*, 194, 830-836, (2019).

Wessel, R., “Chill-on develops prototype RFID-enabled time-temperature indicator”, *RFID Journal*, 1, 1-8, (2007).

West, M. E., Mauer, L. J., “Color and Chemical Stability of a Variety of Anthocyanins and Ascorbic Acid in Solution and Powder Forms”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(17), 4169-4179, (2013).

Williams, P., “Nutritional composition of red meat”, *Nutrition & Dietetics*, 64, S113-S119, (2007).

Witte, V. C., Krauze, G. F. and Bailey, M. E., “A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage”, *Journal of Food Science*, 35, 582-585, (1970).

Woraprayote, W., Malila, Y., Sorapukdee, S., Swetwiwathana, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., “Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products”, *Meat Science*, 120, 118-132, (2016).

Wrolstad, R. E., Durst, R. W., Lee, J., “Tracking color and pigment changes in anthocyanin products”, *Trends in Food Science & Technology*, 16, 420-428, (2005).

Wu, J. G., Wang, P. J., Chen, S. C., “Antioxidant and Antimicrobial Effectiveness of Catechin-Impregnated Pva-Starch Film on Red Meat”, *Journal of Food Quality*, 33, 780-801, (2010).

Xiao, Y., Jiaojiao, J., Guohua, H., Fangyuan, Y., Minmin, W., Jie, H., Xiaoguo, Y., Shanggui, D., “Determination of the Freshness of Beef Strip Loins (*M. longissimus lumborum*) Using Electronic Nose”, *Food Anal. Methods*, 7, 1612-1618, (2014).

Xiao, G., Zhang, X., Zhang, W., Zhang, S., Su, H., Tan, T., “Visible-light-mediated synergistic photocatalytic antimicrobial effects and mechanism of Ag-nanoparticles-chitosan-TiO₂ organic-inorganic composites for water disinfection”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 170-171, 255-262, (2015).

Xie, J., Sun, B., Zheng, F., Wang, S., “Volatile flavor constituents in roasted pork of mini-pig”, *Food Chemistry*, 109, 506-514, (2008).

Yaghoubi, M., Ayaseh, A., Alirezalu, K., Nemati, Z., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., “Effect of Chitosan Coating Incorporated with *Artemisia fragrans* Essential Oil on Fresh Chicken Meat during Refrigerated Storage”, *Polymers*, 13, 706, (2021).

Yağın, C., “Sıcak Dumanlanmış ve Vakum Paketlenmiş Gökkuşığı Alabalık Filetolarına Uygulanan Kitosan, Sodyum Laktat ve Sodyum Diasetat’ın Raf Ömrüne Olan Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Veterinerlik Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Aydın, (2015).

Yam, K. L., Takhistov, P. T., Miltz, J., “Intelligent Packaging: Concepts and Applications”, *Journal of Food Science*, 70(1), 1-10, (2005).

Yang, H. J., Lee, J. H., Won, M., Song, K. B., “Antioxidant activities of distiller dried grains with solubles as protein films containing tea extracts and their application in the packaging of pork meat”, *Food Chemistry*, 196, 174-179, (2016).

Yang, X., Zhu, L., Zhang, Y., Liang, R., Luo, X., “Microbial community dynamics analysis by high-throughput sequencing in chilled beef longissimus steaks packaged under modified atmospheres”, *Meat Science*, 141, 94-102, (2018).

Yang, H., Hopkins, D. L., Zhang, Y., Zhu, L., Dong, P., Wang, X., Mao, Y., Luo, X., Fowler, S. M., “Preliminary investigation of the use of Raman spectroscopy to predict beef spoilage in different types of packaging”, *Meat Science*, 165, 108136, (2020).

Yang, X., Wang, J., Holman, B. W. B., Liang, R., Chen, X., Luo, X., Zhu, L., Hopkins, D. L., Zhang, Y., “Investigation of the physicochemical, bacteriological, and sensory quality of beef steaks held under modified

atmosphere packaging and representative of different ultimate pH values”, *Meat Science*, 174, 108416, (2021).

Yang, J., Yang, X., Liang, R., Zhu, L., Mao, Y., Dong, P., Hopkins, D. L., Luo, X., Zhang, Y., “The response of bacterial communities to carbon dioxide in high-oxygen modified atmosphere packaged beef steaks during chilled storage”, *Food Research International*, 151, 110872, (2022).

Yao, C. K., Muir, J. G., Gibson, P. R., “Insights into colonic protein fermentation, its modulation and potential health implications”, *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 43, 181-196, (2016).

Yapıcı, H. H., “Bazı Mikrobiyolojik Metabolitlerin Çipura (*Sparus aurata*)’daki Bozucu Mikroorganizmalar Üzerine Etkisi ve Soğukta Depolama Aşamasında Kullanılma Potansiyeli”, Doktora Tezi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Su Ürünleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Muğla, (2020).

Yehia, H. M., Elkhadragy, M. F., Al-Megrin, W. A., Al-Masoud, A. H., “Citrus Improves the Quality and Shelf Life of Chicken Fillets Packed under Vacuum and Protects against Some Foodborne Pathogens”, *Animals*, 9, 1062, (2019).

Yiğit, Ü., “Kırmızı Lahana Antosiyaninlerinin Mikrodalga ve Konvansiyonel Yöntemler ile Özütleme”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, (2018).

Yin, C., Wang, J., Qian, J., Xiong, K., Zhang, M., “Quality changes of rainbow trout stored under different packaging conditions and mathematical modeling for predicting the shelf life”, *Food Packaging and Shelf Life*, 32, 100824, (2022).

Yingyuad, B. S., Ruamsin, S., Reekprkhon, D., Douglas, S., Pongamphai, S., Siripatrawan, U., “Effect of Chitosan Coating and Vacuum Packaging on the Quality of Refrigerated Grilled Pork”, *Packaging Technology and Science*, 19, 149-157, (2006).

Yolanda, D. S., Dirpan, A., Rahman, A. N. F., Djalal, M., Hidayat, S. H., “The potential combination of smart and active packaging in one packaging system in improving and maintaining the quality of fish”, *Canrea Journal: Food Technology, Nutrition, and Culinary*, 3(2), 74-86, (2020).

Yordshahi, A. S., Moradi, M., Tajik, H., Molaei, R., “Design and preparation of antimicrobial meat wrapping nano paper with bacterial cellulose and postbiotics of lactic acid bacteria”, *International Journal of Food Microbiology*, 321, 1-10, (2020).

Yu, H. H., Song, M. W., Kim, T. K., Choi, Y. S., Cho, G. Y., Lee, N. K., Paik, H. D., “Effect of Various Packaging Methods on Small-Scale Hanwoo (Korean Native Cattle) during Refrigerated Storage”, *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(2), 338-349, (2018).

Zabek, K., Micinski, J., Milewski, S., Sobczak, A., “Effect of modified atmosphere packaging and vacuum packaging on quality characteristics of lamb meat”, *Archives Animal Breeding*, 64(2), 437-445, (2021).

Zareian, M., Tybussek, T., Silcock, P., Bremer, P., Beauchamp, J., Böhner, N., “Interrelationship among myoglobin forms, lipid oxidation and protein carbonyls in minced pork packaged under modified atmosphere”, *Food Packaging and Shelf Life*, 20, 100311, (2019).

Zhao, C. L., Yu, Y. Q., Chen, Z. J., Wen, G. S., Wei, F. G., Zheng, Q., Wang, C. D., Xiao, X. L., “Stability-increasing effects of anthocyanin glycosyl acylation”, *Food Chemistry*, 1, 119-128, 2017.

Zhao, X., Zhou, Y., Zhao, L., Chen, L., He, Y., Yang, H., “Vacuum impregnation of fish gelatin combined with grape seed extract inhibits protein oxidation and degradation of chilled tilapia fillets”, *Food Chemistry*, 294, 316-325, (2019).

Zhao, T., Benjakul, S., Sanmartin, C., Ying, X., Ma, L., Xiao, G., Yu, J., Liu, G., Deng, S., “Changes of Volatile Flavor Compounds in Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*) during Storage, as Evaluated by Headspace Gas

Chromatography–Ion Mobility Spectrometry and Principal Component Analysis”, *Foods*, 10, 2917, (2021).

Zhou, N., Wang, L., You, P., Wang, L., Mu, R., Pang, J., “Preparation of pH-sensitive food packaging film based on konjac glucomannan and hydroxypropyl methyl cellulose incorporated with mulberry extract”, *International Journal of Biological Macromolecules*, 172, 515-523, (2021).

Zhang, J., Zou, X., Zhai, X., Huang, X. W., Jiang, C., Holmes, M., “Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness”, *Food Chemistry*, 272, 306-312, (2019).

Zhang, L., Chen, F., Zhang, P., Lai, S., Yang, H., “Influence of Rice Bran Wax Coating on the Physicochemical Properties and Pectin Nanostructure of Cherry Tomatoes”, *Food and Bioprocess Technology*, 10, 349-357, (2016).

Zhang, L., Lin, Y. H., Leng, X. J., Huang, M., Zhou, G. H., “Effect of sage (*Salvia officinalis*) on the oxidative stability of Chinese-style sausage during refrigerated storage”, *Meat Science*, 95, 145-150, (2013).

Zhang, L., Jiang, Y., Ding, Y., Daskalakis, N., Jeuken, L., Povey, M., O’Neill, A. J., York, D. W., “Mechanistic investigation into antibacterial behavior of suspensions of ZnO nanoparticles against *E. coli*”, *Journal of Nanoparticle Research*, 12(5), 1625-1636, (2010).

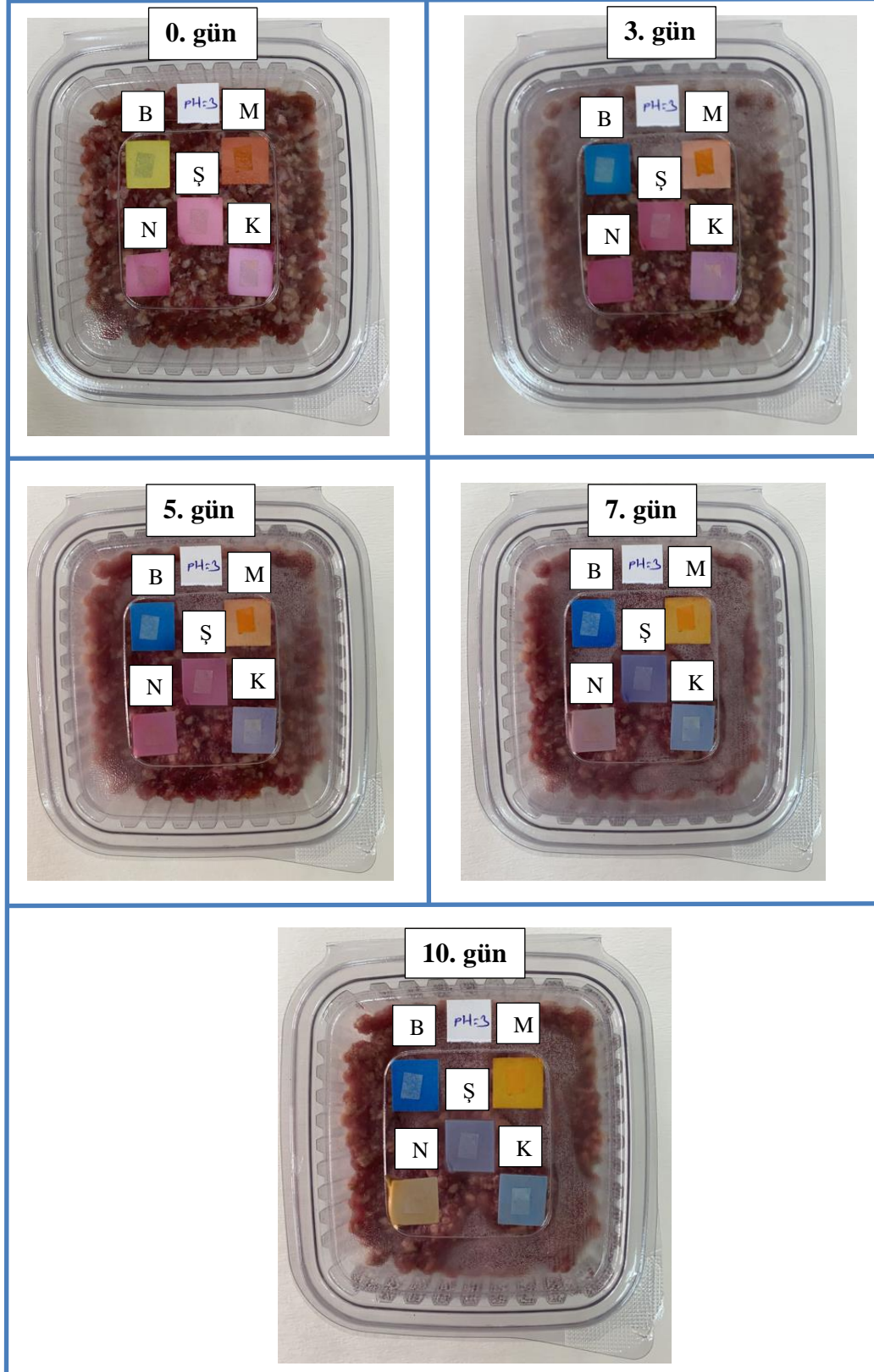
Zhou, G. H., Xu, X. L., Liu, Y., “Preservation technologies for fresh meat-A review”, *Meat Science*, 86, 119-128, (2010).

Zotte, A. D., Ricci, R., Cullere, M., Serva, L., Tenti, S., Marchesini, G., “Research Note: Effect of chicken genotype and White striping–wooden breast condition on breast meat proximate composition and amino acid profile”, *Poultry Science*, 99, 1797-1803, (2020).

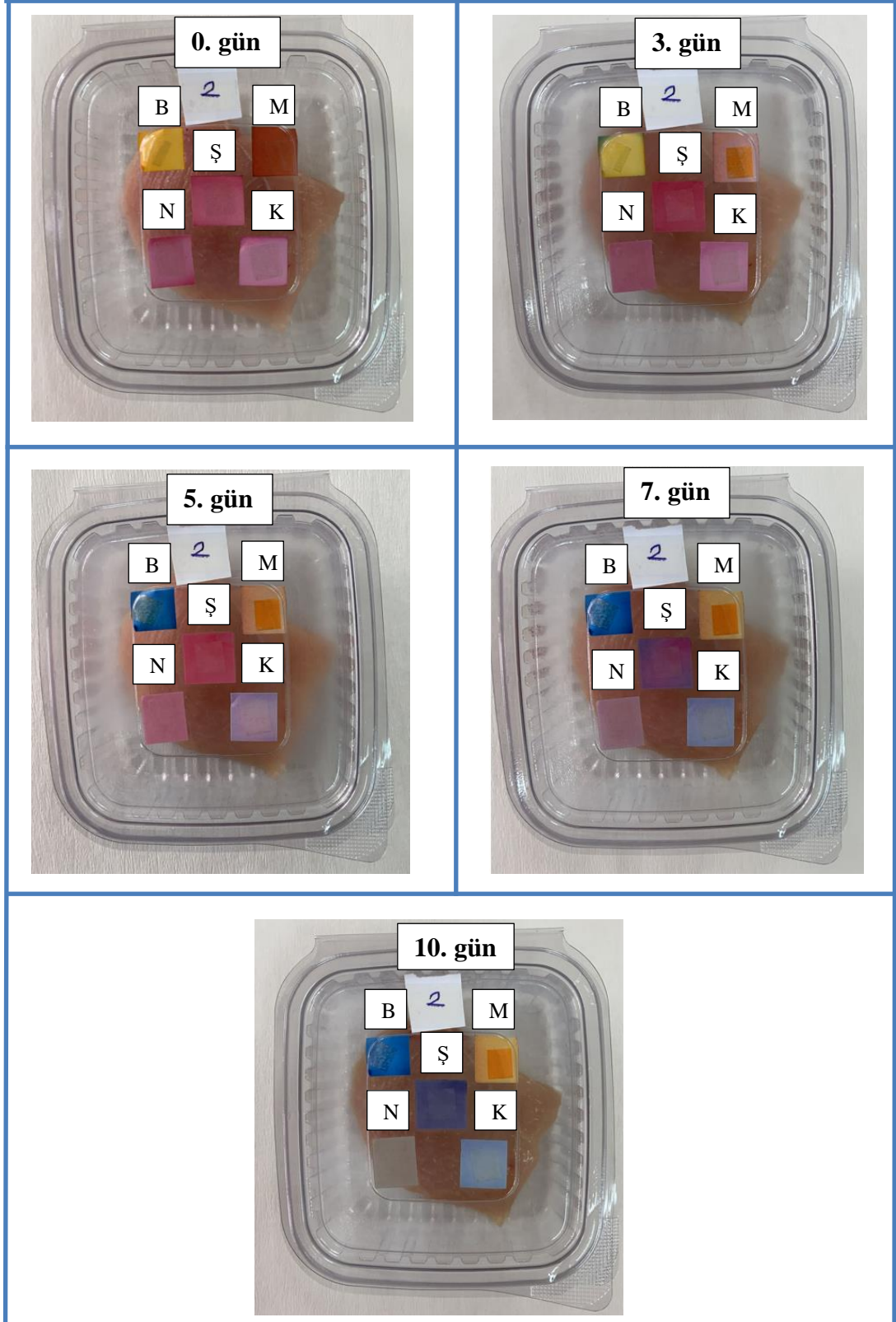
EKLER

8. EKLER

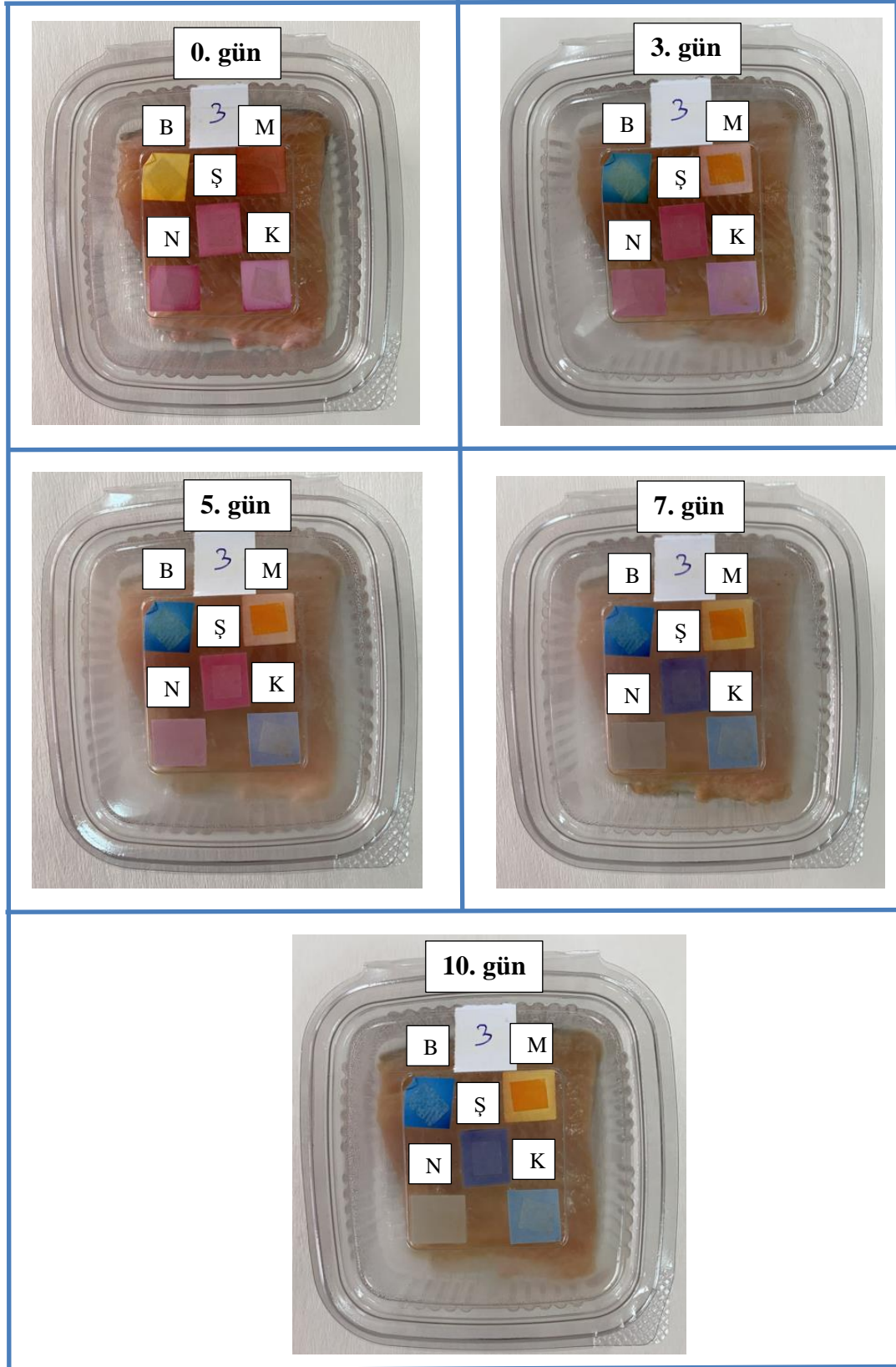
EK A: Depolama Boyunca Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Dana Kıymalarının Akıllı Etiketlerinde Meydana Gelen Değişiklikler



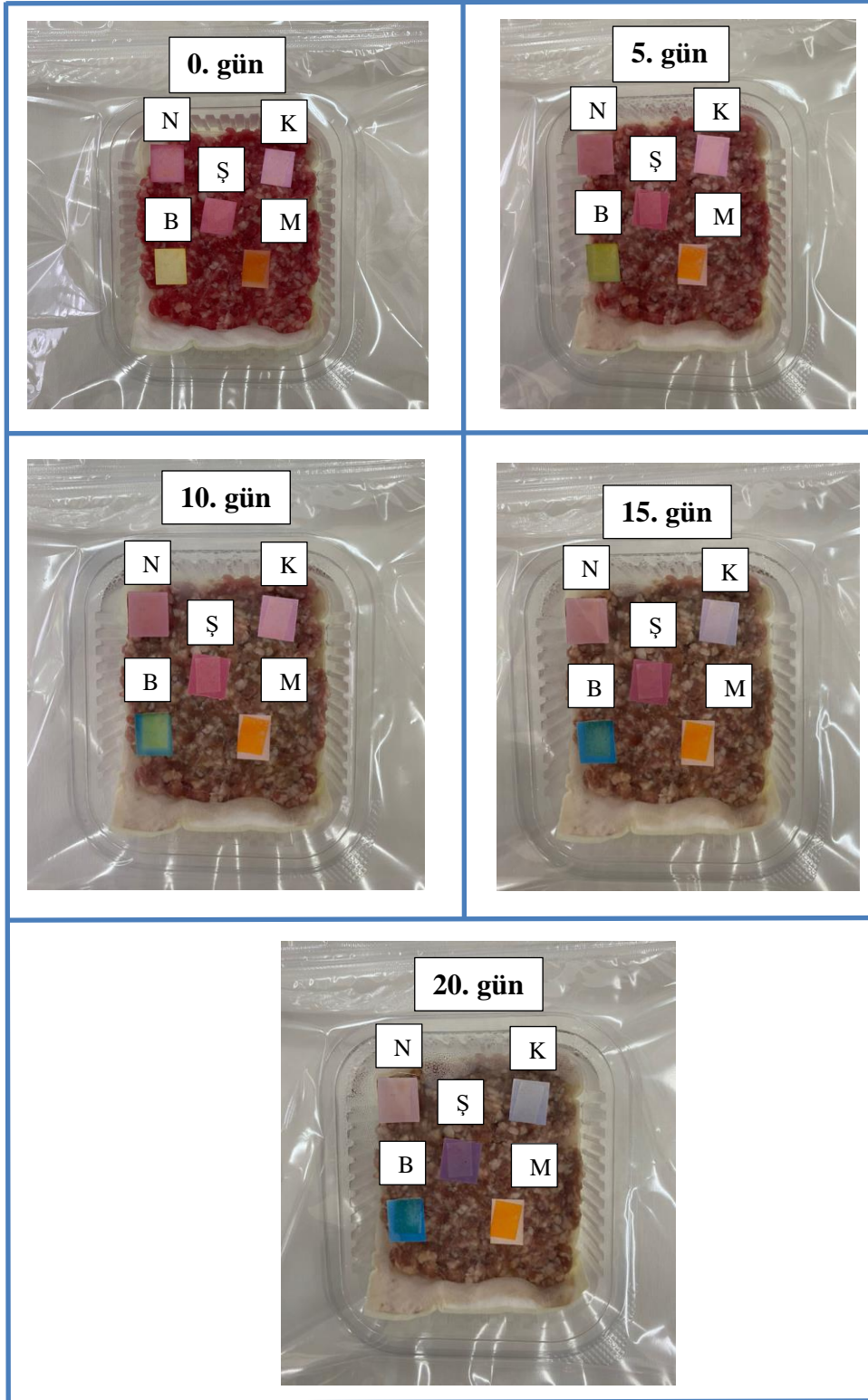
EK B: Depolama Boyunca Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Tavuk Göğsü Filetolarının Akıllı Etiketlerinde Meydana Gelen Değişiklikler



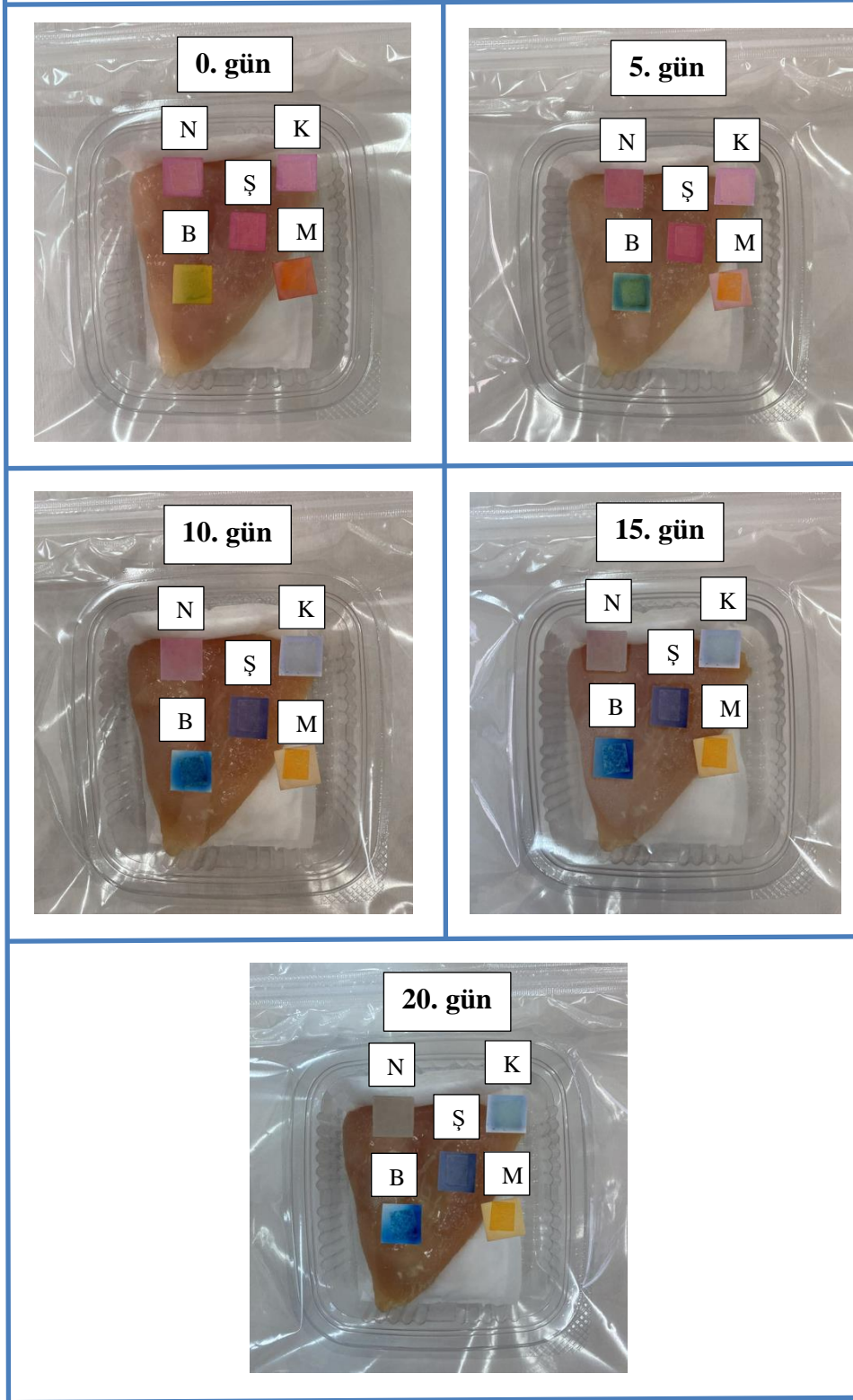
EK C: Depolama Boyunca Atmosferik Oksijen Altında Paketlenen Alabalık Filetolarının Akıllı Etiketlerinde Meydana Gelen Değişiklikler



EK D: Depolama Boyunca Modifiye Atmosferde Paketlenen Dana Kıymalarının Akıllı Etiketlerinde Meydana Gelen Değişiklikler



EK E: Depolama Boyunca Modifiye Atmosferde Paketlenen Tavuk Göğsü Filetolarının Akıllı Etiketlerinde Meydana Gelen Değişiklikler



EK F: Depolama Boyunca Modifiye Atmosferde Paketlenen Alabalık Filetolarının Akıllı Etiketlerinde Meydana Gelen Değişiklikler

