

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SU ÜRÜNLERİ AVLAMA VE İŞLEME TEKNOLOJİSİ ANABİLİM
DALI



MOR SOĞAN (*Allium cepa* L.) KABUĞU KULLANILARAK
GELİŞTİRİLEN PH DUYARLI AKILLI ETİKETİN SOĞUK
MUHAFAZA KOŞULLARINDA DEPOLANAN GÖKKUŞAĞI
ALABALIĞI (*Oncorhynchus mykiss*) KALİTESİNİN TESPİTİNDE
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

BAYRAM KÖSTEKLİ

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN

PROF. DR. MEHMET EMİN ERDEM

SİNOP - 2024

TEZ KABUL

Arş. Gör. Bayram KÖSTEKLİ tarafından hazırlanan “**Mor Soğan (*Allium cepa* L.) Kabuğu Kullanılarak Geliştirilen pH Duyarlı Akıllı Etiketin Soğuk Muhafaza Koşullarında Depolanan Gökkuşaağı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Kalitesinin Tespitinde Kullanımının Araştırılması**” başlıklı bu çalışma, 25.06.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **DOKTORA tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Başkan
(Danışman)**

Prof. Dr. Mehmet Emin ERDEM
Sinop Üniversitesi / Su Ürünleri Fakültesi

İmza

Üye

Prof. Dr. Demet KOCATEPE
Sinop Üniversitesi/Su Ürünleri Fakültesi

İmza

Üye

Prof. Dr. Birol BAKİ
Sinop Üniversitesi/Su Ürünleri Fakültesi

İmza

Üye

Doç. Dr. Barış KARSLI
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi/Su Ürünleri Fakültesi

İmza

Üye

Doç. Dr. Koray KORKMAZ
Ordu Üniversitesi/Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi

İmza

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Fadime DİRİK

.....

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Arş. Gör. Bayram KÖSTEKLİ



ÖZET

DOKTORA TEZİ

MOR SOĞAN (*Allium cepa* L.) KABUĞU KULLANILARAK GELİŞTİRİLEN PH DUYARLI AKILLI ETİKETİN SOĞUK MUHAFAZA KOŞULLARINDA DEPOLANAN GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI (*Oncorhynchus mykiss*) KALİTESİNİN TESPİTİNDE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

BAYRAM KÖSTEKLİ

SİNOP ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ÜRÜNLERİ AVLAMA VE İŞLEME TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: PROF. DR. MEHMET EMİN ERDEM

Bu çalışmada; mor soğan kabuğundan elde edilen antosiyaninlerin absorpsiyon yöntemiyle doğal bir polimer olan selüloz kâğıda (Whatman no: 1 filtre kâğıdı) immobilize edilmesiyle pH değişimine duyarlı akıllı etiket tasarlanmıştır. Etiketler, gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) filetosunun farklı kısımlarını içeren (K grubu: kuyruk, O grubu: orta, B grubu: baş) paketlere entegre edilerek 20 gün süresince atmosfer paketlenme yapılarak buzdolabı koşullarında (4 °C) muhafaza edilmiştir. Akıllı etiketler ile depolama süresince balık gruplarında meydana gelen bozulma göstergeleri ve kalite değişimlerinin gerçek zamanlı olarak hızlı ve etkin bir şekilde takibinin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Depolama süresince tüm balık gruplarında meydana gelen kalite değişiklikleri, fiziksel (paket içi gaz ölçümü, renk, a_w , balık eti su kaybı), kimyasal (pH, TVB-N) ve mikrobiyolojik (TMAB, TPAB, TMK, TK, laktik asit bakteri ve *Pseudomonas* spp.) analizler ile değerlendirilirken balık paketlerinde kullanılan akıllı etiketlerde meydana gelen değişiklikler de (ΔE , WI, RI ve YI) tespit edilmiştir. Bu analizlerden elde edilen veriler duyu test (taze ve pişmiş) puanları ile birlikte değerlendirilmiştir. Depolama süresince atmosferik hava ile paketlenen örneklerin TVB-N, pH değerinde ve TPAB, TMAB ve *Pseudomonas* spp. sayılarında önemli artış gözlemlenmiş ($p<0,05$) ve buna bağlı olarak da indikatör renklerinde önemli değişiklikler tespit edilmiştir. Depolama süresince balık örneklerinin koku ve lezzet puanları ile paketlerdeki akıllı etiketlerin kırmızılık (a^*) ve WI değerlerinde önemli düşüşler görülmüştür ($p<0,05$). K, O ve B gruplarına ait paket içi CO₂ miktarında meydana gelen artışların istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Ayrıca akıllı etiketlerde depolama süresince tespit edilen renk değişimleri ile TVB-N, pH, TPAB sonuçları ve koku puanları arasında güçlü bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir ($p<0,01$). Gerçekleştiren analizler sonucunda K grubu örneklerinin 10. günden, O grubu örneklerinin 11. günden ve B grubu örneklerinin ise 9. günden itibaren bozulmaya başladığı üretilen akıllı etiketlerin bozulma anlarına göre renk değişimleri gösterdiği tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: pH indikatörü; Akıllı etiket; Gökkuşağı alabalığı; Bozulma; Duyusal analiz; Mor soğan,

Haziran 2024, 209 Sayfa

ABSTRACT

PH.D THESIS

INVESTIGATION OF THE USE OF PH SENSITIVE SMART LABEL DEVELOPED USING PURPLE ONION (*Allium cepa* L.) PEEL IN DETERMINING THE QUALITY OF RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) STORED UNDER COLD STORAGE CONDITIONS

BAYRAM KÖSTEKLİ

SINOP UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF FISHERIES HUNTING AND PROCESSING
TECHNOLOGY

SUPERVISOR: PROF. DR. MEHMET EMİN ERDEM

In this study, a pH-sensitive smart label was designed by immobilising anthocyanins obtained from purple onion peel on cellulose paper (Whatman no: 1 filter paper), a natural polymer, by absorption method. The labels were integrated into packages containing different parts of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) fillet (K group: tail, O group: middle, B group: head) and stored under refrigerator conditions (4 °C) by atmosphere packaging for 20 days. With the smart labels, it was aimed to be able to monitor the deterioration indicators and quality changes occurring in the fish groups during storage in real time in a fast and effective way. The quality changes that occurred in all fish groups during storage were evaluated by physical (in-pack gas measurement, color, a_w , water loss of fish meat), chemical (pH, TVB-N) and microbiological (TMAB, TPAB, TYM, TC, lactic acid bacteria and *Pseudomonas* spp.) analyses, while the changes in the smart labels used in fish packages (ΔE , WI, RI and YI) were also determined. The data obtained from these analyses were evaluated together with sensory test scores (fresh and cooked). Significant increases were observed in TVB-N, pH value and TPAB, TMAB and *Pseudomonas* spp. counts of samples packed with atmospheric air during storage ($p < 0.05$) and significant changes in indicator colors were detected accordingly. Significant decreases were observed in the odor and flavor scores of the fish samples and in the redness (a^*) and WI values of the smart labels on the packages during storage ($p < 0.05$). It was determined that the increases in the amount of CO₂ in the packages of K, O and B groups were statistically significant ($p < 0.05$). It was also found that there was a strong correlation between the color changes detected in the smart labels during storage and TVB-N, pH, TPAB results and odor scores ($p < 0.01$). As a result of the analysis, it was determined that K group samples started to deteriorate on the 10th day, O group samples on the 11th day and B group samples on the 9th day, and the smart labels produced showed color changes according to the deterioration moments.

KEYWORDS: pH indicator; Smart label; Rainbow trout; Deterioration; Sensory analysis, Purple onion.

June 2024, 209 Page

TEŞEKKÜR

Hem tez çalışmam sırasında hem de tüm akademik yaşantım boyunca kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve her zaman destek olan, bilimsel ve etik değerlere bakış açısıyla akademik yaşamıma birçok değer katan değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Emin ERDEM'e;

Tezimi derinlemesine inceleyerek görüş ve önerileriyle sağladıkları çok değerli katkılardan ötürü değerli jüri üyesi hocalarım Prof. Dr. Demet KOCATEPE, Prof. Dr. Birol BAKİ, Doç. Dr. Barış KARSLI, Doç. Dr. Koray KORKMAZ ve proje kapsamında birlikte çalıştığımız arkadaşlarım Doç. Dr. Bengünur ÇORAPCI, Dr. Öğr. Üyesi Can Okan ALTAN ve Doktora Öğrencisi Rukiye KÖKLÜ'ye; tez çalışmam sürecinde manevi ve akademik desteğini her zaman hissettiğim her zaman güçlü kalmamı sağlayan fikirleriyle beni her daim motive eden değerli dostum Dr. Gökhan YILDIZ'a, analiz sürecimde yardımlarıyla destek sağlayan Doktora öğrencisi Sonay BAŞKAN'a; çalışmalarım süresince her türlü konuda desteğiyle benden ümidini kesmeyen, hiçbir zaman yalnız bırakmayan, en zor günlerde ayağa kalkmamı ve dik durmamı sağlayan, üzerimde sayısız emeği bulunan sevgisiyle ve gülümsemesiyle beni hep umut dolu yapan sevgili eşim Esin KÖSTEKLİ'ye; varlığıyla tarifi mümkün olmayan mutluluklar hissettiren güzel kızım Güneş'e;

Zor günlerde yanımda olup desteklerini hiç esirgemeyen varlıklarıyla beni mutlu eden annem Hürriyet KÖSTEKLİ, kardeşlerim Kadir KÖSTEKLİ ve Burcu GÜDER'e;

Varlığında sırtımı yasladığım, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan; her zaman beni destekleyip cesaretlendiren ancak yokluğuyla gönlümde derin ve kapanmaz yaralara yol açan, her zaman hasretiyle, merhametiyle ve güzel gülüşüyle hatırladığım rahmetli babam Hasan Hüseyin KÖSTEKLİ 'ye sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına, SÜF-1901-23-001 numaralı proje kapsamında vermiş oldukları destekten dolayı Sinop Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim

Doktora eğitimim süresince 2211/A Yurt İçi Doktora Burs Programı kapsamında sağladığı burs desteğinden dolayı TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programı (BİDEB)'na teşekkürü borç bilirim

Bayram KÖSTEKLİ 100/2000 YÖK Doktora Programı Bursiyeridir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ KABUL	ii
ETİK BEYANI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Genel Amacı ve Önemi.....	4
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Gökkuşaağı Alabalığının (<i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum, 1792) Genel Özellikleri	6
2.2. Soğan Hakkında Genel Bilgiler	7
2.3. Aktif ve Akıllı Paketlemeler	8
2.4. pH'a Duyarlı Akıllı Etiketler Hakkında Genel Bilgiler	9
2.5. pH'a Duyarlı Akıllı Etiketlerde Kullanılan Doğal Boyalar	10
2.5.1. Antosiyaninler	10
2.5.2. Kurkumin.....	13
2.5.3. Alizarin	13
2.5.4. Fikosiyanin	14
2.5.5. Alkanin ve şikonin.....	14
2.5.6. Betalainler	14
2.5.7. Turnusol.....	15
2.5.8. Diğer bitki ekstraktları.....	15
2.6. pH'a Duyarlı Akıllı Etiket ile İlgili Mevcut Teknolojiler ve Yöntemler	15
2.6.1. Direkt birleştirme yöntemi	16
2.6.2. Absorbsiyon yöntemi	17
2.6.3. Sol-jel metodu	18
2.6.4. Elektrosipin metodu.....	18
2.6.5. Elektrokimyasal yazma ve mürekkep püskürtmeli yazma metodu	19
2.7. pH'a Duyarlı Akıllı Etiketlerin Kullanım Alanları ve Potansiyel Faydaları.....	19

2.8. İlgili Araştırma Bulguları/Literatür Özeti	20
2.8.1. Doğal boyalar ile ilgili araştırmalar ve bulguları	20
2.8.2. Etiket üretim yöntemleri ile ilgili araştırmalar	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM	32
3.1. Materyal.....	32
3.1.1. Soğan	32
3.1.2. Selüloz filtre kâğıdı	32
3.1.3. Paketlemede kullanılan materyaller	33
3.1.4. Balık	34
3.1.5. Araştırmada kullanılan cihaz ve ekipmanlar	35
3.1.6. Araştırmada kullanılan kimyasal malzemeler	37
3.2. Yöntem	38
3.2.1. Çalışma planı	38
3.2.2. pH'a duyarlı akıllı etiketlerin hazırlanması	39
3.2.2.1. Soğan kabuklarının hazırlanması.....	39
3.2.2.2. Soğan kabuğundan renklendirici solüsyonun hazırlanması.....	40
3.2.2.3. Soğan kabuğu antosiyaninlerinin filtre kâğıdına immobilizasyonu	42
3.2.3. Gruplarının oluşturulması ve akıllı etiketlerin paketlere entegrasyonu	43
3.2.4. Balıkların depolanması.....	46
3.2.5. Analizler	47
3.2.5.1. Fiziksel analizler.....	47
3.2.5.2. Kimyasal analizler	50
3.2.5.3. Mikrobiyolojik analizler	52
3.2.5.4. Biyokimyasal analizler	54
3.2.5.5. Besin kompozisyonu analizleri.....	55
3.2.5.6. Duyusal analizler	57
3.2.5.7. İstatistiksel analizler	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	60
4.1. Fiziksel Analizlere Ait Bulgular	60
4.1.1. Farklı pH noktalarında mor soğan kabuğu boya solüsyonunun renk tepkisi	60
4.1.2. Etiketlerin renk tepkisi ve kolorimetrik analizine ait bulgular	62
4.1.3. Amonyak hassasiyetine ait bulgular.....	66
4.1.4. Etiketlerin şişme endeksi ve suda çözünürlüğüne ait bulgular.....	68
4.1.5. Paket içi gaz ölçümlerine ait bulgular	69
4.1.6. Su kaybı bulguları (%)	72

4.1.7. Akıllı etiketlerin paket içi renk değişimlerine ait bulgular.....	74
4.1.8. Balık eti renk değişimlerine ait bulgular	84
4.1.9. Su aktivitesi (a_w) analizi bulguları.....	94
4.2. Besin Kompozisyonuna Ait Bulgular	97
4.3. Kimyasal Analizlere Ait Bulgular.....	99
4.3.1. Toplam uçucu bazik nitrojen (TVB-N) analizi bulguları	99
4.3.2. pH analizi bulguları	105
4.4. Mikrobiyolojik Analizlere Ait Bulgular.....	109
4.4.1. Toplam mezofilik aerob bakteri analizi bulguları	109
4.4.2. Toplam psikrofilik aerob bakteri analizi bulguları	113
4.4.3. Toplam maya-küf analizi bulguları	116
4.4.4. Toplam koliform bakteri analizi bulguları.....	118
4.4.5. Laktik asit bakteri analizi bulguları.....	122
4.4.6. <i>Pseudomonas</i> spp. analizi bulguları	125
4.5. Duyusal Analizlere Ait Bulgular.....	128
4.5.1. Çiğ ürünlerin duyusal analiz bulguları	128
4.5.2. Pişmiş ürünleri duyusal analiz bulguları	139
4.6. Etiket renk değişiminin pH, TVB-N, CO ₂ , mikrobiyolojik ve duyusal değişiklikler ile arasındaki korelasyon ilişkisi.....	154
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	162
KAYNAKLAR.....	170
ÖZGEÇMİŞ	191

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1 Akıllı etiket matrisi olarak kullanılan filtre kağıdının özellikleri.	33
Tablo 3.2 Araştırmada kullanılan cihaz ve ekipmanlar.....	36
Tablo 3.3 Araştırmada kullanılan kimyasal malzemeler.	38
Tablo 3.4 Araştırma aşamaları.	38
Tablo 3.5 Çiğ örneklerin duyusal analizinde kullanılan form.....	57
Tablo 3.6 Pişirme deneyinde kullanılan form.	59
Tablo 4.1 Etiketlerin farklı pH solüsyonlarında gösterdiği renklerin ölçüm değerleri ...	63
Tablo 4.2 Akıllı etiketlerin amonyak hassasiyeti oranları (%).....	66
Tablo 4.3 Depolama süresince balık gruplarında ölçülen paket içi CO ₂ değerleri (%)..	70
Tablo 4.4 Depolama süresince balık gruplarının su kaybı değerleri (%).....	72
Tablo 4.5 Analizler öncesi boya solüsyonu ve akıllı etiketlere ait ölçüm değerleri	74
Tablo 4.6 Analiz günlerinde etiketlerde tespit edilen L*, WI ve ΔE değerleri	75
Tablo 4.7 Analiz günlerinde etiketlerde tespit edilen a*, RI ve ΔE değerleri.....	78
Tablo 4.8 Analiz günlerinde etiketlerde tespit edilen b*, YI ve ΔE değerleri.....	81
Tablo 4.9 Balık örneklerinin depolama süresine göre L*, WI ve ΔE değerleri.	86
Tablo 4.10 Balık örneklerinin depolama süresine göre a*, RI ve ΔE değerleri.....	89
Tablo 4.11 Balık örneklerinin depolama süresine göre b*, YI ve ΔE değerleri.....	92
Tablo 4.12 Depolama süresince ölçülen gruplara ait su aktivitesi (a _w) değerleri	95
Tablo 4.13 Gruplara ait örneklerin besin kompozisyonu sonuçları (%)	97
Tablo 4.14 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TVB-N değerleri (mg/100 g). 100	
Tablo 4.15 Depolama süresince gruplarda tespit edilen pH değerleri	106
Tablo 4.16 Analiz günlerinde ölçülen toplam mezofilik aerob bakteri sayıları.....	110
Tablo 4.17 Analiz günlerinde ölçülen toplam psikrofilik aerob bakteri sayıları.....	114
Tablo 4.18 Analiz günlerinde ölçülen toplam maya-küf sayıları.....	117
Tablo 4.19 Analiz günlerinde ölçülen toplam koliform bakteri sayıları	120
Tablo 4.20 Analiz günlerinde ölçülen laktik asit bakteri (LAB) sayıları.....	123
Tablo 4.21 Analiz günlerinde ölçülen <i>Pseudomonas</i> spp. sayıları.....	126
Tablo 4.22 Çiğ balık örneklerinin depolama süresine göre görünüş puanları	129
Tablo 4.23 Çiğ balık örneklerinin depolama süresine göre koku puanları	132
Tablo 4.24 Çiğ balık örneklerinin depolama süresine göre renk puanları	134

Tablo 4.25 Çiğ balık örneklerinin depolama süresine göre tekstür puanları	136
Tablo 4.26 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre yağ rengi puanları	139
Tablo 4.27 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre koku puanları	141
Tablo 4.28 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre kas yapısı puanları	143
Tablo 4.29 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre çiğneme testi puanları .	145
Tablo 4.30 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre lezzet testi puanları	147
Tablo 4.31 Gruplara ait ΔE değeri ile mikrobiyoloji analiz sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları.	155
Tablo 4.32 Etiketlerin ΔE değeri ile K grubu örneklerinde hesaplanan kalite analizleri arasındaki Pearson korelasyon katsayı analizi sonuçları	156
Tablo 4.33 Etiketlerin ΔE değeri ile O grubu örneklerinde hesaplanan kalite analizleri arasındaki Pearson korelasyon katsayı analizi sonuçları.	157
Tablo 4.34 Etiketlerin ΔE değeri ile B grubu örneklerinde hesaplanan kalite analizleri arasındaki Pearson korelasyon katsayı analizi sonuçları	158

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Gökkuşaağı alabalığının genel görünüşü	6
Şekil 2.2 Antosiyaninin temel yapısı (2-fenil benzopirilyum) (flavilyum katyonu).....	11
Şekil 2.3 Bitkilerde bulunan 6 ana antosiyaninin temel kimyasal yapısı.	12
Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan mor soğanlar (<i>Allium cepa</i> L.)	32
Şekil 3.2 Çalışmada kullanılan selüloz filtre kâğıdı	32
Şekil 3.3 Balık paketlemede kullanılan plastik kap ve emici ped (A), plastik paketin yandan görünüşü (B), su emici pedin paket içerisine koyulmuş hali.....	33
Şekil 3.4 Balık paketlerinin kapatılmasında kullanılan film rulosu.....	34
Şekil 3.5 Araştırmada kullanılan balıkların temin edilmesi.....	34
Şekil 3.6 Araştırmada kullanılan gökkuşaağı alabalığı	35
Şekil 3.7 Kabukları soyulmuş soğan yumru gövdesi (A) ve soğan kabuğu (B).....	39
Şekil 3.8 Ekstraksiyon işlemi öncesi öğütülmüş soğan kabukları	40
Şekil 3.9 Soğan kabuğu eklenmiş %40'lık etanol çözeltisi	40
Şekil 3.10 Etanol-kabuk karışımının santrifüj işlemi	41
Şekil 3.11 Santrifüj işleminden sonra süpernatantların toplanması.....	41
Şekil 3.12 Süpernatantların filtre edilmesi ve renklendirici solüsyon eldesi.....	42
Şekil 3.13 Nihai renklendirici solüsyon rengi	42
Şekil 3.14 pH'a duyarlı akıllı etiketin hazırlanış işlem basamakları	43
Şekil 3.15 Derisiz filetolar	44
Şekil 3.16 Bütün ve 3 eşit parçaya ayrılmış filetolar	44
Şekil 3.17 Küp haline getirilmiş K, O ve B parçaları	45
Şekil 3.18 Paketleme öncesinde hazırlanmış K, O ve B grubu balık örnekleri.....	45
Şekil 3.19 Etiket entegre edilmiş balık paketlerinin kapatılması.....	46
Şekil 3.20 Film ile kapatılmış paket örneği	46
Şekil 3.21 Buzdolabına yerleştirilmiş balık paketleri	47
Şekil 4.1 Mor soğan kabuğu boyası çözeltisinin farklı pH tamponlarında renk tepkisi. 60	
Şekil 4.2 ΔE değerinin farklı pH tampon çözeltiğinde değişimi	63
Şekil 4.3 Farklı pH noktalarında etiketlerin renk tepkileri ve değişimleri	64
Şekil 4.4 Akıllı etiketin ΔE ve S_{RGB} değerlerinin değişimi	67
Şekil 4.5 Etiketlerin şişme indeksi değişimi ve suda çözünürlük değeri.....	68

Şekil 4.6 Etiketlerin zamana göre su absorpsiyon davranışı	68
Şekil 4.7 Grupların depolama sürecince paket içi CO ₂ değişimleri	71
Şekil 4.8 Balık örneklerinin su kaybı değişimi (%).....	73
Şekil 4.9 Analiz günlerinde etiketlerin L* değerine ait değişimler.....	76
Şekil 4.10 Analiz günlerinde etiketlerin a* değerine ait değişimler	79
Şekil 4.11 Analiz günlerinde etiketlerin b* değerine ait değişimler	82
Şekil 4.12 Depolama süresince balık eti WI değerleri değişimi	87
Şekil 4.13 Depolama süresince balık eti RI değerleri değişimi	90
Şekil 4.14 Depolama süresince balık eti YI değerleri değişimi.....	93
Şekil 4.15 Depolama süresince gruplarda tespit edilen ΔE değerleri değişimi	94
Şekil 4.16 Depolama süresince gruplarda görülen su aktivitesi değişimleri	96
Şekil 4.17 Gruplarında tespit edilen TVB-N değerlerinin günlerine göre değişimi	101
Şekil 4.18 Depolama süresince gruplarda tespit edilen pH değerleri değişimi	108
Şekil 4.19 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TMAB sayısı değişimi.....	111
Şekil 4.20 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TPAB sayısı değişimi	115
Şekil 4.21 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TMK sayısı değişimi	118
Şekil 4.22 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TK bakteri sayısı değişimi.....	121
Şekil 4.23 Depolama süresince gruplarda tespit edilen LAB sayısı değişimi	124
Şekil 4.24 Depolama süresince gruplarda <i>Pseudomonas</i> spp. sayısı değişimi.....	127
Şekil 4.25 Çiğ balık örneklerinin günlere göre duyuşal analiz puanlarının değişimi...	138
Şekil 4.26 Pişmiş balık örneklerinin günlere göre duyuşal puanlarının değişimi	148
Şekil 4.27 K grubu örneklerinin aldığı duyuşal puanları dağılımı	149
Şekil 4.28 O grubu örneklerinin aldığı duyuşal puanları dağılımı	150
Şekil 4.29 B grubu örneklerinin aldığı duyuşal puanları dağılımı.....	151
Şekil 4.30 K grubu tazelik şeması	152
Şekil 4.31 O grubu tazelik şeması	153
Şekil 4.32 B grubu tazelik şeması.....	154

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
Δ	: Delta
<	: Küçüktür
>	: Büyüktür
(C ₂ H ₅) ₂ O	: Dietil eter
C ₁₄ H ₈ O ₄	: Alizarin
C ₁₅ H ₁₁ O ⁺	: 2-fenil benzopirilyum
C ₂ H ₅ OH	: Etanol
CH ₃ COONa	: Sodyum asetat
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetre kare
cm ³	: Santimetre küp
CO ₂	: Karbondioksit
g	: Gram
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
H ₃ BO ₃	: Borik asit
HCl	: Hidroklorik asit
K	: Potasyum
KCl	: Potasyum klorür
kg	: Kilogram
kob	: Koloni oluşturan bakteri
log	: Logaritma
mg	: Miligram
MgO	: Magnezyum oksit
ml	: Mililitre
N	: Nitrojen
N ₂	: Azot
NaCl	: Sodyum klorür
NaOH	: Sodyum hidroksit
NH ₃	: Amonyak
nm	: Nanometre
OCH ₃	: Metoksi Grubu
OH ⁻	: Hidroksil
pt	: Platin
TiO ₂	: Titanyum dioksit
ZnO	: Çinko oksit

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AOAC	: Association of Official Analytical Chemists
BCG	: Bromkresol green
BNC	: Bakteriyel nanocellulose
CIE	: Commission Internationale de l'Eclairage
DHA	: Dokosaheksanoik asit
DMA	: Dimetilamin
EPA	: Eikosapentanoik asit
ESO	: Ephemeral Storage Organism
EU	: European Union
FAO	: Food and Agriculture Organization
H	: Hue value
ICMSF	: International Commission on Microbiological Specifications for Foods
LAB	: Laktik Asit Bakteri
LDPE	: Low density polyethylene
LLE	: Litmus Lichen Extract
M	: Molar
MAP	: Modifiye Atmosfer Paketleme
MRS	: de Man, Ragosa ve Sharpe agar
PAA	: Porous anodic aluminum
PCA	: Plate Count Agar
PDA	: Patato Dextrose Agar
PEO	: Poletilen oksit
pH	: Power of Hydrogen
PHB	: Polihidroksibütirat
PLA	: Polilaktik asit
PP	: Polipropilen
PVA	: Polivinialkol
RFID	: Radio Frequency Identification Technology
RGB	: Red-Green-Blue
RI	: Redness Index
SF	: Seyreltme Faktörü
TGK	: Türk Gıda Kodeksi
TK	: Toplam Koliform
TMA	: Trimetilamin
TMAB	: Toplam Mezofilik Aerob Bakteri
TMK	: Toplam Maya Küf
TPAB	: Toplam Psikrofilik Aerob Bakteri
TVB-N	: Total Uçucu Bazik Azot
UV	: Ultraviole
VRBA	: Violet Red Bile Agar
WHO	: World Health Organization
WI	: Whiteness Index
YI	: Yellowness Index

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli artışıyla birlikte beslenme konusu, birçok birey, kuruluş ve kurumun önemli ilgi alanı haline gelmiştir. Sağlıklı yaşam standartlarının gerekliliği ve sürdürülebilirliği üzerine beslenme alışkanlıkları ile ilgili olarak sürekli artan bir farkındalık tüm dünyada öne çıkmaktadır.

Sağlıklı bir yaşam tarzının oluşturulmasında en temel prensiplerden biri yeterli ve dengeli beslenmedir. Diğer bir deyişle alınan gıdalar ile optimal beslenmeyi desteklemektir. Yeterli ve dengeli beslenme; yaşamın sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi için anne karnında başlayarak, bebeklik, çocukluk, adolesan ve yetişkinlikten yaşlılığa kadar tüm yaşam boyunca elzemdir (Anonim, 2022).

Günümüzde 811 milyon insan açlık çekmekte olup 3 milyar insan ise sağlıklı beslenme esaslarını karşılayamamaktadır (FAO, 2022). Su ürünleri yeterli ve dengeli beslenme için insan diyetinde yer alması gereken bir besin olması ile gıda açığını karşılayacak en önemli gıda kaynaklarından. Su ürünleri yüksek kaliteli proteinler, esansiyel amino asitler, vitaminler (özellikle A, B ve D), çinko, demir, iyot, magnezyum, fosfor, kalsiyum, potasyum ve selenyum gibi mineraller ile kalp dostu omega-3 yağ asitleri birincil besin kaynağı olduğundan sağlıklı ve dengeli beslenme için önemlidir. Az miktarlarda tüketilen su ürünleri kaynakları bile, bitki bazlı diyetlerde az bulunan temel besin maddelerini karşılayarak beslenme üzerine oldukça olumlu etki gösterir. Su ürünleri türlerine bağlı olarak farklı seviyelerde besin desteği sağlarlar. Özellikle su ürünlerinin yağ içeriği türelere göre önemli farklılıklar göstermekte olup; sardalya, somon ve ton balığı gibi türler yağlı kabul edilirken, morina ve yayın balığı yağsız olarak kabul edilmektedir. Suda yaşayan türlerde bulunan iki önemli omega-3 yağ asidi, eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosaheksaenoik asittir (DHA). İnsan vücudu omega-3 yağ asitlerini sentezleyemediğinden bunların gıda yoluyla alınması gerekir. Omega-3 yağ asitleri her türlü su ürününde bulunur, fakat özellikle yağlı türlerde daha yüksektir. Su ürünlerinin düzenli tüketimi kan basıncını düşürerek sağlıklı bir kalbin korunmasına yardımcı olurken felç, depresyon, alzheimer hastalığı ve diğer kronik durum riskini azaltır. Kontrollü denemeler ve gözlemsel çalışmalarda, su ürünleri içindeki omega-3 yağ asitlerinin, bebeğin beyin ve sinir sisteminin optimal gelişimi için önemli olduğunu hamilelik ve emzirme döneminde az miktarda su ürünleri veya omega-3 tüketen

kadınların çocuklarının, beyin gelişiminin geciktiğine dair kanıtlar olduğu ifade edilmektedir (UN Nutrition, 2021; FAO, 2022).

Uzmanlarca balık ve su ürünlerinin sıklıkla tüketilmesi gerektiğinin sürekli vurgulanması su ürünleri üretimine ve tüketimine olan önemi artırmıştır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'nın 2022 yılında yayınladığı verilere göre, 2020 yılında dünya su ürünleri üretimi; 122,6 milyon tonu yetiştiricilikten, 90,3 milyon tonu avcılıktan olmak üzere tüm zamanların rekorunu kırarak toplam 212,9 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin ise %89'u (157,4 milyon ton) (algler hariç) doğrudan insan tüketimi için kullanılmıştır. 157 milyon tonun büyük bir kısmını canlı, taze veya soğutulmuş ürünler (%44) ile donmuş ürünler (%35) oluşturmaktadır. 1960'larda toplam üretimin %67'sinin doğrudan insan tüketimi için ayrıldığı, 2020 yılındaki toplam üretimin 1990'lardaki üretim miktarından ise %60 daha fazla olduğu bildirilmiştir. Ayrıca dünyada su ürünlerinin 2020 yılında kişi başı 20,2 kg olarak 50 yıl önceye oranla 2 kat daha fazla tüketildiği belirtilmiştir. Genel bir ifadeyle küresel boyutta balık üretimi 1961'den 2019'a kadar, yıllık ortalama %3 oranında artmıştır ki bu oran neredeyse yıllık dünya nüfus artışının (%1,6) 2 katı kadardır. Ayrıca bu oran diğer tüm protein kaynaklarının (et, kümes hayvanları, süt vb.) yıllık artış oranından (%2,1) daha yüksektir. 2019'da küresel balık tüketimi tüm dünya nüfusunun hayvansal protein alım miktarının %17'sini, tüm protein alımının ise %7'sini oluşturmaktadır (FAO, 2020).

İnsan tüketimine sunulacak gıdaların güvenliğinin ve kalitesinin de halk sağlığı üzerinde büyük bir önemi vardır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), zararlı bakteri, virüs, parazit veya kimyasal maddeler içeren güvenli olmayan yiyeceklerin ishalden kansere kadar 200'den fazla hastalığa neden olduğunu tahmin etmektedir (WHO, 2020). Enzimatik reaksiyon ve mikrobiyal kontaminasyon nedeniyle avlama, depolama ve nakliye sırasında gıda bozulmaları kolaylıkla görülebiliyor. Bunun sonucunda, biyojen aminler, aldehitler, organik asitler ve sülfidler de dahil olmak üzere bir kısmı zararlı olan çeşitli metabolitler etin bozulmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple, gıda güvenliği riskini azaltmak için et kalitesi ve güvenliğinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Zhai vd., 2019).

Tazelik gıda kalitesini belirlemek için kullanılan ana özelliklerden biridir. Bireyler için balık tüketimi ile birlikte, uygun koşullarda taze olarak muhafazası, işlenmesi, uygun koşullarda paketlenmesi ve depolanması oldukça önemlidir. Çünkü balıklar yapıları gereği avlandıktan sonra kolay bozulabilen canlılardır ve avlama koşulları avlama sonrası uygulanan yöntemler balığın tazeliğini ve kalitesini oldukça etkilemektedir (Han vd.,

2005; Sampels, 2015; Tolstorebrov vd., 2016). Artan nüfus oranı ve üretim miktarları ile yoğun yaşam tarzları taze ve güvenli gıda ürünlerine olan talebi artırmış, gıda tedarikçilerini bu gereksinimini karşılamaya zorlamıştır (Almasi vd., 2022).

Gıda güvenliğini karşılamada en önemli aşamalardan biri de gıda paket sistemleridir. Gıdayı dış etkilere koruyan, içine konulan ürünü bir arada tutarak pazarlanmasını ve tüketimini kolaylaştıran kap, kılıf ya da sargılara gıda paketi denir. Paket, ürünün depolama ve taşıma özelliklerini de dikkate alarak en uygun ambalaj malzemesinin seçilmesi ile gıda kalitesinin korunması için gerekli olan önemli bir araçtır (Özçandır ve Yetim, 2010).

Ambalajın üç temel işlevi vardır; koruma, ürün hakkında bilgi içirme ve tüketim kolaylığı sağlayan yapıyı oluşturmaktır (Han vd., 2005).

Akıllı gıda ambalajları gıda kalitesini "paket üzerinde" gerçek zamanlı izleme potansiyeli nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Genel olarak akıllı gıda paketleme sistemleri, sensörler, göstergeler ve veri taşıyıcılar olmak üzere üç ana teknoloji ile bilinmektedir (Ghaani vd., 2016).

Bu sistemler arasında yer alan gıda tazelik göstergeleri, gıdanın tazelik/bozulma durumunu tüketicilere gerçek zamanlı olarak bildirme yeteneğine sahip bir grup gıda akıllı paketleme sistemleridir (Sharma ve Ghoshal, 2018).

Su ürünlerinin tazeliğinin tespitinde yapılan analizlerin başında Toplam Uçucu Bazik Nitrojenin (TVB-N) belirlenmesi yer almaktadır. TVB-N gibi geleneksel kimyasal yöntemler, nispeten hassas sonuçları nedeniyle et bozulmasının değerlendirmesinde önemli bir rol oynar, ancak tek başına yeterli olmayıp, başka kimyasal analizler ile desteklenmesi, zaman alıcı süreçler ve özel laboratuvarlarda gerçekleştirilmeleri gibi gerekliliklere sahiptir. Balık etinin bozulması büyük ölçüde zamana bağlı olduğundan, gerçek zamanlı et bozulmasının belirlenmesi önemlidir. Bugüne kadar et bozulmasının hızlı tespiti için elektrokimya, raman spektroskopisi, elektronik burun, elektronik dil ve hiperspektral sistemler gibi birçok yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yöntemler tatmin edici sonuçlar sağlasa da tedarik zincirinde et bozulmasının yerinde tespiti için pratik uygulamaları ciddi şekilde engelleyen gelişmiş aletlere ve yüksek vasıflı operatörlere ihtiyaçları nedeniyle, su ürünleri işleme sektörü bazlı düşünüldüğünde pratik değildir. Bu nedenle gerçek zamanlı et bozulmasının hızlı bir şekilde değerlendirilmesi için basit,

kolay erişilebilir ve uygun maliyetli stratejiler geliştirmek hala zor bir görevdir (Zhai vd., 2019).

Aslında, tüketicilerin taze ve orta taze gıda ile orta taze ve bozulmuş gıda arasındaki farkı ayırt etmesi zordur; bu nedenle gıda tazelik göstergesinin taze, orta taze ve bozulmuş gıdayı genellikle çıplak gözle ayırt ettirebilme yeteneği, ideal bir gıda tazelik göstergesinin temel hedefidir (Kuswandi, 2017). Örneğin renk değişimleri aracılığıyla kalitatif veya yarı-kantitatif bilgi sağlayabilen kolorimetrik göstergeler (örn. tazelik göstergeleri, zaman-sıcaklık göstergeleri ve gaz göstergeleri) çıplak gözle okunması kolay olduğundan geniş çapta incelenmektedir.

Son yıllarda, etin bozulmasını değerlendirmek için pH'a duyarlı göstergeler (Silva-Pereira vd., 2015; Zhai vd., 2017; Zhang vd., 2019), biyojen amin göstergesi (Huang vd., 2014; Lin vd., 2016) ve karbondioksit göstergeleri (Rukchon vd., 2014; Saliu ve Della Pergola, 2018) geliştirilmiştir. Bu göstergeler, depolama süresince etin bozulması ile renk değişiklikleri gösterebilmektedir ve meydana gelen renk değişiklikleri, tüketicilere gıdanın raf ömrünü öngörme sürecinde yardımcı olabilmektedir. Daha farklı ve etkili göstergelerin tespiti içinse büyük bir araştırma talebi vardır.

pH'a duyarlı gıda tazelik göstergeleri, genellikle polimerik veya biyopolimerik bir taban olan dayanıklı bir destekten ve gıdanın bozulması sırasında ortaya çıkan kimyasal maddelere (örneğin, bazik nitrojen, organik asitler, vb.) tepki veren bir pH'a duyarlı boyadan oluşur (Balbinot-Alfaro vd., 2019; Moradi vd., 2019; Roy ve Rhim, 2020). Metil kırmızısı, kresol kırmızısı, bromkresol yeşili, bromkresol moru, klorofenol, bromotimol mavisi ve ksilenol, gibi boyalar ise akıllı etiket üretiminde kullanılan başlıca sentetik boyalardır (Roy ve Rhim, 2020). Fakat, bu sentetik boyaların gıda ambalaj malzemelerinde kullanımı toksisite ve kanserojenik endişeler oluşturmuş, bu tür etkisi olan sentetik boyalar yerine doğal boyaların kullanımı yönelim artmıştır. Bu nedenle son zamanlarda, akıllı ambalajlarda kullanılmak üzere doğal kaynaklardan elde edilen pH'a duyarlı boya denemeleri artmıştır. Bu anlamda, gıda tazeliği göstergesinin geliştirilmesi için meyve ve sebzelerden elde edilen doğal boyalara karşı araştırmalar yapılmaktadır (Almasi vd., 2022).

1.1. Araştırmanın Genel Amacı ve Önemi

Bu çalışmada; mor soğan kabuğundan elde edilen antosiyaninlerin absorpsiyon yöntemiyle doğal bir polimer olan selüloz kâğıda (filtre kâğıdı) immobilize edilerek pH

değişimine duyarlı akıllı etiket tasarlanmış ve atmosfer paketlenme yapılarak buzdolabında depolanan gökkuşağı alabalığı paketlerine entegre edilmiştir. Bu şekilde soğuk muhafaza koşulları altında depolanan gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) paketlerinde zamana bağlı olarak bozulma ürünleri neticesinde ortam pH'ının yükselmesi ve akıllı etiketler sayesinde balık örneklerinin tazelik bozulma göstergelerinin hızlı, etkin ve düşük maliyetli bir şekilde takibinin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Son dönemde yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu, etiketlerin etkinliği, üretimi ve yapısında yapılan özel değişikliklere odaklanmaktadır. Bu çalışmada, bir balığın belirli kısımlarını izlemek için kullanılan etiketlerin tepkileri ölçülmüş ve bu tepkiler, tüketici tercihlerini belirleyen duyu analizlerle karşılaştırılmıştır. Literatürde, üretilen akıllı etiketlerin etkinliği genellikle sadece kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik analizlerle değerlendirilmiştir. Ancak, bu çalışmada bu analizlere ek olarak balık kısımlarının ayrı ayrı incelenmesi ve etiket tepkileri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Özellikle, duyu analiz verilerinin entegrasyonu ile bu çalışma, mevcut literatürden farklılık göstermektedir. Bu açıdan, çalışma, duyu analiz verilerini akıllı etiket tepkileri ile birleştirerek, alandaki ilk çalışma olma özelliği taşımaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Gökkuşığı Alabalığının (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) Genel Özellikleri

Çalışmada kullanılan gökkuşığı alabalığı türü bilimsel olarak Salmonidae familyasında yer almakta olup sistematikteki yeri aşağıdaki gibidir;

- **Âlem:** Animalia
- **Şube:** Chordata
- **Sınıf:** Teleostei
- **Takım:** Salmoniformes
- **Familya:** Salmonidae
- **Alt Familya:** Salmoninae
- **Cins:** *Oncorhynchus*
- **Tür:** *O. mykiss*

Morfolojik açıdan incelendiğinde adipoz yüzgeci (yağ yüzgeci) ile özelleşen gökkuşığı alabalığı berrak, serin ve bol oksijenli sularda yaşarlar. Şekil 2.1’de gökkuşığı alabalığının genel görünüşü yer almaktadır.



Şekil 2.1 Gökkuşığı alabalığının genel görünüşü

Gökkuşığı alabalıklarının vücut yapıları, uzun ve düzgün olup, sırt yüzgeci 10-12, anal yüzgeci ise 8-12 yumuşak ışına sahiptir. Yanal çizgi tamdır ve öne doğru yaklaşık 100-150 adet pul tarafından kaplanmıştır. Kafanın üst kısmı ve arka kısmı çelik mavisi, mavi-yeşil, sarı-yeşil ve neredeyse kahverengi tonlarındadır. Vücut yanları gümüşü, beyaz veya soluk sarı-yeşilden griye doğru değişen renkler gösterir. Karın bölgesi genellikle gümüşü beyaz veya sarı renkte olup, vücut kenarlarında belirsiz pembe, mavimsi veya geniş açık pembe bir şerit ile birlikte çok sayıda küçük leke bulunmaktadır (Emre ve Kürüm, 2007).

Gökkuşığı alabalığının her geçen yıl ülkemizde üretimi artmaktadır. Karadeniz Bölgesi'nde özellikle Sinop çevresinde yeni üretim alanları açılmakta ve faaliyete geçmektedir (Altan, 2020).

Gökkuşığı alabalığı, dünya genelinde yetiştiriciliği yapılan türler arasında 15. sırada yer almakta olup, yetiştiriciliği yapılan alabalık türleri arasında ise birinci sıradadır (FAO, 2022). Dünya genelinde gökkuşığı alabalığı yetiştiriciliğinde, Şili 326.054 ton ile ilk sırada, İran 193 852 ton ile ikinci sırada ve Türkiye 165 683 ton ile üçüncü sırada bulunmaktadır (FAO, 2023).

2023 yılında Türkiye'nin toplam su ürünleri üretimi yaklaşık 1,008 milyon ton olarak kaydedilmiştir ve toplam üretimin %54,95'i yetiştiricilik, %45,05'si ise avcılık yöntemiyle elde edilmiştir. Ülkemizde, son on yılda yetiştiricilikten elde edilen üretim miktarı yıllık 235 133 tondan 553 862 tona yükselmiştir. Yetiştiriciliği yapılan türler arasında alabalık %39,73 ile ilk sırada yer alırken, bunu sırasıyla levrek (%29,03), çipura (%27,80), midye, granyöz, orkinos ve diğer türler takip etmektedir (TÜİK, 2024). Son yıllarda Karadeniz'de ağ kafes sistemlerinde balık yetiştiriciliği oldukça hızlı bir gelişme göstermiştir ve bu sistemlerde en çok yetiştirilen tür gökkuşığı alabalığı olmuştur (Çakmak vd., 2024).

2.2. Soğan Hakkında Genel Bilgiler

Çalışmada kullanılan soğan (*Allium cepa* L.) türü Amaryllidaceae familyasında yer almakta olup sistematikteki yeri aşağıdaki gibidir;

- **Âlem:** Plantae
- **Şube:** Tracheophyta
- **Sınıf:** Magnoliopsida
- **Takım:** Asparagales
- **Familya:** Amaryllidaceae
- **Cins:** *Allium*
- **Tür:** *A. cepa*

FAO (2020) verilerine göre, dünya çapında yaklaşık 5,5 milyon hektarlık alana kuru soğan ekilmektedir. Bu ekilen alanların %26'sı Hindistan'a, %19,81'i Çin'e ve %12,01'i ise Nijerya'ya aittir. Türkiye ise dünya genelindeki kuru soğan ekiminin %1,28'lik bir kısmını gerçekleştirerek 11. sırada bulunmaktadır.

Yine FAO (2020) verilerine göre, kuru soğan üretim miktarı dünyada toplam 1,045 milyar ton olduğu bildirilmektedir. Dünya genelinde üretilen kuru soğanın %25,57'si Hindistan, %22,69'u Çin, %3,65'i ABD, %3,65'i Mısır ve %2,18'i Türkiye tarafından üretilmektedir. Dolayısıyla, dünya kuru soğan üretiminin yaklaşık %2'sini gerçekleştiren Türkiye, bu alanda beşinci sırada yer almaktadır.

Soğan, dünya popülasyonunun büyük bir kısmında günlük diyetin önemli bir parçası olarak yaygın tüketime sahiptir. Dünya genelinde yetiştirilen ve yüksek düzeyde ekonomik öneme sahip olan bir ürün olan soğan fenolik bileşikler, alkenil sistein sülfoksitler ve antosiyaninler gibi farklı birçok biyoaktif fitokimyasal içermesi sebebiyle insan beslenmesinde önemli yer tutmaktadır (Taşcı ve Koca, 2019).

Üretimin oldukça önemli olduğu ülkemizde soğan yumru dış kabukları ciddi bir tarım atığı olarak ortaya çıkmaktadır. Soğan yumru dış kabukları tekstil sanayinde de boyama amaçlı eskiden beri kullanılmakta, böylece bu atıklar doğal boyarmadde olarak da ekonomik bir kazanca çevrilmektedir (Önem vd., 2012).

2.3. Aktif ve Akıllı Paketlemeler

Aktif paketlemeler, gıdanın kalitesini muhafaza etmenin yanı sıra raf ömrünü uzatmayı, güvenilirliği artırmayı ve duyu özellikleri iyileştirmeyi hedefleyen bir ambalajlama şeklidir (Mauriello vd., 2005). Aktif ambalajlama sistemleri, gıda ile ortam arasındaki oksijen, nem ve aroma maddelerinin geçişini kontrol ederek antimikrobiyal aktivite sağlayarak gıdaların raf ömrünü artırır. Başlıca aktif paketleme sistemleri oksijen tutucular, karbondioksit yayıcı/tutucu sistemler, etilen tutucular, nem tutucular, aroma/koku yayıcı/tutucu sistemler, antimikrobiyal madde içeren film ve kaplamalardır (Cha ve Chinnan, 2004).

Akıllı paketlemeler ise, 5 Nisan 2018 tarihinde, 30382 sayılı Resmî Gazete'de yayınlanan "Türk Gıda Kodeksi Gıda İle Temas Eden Madde ve Malzemelere Dair Tebliğ (Tebliğ No: 2018/9)" kapsamında Gıda ile temas eden akıllı madde ve malzemeler olarak isimlendirilmiş, ambalajlı gıdanın veya gıdanın içinde bulunduğu ortamın durumunu gösteren madde ve malzemeler olarak da tanımlanmıştır (TGK, 2018). Gıdaların paketlenmesinde kullanılan akıllı paket sistemleri 3 grupta incelenmektedir;

- **Bilgi Taşıyıcılar:** Tedarik zinciri içindeki bilgi akışını daha etkin hale getirmek amacıyla belirli miktarda veriyi depolayabilen barkodlar ve RFID (Radyo Frekans ile Tanımlama) etiketleri gibi teknolojik araçlardır.
- **Sensörler:** Paketlenmiş ürünlerde bulunan belirli maddelerin (örneğin oksijen, etanol, karbondioksit) çabuk ve hassas bir şekilde ölçülmesini sağlayan cihazlardır.
- **Gösterge veya Etiketler:** Ürünün kalitesi hakkında bilgi sunarak tüketicilere (tazelik durumu, olgunluk seviyesi, son tüketim tarihi gibi) daha kolay anlaşılabilir bir şekilde bilgi sağlayan araçlardır (Kasım ve Kasım, 2019).

2.4. pH'a Duyarlı Akıllı Etiketler Hakkında Genel Bilgiler

pH'a duyarlı akıllı etiketler, pH değerlerindeki değişikliklere hassas bir şekilde tepki veren ve genellikle görsel bir sinyal üreten kimyasal bileşenlerden oluşmaktadır. Bu etiketler genellikle ürünlerin tazeliğini, güvenliğini ve kalitesini izlemek için kullanılırlar. İçerik ve çalışma prensiplerine bakıldığında;

İçerik (renklendirici/boya): pH'a duyarlı akıllı etiketler genellikle pH değişikliklerine duyarlı olan bir gösterge bileşiği (boya) içerir. Bu bileşik doğal veya sentetik olabildiği gibi genellikle pH değerlerindeki değişikliklere göre renk değiştirme özelliklerine sahiptir.

Boya bileşiğinin seçimi: pH'a duyarlı akıllı etiketlerde kullanılan gösterge bileşiği, pH aralığına ve uygulamanın kullanım alanı ile gereksinimlerine bağlı olarak seçilir (doğal boya-sentetik boya).

Etiket yapısı: pH'a duyarlı akıllı etiketler, genellikle polimerik veya biyopolimerik bir matris içinde boya bileşiğini içerir. Bu polimerik/biyopolimerik matris, etiketin dayanıklılığını artırır ve bileşenlerin dengeli bir şekilde dağılmasını sağlar.

Çalışma prensibi: pH değeri değiştikçe, gösterge bileşiği etiketin rengini veya tonunu değiştirir. Örneğin, asidik bir ortamda etiket belirli bir renkte olabilirken, alkalın bir ortamda farklı bir renge dönmektedir.

Görsel izleme: pH'a duyarlı akıllı etiketler genellikle görsel olarak izlenir. Bu, kullanıcıların ürünün pH değerleri hakkında hızlı bir şekilde bilgi edinmelerini sağlar. Görsel izleme, ürünlerin tazeliği, kalitesi ve güvenliği hakkında önemli bir geri bildirim sağlar.

2.5. pH'a Duyarlı Akıllı Etiketlerde Kullanılan Doğal Boyalar

Bir maddenin kalıcı olarak renklendirilmesine boyama, renklendiren maddelere ise boyar madde denir. İlkçağlardan beri insanlar bitkisel boyacılıkta önce çiçeklerden daha sonra yaprak, meyve, gövde ve kök gibi kısımlardan yararlanarak boyar madde elde etmişlerdir (Harmancıoğlu, 1955).

Doğal boyalar ekstraksiyon veya izolasyon yöntemiyle bitki, hayvan ve mineral gibi kaynaklarından elde edilen ve herhangi bir gıda ürününe ilave edilmesiyle, gıda maddesine renk veren kimyasal veya kimyasal süreçlerde yer almış boyar etmenlerdir (Rizvi vd., 1986). pH'a duyarlı akıllı etiketlerde kullanılan başlıca doğal boya kaynakları şöyledir;

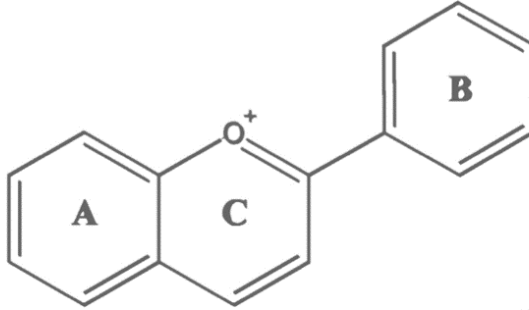
- Antosiyaninler
- Kurkumin
- Alizarin
- Fikosiyanin
- Alkanin ve Şikonin
- Betalainler
- Turnusol
- Diğer bitki ekstraktları

2.5.1. Antosiyaninler

Antosiyaninler bitki aleminde yaygın olarak bulunan ve bitkilerin çeşitli bölgelerindeki mavi, mor ve kırmızı renklerden sorumlu olan suda çözünebilen fenolik bileşiklerdir (Pervaiz vd., 2017). Doğada 600'den fazla antosiyanin türü bulunmuştur (Roy ve Rhim, 2020). Antosiyaninlerin renkleri yapıya ve meyvenin asitliğine de bağlıdır. Çoğu antosiyanin asidik koşulda kırmızı olur ve düşük asitli koşulda maviye döner. Bu özelliklerinden dolayı antosiyaninler, asit-baz indikatörü olarak da kullanılmaktadır (Castañeda-Ovando vd., 2009). Antosiyaninlerin ana kaynakları arasında kırmızı üzümler, kırmızı lahana, kırmızı soğan, mor patates, kiraz, mor mısır, siyah ahududu, ahududu, yaban mersini, kuş kirazı, çilekler, böğürtlen, kırmızı ve siyah frenk üzümleri gibi bitkiler bulunmaktadır (Lauro ve Francis, 2000; Roy ve Rhim, 2020).

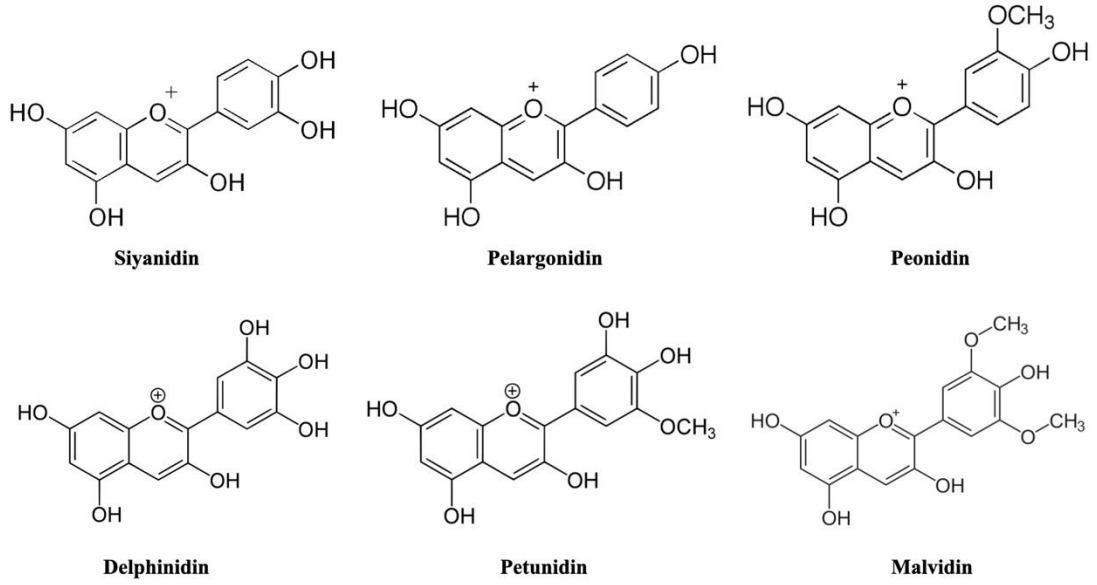
Antosiyaninlerin temel yapısı 2-fenil benzopirilyum (flavilyum katyonu) olarak adlandırılır (Şekil 2.2), $C_{15}H_{11}O^+$ formülü ile gösterilir ve 207,24724 g/mol moleküler

ağırlığına sahiptir. Antosiyaninler, neredeyse tüm bitki familyalarında bulunmaktadır. Bitki dokularında bulunan en yaygın antosiyaninler; siyanidin, pelargonidin, peonidin, delphinidin, petunidin ve malvidin olup dokularda sırasıyla %50, %12, %12, %12, %7 ve %7 oranlarında dağılmaktadırlar (Şekil 2.3) (Khoo vd., 2017).



Şekil 2.2 Antosiyaninin temel yapısı (2-fenil benzopirilyum) (flavilyum katyonu)

- *Siyanidin*; böğürtlenlerdeki baskın renklendiricilerdir, macenta ve kırmızı renkleri sergiler,
- *Pelargonidin*; çiçeklerde turuncu bir ton ve bazı meyvelerde kırmızı bir renk sunan kırmızı renkli bir renklendiricidir,
- *Peonidin*; böğürtlenlerde, üzümlerde ve kırmızı şarapta çoğunlukla bulunan magenta renkli bir metillenmiş antosiyanindir,
- *Delphinidin*; mavi çiçeklerde bulunan mor, lila ve mavi renkleri gösterir,
- *Petunidin*; siyah frenk üzümlerinde ve mor çiçeklerde bulunan koyu kırmızı veya mor renkli bir metillenmiş antosiyanindir (Khoo vd., 2017; Roy ve Rhim, 2020).
- *Malvidin*; mavi çiçeklerde ve kırmızı şarapta çoğunlukla bulunan Oksi-metillenmiş mor renkli bir antosiyanindir.



Şekil 2.3 Bitkilerde bulunan 6 ana antosiyaninin temel kimyasal yapısı.

Antosiyanin yapısının konjuge bağları, bitkilerin pH'sına, antosiyaninlerin bir araya gelmesine, B halkasına bağlı substitüentlerin türüne ve organik moleküllerin veya metal iyonlarının komplekslerine bağlı olarak 500 nm'de ışık soğurumunu gösterir ve bitkilerde çeşitli renklerin ortaya çıkmasına neden olur. Ayrıca, hidroksil ve metoksil substitüelleri antosiyaninlerin rengini ve yoğunluğunu etkiler; hidroksil (-OH) sayısının artması mavimsi bir rengin artışına, metoksi (-OCH₃) gruplarının artması ise kırmızılığa neden olur. Ayrıca, bu renklendiriciler, yerel pH'ya bağlı olarak renk değişimi gösterirler (Halász ve Csóka, 2018). Kırmızı renkli flavylium katyonu, pH<2'de baskın bir yapı iken, pH 2-4 aralığında hızlı deprotonasyon mor kinonoidal baz oluşumuna neden olur. pH 4'ten 6'ya çıkıldığında, flavylium katyonu hidrasyonu gerçekleşir ve renksiz karbinol psödobaz yapısının oluşumuna yol açar. Antosiyaninlerin dört yapısı, yani flavylium katyonu, kinonoidal baz, karbinol psödo baz ve sarı şalkon, pH 4-6 aralığında denge durumundadır (Tang vd., 2019). pH>7'de, denge mor kinonoidal anhidrobaz oluşumuna geçer. Dahası, pH>8'de, iyonlaşmış anhidrobaz oluşumu derin mavi bir renk meydana getirir. Son olarak, pH>8'de, antosiyanin yapısının merkezi piran halkası açılarak sarı şalkon ve karbinol formlarının oluşumuna neden olur (Pham vd., 2019).

Antosiyaninlerin stabilitesi, renklendirici türü, pH, sıcaklık, kopolimerler, ışık, metal iyonları, oksijen, enzimler, B halkasına bağlı substitüentler ve antioksidanlar gibi belirli faktörlere bağlıdır (Turturică vd., 2015). 40 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar, pH>7, ışık, oksijen, hidrojen peroksit, askorbik asit ve polifenol oksidaz ve peroksidaz gibi enzimler,

antosiyeninlerin bozulmasına neden olur (Silva vd., 2017). Antosiyeninlerin stabilitesi ve renk yoğunluğu, metal iyonları ve flavonoidlerle kopolimerizasyon yoluyla artar (Khoo vd., 2017). Antosiyeninlerin B halkasındaki hidroksil ve metoksil substitüeleri stabilitesini azaltır; bu nedenle pelargonidin, antosiyeninlerin en stabil yapısal formudur (Roy ve Rhim, 2020).

2.5.2. Kurkumin

Kurkumin [1,7-bis(4-hidroksi-3-metoksifenil)-1,6-heptadien-3,5-dion], tropikal iklimde yetişen sarı çiçekli köklü bir bitki olan *Curcuma longa* L.'nin yumrularından çözücü ekstraksiyon ile elde edilen bir fenolik maddedir ve elde edildikten sonra kristalizasyon yoluyla saflaştırılır (Wu vd., 2019).

Kurkumin, $C_{21}H_{20}O_6$ kimyasal formülüne sahip organik bir bileşiktir ve 368,38 Da moleküler ağırlığa sahiptir. Kurkumin, lipofilik bir yapıya sahiptir ve nötr veya asidik pH'da su içinde çözünmez, ancak etanol, aseton, metanol, kloroform, dimetil sülfoksit ve yağlarda çözünür (Kocaadam ve Şanlier, 2017). Kurkumin fizikokimyasal ve antioksidan özellikleri, keto-enol dengelemesi tarafından belirlenir. Kurkuminin keto formu sarı renkte olup yoğun floresan özelliğine sahiptir, enol formu ise kırmızı renkte olup pH arttıkça floresan özelliğini kaybeder (Kaur vd., 2018).

2.5.3. Alizarin

Mordant Red 11 veya Türkiye Kırmızısı olarak da adlandırılan Alizarin (1,2-dihidroksiantrakinon), kök boya bitkisinin (*Rubia tinctorum*) rizomlarından elde edilen doğal bir boyadır (Sun vd., 2019). $C_{14}H_8O_4$ kimyasal formülüne sahip bir antrakinon bileşiğidir. Renklendirici ve biyolojik boyama reaktifi olarak kullanılırlar (Sun vd., 2019; Ezati vd., 2019a). Alizarin, asidik pH'da sarıdan, nötr pH'ta kırmızıya ve alkaline pH'ta kırmızımsı-mora kadar bir renk değişimi gösterir; bu da onu akıllı etiket sistemlerini üretmek için uygun bir doğal gösterge boyası yapmaktadır (Ezati vd., 2019a). Alizarinin renk değişimi, yapısındaki fenolik oksijen anyon oluşumuyla ilgilidir. pH arttıkça alizarinin hidroksil gruplarının karbonil oksijen atomlarıyla birleşimi molekül içi hidrojen bağları oluşturarak renk değişimine yol açar (Ezati vd., 2020).

2.5.4. Fikosiyanin

Fikosiyanin fikobiliproteinlere ait, yoğun mavi renge sahip, suda çözünebilen bir protein ve pigment kompleksidir. *Siyanobakteriler* ile *Rhodophyta* ve *Cryptophyta* dahil olmak üzere iki alg türünden elde edilen, ışığı toplayan bir pigmenttir. Zengin besin maddeleri nedeniyle besin takviyesi olarak kullanılan *Spirulina* alglerinin ana pigmentidir (Vo vd., 2013). Fikosiyaninin yapısı bir protein kısmı ve fikosiyanobilin adı verilen protein olmayan kromofor kısımlarından oluşur (Patel vd., 2005). Fikosiyaninin gıda endüstrisinde; tatlılarda, keklerde, sakızlarda, dondurma ve jölelerde renklendirici bir ajan olarak yaygın kullanımı vardır (Fernández-Rojas vd., 2014). Ayrıca fikosiyanin, farklı pH değerlerinde halokromik davranış sergileyerek asidik pH'ta yeşilimsi mavi bir renk gösterirken 8'in üzerindeki pH değerlerinde ise renk değişikliğine uğrar. Bu özellikler, gıda tazelik göstergesi üretiminde pH gösterge boyası olarak kullanılması konusunda araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Moreira vd., 2018).

2.5.5. Alkanin ve şikonin

Alkanin ve şikonin, *Boraginaceae* familyasındaki bazı bitkilerden elde edilen doğal renklendiricilerdir; alkanin türevleri esas olarak *Alkanna tinctoria* köklerinden elde edilirken, şikonin türevleri ağırlıklı olarak *Lithospermum erythrorhizon* köklerinden elde edilir (Papageorgiou vd., 2006). Alkanin ve şikonin antosiyaninlerden daha iyi stabiliteye sahip asit-baz duyarlı renklendiricilerdir (Dong vd., 2020). Doğal olarak kırmızı veya kırmızımsı-mor renk gösterirken, asidik pH'da kırmızıya ve alkali koşullarda maviye doğru renk değişimine uğrarlar (Cho vd., 1999)

2.5.6. Betalainler

Betalainler, *Caryophyllales* ve *Chenopodiaceae* familyalarının yanı sıra *Amanita* ve *Hygrocybe* cinslerine ait yüksek mantarlardan elde edilen azot içeren alkaloid pigmentlerdir (Isah vd., 2015). Suda çözünebilen boyalardır ve 476-600 nm aralığında görünür ışığı absorbe ederler. Betalainlerin ana ticari kaynağı pancardır (*Beta vulgaris*) (Ravichandran vd., 2013). Bu pigmentler kırmızı-mor betasiyaninler ve sarı-turuncu betaksantinler olmak üzere iki gruba ayrılır (Kanatt, 2020). Betalainler, antosiyaninlere kıyasla pH ve sıcaklığa karşı daha karardır ve düşük asitli gıdalar için uygun bir renklendirici madde olarak önerilmektedir (Ravichandran vd., 2013). Bu pigmentler 3-7

pH aralığında daha kararlıdır, ancak pH arttıkça kırmızıdan turuncuya ve parlak sarıya renk değişimi gösterirler (Kanatt, 2020; Qin vd., 2020).

2.5.7. Turnusol

Litmus, *Roccella*, *Lecanora* ve *Varialaria* gibi mantar ve alglerin bir bileşimi olan Liken'in çeşitli türlerinden elde edilen suda çözünür bir boya karışımıdır (Rather vd., 2018). Yüzyıllardır kumaş, yün, ipek ve gıda boyamada renklendirici madde olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Liang ve Wang, 2018). Turnusol boyalarının rengi, asidik koşullarda kırmızı, nötr koşullarda mor ve alkali koşullarda mavimsi menekşe rengini ortaya çıkaran pH ile ilgilidir (Rather vd., 2018). Bu nedenle, turnusol içeren kağıtlar uzun süredir laboratuvarlarda ve endüstrilerde asit-baz indikatörü olarak kullanılmaktadır (Mitrović vd., 2011).

2.5.8. Diğer bitki ekstraktları

Doğal olarak oluşan bazı renklendiriciler yukarıda bahsedilen gruplara ait değildir ancak yeşil çay (*Camellia sinensis*) ve fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) gibi bazı bitkiler pH'a duyarlı renk değişimleri nedeniyle gıda tazelik indikatörlerinin üretiminde, daha önceki çalışmalarda kullanılmıştır (Medina-Jaramillo vd., 2017; Jamróz vd., 2019a).

2.6. pH'a Duyarlı Akıllı Etiket ile İlgili Mevcut Teknolojiler ve Yöntemler

Gıda akıllı tazelik indikatörleri polimerik bir baz ve pH algılayıcı bir renklendiriciden oluşmaktadır. Tazelik indikatörlerinin hazırlanması için çeşitli biyopolimerler, renklendiriciler ve hazırlama yöntemleri araştırmacılar tarafından son günlerde üzerinde durulan konulardan biridir. Tazelik indikatörlerinin gıdadaki farklı bozulma aşamalarını ayırt etme kabiliyeti, polimerik bazın uyumluluğundan, renklendiricinin türünden ve hazırlama yönteminden etkilenmektedir. Ne yazık ki bu alandaki çalışmaların çoğunda, özellikle de basit bir filtre kağıdının veya polimerik filmlerin belirli bir boya çözeltisine dökülmesi veya kaplanmasıyla geliştirilen tazelik indikatörleri gıdanın tazelik/bozulma üçlü aşamalarını ayırt etmede mükemmel bir yetenek göstermemiştir ve çoğu durumda bu indikatörleri sadece taze gıdayı bozulmuş olandan ayırmıştır (Ma ve Wang, 2016; Tiwari vd., 2017; Aghaei vd., 2018; Jamróz vd., 2019b). Bu nedenle, son zamanlarda araştırmacılar, gelişmiş renk değişim özelliklerine sahip yeni etiket üretmek için sol-jel, elektrospinning, köpük, ped ve elektrokimyasal yazma yöntemleri dahil olmak üzere

etiket hazırlamak için gelişmiş yöntemleri araştırmaktadır. Farklı etiket üretim yöntemlerinin ilkeleri, faydaları ve eksiklikleri aşağıda açıklanmıştır.

2.6.1. Direkt birleştirme yöntemi

Bu yöntemde, pH'a duyarlı boyanın polimer matrisine doğrudan dahil edilmesi etiket üretiminin en basit yöntemidir. Bu yöntemde ekstrüzyon ve solüsyon dökümü işlemleri, doğrudan birleştirme yoluyla etiket geliştirmek için kullanılan iki farklı yöntemlerdir. Ekstrüzyon yönteminde sıcaklık çok önemli bir faktördür. Ekstrüder cihazının besleme haznesine polimer matris ve boya birlikte koyularak dönen helezon yardımı ile polimer matris-boya karışımı polimerin erime sıcaklığına kadar ısıtılmış olan namluya doğru itilir. Erime ve uygun karıştırma işleminden sonra polimer/boya karışımı kalıba girer ve istenen şekle sahip nihai ürün elde edilir. Genel olarak, ekstrüzyon işlemiyle hazırlanan malzemeler kabul edilebilir mekanik ve termal özellikler gösterir. Kolayca ölçeklendirilebilen bir süreç olmasına ve ambalaj malzemelerinin hazırlanmasında ticari olarak kullanılmasına rağmen, yöntem yalnızca termoplastik polimerlere (örneğin; nişasta ve polilaktik asit (PLA)) ve ısıya dayanıklı boyalara (örneğin; sentetik boyalar) uygulanabilir. Bu nedenle, gerekli olan yüksek sıcaklık, etiket üretimi için ekstrüzyon yönteminin birincil sınırlamasıdır. Sıvı renklendiriciler bu yöntemde uygun değildir. Yaygın olarak renklendiricilerin kuru ve toz formları kullanılmaktadır (Kumar vd., 2020).

Solüsyon dökümü veya ıslak işlem yöntemi ise laboratuvar ölçeğinde sıcaklığa duyarlı boyalar (antosiyeninler) içeren etiket üretimi için yaygın olarak kullanılan basit bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemde, pH'a duyarlı boya başlangıçta önceden hazırlanmış bir polimer çözeltisi içinde çözülür ve karıştırılır, daha sonra gazı alınmış polimerik çözelti belirli boyutlara sahip düz bir yüzeye (örneğin; teflon, polistiren, pleksiglas veya cam şablonlar) dökülür ve kontrollü sıcaklık ve nem koşulları altında kurutulur. Döküm yönteminde kurutma sıcaklığı azaltılabilir ve bu nedenle bu yöntem ısıya duyarlı renklendirici için uygundur. Bu yöntemin en büyük sınırlaması, polimer baz ve renklendiricinin tek bir çözücü içinde birlikte çözünürlüğüdür. Örneğin, antosiyenin içeren PLA bazlı etiket solvent döküm yöntemiyle üretilemez. Çünkü PLA kloroformda çözünürken antosiyeninler suda çözünür. Bu nedenle, PLA ve antosiyenin çözeltilerinin karıştırılmasıyla homojen bir karışım elde edilemez. Bununla birlikte, bir döküm filmin renk tepkisi ve renk tutma kabiliyeti, renklendiricinin türü ile ilişkilidir (Almasi vd., 2022).

2.6.2. Absorbsiyon yöntemi

Absorbsiyon yöntemi, akıllı etiket hazırlanması için kullanılan en pratik ve verimli yaklaşımlardan birisidir. Bu yöntem sadece yüksek emilim kapasitesine sahip gözenekli filmlere/köpüklere uygulanır. Bu işlemde, film/köpük hazır bir renklendirici çözeltisine daldırılır ve ardından polimer hızla boyayı emmeye başlar. İki malzemenin uyumluluğu ne kadar yüksek olursa, aralarındaki bağ da o kadar güçlü olur. Boyanın polimere emilimini ve nüfuzunu artırmak için ultrasonikasyon ve vorteksleme gibi bazı prosedürlerde uygulanmıştır (Shahmohammadi Jebel ve Almasi, 2016; Stoica-Guzun vd., 2012). Bununla birlikte, göz önünde bulundurulması gereken önemli bir zorluk, polimer polaritesine ve boya çözünürlüğüne bağlı olan boyanın çevreye sızmasıdır. Polimer ve konuk madde arasındaki güçlü bir bağ, zaman içinde düşük ve kontrollü sızıntıya yol açar (Mirtalebi vd., 2019; Razavi vd., 2020a). Çeşitli karbonhidrat bazlı kağıtlar ve köpükler, akıllı etiket geliştirmek için emici malzemeler olarak iyi özellik göstermişlerdir. Filtre kâğıdı gibi selüloz bazlı malzemeler, yüksek su tutma kapasiteleri nedeniyle emme yöntemiyle akıllı etiket üretimi için kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Genovese vd., 2018; Ezati vd., 2019a; Liu vd., 2020; Goodarzi vd., 2020).

Bununla birlikte, filtre kâğıdı kullanılarak gıda tazelik indikatörü geliştirilmesinde, kâğıdın neme karşı duyarlılığının dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır, çünkü çoğu durumda renk değişimi bozulmaları nedeniyle gıda tazelik indikatörünün gıda tazeliğini tahmin etmesini zorlaştırır (Lee vd., 2019). Filtre kâğıdına alternatif olarak, giderek artan sayıda çalışma, suda çözünür boyalar için bir yatak olarak bakteriyel nanoselüloz (BNC) kullanımına odaklanılmıştır. Bu özel polimer, ekonomik olarak uygulanabilir ve çevre dostu olmasının yanı sıra yüksek sayıda hidroksil grubu, benzersiz gözeneklilik ve su emme kapasitesi gibi faydalı özelliklere sahiptir (Moradi vd., 2021).

Ayrıca, gözenekli 3D köpükler, pedler, aerogeller ve süngerler, gıda tazelik indikatörü gelişimi için elverişli olan üstün yüzey alanı ve yüksek gözeneklilik gibi avantajlara sahiptir (Ferreira vd., 2020; Xu vd., 2020). Pratik öneme sahip olan bu teknikte, boyalar gözenekli malzemenin büyük kısmına girer ve yapısal polimer ile güçlü bir etkileşim oluşturur. Bununla birlikte, gıdada uygulama sırasında, bozulmaya bağlı gaz ve buhar metabolitleri malzeme içinde transfer olabilir ve gömülü boya ile kolayca etkileşime girebilir sonuç olarak da renk değişimi meydana gelir. Boyanın gözenekli malzemeye

düzgün bir şekilde dahil edilmesi için çalkalama, vorteksleme, dökme ve serpmeye gibi farklı yöntemler uygulanabilir (Lavoine ve Bergström, 2017).

2.6.3. Sol-jel metodu

Sol-jel metodolojisi genellikle sol hazırlama, jelleştirme ve jel olgunlaştırma ve boyanın inorganik fazın öncüsünü içeren bir matrise eklendiği kurutma gibi farklı adımları içerir. Jelleşme ve olgunlaştırma adımlarında gerçekleşen hidroliz ve olgunlaştırmadan sonra, nihayetinde bir inorganik ağ oluşur. Hedef boyayı içeren hazır sol-jel çözeltisi daha sonra, başta daldırılmalı kaplama olmak üzere çeşitli yöntemlerle farklı bir tabaka üzerinde biriktirilir (Lantano vd., 2014; Dalmoro vd., 2017).

Sol-jel bazlı akıllı malzemeler, yüksek yüzey alanı, mükemmel gözeneklilik, yumuşak bir termal reaksiyon uygulaması, hedef maddenin korunması, çeşitli maddelerle tutarlılık ve istenen özelliklere ve işlevselliğe sahip akıllı etiket hazırlanmasına yardımcı olabilecek farklı katmanlar arasında güçlü yapışma sağlanması gibi bir dizi avantaj sunar (Dalmoro vd., 2017; Liu vd., 2020; Razavi vd., 2020b).

Bununla birlikte, sol-jel matrisinin gözenekliliği, renklendiricinin bozulmaya neden olan başlıca metabolitlerle reaktivitesini kolaylaştırmakta ve farklı bozulma belirtileri gösteren gıdaları ayırt etmek için akıllı etiketin pratik uygulamasını güçlendirmektedir. Bahsedilen tüm özellikler akıllı etiket için oldukça arzu edilen özelliklerdir.

2.6.4. Elektrospin metodu

Son yıllarda, elektrospin nanolifler akıllı etiket üretiminde doğal renklendirici içeren bir matris olarak büyük ilgi görmektedir. Elektrospin, onlarca nanometreden birkaç mikrometreye kadar ultra ince nanoliflerin üretimi için basit, çok yönlü ve verimli bir tekniktir. Elektrospin tekniğinin prensibi, polimer çözeltisinin uzamasına ve ultra ince liflerin oluşmasına neden olan elektrostatik itmeyi indüklemek için polimer çözeltisine yüksek voltaj uygulanmasını içerir. Lifler, dokunmamış bir membran oluşturmak için sürekli olarak bir toplayıcı üzerinde biriktirilir. Elektrospin yöntemiyle nanolif üretimi için farklı sentetik ve doğal polimerler veya bunların karışımları kullanılabilir (Aman Mohammadi vd., 2020). Elektrospin yöntemiyle pH'a duyarlı etiket hazırlanmasının bazı avantajları vardır. Yüksek yüzey alanı, yüksek gözeneklilik, küçük gözenek boyutu, yüksek emme kapasitesi ve homojen boya emilimi, indikatöre katı desteği olarak kullanım için elektrospin nanofiberlerin bazı avantajlarıdır. Bu benzersiz özellikler,

yüksek hassasiyet, kısa algılama süresi ve tek tip renk değişimi gibi kolorimetrik algılamada istenen gereksinimleri karşılama fırsatı sağlar (Topuz ve Uyar, 2020).

Boyaların sızması, özellikle elektrosprin ile hazırlanan etiketlerde belirgindir. Polimer hidrofobikliği, hazırlama yöntemi ve boya türü gibi faktörler boyanın süzülme davranışını etkileyebilir (Forghani vd., 2023).

2.6.5. Elektrokimyasal yazma ve mürekkep püskürtmeli yazma metodu

Elektrokimyasal yazma ve mürekkep püskürtmeli baskı, tek veya çok renkli desenlerin bir film üzerine kazındığı veya basıldığı akıllı etiket hazırlamak için kullanılan en ilginç yöntemlerden bazılarıdır. Gıdalarda uygulama sırasında, basılı desende gözle görülür renk değişiklikleri meydana gelir (Zhai vd., 2018; Yang vd., 2021). Elektrokimyasal yazma hem tek hem de çift katmanlı filmlere uygulanabilir. Tek katmanlı bir film üzerine 3D yazıcı ile elektrokimyasal yazma iki farklı şekilde uygulanabilir. İlk yöntemde boya içeren film platin (Pt) iletken bir plaka üzerine konulurken, ikinci yöntemde plakanın yan tarafına tek katmanlı bir algılama filmi yerleştirilir. Her iki yöntemde de plaka, elektrokimyasal iş istasyonunun katodu ile bağlanır ve OH^- üretir. Bu durumda, filmin rengi polimer ve boyanın türüne bağlı olarak plakanın etrafında değişir (Zhai vd., 2020). Anoda bağlı olan Pt kalem, filmin yüzeyinde bir 3D yazıcı tarafından hareket ettirilir ve asidik bir ortam oluşturur; bu nedenle boya içeren filmin rengi tamamen değişir.

Mürekkep püskürtmeli baskıda, mürekkep çözeltisi katı bir alt tabaka üzerine tek bir baskı kafalı yazıcı ile püskürtülür. En yaygın kullanılan mürekkep püskürtmeli yazıcılar termal ve piezoelektrik tip yazıcılardır (Mohapatra vd., 2022). Termal mürekkep püskürtmeli yazıcılarda, bir ısıtıcı aracılığıyla mürekkep üzerine bir basınç darbesi uygulamak mürekkep damlacıkları oluştururken, piezoelektrik mürekkep püskürtmeli yazıcılar, sonuçta damla oluşumuna yol açan bir basınç darbesi oluşturmak için bir piezoelektrik eleman kullanır. Akıllı etiketler, antosiyaninler gibi renklendiricileri polimerik ambalaj malzemesi üzerine renklendirici mürekkep olarak sabitlemek için bu teknolojiye faydalanabilmektedir.

2.7. pH'a Duyarlı Akıllı Etiketlerin Kullanım Alanları ve Potansiyel Faydaları

pH'a duyarlı akıllı etiketler, gıda endüstrisi başta olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahip olmakla birlikte, ilaç endüstrisi, kozmetik endüstrisi, çevre izleme ve kontrolü ile

tıbbi uygulama alanlarında çeşitli potansiyel faydalar sunarlar. Bu etiketlerin kullanım alanları ve potansiyel faydaları 4 madde üzerinden özetlenecek olursa;

- *Ürün Tazeliğinin İzlenmesi:* Akıllı etiketler, gıda ürünlerinin tazeliğini izlemek için kullanılmaktadır. pH değişikliklerini algılayarak, ürünlerin raf ömrü boyunca yaşadığı bozulma süreçlerini belirleyebilmektedirler.
- *Güvenlik Uyarıları:* pH'a duyarlı akıllı etiketler, gıda ürünlerinde oluşabilecek tehlikeli veya istenmeyen koşulları belirlemek için kullanılabilir. Örneğin, bozulmuş veya kontamine olmuş gıdaları tespit ederek tüketicilere uyarı sağlayabilirler.
- *Gıda Kalite Kontrolü:* Gıda üreticileri, dağıtıcıları ve perakendecileri, ürünlerin kalitesini korumak ve güvence altına almak için pH'a duyarlı akıllı etiketlerden faydalanabilirler. Bu etiketler, üretim sürecinin her aşamasında kalite kontrolü sağlayabilir ve ürünlerin depolanması ve taşınması sırasında olası kalite kayıplarını belirleyebilir.
- *Tüketici Bilgilendirme:* Akıllı etiketler, tüketicilere ürünlerin kalitesi, tazeliği ve güvenliği hakkında daha fazla bilgi sağlar. Bu sayede tüketiciler, satın aldıkları ürünlerin durumu hakkında daha bilinçli kararlar verebilirler (Ma vd., 2017; Musso vd., 2017; Ezati ve Rhim, 2020a).

2.8. İlgili Araştırma Bulguları/Literatür Özeti

2.8.1. Doğal boyalar ile ilgili araştırmalar ve bulguları

Antosiyaninlerin geniş bir pH aralığındaki belirgin renk değiştirme özellikleri nedeniyle, sentetik boyalar yerine doğal boya alternatifleri olarak kullanılmaları daha uygundur (Chi vd., 2020; Ghorbani vd., 2021; Ghadiri Alamdari vd., 2022). Bu durum, farklı yiyeceklerin tazeliğinin/bozulmasının izlenmesi için pH göstergelerinin geliştirilmesinde antosiyaninlerin kullanımına odaklanan birçok çalışmanın yapılmasına neden olmuştur. Bu doğal boyaların gıda tazelik göstergesi olarak kullanımıyla ilgili son çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Ma vd. (2017), amonyağı tespit etmek için çözücü dökme yöntemiyle kurkuminin tara sakızı/polivinil alkol filmine immobilize ederek bir gıda tazelik göstergesi üretmişlerdir. Akıllı göstergelerin, amonyak buharlarına 1-3 dakika maruz kaldıktan sonra sarıdan kırmızımsı turuncuya gözle görülür renk değişimi gösterdiğini bulmuşlardır.

Medina-Jaramillo vd. (2017), solvent döküm yöntemiyle üretilen manyok nişastası, yeşil çay (*Camellia sinensis*) ve fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) özütlerine dayalı aktif ve akıllı filmler geliştirmişlerdir. Yeşil çay ve fesleğen özütlerinin renk varyasyonlarını klorofil ve karotenoidlerin varlığına borçlu olduğu doğrulanmıştır. Filmlerin farklı tampon çözeltilerine (pH 3-12) daldırılması, yeşilimsi sarı renkli fesleğen özütü içeren filmlerin asidik koşullarda hafif sarı renkte görüldüğünü ve alkali koşullarda parlak sarıya dönüştüğünü, kahverengimsi yeşil renkli yeşil çay özütü içeren filmlerin ise sadece pH 12’de daha koyu tonlama sergilediğini bildirmişlerdir.

Musso vd. (2017) tarafından solvent dökme yönteminin kullanıldığı, su ve su-etanol karışımının solvent olarak kullanıldığı jelatin ve kurkumin bazlı bir çalışmada gıda tazelik göstergesinin hazırlanması araştırılmıştır. Çalışmada etanol-su ikilisinin solvent olarak kullanılmasının, gıda tazelik göstergesinin pH değişimlerine karşı renk tepkisini arttırdığını, gıda tazelik göstergesinin sıvı ve gazlı ortamdaki pH değişimlerine karşı renk tepkisinin, yarı katı ortamlardan daha hızlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Liang ve Wang (2018), sütün bozulmasını izlemek için solvent döküm yöntemiyle demirhindi tohumu polisakkariti ve turnusol liken özütü (LLE) kullanarak pH algılayıcı bir film geliştirmişlerdir. LLE’nin filme dahil edilmesi, filmin gerilme mukavemetini ve kopma uzamasını azaltmış, ancak su buharı geçirgenliğini artırmıştır. Sütün bozulması sırasında indikatörün rengi mavi-mordan turuncuya değişmiş ve asitlik artışı ile iyi bir korelasyon gözlenmiştir.

Domuz eti ve karides tazeliğinin gerçek zamanlı izlenmesi için solventle dökme yöntemi ile κ -karragenan/kurkumin bazlı akıllı etiket Liu vd. (2018) tarafından geliştirilmiştir. Üretilen akıllı etiketin pH 3-7 aralığında sarı renkteyken, pH 7-8 aralığında arttıkça, rengin sarıdan kırmızıya geçiş yaptığını gözlemlemişlerdir.

Moreira vd. (2018), *Spirulina*’dan ekstrakte edilen %2, %3, %4, %5 ve %6 fikosiyanin içeren polilaktik asit (PLA)/polietilen oksit (PEO) elektrospin halokromik etiket geliştirmişlerdir. İndikatörlerin renginin, pH değerinin 1-8 aralığında artmasıyla yeşilimsi-maviden maviye ve mavimsi-mora doğru değiştiğini, ancak pH 8’in üzerinde bir renk değişikliği göstermediğini bulmuşlardır.

Kurek vd. (2018), solvent dökme yöntemiyle 1, 2 ve 4 oranında yaban mersini ve böğürtlen posası özleri kullanarak kitosan tabanlı akıllı film geliştirmişlerdir. Değişen pH ile kuru pH indikatör filmlerinde gözle görülür ve önemli renk değişiklikleri meydana

geldiğini, yaban mersini ve böğürtlen posası özlerinin eklenmesiyle kontrol film renginin gözle görülür şekilde soluk sarıdan mavi-yeşil ve mora (sırasıyla negatif ve pozitif a^* değerleri ile) dönüştüğünü, pH 2'den 10'a yükseltildiğinde yaban mersini içeren filmlerin gül renginden mavi yeşile ve böğürtlenli filmlerin ise kırmızıdan koyu mora dönüştüğünü ifade etmişlerdir. En önemli değişikliğin ise gerçek gıda maddelerinde gıda bozulması nedeniyle pH değişimlerinin belirlenmesi için önemli olan pH 4 ile pH 7 aralığında gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Wu vd. (2019), katı matris olarak kitosanı, destek dolgu maddesi olarak oksitlenmiş kitin nanokristalini ve doğal boya olarak kurkumini kullanarak solvent döküm yöntemiyle yeni bir gıda tazelik göstergesi üretmişlerdir. Karides ve gümüş rengi yıldız balıklarını 4 °C'de 5 gün depoladıkları çalışmada depolama sırasında göstergeler, sarıdan turuncu-kırmızıya kadar renk değişimi göstermiştir.

Ezati vd. (2019b), kıymanın tazeliğini izlemek için sol-jel yöntemiyle katı matris olarak selüloz-kitosan ve indikatör boya olarak alizarin bazlı çift katmanlı bir akıllı etiket geliştirmişlerdir. Araştırmacılar akıllı etiket göstergesinin kıymanın bozulması ve toplam uçucu bazik azot miktarının 20,53 kritik değere yükselmesiyle birlikte sarıdan mora bir renk tepkisini verdiğini sol-jel teknolojisinin kullanımının ise alizarinin stabilitesinin arttırdığını ve akıllı etiketlerin büzülmesinin önlenmesine katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir.

Ezati vd. (2019a) tarafından yapılan başka bir çalışmada, gökkuşağı alabalığı filetosunun tazeliğini değerlendirmek için nişasta-selüloz bazlı akıllı etiket göstergeleri, alizarin ile daldırma kaplama yöntemiyle geliştirilmiştir. İndikatörün rengi, balığın bozulması sırasında artan TVB-N seviyelerine karşılık gelecek şekilde turuncudan kırmızımsı kahverengiye kadar değişmiştir. Ayrıca 4 °C'de indikatörün renginin, 25 °C'ye göre daha stabil olduğunu tespit etmişlerdir.

Jamróz vd. (2019a), yaptıkları bir çalışmada 2 °C'de depolama sırasında Atlantik uskumrusunun tazeliğini izlemek için pancardan ekstrakte edilen furcellaran ve betalainleri kullanarak solvent dökümlü gıda tazelik göstergesini değerlendirmiştir. Film çeşitli tampon çözeltilerine (pH 1-12) maruz bırakıldığında kırmızıdan sarıya doğru bir renk değişimi ortaya çıkmıştır. Filmin rengi pH 1-8 aralığında kararlıyken, pH 9-12'de sarıya döndüğünü gözlemlemişlerdir. Filmin, balık bozulmasına karşı net bir renk tepkisi

göstermediğini ve akıllı gıda tazelik göstergesi sistemlerinde pH göstergesi olarak kullanmak için uygun bir etiket olmadığını önermişlerdir.

Jamróz vd. (2019b), yaptıkları bir çalışmada çözücü döküm yöntemiyle etiket üretmek için furcellaran bazlı bir polimer matrisine yeşil çay ve yerba mate ekstraktlarının eklenmesini değerlendirmiştir. Filmler farklı tampon çözeltilerine daldırıldığında, asidik koşullarda ($pH < 3$) renk değişimi ve bazik koşullarda ($pH > 10$) kahverengi bir renk görünümü ortaya çıkmıştır. Filmler amonyak gazına maruz bırakıldığında yeşilden sarımsı kahverengiye doğru bir renk kayması göstermiştir. Bu renk değişikliklerine rağmen, paketlenmiş Atlantik uskumru filetolarına uygulanan filmler, çıplak gözle tespit edilebilen balık bozulmasına karşı yeterli bir renk tepkisi sergilememiştir.

Yong vd. (2019a), gıda tazelik göstergesi hazırlamak için doğal indikatör boyası olarak mor ve siyah pirinç ekstraktı ile polimerik matris olarak kitosanı kullanarak solvent dökme yöntemini araştırmışlardır. Her iki boya indikatör türü, tampon çözeltilerinin pH'ı 3'ten 11'e kadar artmasıyla önce kırmızıdan mora ve sonunda maviye doğru renk değişimi gösterdiğini tespit etmişlerdir. İndikatörlerin domuz eti tazeliğini izlemek için uygulanmasını da araştırdıkları çalışmalarında, siyah pirinç ekstraktını içeren filmlerin domuz etinin bozulmasıyla uygun renk değişimi göstermediğini, ancak mor pirinç ekstraktı içeren filmlerin domuz eti bozulması sırasında mor ile mavi arasında önemli bir renk tepkisi gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Yong vd. (2019b) tarafından yapılan başka bir çalışmada, süt tazeliğini izlemek için kitosan bazlı, mor ve siyah patlıcan ekstraktlarına dayalı akıllı filmleri solvent dökme yöntemiyle tasarlamışlardır. Tampon çözeltilerinin pH'ının artırılmasıyla her iki indikatörde mor ile yeşil/mavi arasında bir renk değişimini ortaya çıkardığı, indikatörlerin, sütün bozulması sırasında mavi/yeşilden mora doğru görsel bir renk tepkisi gösterdiği, özellikle, siyah patlıcan ekstraktı içeren filmlerin mor patlıcan ekstraktı içeren filmlere göre süt asitlenmesine önemli bir renk tepkisi gösterdiği tespit edilmiştir.

Guo vd. (2020), ilk katmanda pullulan-mor tatlı patates ekstraktı ile ikinci katmanda zein-gliserol-karvakrolün kullanarak çift katmanlı elektrospin lif matları tasarlamışlardır. Liflerin, amonyağa maruz kaldığında mordan yeşile hızlı bir renk tepkisi gösterdiğini, asetik aside maruz kaldığında ise rengin tersine dönerek yeşilden mora dönüştüğünü belirlemişlerdir. Akıllı etiketlerin domuz etine uygulayarak, 25°C depolama sıcaklığında 0., 12., 24., 36., 48., 60. ve 72. saatler sonunda gözlemlenen renk değişimlerini sırasıyla;

koyu pembe, derin kırmızı, menekşe, mavi, koyu yeşil, açık yeşil ve sonunda sarımsı yeşil olduğunu bildirmişlerdir.

Mohammadalinejad vd. (2020), 4 °C’de depolanan karidesin tazeliğini izlemek için *Echium amoenum* ekstraktlarını bakteriyel selüloza absorpsiyon yöntemiyle immobilize ederek gıda tazelik göstergesi üretmişlerdir. 2 ile 12 arasında değişen pH değerlerinde indikatör, kırmızıdan sarıya renk değişimi göstermiştir. Tazelik gösterge indikatörün paketlenmiş karideslere uygulanması ile, akıllı etiketin renginin menekşeden griye ve sarıya doğru bir renk varyasyonu gösterdiğini, akıllı etiketin taze, orta taze ve bozulmuş karidesleri birbirinden ayırt etme yeteneğini gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Ezati ve Rhim (2020a), karides bozulmasını gerçek zamanlı olarak izlemek için kurkumin ve kükürt nanopartiküllerini pektin matrisine doğrudan dahil ederek pH göstergeleri geliştirmişlerdir. 25°C’de 36 saatlik depolamanın ardından karidesin pH’ının 6,3’ten 7,1’e değişmesiyle birlikte, indikatörün renginin sarıdan turuncuya döndüğünü bildirmişlerdir.

Kanatt (2020) tarafından yapılan çalışmada, betalain kaynağı olarak *Amaranthus* yaprağı ekstraktı ile jelatin ve polivinil alkol karışımı kullanılarak pH indikatörlerinin hazırlanması araştırılmıştır. Bitki özütü, çözücü döküm yöntemiyle doğrudan film matrisine dahil edilmiştir. İndikatörler, tavuk ve balık bozulmaları sırasında kırmızıdan sarıya doğru bir renk değişimi göstermiştir.

Qin vd. (2020), karides tazeliğini değerlendirmek için kırmızı pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) kabuğunun betalainlerini ve katı destek olarak nişasta ve polivinil alkol karışımını kullanarak bir indikatör geliştirmiştir. İndikatörü hazırlamak için solvent döküm yöntemi kullanılmıştır. Filmlere ağırlıkça %1 oranında kırmızı pitaya kabuğu ekstraktı eklenmesinin amonyağa karşı hassasiyeti artırdığını ve karides bozulmasına karşı en iyi renk tepkisini verdiğini göstermiştir. Karideslerin 24 saat depolanmasından sonra filmlerin rengi pembeden sarıya dönüşmüş ve TVB-N seviyesi 19,38 mg/100 g’a ulaşarak karideslerin taze olmadığını göstermiştir.

Hu vd. (2020), kuaterner amonyum kitosan ve balık jelatini karışımı solvent döküm filmine dayanan etiketi amaranth’tan (*Amaranthus tricolor* L.) ekstrakte edilen betalainlerle birleştirerek değerlendirmiştir. Filmlerin rengi amonyağa maruz bırakıldığında pembeden sarıya değişmiştir. Karides tazeliğini izlemek için filmlerin uygulanmasında ise, karidesin TVB-N değeri 20,4 mg/100 g’a yükseldiğinde pembeden sarıya bir renk değişimi olduğunu ortaya koymuştur.

Aghaei vd. (2020), gökkuşağı alabalığı filetoalarının tazeliğini değerlendirmek için alizarini zein bazlı elektrospin nanofiberlere entegre etmişlerdir. Üretilen indikatör, depolamanın 6. gününde sarıdan açık mora ve 8. günden sonra fuşyaya doğru bir renk değişimi sergilemiştir.

Ezati vd. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, kitosan ve alizarin karışımı kullanılarak döküm yöntemiyle akıllı bir filmin hazırlanması araştırılmıştır. pH'ın 4-10 aralığında indikatörün renginin sarıdan mora değiştüğünü, balıklar bozuldukça ve tepe boşluğunun pH'ı arttıkça indikatör renginin hakiden açık kahverengiye dönüştüğünü bildirmişlerdir.

Dong vd. (2020), karides ve domuz eti bozulmasının gerçek zamanlı izlenmesi için solvent döküm yöntemiyle *Arnebia euchroma*'dan elde edilen selüloz ve naf-tokinon boyarmaddelerine dayalı kolorimetrik filmler geliştirmiştir. Filmlerin rengi taze karides ve domuz etinde gül kırmızısına, yarı bozulmuş karides ve domuz etinde mora, tamamen bozulmuş karides ve domuz etinde ise mavimsi menekşe rengine kadar değişmiştir.

Ezati vd. (2021), şikonini selüloz kağıdına emdirerek bir gıda tazelik göstergesi hazırlamıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre, gıda tazelik göstergesi 4 aylık depolamadan sonra yüksek stabilite sergilemiş ve pH değişikliklerine karşı yüksek duyarlılığını korumuştur. Şikonin/selüloz kâğıt gıda tazelik göstergesinin rengi pH değerine bağlı olarak kırmızıdan koyu maviye değişmiştir. Gıda tazelik göstergesini oda sıcaklığında depolama sırasında balık ve domuz tazeliğini izlemek için kullanmışlar ve renk değişimi ile balık ve domuz eti kalite özellikleri arasında yüksek bir korelasyon gözlemlemişlerdir. Son olarak, şikonin bazlı etiketler ile paketlenmiş gıdaların kalitesini izlemek için mükemmel bir gerçek zamanlı akıllı ambalaj malzemesi olarak önermişlerdir.

Başka bir araştırmada, keçi boynuzu sakızı, polivinil alkol ve horozibiği çiçeğinden elde edilen betasiyaninleri kullanarak pH ve amonyak algılama işlevine sahip solvent döküm yöntemiyle akıllı bir indikatör geliştirilmiştir. İndikatör, ilk kullanımında kırmızı-mordan bozulmuş karideslerde kahverengi/sarıya kadar net renk değişiklikleri göstermiştir (Wu vd., 2021).

Kan vd. (2022), domuz eti ve karidesin tazeliğini/bozulmasını izlemek için 14 farklı bitkiden aldıkları antosiyaninleri polivinil alkol/nişasta filmine ekleyerek verimliliklerini karşılaştırmışlardır. Filmin pH duyarlılığı, kaynağa ve antosiyanin içeriğine bağlı olduğunu ancak her bir gıdanın tazeliğini izlemedeki indikatörün verimliliği aynı zamanda antosiyanin türüne bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Örneğin, mor lahana ve

patlıcan/*Lycium ruthenicum* ekstraktı içeren etiketler sırasıyla domuz eti ve karides tazeliğini izlemek için uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

2.8.2. Etiket üretim yöntemleri ile ilgili araştırmalar

Trimetilamin (TMA), dimetilamin (DMA) ve amonyak (NH₃) gibi balık bozulmasıyla ilişkili balığın karakteristik kokusunu oluşturan uçucu aminlerden dolayı; balık etinde bulunan toplam uçucu bazik nitrojenin (TVB-N) Avrupa Birliği (AB) tarafından balık tazelik göstergesi olarak kabul edildiği ve buna göre balığın TVB-N bozulma eşiğinin 100 g et için 35 mg olduğu ve bu seviyenin üzerinde ise tüketime uygun olmadığı belirtilmiştir. (Directive E.U., 2008).

Kuswandi vd. (2012), polianilin film kullanarak balık bozulmasını takip ettikleri çalışmalarında polianilin filmin toplam renk değişimlerinin, balıkların TVB-N seviyeleri ile iyi korelasyon gösterdiğini, TVB-N'nin yanı sıra, süt balığı (*Chanos chanos*) üzerinde yapılan denemelerde polianilin filmin balık örneklerindeki mikrobiyal büyüme modelleriyle tepkisinin, özellikle de değişen mikrobiyal yük ile (toplam bakteri sayısı ve *Pseudomonas* spp.) iyi bir korelasyon gösterdiğini ifade etmişlerdir

Yoshida vd. (2014), kitosan tabanlı ve pH renk ölçüm göstergesi olarak kullanılan antosiyanin içeren akıllı etiket oluşturdıkları çalışmalarında, üretim sürecinin basit olduğunu, oluşturulan etiketlerin biyolojik olarak parçalanabilir özelliğe sahip olduğunu ve etiketlerin en önemli özelliklerinden birinin doğal ve güvenli bileşikler içermesi olduğunu ifade etmişlerdir.

Yoshida vd. (2014), pH, su aktivitesi, mevcut oksijen seviyesi vb. gibi birçok faktörün gıdanın raf ömrünü etkileyebileceğini, lezzet, dayanıklılık ve raf ömrünü etkileyebilecek kimyasal reaksiyonlar ve mikroorganizma artışı gıda pH'ında değişiklikler meydana getirdiğini bildirmişlerdir.

Zhang vd. (2014), çalışmalarında dunn çiçeğinden (*Bauhinia blakeana*) ekstrakte edilen doğal boyaların, kitosan içinde hareketsizleştirilerek, pH 2 ve pH 9 aralığında kırmızıdan yeşile değişen bir kolorimetrik pH gösterge etiketi ile kalite izlemesinin yüksek verimlilikle sağlandığını bildirmişlerdir.

Silva-Pereira vd. (2015), yaptıkları çalışmalarında yenilenebilir ve pahalı olmayan kitosan, mısır nişastası ve kırmızı lahana ekstraktı bileşiklerini içeren pH izleme sistemi oluşturmuşlardır. Sistemin iyi optik ve morfolojik özelliklere sahip olduğunu, pH

değişimlerine karşı çok hassas olduğunu ve uygulama testi sırasında, sistemin pH değişikliklerini görsel olarak gösterdiğini, bu nedenle gıdanın saklama ve tüketim koşullarının görsel bir göstergesi olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Ghaani vd. (2016), akıllı paketlenmenin gıda paketlenme alanındaki en yeni teknoloji olduğunu, bu teknolojinin hala büyümekte ve ticari olarak tam anlamıyla uygulanabilir olmasa da gıda ürünlerinin güvenliğini, kalitesini ve izlenebilirliğini ve kolaylaştırmak için muazzam bir potansiyele sahip olduğunu ifade etmiştir.

Mo vd. (2017), gözenekli anodik alüminyum (PAA) membran tabanlı ve bromokresol yeşili ile oluşturdukları pH'a duyarlı akıllı etiket ile balık kalitesini gözlemlemişlerdir. Tilapia balığı üzerinde gerçekleştirdikleri etiket denemelerinde balığın bozulması ile TVB-N değerinin artışına bağlı olarak etikette renk değişimlerini incelemişler ve 25 °C'de 6 saatin sonunda 20 mg/100 g TVB-N değerinde etiketlerin sarı renkten yeşil renge net bir şekilde değiştiğinin gözlemlemişlerdir.

Kuswandi ve Nurfawaidi (2017), sığır etinin tazeliğini izleyebilen bir etiket üretmek için Whatman kağıdının (No.1001) bir kesimini 12 saat boyunca metil kırmızısı çözeltisine daldırıp kaplayarak paket üzerine entegre edilebilir bir akıllı etiket geliştirmişlerdir. Akıllı etiketin renk değişimi ile etteki bakteri sayısı arasında net bir korelasyon bulmuşlardır.

Bir çalışmada, mısır nişastasının ekstrüzyonu sırasında antosiyanince zengin yaban mersini özütünün bozulması ile etiketin pH'a duyarlılığına sahip olmadığı ve başarısız bir etiket üretimi ile sonuçlandığı bildirmiştir (Gutiérrez Carmona ve Alvarez, 2018).

Aghaei vd. (2018), bir çalışmada selüloz asetat elektrospin nanoliflerini, alizarin pigmentinin desteği olarak kullanılmıştır.

Wu vd. (2018), çalışmalarında havuz balıklarındaki bozulmayı izlemek için özel bir yeteneğe sahip bir 3D yazıcı ile antosiyanin içeren tek katmanlı polisakkarit bazlı bir akıllı etiket hazırlamıştır. Antosiyaninler tarafından gömülmüş kitosan-agaroz filmi, anot yapılmış iletken bir plaka üzerine yerleştirilmiş ve katot yapılmış paslanmaz çelik iğne, OH⁻ oluşturmak ve belirli bir desen kazımak için 3D yazıcı tarafından film üzerinde hareket ettirilmiştir. Geliştirilen akıllı etiketin kabul edilebilir bir stabiliteye sahip olduğunu, gerçek gıdalara, hidrojen klorür ve amonyak gazlarına maruz kaldığında renk değişimi gösterebilme özelliğinde olduğunu bildirmişlerdir.

Dominguez-Aragon vd. (2018), tilapia (*Oreochromis niloticus*)'ların tazelik derecesini izlemek için, 1:1 molar oranında orto-fenilendiamin kopolimer'ine ve anilinin'e dayanan kolorimetrik bir yöntem geliştirmişlerdir. 10 °C'de saklanan tilapia filetolarında meydana gelen TVB-N miktarı ve mikrobiyolojik yükünün (*Pseudomonas spp*), kopolimerin renk değişimi ile iyi korelasyon göstererek ve 48 saat sonra insan tüketimine uygun olmadığını gösterdiğini belirlemişlerdir.

Halász ve Csóka (2018), çalışmalarında kolorimetrik pH indikatör filmleri hazırlamak için farklı miktarlarda siyah kuş kirazı (*Aronia melanocarpa*) prina özütünü kitosan ile karıştırmışlar ve kitosan filmlerdeki hareketsizleştirilmiş ekstrakt boyanın, 1-10 pH aralığında yüksek renk farkı gösterdiğini bildirmişlerdir.

Sun vd. (2019), amur kirazı (*Prunus maackii*) suyu katarak k-karragenan ve hidroksipropil metilselüloza dayalı pH duyarlılığı ve antioksidan aktiviteye sahip yeşil bir film oluşturarak yaptıkları deneylerinde *P. maackii* suyu ilavesinin filmin gerilme mukavemetini, kompaktlığını, bariyerini ve antioksidan aktivitesini arttırdığını, pH'ın 3'ten 13'e yükseltildiğinde filmin renginin koyu kırmızıdan mavi-griye değiştiğini bildirmişlerdir. Termogravimetrik analiz sonucunda, Amur kirazı suyu ilavesinin filmin termal stabilitesi üzerinde önemli bir etkisi olmadığını, domuz etindeki uçucu baz nitrojen içeriği $19,26 \pm 0,84$ mg/100 g olduğunda film renginin kırmızıdan maviye değiştiğini, *P. maackii* suyu içeren yeşil filmin hem yağ paketleme hem de domuz eti tazeliğini test etmek için etiket olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Peralta vd. (2019) çalışmalarında, biyoaktif su ebegümeci (*Aqueous hibiscus*) ekstratı içeren doğal polimerik (kitosan, jelatin ve nişasta) film tabanlı akıllı etiketi incelemişlerdir. Akıllı etiketlerde gözle görülür renk değişimi olduğunu, bunun tamamen etiketlerde bulunan antosiyaninler ve diğer fenolik bileşiklerle ilişkili pH'a bağlı olduğunu bildirmişlerdir.

Huang vd. (2019), Wuchang çipurasının (*Megalobrama amblycephala*) soğukta (4 °C) ve oda koşullarında (25 °C) muhafazasında tazelik değişimlerini izlemek için *Arnebia euchroma* kökünden ekstrakte edilen doğal boya ile agar birleşiminden oluşturdukları yeni bir gösterge filmi kullanmışlar, balık bozulması süresince etiketteki renk değişimini, TVB-N ve toplam bakteri sayısını ölçümleri ile simultane olarak 4 saatlik periyotlarla takip etmişlerdir. Doğal boya ekstratı içeriğine sahip gösterge etiketinin, balık bozulma sırasında belirgin renk değişimi gösterdiğini ve tazelik etiketinin renk tepkisi, balık

örneğindeki toplam bakteri ve TVB-N içeriğinin bozulma eşiği ile tutarlı olduğunu, geliştirilen kolorimetrik gösterge etiketinin, görünür renk değişikliği ile balık bozulmasını başarıyla gösterebildiğini ifade etmişlerdir.

Moradi vd. (2019), soğuk muhafaza koşullarında (4 °C) depoladıkları sazan (*Cyprinus carpio*) ve gökkuşağı alabalıklarının kalitelerini izlemek için bakteriyel nanoselüloz ve havuç antosiyaninlerine dayalı bir pH'a duyarlı etiket geliştirmişler, etiketin, 2–11 pH aralığında iken çıplak gözle açıkça fark edilebilen kırmızıdan griye geniş renk farklılıkları gösterdiğini, her iki balıkta da bozulma aşamalarında (taze-tüketilebilir-bozuk) belirgin renkler gösterdiğini ayrıca gökkuşağı alabalığı ve sazan örneklerindeki gösterge etiketinin toplam renk farkı değerleri ile bakteri sayısı ve TVB-N değerleri arasında güçlü ve pozitif bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir.

Bozulmuş balıklardaki uçucu bazik azot metabolitlerini tespit etmek için alçak yoğunluklu polietilen (LDPE) ve bromofenol mavisinin ekstrüzyon-üfleme kalıplamasıyla LDPE bazlı bir etiket geliştirilmiştir. Bozulma sırasında, etiketin rengi sarıdan maviye değişmiştir ve renk değişimi ile bakteri sayısı arasında güçlü bir korelasyon bulunmuştur (Wells vd., 2019).

Ebrahimi Tirtashi vd. (2019), kaplama verimi %14,25 olan ve nem direncini artıran gıda tazelik göstergesi rapor etmişlerdir. Çalışmada sütün tazeliğini/bozulmasını tespit etmek için sol-jel kitosan-selüloz kompozit matrisi kullanarak gıda tazelik göstergesi geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, ilk olarak kitosan çözeltisi içinde tetraetilortosilikat, çinko oksit (ZnO) nanoparçacık ve havuç antosiyaninleri ile bazik katalizli bir sol-jel çözeltisi hazırlamışlardır. Daha sonra Whatman filtre kâğıdı, iki katmanlı bir etiket geliştirmek için hazırlandığı gibi bir sol-jel çözeltisine daldırılarak kaplanmıştır. Çapraz bağlayıcı olarak ZnO nanopartiküllerinin varlığı, gıda tazelik göstergesinin bütünlüğünün korunmasına yardımcı olmuş ve Whatman filtre kağıdının depolama ve uygulama sırasında küçülmesini önlediğini ifade etmişlerdir.

Ezati vd. (2019b), benzer bir kitosan sol-jel sistemi ve et uygulaması için alizarin ile en yüksek renk stabilitesine sahip akıllı etiket hazırlamışlardır. Sonuçlar, etiketin 4 °C'de en yüksek renk stabilitesine sahip olduğunu ve bazik aralıkta daha yüksek hassasiyete sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Latos-Brozio ve Masek (2020), polilaktik asit (PLA) için 180 °C ve polihidroksibütirat (PHB) için 160 °C'de bir ekstrüzyon işlemi kullanarak iki biyolojik olarak parçalanabilir

polimer (PLA, PHB) ve dört gıda renklendiricisi (kurkumin, β -karoten, klorofil ve lutein) ile etiket geliştirmiştir. Görünür renk yükleri yalnızca β -karoten, kurkumin ve lutein içeren ekstrüde polimerlerde gösterilmiştir.

Bir çalışmada, filtre kağıdını etanol, hidroklorik asit ve silikon alkoksit  nc  karışımlarının yanı sıra bromokresol yeşili içeren bir sol-jel çözeltisine daldırarak balık tazeliğinin tespitinde kullanmak için bir gösterge geliştirmişlerdir ve yüksek pH hassasiyetli bir gıda tazelik indikatörü üretmişlerdir (Liu vd., 2020).

Aghaei vd. (2020), alabalık tazeliğini izlemek için zein nanofiber ile alizarin rengine dayalı yüksek hassasiyetli bir elektrospin nanosensör geliştirmiş ve alizarinin %3,92'sinin suya sızdığını gözlemlemiştir.

Guo vd. (2020), domuz etinin tazeliğini izlemek için elektrospin tekniğı ile akıllı çift katmanlı fiber matlar üretmişlerdir. Matları, akıllı etiketin tabakası olarak bir pullulan-mor tatlı patates özü tabakasından ve aktif bir film olarak zein-gliserol-karvakrol tabakasından oluşturmuştur. Etiket katmanının kolorimetrik tepkisi üzerine yaptıkları araştırma, elektrospin matların gıda tazeliğinin izlenmesindeki büyük potansiyelini göstermiştir. Domuz etinin 25  C'deki raf ömrü boyunca matlarda tersine çevrilebilir ve yüksek hassasiyetli renk değişimi gözlenmiştir.

Zhai vd. (2020), elektrokimyasal yazma ile iki katmanlı, amine duyarlı bir akıllı etiket tasarlamışlardır. Algılayıcı katman olarak agar ve g l antosiyanileri ile destekleyici katman olarak gellan sakızı ve TiO₂ kullanarak iki aşamalı döküm yöntemiyle iki katmanlı hidrojel hazırlamışlar. Gıda bozulması sırasında, akıllı etiket g l kırmızısından yeşile renge dönüşmüş ve domuz eti ve sazanın görsel raf ömrü tahmini için önerilmiştir.

Liu vd. (2020)  alışmalarında, balık tazeliğini izlemek için bromokresol yeşili (BCG) bazlı filtre kağıdına kaplanmış bir sol-jel matris tabakası ile kolorimetrik izleme etiketi geliştirmişlerdir. Akıllı etiketin rengi değiştikçe balık tazeliğinin çıplak gözle açıkça tespit edilebildiğini, Hue (H) değerlerinin, TVB-N konsantrasyonu ile oda sıcaklığında 16,4-23,11 mg/100 g aralığında, soğuk muhafazada ise 9,28-24,12 mg/100 g aralığında doğrusal bir yanıt gösterdiğini belirlemişlerdir.

Ding vd. (2020)  alışmalarında, asidokromik boya ile modifiye edilmiş selülozu polivinil alkol (PVA) birleşimi ile bir pH sensörü geliştirmişlerdir. Sens rdeki boyanın (170,4  mol/g'ye kadar) selüloza başarıyla tutunduğunu, pH sensörünün, güçlü asidik ve alkali koşullar altında sızıntıya karşı m kemmел direnç gösterdiğini, pH sensöründe, pH 7, 10

ve 12 solüsyonları içerisinde sarı renkten tuğla kırmızısına ve mora doğru gözle görülür bir değişim olduğunu, bozulmuş karidese uygulandığında ise sarıdan kahverengiye belirgin bir renk değişikliği gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Zia vd. (2021), asidik ve bazik buharları tespit etmek için kırmızı lahana antosiyaninleri, polivinil alkol, polivinil pirolidon ve mikrokristalin selüloz bazlı yeniden kullanılabilir gözenekli bir gıda tazelik indikatörü geliştirmişlerdir. Gıda tazelik indikatörü, bazik ve asidik buharlara maruz kalma sırasında belirgin ve tersine çevrilebilir renk değişimi ortaya koymuştur. Materyalin gözeneklilik seviyesi mikrokristalin selüloz miktarı ile düzenlenmiştir. Geliştirilen gıda tazelik indikatörü etiketinin renk değişimleri, tavuk ve karidesin tazelik/bozulma aşamaları ile ilişkilendirilmiştir.

Yang vd. (2021), NH_3 'ü tespit etmeyi ve balık bozulmasını izlemeyi amaçlayan kompozit bir film üzerine farklı pH algılama desenleri basarak çift katmanlı UV koruyucu bir gıda tazelik indikatörü tasarlamışlardır. ZnO nanopartikülleri gömülü jelatin film ve dut meyvelerinden antosiyaninler içeren gellan sakızı, 3D baskı için destekleyici ve algılayıcı katmanlar olarak kağıtlanmıştır.

Li vd. (2022), ara katman olarak kitosan, dut antosiyaninleri ve limon otu esansiyel yağının 3D baskısı ile çift katmanlı bir akıllı etiket tasarlamışlardır. Cassava nişastası, üretilen akıllı etiket için koruyucu bir tabaka olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, soğutulmuş domuz eti bozulduğunda indikatörün renginin kırmızıdan gri-maviye değiştiğini ve renk parametrelerinin domuz etinin tazeliğini belirlemek için bir akıllı telefon tarafından otomatik olarak analiz edilebileceğini göstermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Soğan

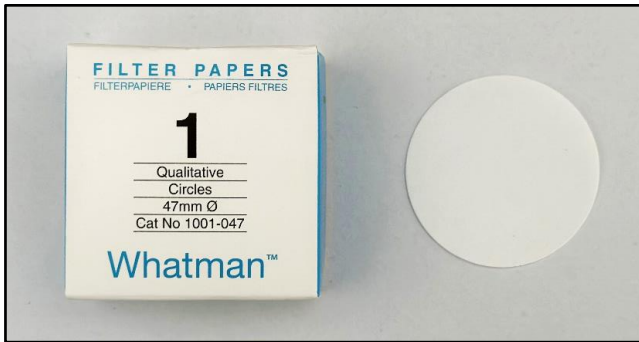
Araştırmada kullanılmak üzere İstanbul ilinde yer alan yerel bir firmadan 13 kg mor soğan (*Allium cepa* L.) temin edilmiştir. Temin edilen soğanlar Şekil 3.1’de verilmiştir. Soğanlar laboratuvara ulaştıktan sonra kullanılana kadar serin, kuru ve ışık almayan ortam koşullarında muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan mor soğanlar (*Allium cepa* L.)

3.1.2. Selüloz filtre kâğıdı

Balık paketlerine uygulanacak pH’a duyarlı akıllı etiket matrisi için selüloz taban olarak Whatman 1 numara (Ürün kodu: WHA1001-047) filtre kâğıdı kullanılmıştır (Şekil 3.2). Kullanılan filtre kağıdının özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.



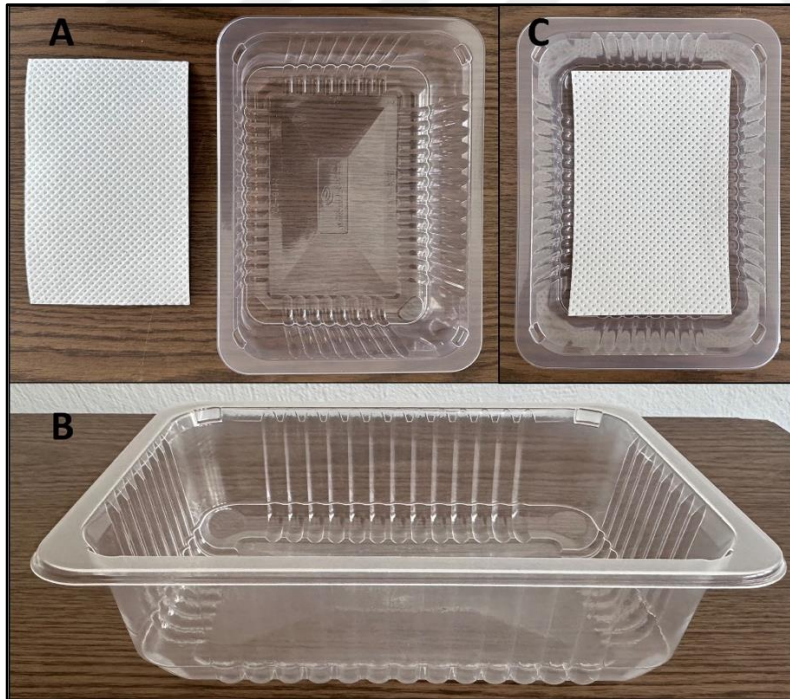
Şekil 3.2 Çalışmada kullanılan selüloz filtre kâğıdı

Tablo 3.1 Akıllı etiket matrisi olarak kullanılan filtre kağıdının özellikleri.

Materyal	Selüloz
Ticari İsmi	Whatman Article no.28413910
Parametreleri	0,25 psi ıslak patlama ve 150sn/100 mL emme özelliği (Herzberg)
Çapı	47mm
Kalınlık	180 µm
Kül Oranı (%)	≤0,06
Gözenek Büyüklüğü	11µm (partikül tutma)
Temel Ağırlığı	87 g/m ²

3.1.3. Paketlemede kullanılan materyaller

Balık örneklerinin paketlenmesinde ısıya karşı dayanıklı olan ısıtıldığında kolayca erimeyen 19 cm boy, 14 cm en ve 5 cm yüksekliği olan polipropilen (PP) şeffaf plastik kaplar kullanılmıştır. Balık örnekleri plastik kaplara yerleştirilmeden önce 15,5 x 10 cm ebatlarında su emici ped konulmuştur (Şekil 3.3). Paketleri hermetik şekilde kapatılmasında sıvı ve gıda paketlerinde uygulanabilirliği olan, geri dönüştürülebilir özelliğe sahip polietilentereftalat poliprilen (PET PP) (Ürün No: 418571711954814) film kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 Balık paketlemede kullanılan plastik kap ve emici ped (A), plastik paketin yandan görünüşü (B), su emici pedin paket içerisine koyulmuş hali



Şekil 3.4 Balık paketlerinin kapatılmasında kullanılan film rulosu

3.1.4. Balık

Araştırmada hammadde olarak ortalama ağırlığı $2648,59 \pm 24,09$ g ve ortalama boyları $54,33 \pm 0,34$ cm olan toplam 71,5 kg 27 adet dişi gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) kullanılmıştır. Samsun/Yakakent'te bulunan Kuzey Su Ürünleri Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'nden hipotermi yöntemi ile hasat edilen taze balıklar merkez sıcaklığı kontrolü yapıp buzlanarak strafor kutulara yerleştirilmiş ve 2 saat içerisinde laboratuvara ulaştırılmıştır (Şekil 3.5). Şekil 3.6'da ise araştırmada kullanılan gökkuşığı alabalığı gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Araştırmada kullanılan balıkların temin edilmesi



Şekil 3.6 Araştırmada kullanılan gökkuşağı alabalığı

3.1.5. Araştırmada kullanılan cihaz ve ekipmanlar

Çalışmanın tüm aşamalarında kullanılan laboratuvar, cihaz ve ekipmanların detaylı listesi Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Araştırmada kullanılan cihaz ve ekipmanlar

Cihaz/Ekipman	Marka/Model	Kullanım Amacı
Santrifüj	Hettich/Rotina 420	Soğan kabuğu antosiyaninlerinin ekstraksiyonunda
Santrifüj-2	Nüve NF-800R	Soğan kabuğu antosiyaninlerinin ekstraksiyonunda
Hot Plate-Stirrer	Stuart CD-162	Kimyasal hazırlama, ekstraksiyon işlemlerinde sıcaklıklı manyetik karıştırıcı
Kurutma Dolabı	Nüve FN 500	Cam malzemelerin ve üretilen akıllı etiketlerin kurutulmasında
Öğütücü	Sinbo SCM 2934	Soğan kabuklarının ekstraksiyon işlemi öncesinde öğütülmesi amacıyla
pH Ölçüm Cihazı-1	WTW Profiline-pH 3110	Balık örnekleri pH ölçümü
pH Ölçüm Cihazı-2	ADWA-AD12	pH tampon çözelti solüsyonlarının hazırlanması aşamasında
Renk Ölçer	Konica Minolta CR-410	Balık eti örneklerinin ve akıllı etiketlerin renk ölçümünde
Gıda Kabı Kapama Cihazı	Cliopack-Clio 06	Balık örneklerinin koyulduğu kapların film ile kapatılmasında
Tam Otomatik Pipetler	Brandtech Transferpette	Analizlerde ve kimyasal hazırlığında otomatik ölçüm (10, 20, 200,1000 ve 5000 µl)
Toplam Uçucu Bazık Nitrojen (TVB-N) Destilasyon Ünitesi	Şimşek Labor AO-1106	Toplam Uçucu Bazık Azot tayininde
Homojenizatör	IKA T-25	Analizler öncesi örnek numunelerinin homojenizasyonu işleminde
Saf Su Cihazı	Millipore/RiOs-8	Analizlerde ve kimyasalların hazırlığında gereken saf su ihtiyacı için
Su Aktivitesi Cihazı	Novasina LabShift- _{aw}	Örneklerin su aktivite değerinin ölçümü amacıyla
Rotary Evaporator	Hei-VAP Core	Yağ tayini analizi aşamasında eter uçurma amacıyla
Hassas Terazı	Radwag/AS 220-C-2	Balık homojenizatının ve kimyasal maddelerin tartımında
Terazi	Radwag PS6000.R2	Balık örneklerinin tartımında
Termometre-1	TFA-T90	Balık eti merkez sıcaklığının ölçümünde
Termometre-2/Nem Ölçer	HTC-1	Oda ve buzdolabında nem ve sıcaklık koşullarının takibinde
Paket İçi Gaz Ölçüm Cihazı	Oxybaby M+	Atmosfer paketlenen balık örnekleri paketindeki gaz ölçümü amacıyla
Ocak (4 gözlü)	FERRE	Duyusal Analiz sırasında pişirme deneyinde kullanımı amacıyla

Devam ediyor...

Cihaz/Ekipman	Marka/Model	Kullanım Amacı
Buzdolabı-1	Regal	Balık örneklerinin 4±2 °C’de muhafaza edilmesi amacıyla
Buzdolabı-2	Uğur	Balık örneklerinin 4±2 °C’de muhafaza edilmesi amacıyla
Buzdolabı-3	Vestel	Psikrofilik bakteri inkübasyonu amacıyla
Derin Dondurucu	Bosch (-30 °C)	Deneme sonu gerçekleştirilecek analizlerin örneklerinin saklanması
Laminar Akış Kabin	Bilser Class II	Güvenli ve Hijyenik koşullarda mikrobiyolojik ekim amacıyla
Dikey Otoklav	Nüve OT- 40L	Analizlerde kullanılacak malzemelerin sterilizasyonu amacıyla
İnkübatör	Microtest min 120	Anaerob ve psikrofilik bakteri grupları hariç diğer tüm bakteri gruplarının inkübasyonunda
Karbondioksitli İnkübatör	Heal Force HF90 CO ₂	Anaerob bakteri inkübasyonunda
Stomayer	MAYO	Mikrobiyoloji analizi için dilisyonlarının eldesi öncesinde peptonlu su ile homojenizasyon işleminde
Protein Yakma Ünitesi	Buchi Speed Digester K-425	Protein analizi için balık etinin yakılmasında
Protein Destilasyon Cihazı	Buchi K350	Protein analizinin destilasyon aşamasında
6’lı Soxhlet Yağ Tayin Cihazı	Soxhlet Gerhardt	Yağ analizi tayinde
Kül Fırını	Protherm	Taze balık etinde ham kül miktarının tespiti amacıyla
Fotoğraf Makinesi	Canon EOS 1200D/Apple iPhone 14 Pro Max	Balık örneklerinin ve akıllı etiketlerin analiz günlerinde fotoğraflanmasında

3.1.6. Araştırmada kullanılan kimyasal malzemeler

Araştırmada kullanılan kimyasal ve mikrobiyolojik malzemeler Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3 Araştırmada kullanılan kimyasal malzemeler.

Kimyasal adı	Marka	Ürün Numarası
Magnezyum oksit (MgO)	Tekkim	TK.200920.01000
<i>Pseudomonas</i> selective agar base (Cetrimide agar)	Merck	1.05284.0500
Sodyum hidroksit (NaOH)	Merck	1.06498.1000
Hidroklorik asit (HCl) (%37)	Merck	1.00317.2500
MRS (de MAN, ROGOSA ve SHARPE) agar	Merck	1.10660.0500
Parafin (Likit)	Tekkim	TK.200630.05001
Alkali peptonlu su	Merck	1.01800.0500
Plate count agar (PCA)	Merck	1.05463.0500
Borik asit (H ₃ BO ₃)	Merck	1.00165.1000
Sülfürik asit (H ₂ SO ₄)	Merck	1.00731.2500
Violet red bile agar (VRBA)	Merck	1.01406.0500
Dietil eter ((C ₂ H ₅) ₂ O)	Merck	1.00923.5000
Kjeldahl katalizör tabletleri	Merck	1.15348.1000
Ethanol (C ₂ H ₅ OH) (%70)	Merck	1.00967.2500
Baktident oksidaz	Merck	1.13300.0001
Baktident katalaz	Merck	1.11351.0001
Taşhiro indikatörü	Norateks	1.18021.0100
NaCl	Merck	1.06404.1000
Patato dextrose agar (PDA)	Merck	1.10130.0500

3.2. Yöntem

3.2.1. Çalışma planı

Araştırma Tablo 3.4’te belirtildiği gibi 3 aşamalı olarak planlanmıştır. İlk aşamada akıllı etiketler üretilmiştir. 2. ve 3. aşamada ise akıllı etiketler paketlere entegre edilerek deneme gerçekleştirilmiştir. Deneme 2 tekerrür olacak şekilde 20 gün sürmüştür.

Tablo 3.4 Araştırma aşamaları.

Aşamalar	Yapılan işlemler
1. Aşama	Soğan kabuğu antosiyaninlerinin eldesi ve selüloz filtre kağıtlarına immobilizasyonu ile pH’a duyarlı akıllı etiketlerin oluşturulması
2. Aşama	Araştırma materyalinin temini ile örnek gruplarının oluşturulması ve pH’a duyarlı akıllı etiketlerin paketlere entegre edilmesi
3. Aşama	Buzdolabı koşullarında muhafaza, analizler ve verilerin elde edilmesi

3.2.2. pH'a duyarlı akıllı etiketlerin hazırlanması

pH'a duyarlı akıllı etiketler, Kuswandi ve Nurfawaidi (2017) tarafından geliştirilen absorpsiyon yöntemi kullanılarak ve belirli modifikasyonlar yapılarak üretilmiştir. Bu yöntem 3 aşamada gerçekleştirilmiştir;

- İlk aşamada soğan kabukları, ekstraksiyon işlemine hazırlanmıştır.
- İkinci aşamada hazırlanan bu kabukların antosiyaninlerini içeren renklendirici solüsyon hazırlanmıştır.
- Üçüncü aşamada ise, selüloz filtre kağıtları bu solüsyona daldırılarak antosiyaninlerin filtre kağıdına absorpsiyon prensibiyle immobilizasyonu gerçekleştirilmiştir.

İşlem süreci, antosiyaninlerin filtre kağıdına sabitlenmesi adına temel bir adım olarak tanımlanabilir. İşlem aşamalarının detayları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

3.2.2.1. Soğan kabuklarının hazırlanması

Mor soğanın kabukları, etli olan yumru gövdeye ulaşıncaya dek soyulmuş ve 13 kg mor soğandan 230 gram kabuk elde edilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Kabukları soyulmuş soğan yumru gövdesi (A) ve soğan kabuğu (B)

Mor soğan kabukları, ekstraksiyon işlemi için hazırlanırken, öncelikle toprak gibi yabancı ve kirletici maddelerin uzaklaştırılması için çeşme suyu altında 2 dakika yıkanmıştır. Ardından, yıkanan soğan kabukları bir süzgeç içine alınarak fazla suyun süzülmesi için 2 saat bekletilmiştir. Bu süreçten sonra, tüm nemin uzaklaştırılması amacıyla, soğan kabukları bir tepsi üzerine yerleştirilmiş ve sıcaklığı 37 °C ayarlanmış kurutucu dolapta 6 saat bekletilmiştir. Kurutma süresinin sonunda, başlangıçta 230 gram olan soğan kabuklarının ağırlığı %52,17 azalarak 110 grama düşmüştür. Kuruyan soğan kabukları

öğütücü yardımıyla öğütülerek antosiyaninlerinin ekstraksiyonu işlemine hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Ekstraksiyon işlemi öncesi öğütülmüş soğan kabukları

3.2.2.2. Soğan kabuğundan renklendirici solüsyonun hazırlanması

Soğan kabuğundan antosiyaninlerin ekstraksiyonu, Choi vd., (2017) tarafından belirtilen yöntemle dayanarak, belirli modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak temizlenmiş ve öğütülmüş soğan kabuklarından 100 gram örnek tartılmış daha sonra, kabuk ve çözücü oranı 1:30 (w:v) olacak şekilde 3000 ml hacimde %40'lık sulu etanol çözeltisi hazırlanmıştır. Tartılan 100 gram öğütülmüş soğan kabuğu, hazırlanan %40'lık sulu etanol çözeltisi içine eklenmiştir. Bu karışıma, çözeltinin pH'ını 2'ye düşürene kadar 1 M HCl eklenmiş ve pH 2'ye ayarlanan etanol-su çözeltisi, ışık almayacak şekilde sürekli karıştırılarak 24 saat boyunca bekletilmiştir (Şekil 3.9). Bahsedilen tüm oranlar, çalışma öncesinde yapılan ön denemelerle belirlenmiştir.

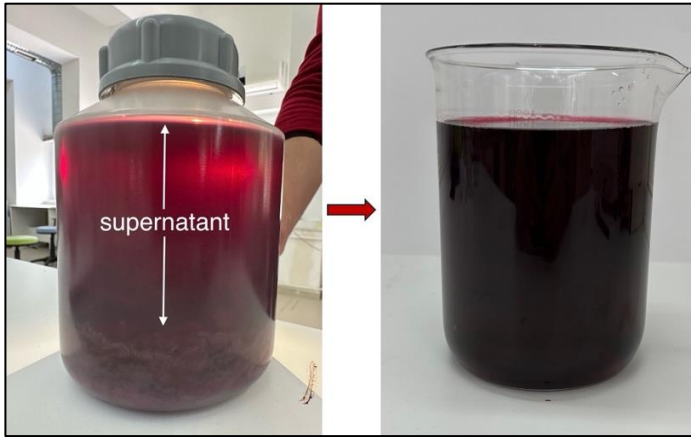


Şekil 3.9 Soğan kabuğu eklenmiş %40'lık etanol çözeltisi

24 saatlik bekletme süresinin sonunda, etanol çözeltisinde çözünmeyen büyük partiküllerin ayrıştırılması için 15 dk süreyle 4000 rpm’de santrifüj işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10). Daha sonra santrifüj tüplerindeki berrak süpernatantlar sonraki işlem için ayrı bir kaba toplanmıştır (Şekil 3.11). Bu santrifüjleme işlemi tüm solüsyonun kabuklardan ayrılması için kadar 3 kez tekrarlanmıştır. Toplanan süpernatant içinde daha küçük boyutta olan ve çözünmemiş olan partikülleri ayırmak için, tüm süpernatant huni yardımıyla 3 kez Whatman no.1001-047 filtre kağıdından geçirilmiştir (Şekil 3.12). Bu aşamalar sonunda küçük ve büyük partiküllerden arındırılmış soğan kabuğu antosiyaninlerini içeren 2800 ml nihai renklendirici solüsyon elde edilmiştir (Şekil 3.13). Başlangıçta pH’ı 2 olan çözeltinin, işlem sonunda pH’ı 3,15 olarak ölçülmüştür.



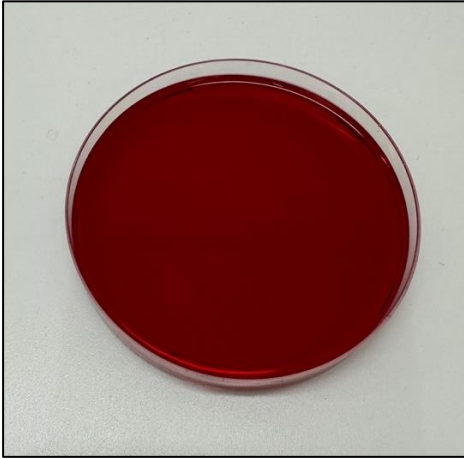
Şekil 3.10 Etanol-kabuk karışımının santrifüj işlemi



Şekil 3.11 Santrifüj işleminden sonra süpernatantların toplanması



Şekil 3.12 Süpernatantların filtre edilmesi ve renklendirici solüsyon eldesi

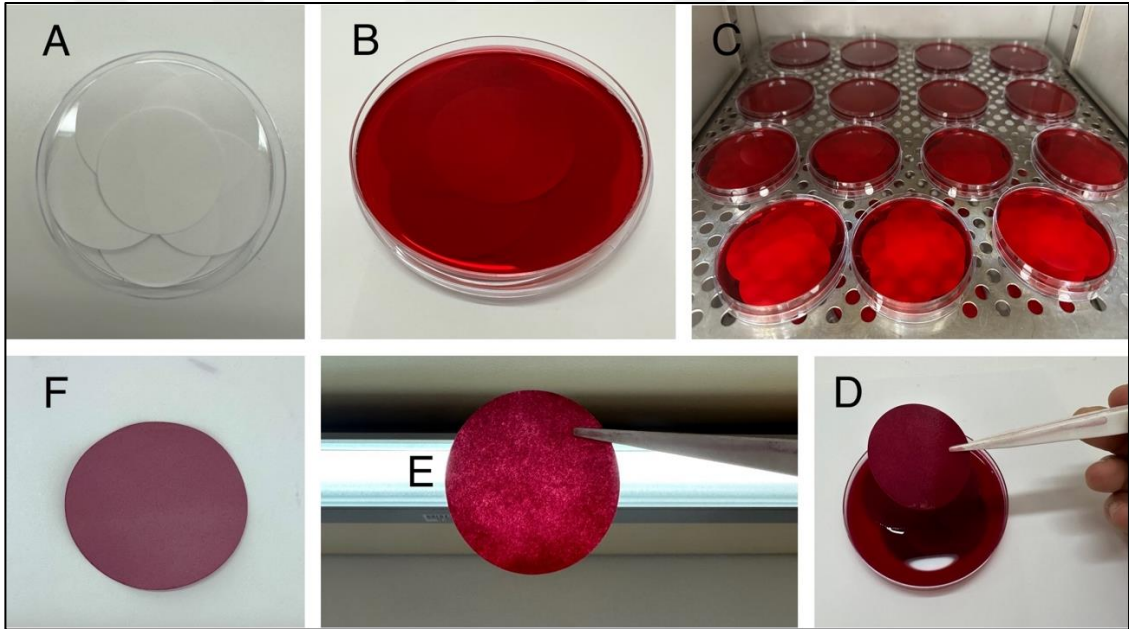


Şekil 3.13 Nihai renklendirici solüsyon rengi

3.2.2.3. Soğan kabuğu antosiyaninlerinin filtre kağıdına immobilizasyonu

Selüloz filtre kağıtlarına soğan kabuğu antosiyaninlerinin immobilizasyonu için 30 adet 90x17 mm ebatlarında aseptik steril petri kapları kullanılmıştır. Başlangıçta her bir petri kabına 30 ml hazırlanan renklendirici solüsyonundan eklenmiştir. Ardından, 6 adet filtre kâğıdı bu petri kapları içine daldırılmak suretiyle toplamda 180 adet filtre kâğıdı yerleştirilmiştir (Şekil 3.14 (B)). Renklendirici solüsyon ve selüloz filtre kâğıdı içeren

petri kapları ağızları açık bir şekilde sıcaklığı 37 °C'ye ayarlanmış kurutma dolabına yerleştirilerek 24 saat boyunca karanlıkta bekletilmiştir (Şekil 3.14 (C)). Her 8 saatte bir filtre kağıtları ters çevrilmiş ve yerleri değiştirilmiştir. Bu süreçte, buharlaşan renklendirici solüsyonun yerine toplamda 90 ml solüsyon olacak şekilde her seferinde eklemeler yapılmıştır. 24 saatlik sürenin sonunda kalan solüsyondan çıkartılan filtre kağıtları (Şekil 3.14 (D ve F)) önce fazla solüsyonun uzaklaştırılması için 1 saat sızdırılmış ve ardından karanlık oda koşullarında (22 ± 2 °C) kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan etiketler Şekil 3.14'te (F) gösterilmiştir. Kuruyan etiketler deneme kurulum gününe kadar ısı, ışık ve nemden korunmak üzere buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir. İmmobilizasyon işlemi öncesinde ve sonrasında 180 adet etiketin renk ve ağırlık değişimleri ile solüsyonun renk ölçümleri kaydedilmiştir.



Şekil 3.14 pH'a duyarlı akıllı etiketin hazırlanış işlem basamakları

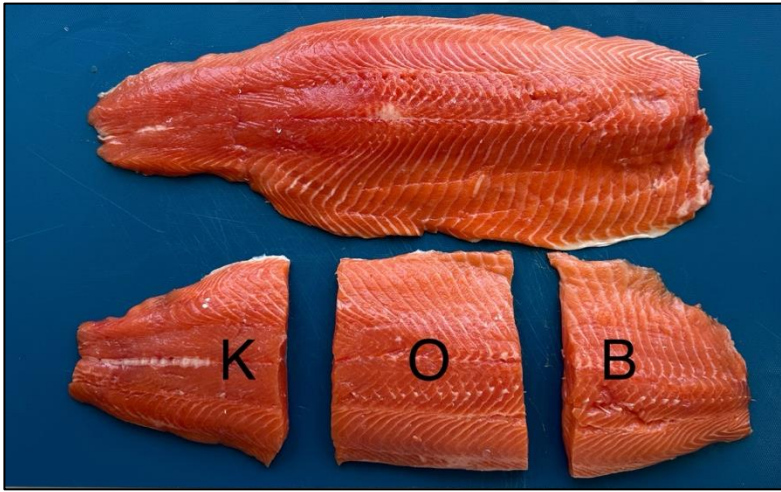
3.2.3. Gruplarının oluşturulması ve akıllı etiketlerin paketlere entegrasyonu

Laboratuvara getirildikten sonra ± 1 mm hassasiyetli ölçme cetveli ile boyu ve 0,01 g hassasiyetli elektronik terazi ile ağırlıkları belirlenen alabalıkların, kafa ve iç organları uzaklaştırılmış ardından derisiz fileto çıkarılmıştır (Şekil 3.15).



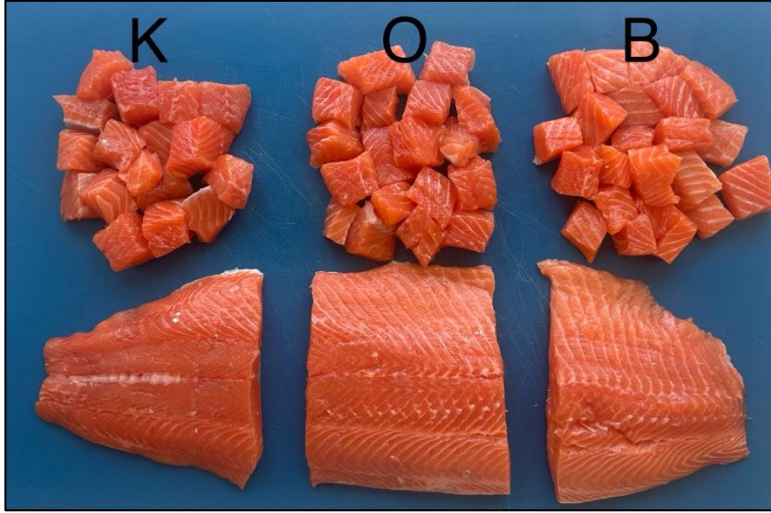
Şekil 3.15 Derisiz filetolar

Balıklardan elde edilen her bir bütün fileto anal ve dorsal yüzgece göre 3 eşit kısma bölünüp K, O ve B isimleri verilerek deneme grupları oluşturulmuştur (kuyruğa yakın olan filetoya; K, orta kısım; O ve baş kısma yakın olan filetoya; B) (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Bütün ve 3 eşit parçaya ayrılmış filetolar

K, O ve B gruplarına ait fileto parçalarının her biri ayrı kaplara koyularak homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Daha sonra K, O ve B gruplarına ait filetoların her biri yaklaşık 2 cm³ ebatlarında küp şeklinde doğranmıştır (Şekil 3.17). Her gruptaki küp haline getirilmiş balık miktarı 10750 g olacak şekilde paketleme öncesinde hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.18).



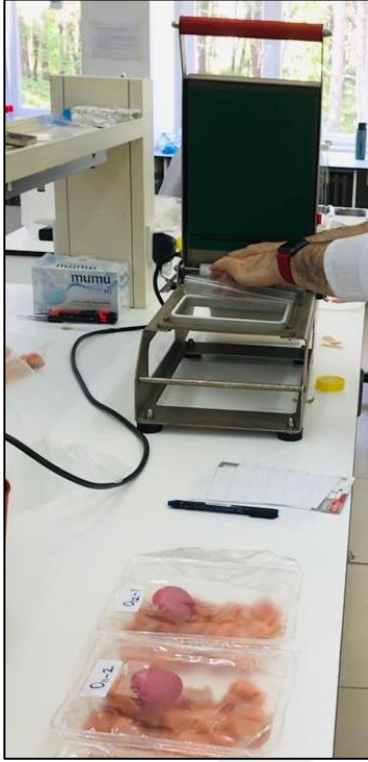
Şekil 3.17 Küp haline getirilmiş K, O ve B parçaları



Şekil 3.18 Paketleme öncesinde hazırlanmış K, O ve B grubu balık örnekleri

Tüm grupların paketlenmesi 2 tekerrürlü olarak ve analizler 20 gün sürecek şekilde planlanmıştır. Bu nedenle her grup için 40 paket balık örneği ve 3 pakette yedek örnek olmak üzere toplam 129 adet balık paketi hazırlanmıştır (3 grup x 2 tekerrür x 20 gün=120 adet ve 9 adet yedek paket ile toplam 129 paket). Her bir grup için paket içerisine önceden ağırlığı ölçülmüş su emici ped yerleştirilmiş daha sonra üzerine 250±2 gram balık örneği koyulmuştur. Balıkların paketlere yerleştirilmesinden sonra, sıcaklığı 180 °C'ye ayarlanmış paket kapatma makinesine yerleştirilmiştir (Şekil 3.19).

Paketlerin film ile kapatılması sürecinden önce, paketin üzerine gerilen filme, paketin tam tepe boşluğuna denk gelecek şekilde pH'a duyarlı akıllı etiketler yerleştirilmiştir. Bu işlem, çift taraflı bant yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Ardından, paketlerin kapatılması için filmler 6 saniye boyunca ısıya maruz bırakılmıştır. Her kapatma işleminden sonra paketlere hava giriş-çıkışı olup olmadığının kontrolü yapılmıştır. Akıllı etiket entegre edilerek kapatılan paket örneği Şekil 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.19 Etiket entegre edilmiş balık paketlerinin kapatılması



Şekil 3.20 Film ile kapatılmış paket örneği

3.2.4. Balıkların depolanması

Hazırlanan tüm gruplara ait paketler buzdolabına yerleştirilerek 4 ± 1 °C’de analiz gününe kadar muhafaza edilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Buzdolabına yerleştirilmiş balık paketleri

3.2.5. Analizler

Genel olarak çalışmada gerçekleştirilen analizler, çalışılan örnek sayıları ve analiz periyotlarına dair bilgiler Tablo 3.5’te sunulmuştur.

3.2.5.1. Fiziksel analizler

Boya solüsyonu ve etiketlerin renk tepkisi ve kolorimetrik analizi

Bu yöntemde Ghanbarzadeh vd., (2010)’nin bildirdiği yöntem kullanılarak mor soğandan elde edilen boya solüsyonu ve bu solüsyon ile üretilen pH’a duyarlı akıllı etiketlerin renk tepki etkinliği geniş bir pH aralığında incelenmiştir. Mor soğan kabuğu antosiyaninleri yüklü akıllı etiketler 2 cm² ebadında kesilerek her biri 10 ml olan HCl (0,1 M) sulu çözeltisine (pH 2, 3, 4, 5 ve 6), distile suya (pH 7) ve NaOH (0,1 M) sulu çözeltisine (pH 8, 9 ve 10) 5 dk boyunca daldırılmış ve renk ölçümleri "Commission Internationale de l'Eclairage" (CIE) (CIE, 1976) koordinat sistemi parametreleri (L*, a* ve b*) ile bir Konica Minolta/ CR-400 (ışık projeksiyon tüpü modeli: A33a) (Tokyo, JP) kullanılarak kaydedilmiştir. Tampon çözeltilere daldırılan her bir etiket yüzeyinden rastgele 4 noktadan alınan renk değerleri (L*, a* ve b*) ve daldırılmadan önce alınan renk değerleri (L₀*, a₀* ve b₀*) kaydedilmiş ve ortalama değerleri toplam renk farkının (ΔE) hesaplanmasında kullanılmıştır. Aynı şekilde mor soğan kabuğu boya solüsyonu pH 2 ve pH 14 aralığında oluşturulan her bir pH noktasına getirilerek renk varyasyonları

fotografik olarak kaydedilmiştir. Analiz 2 tekerrür olarak gerçekleştirilmiştir. ΔE hesaplamasında kullanılan formül şu şekildedir.

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3.1)$$

Amonyak buharı hassasiyeti

İndikatörlerin amonyağa karşı hassasiyetini değerlendirmek için bazı modifikasyonlar yapılarak Zhang vd. (2019)'nin bildirdiği yöntem kullanılmıştır. Bunun için önce bir behere 80 mL 1 M amonyak çözeltisi eklenmiş ve çözeltinin yüzeyinden 1 cm uzağa bir parça etiket (3×3 cm) yerleştirilmiştir. 20 saniye aralıklarla 3 dk boyunca indikatörün renk değişimleri fotoğraflanmış ve etiketlerin renk parametre değerleri Hunter Lab kolorimetre (Konica Minolta model CR-410, Japonya) kullanılarak her bir indikatörün RGB renk modeli (Kırmızı, yeşil ve mavi) kaydedilmiş ve indikatörlerin amonyum duyarlılığı (sRGB) aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir.

$$\begin{aligned} \Delta R &= |R_a - R_b| \\ \Delta G &= |G_a - G_b| \\ \Delta B &= |B_a - B_b| \\ S_{RGB} &= \left(\frac{\Delta R + \Delta G + \Delta B}{R_a + G_a + B_a} \right) \times 100 \end{aligned} \quad (3.2)$$

R_a , G_a ve B_a ; başlangıç referans parametreleri

R_b , G_b ve B_b ; amonyak buharı maruziyeti sonrası ölçülen değerler

Etiketlerin suda çözünürlüğü

Akıllı etiketlerin suda çözünürlüklerinin (SÇ) tespiti için Lotfi vd. (2018)'nin bildirdikleri yöntem kullanılmıştır. Kısaca, akıllı etiketler kare boyutlarında (400 mm^2) kesilerek ilk adımda, etüvde kurutulmuş (70°C 'de 24 saat) ve ağırlığı ölçülerek başlangıç kuru ağırlığı (W_1) kaydedilmiştir. Kurutulan numune daha sonra 100 ml deiyonize suya daldırılarak 24 saat boyunca 30°C 'de karıştırılmıştır. Daha sonra numune çıkarılmış ve ağırlık yaşı ağırlık (W_2) olarak kaydedilmiştir. Suda Çözünürlük (%) aşağıda yer alan formüllere göre hesaplanmıştır. Suda çözünürlük analizi 2 tekerrür ve 3 paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Suda Çözünürlük (\%)} = \left(\frac{W_2 - W_1}{W_1} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

Etiketlerin nem absorpsiyonu

Nem absorpsiyonu analizi için Indriyati vd. (2012)'nın belirttiği yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde kısaca, akıllı etiketlerin her birinden 20 x 10 mm²'lik bir parça kesilerek her bir etiket parçası içerisinde 20 ml distile su içeren ağzı kapanabilir kaplara yerleştirilerek oda sıcaklığında 120 saat boyunca bekletilmiştir. Belirtilen süre boyunca 24 saat aralıkla numuneler hazneden çıkarılmış ve 0,0001 mg hassasiyetli analitik terazi kullanılarak tartılmıştır. Nem alımı ölçümünden önce, filmler 2 gün boyunca 22 °C kontrollü oda sıcaklığında ve %55 bağıl nemde saklanmıştır. Nem absorpsiyonu analizi 2 tekerrür ve 3 paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Nem absorpsiyonu daha sonra aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir;

$$Nem\ Absorpsiyonu\ (\%) = \left[\left(\frac{W_t}{W_t - W_i} \right) \right] \times 100 \quad (3.4)$$

W_t: Akıllı etiketin belirli bir zamandaki ağırlığı (mg)

W_i: başlangıç ağırlığıdır (mg).

Paketi içi gaz ölçümleri

Analiz günlerinde çıkartılan balık paketlerinin gaz içerikleri, Oxybaby M+ marka paket içi gaz ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm öncesinde paket üzerine gaz sızdırmaz kauçuk yapıştırılmıştır. Daha sonra gaz ölçüm cihazında bulunan iğne uç bu kauçuk üzerinden pakete saplanarak gaz miktar (CO₂) değeri cihaz ekranında stabil hale gelip sinyal sesi duyulana kadar (yaklaşık 5 saniye) sabit bir şekilde tutulmuş ve kayıt altına alınmıştır.

Su kaybı analizi

Başlangıç ağırlıkları kaydedilen su emici pedler, analiz gününde buzdolabından çıkarılan paketlerden çıkartılarak “oransal ağırlık artışı” aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Nilson ve Ekstrand, 1994; Santos ve Regenstien, 1990).

$$Su\ kaybı(\%) = \frac{[(Ped\ son\ ağırlığı(g)) - ped\ ilk\ ağırlığı(g)]}{ped\ ilk\ ağırlığı(g)} \times 100 \quad (3.5)$$

Balık eti ve etiketlerin renk ölçümleri analizi

Renk ölçümleri "Commission Internationale de l'Eclairage" (CIE) (CIE, 1976) koordinat sistemi parametreleri (L^* , a^* ve b^*) ile bir Konica Minolta/ CR-400 (ışık projeksiyon tüpü modeli: A33a) (Tokyo, JP) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parametrelerden L^* değeri 0 (siyahlık) ve 100 (beyazlık) arasındaki parlaklığı, a^* parametresi kırmızı (+ değerler) veya yeşil rengi (- değerler), b^* parametresi ise sarı (+ değerler) veya mavi rengi (- değerler) belirtmektedir. Ayrıca örnek gruplarında tespit edilen CIE koordinat sistemi parametreleri ile beyazlık indeksi (WI), kırmızılık indeksi (RI) ve sarılık indeksi (YI) ve ΔE hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalarda kullanılan formüller sırasıyla formül 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10'da gösterilmiştir. Beyazlık indeksi (Whiteness Index-WI), teknik olarak bir numunenin ideal beyaz renkten sapmasını hesaplar. Bu formül, ideal beyaz referans noktasına olan uzaklığı ifade etmektedir. Kırmızılık indeksi (Redness Index-RI), kırmızılık (a^*) bileşeninin sarı-mavi (b^*) bileşenine oranını ifade eder. Formül sonucunda çıkan değerler kırmızılığın sarılığa göre kaç kat baskın olduğunu ifade etmektedir. Sarılaşma indeksi (Yellowness Index-YI), bir malzemenin sararmasını ölçmek için kullanılan bir ölçüttür.

$$WI = \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (3.6)$$

$$RI = a^*/b^* \quad (3.7)$$

$$YI = (142,86 \times b^*)/L^* \quad (3.8)$$

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3.9)$$

Su aktivitesi (a_w)

Su aktivitesinin (a_w) analizinde LabShift Novasina marka tam otomatik su aktivitesi cihazı kullanılmıştır. Cihazın ölçüm kutularına yaklaşık 4 g örnek eklenmiş ve sonuçlar cihaz ekranından okunarak kaydedilmiştir.

3.2.5.2. Kimyasal analizler

TVB-N analizi

Balık örneklerindeki toplam uçucu bazik azot (TVB-N) miktarı, Ludorf ve Meyer'in (1973) yöntemi olan Lücke-Geidel metodu kullanılarak belirlenmiştir. Örneğin 2 gramı homojenize edilmiş balık eti, tartılarak bir distilasyon tüpüne aktarılmıştır. Üzerine 100

ml saf su ve 0,5-1 gram arasında magnezyum oksit (MgO) eklenmiştir. Bir erlenmayer içerisine, 5 ml %3'lük borik asit ve 4 damla taşıro indikatörü ilave edilmiş ve 50 ml distile su eklenmiştir. Destilasyon cihazının buhar ucu, erlenmayerin içine daldırılmış pozisyonda tutulmuştur. Örnek, kaynama başlangıcından sonra 10 dakika süreyle distile edilmiş ve destilasyon işlemi sonlandırılmıştır. Erlenmayer içine toplanan distilat, 0,1 N HCl çözeltisi ile nötr noktaya kadar titrasyon yapılarak analiz edilmiştir. Numunelerdeki TVB-N miktarı aşağıda yer alan formüle göre hesaplanmıştır;

$$TVB - N(mg/100g) = (a \times 1.4 \times 100)/m \quad (3.10)$$

a: ml olarak harcanan 0.1 N HCl

m: Örnek miktarı (g)

pH ölçümü

Balık örneklerindeki pH ölçümü, Manthey vd. (1988) tarafından belirtilen yöntemle gerçekleştirilmiştir. WTW Profiline-pH 3110 dijital pH metre kullanılarak yapılmıştır. 2 gram homojenize balık eti, 20 ml saf su içinde (1:10 oranında) 3 dakika boyunca homojenize edilmiş ve pH metre probu bu çözeltiye yaklaşık 1 dakika boyunca daldırılarak numunenin pH değeri ölçülmüştür.

Toplam antosiyanin içeriği

Mor soğan kabuğu boyası solüsyonundaki toplam antosiyanin içeriğinin belirlenmesinde Lako vd. (2007) tarafından önerilen pH diferansiyel metodu kullanılmıştır. pH'sı 1'e ayarlanmış 0,025 M potasyum klorür (KCl) ve pH'sı 4,5'e ayarlanmış 0,4 M sodyum asetat (CH₃COONa) tampon çözeltileri hazırlanmıştır. Daha sonra her bir tampon çözeltisinden 9 ml alınarak içine 1 ml mor soğan kabuğu boyası içeren solüsyon eklenerek 10 kat seyreltme yapılmıştır. Çözeltiler seyreltmeden sonra 15 dakika bekletilmiş ve örnekler spektrofotometre kuvvetlerine aktararak 510 ve 710 nm dalga boylarında absorbans değerleri kaydedilmiştir. Sonuç absorbans değerleri aşağıdaki formüle yerleştirilerek total antosiyanin içeriği mg siyanidin-3-glikozit/100 mL olarak hesaplanmıştır.

$$A = (A_{510} - A_{700})_{pH:1} - (A_{510} - A_{700})_{pH:4,5} \quad (3.11)$$

$$\text{Toplam Antosiyanin Miktarı (mg/kg)} = \frac{A \times MA \times SF \times 1000}{\epsilon \times 1} \quad (3.12)$$

A: Absorbans

MA: Siyanidin-3 glikozit'in molekül ağırlığı (449,2 g/mol)

SF: Seyreltme faktörü (10)

ϵ : Siyanidin-3-glikozitin molar absorptivite katsayısı (26,900)

3.2.5.3. Mikrobiyolojik analizler

Çalışmada, toplam mezofilik aerob bakteri, toplam psikrofilik aerob bakteri, *Pseudomonas* spp., laktik asit bakteri, toplam koliform bakteri ve toplam maya-küf analizleri yapılmıştır. Analizlerde her gruba ait paketlerden aseptik koşullarda örnekler alınmıştır. Kısaca, analiz gününde buzdolabından çıkartılan balık örnekleri herhangi bir başka analize alınmadan önce paket yüzeyleri %70'lik etil alkol ile sterilize edilmiş ve yine sterilize edilmiş makas yardımıyla bunzen beki yanında paketler açılmıştır. Açılan paketlerden 10 g balık eti tartılarak steril kaplara ayrılmıştır. Örnekler daha sonra çift cidarlı ve ara filtre gözü olan steril stomayer torbalarına konmuş ardından üzerine 90 ml pepton ilave edilmiştir. MAYO Homogenius marka stomayerde antiseptik koşullarda homojenize edilmiştir. 10^{-1} 'den 10^{-6} 'ya kadar olan oranlarındaki dilüsyonlar; 1 ml homojenize edilmiş örnek ve 9 ml fizyolojik tuzlu su çözeltisi (%0,85 NaCl) kullanılarak hazırlanmıştır. Mikrobiyoloji analizi için ekimler steril olan kabin içerisinde steril petriler ile yapılmıştır

Mikrobiyolojik analizler, Lyhs vd. (2001), Gram ve Dalgaard (2002), ile Poli vd. (2006) tarafından belirlenen yönergeler doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, buzdolabı koşullarında muhafaza edilen alabalık türleri için en önemli bozulma kriterlerinden biri olan mezofilik ve psikrofilik aerob bakteri yükleri, 6-7 log kob/g seviyelerine ulaştığında sınırda olduğu ve 7 log kob/g'ı aşmaması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, alabalıklarda mezofilik ve psikrofilik aerob bakterilere ek olarak geçici bozucu organizmalar (ESO) sınıfına giren mikroorganizmalar (*Pseudomonas* spp., maya ve küfler, laktik asit üreten bakteriler) ile koliform bakteriler için üst sınırın 2-3 log kob/g olduğu ifade edilmiştir. Bu bağlamda, araştırmada mezofilik ve psikrofilik aerob bakteriler için üst sınır 6-7 log kob/g aralığında alınmış ve diğer mikrobiyolojik analizlerde ve koliform grubu bakteriler için üst sınır sırasıyla 6 log kob/g ve 3 log kob/g olarak kabul edilmiştir. Araştırmada sonuçlar log kob/g cinsinden verilmiş olup çalışma kapsamında gerçekleştirilen mikrobiyolojik analiz yöntemleri aşağıda sunulmuştur.

Toplam mezofilikve psikrofilik aerob bakteri sayımı

Toplam mezofilik aerob bakteri ve toplam psikrofilik aerob bakteri sayımları, Plate Count Agar (PCA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Besiyerleri, belirtilen tarife uygun olarak hazırlanmış ve petri kutularına dökülerek katılaşması için bekletilmiştir. Daha sonra, 0.1 ml'lik dilüsyonlardan alınan örnekler, sürme yöntemiyle ekim yapılmıştır. Mezofilik bakteri sayımı için petri kutuları 37 °C'de 2 gün boyunca, psikrofilik bakteri sayımı için ise 7 °C'de 10 gün süreyle inkübe edilmiştir (AOAC, 2000). İnkübasyon süresinin sonunda, petri kutuları gözlemlenmiş ve tüm koloniler "toplam bakteri" olarak sayılmıştır. Elde edilen sonuçlar standart prosedürlere göre hesaplanmış ve log kob/g cinsinden ifade edilmiştir (Halkman, 2005).

Pseudomonas spp. sayımı

Pseudomonas spp. analizi için *Pseudomonas* selective agar base (Cetrimide Agar, 10 ml gliserol ilaveli) kullanılmıştır (Brown ve Lowbury, 1965; Halkman, 2005). Petri kutularına 0.1 ml'lik dilüsyonlar eklenerek ekim yapılmış ve 48 saat süresince 35 °C'de inkübe edilmiştir (Halkman, 2005). Cetrimide agar üzerinde üreyen koloniler arasında oksidaz pozitif olanlar, *Pseudomonas* spp. olarak kabul edilmiştir.

Toplam koliform bakteri sayımı

Toplam koliform bakteri sayımı analizinde Violet Red Bile Agar (VRBA) kullanılmıştır. İşlem şu şekilde gerçekleştirilmiştir: 10 ml besiyeri petri kutularına konulmuş, katılaştıktan sonra üzerine 0,1 ml numune eklenmiş ve ardından 10 ml daha besiyeri ilave edilerek 35-37 °C'de 18-24 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi tamamlandığında, 1-2 mm çapında kırmızımsı bir presipitat zonu ile çevrili koloniler koliform grubu olarak sayılmıştır (Halkman, 2005).

Laktik asit bakterileri sayımı

Laktik asit bakterilerinin tespitinde 0,1 ml numune alınarak de Man Rogosa ve Sharpe Agar'a (MRS) yayma yöntemi kullanılarak ekim gerçekleştirilmiş ve 37 °C'de 3 gün süreyle inkübe edilmiştir (Kostaki vd., 2009). İnkübasyon süresi sonrasında MRS besiyerlerinde krem renkli, gram pozitif, katalaz negatif koloniler laktik asit bakterisi olarak değerlendirilmeye alınmıştır (Halkman, 2005).

Toplam maya-küf sayımı

Maya-küf sayımı için Potatos Dextroz Agar (PDA) besiyeri kullanılmıştır. Uygun şekilde hazırlanan besiyeri petri kaplarına dökülerek katılaşması beklenmiştir. Besiyeri donduktan sonra 0,1 ml dilüsyonlardan alınmış ve sürme metodu ile ekim yapılmıştır. Ekim işleminden sonra petri kutuları ters çevrilerek, 28 °C’de 3 günlük inkübasyondan sonra sayım yapılarak maya ve küf sayısı belirlenmiştir (Roger vd., 1987; Göktan, 1990; Varlık vd., 1993).

3.2.5.4. Biyokimyasal analizler

Katalaz testi

Bakterilerde katalaz enziminin varlığını veya yokluğunu belirlemek için yapılan testte, Baird Parker Agar besiyeri üzerindeki şüpheli kolonilere Baktident katalaz (%3’lük hidrojen peroksit) damlatılmıştır. Damlatma işleminden sonra, 1 dakika içinde gözle görülür gaz çıkışı olan koloniler katalaz pozitif olarak değerlendirilmiştir (Halkman, 2005).

Oksidaz testi

Oksidaz enziminin varlığını belirlemek için yapılan bu testte, besiyerinde üreyen şüpheli bir koloni 1 ml saf suda tamamen çözündürülmüş ve ardından test şeridinin reaksiyon bölmesine transfer edilmiştir. Bir dakika içinde mavi-menekşe renge dönüşen şeritler oksidaz pozitif olarak değerlendirilmiştir (Halkman, 2005).

Gram boyama

Agar içeren besiyerinde bulunan bir koloni, 1 ml fizyolojik tuzlu su çözeltisi içinde çözündürülmüş ve daha sonra bu kültürden temiz bir lam üzerine 1-2 öze dolusu alınarak yayılmıştır. Örnek lamın kuruması için kurumaya bırakılmıştır. Fiksasyon tamamlandıktan sonra, numuneye 1 damla kristal viole çözeltisi damlatılarak 1 dakika bekletilmiş ve fazla boyanın uzaklaştırılması sağlanmıştır. Bu işlem sırasında, örnek lugol çözeltisi ile yıkanmış ve aynı çözeltide 1 dakika bekletilmiştir. Preparat, saf su ile yıkandıktan sonra lam dekolorizatör çözeltisinde 25-30 saniye bekletilmiş ve tekrar saf su ile yıkanmıştır. Son olarak, safranin çözeltisinde 30 saniye bekletilen preparat, saf su ile yıkanıp kendi haline bırakılmış ve kurumaya alınmıştır. Kuruduktan sonra, mikroskop altında incelenmiştir. Hücre duvarları gram boyama sonucunda mavi-mor renge

boyananlar gram pozitif olarak kabul edilirken, kırmızı renkte boyananlar gram negatif olarak değerlendirilmiştir (Halkman, 2005).

3.2.5.5. Besin kompozisyonu analizleri

Çalışmada, nem, ham kül, ham protein ve ham yağ, analizleri yapılmıştır. Besin içeriğinin belirlenmesi amacıyla taze balık etinde (0. günde) ve kimyasal, mikrobiyolojik ve duyu analizi sonuçlarına göre ürünün tüketilebilir olduğu son günde tüm analizler tekrar edilmiştir.

Nem analizi

Nem analizi, AOAC (1995) standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Kurutma dolabında yaklaşık 3 saat boyunca 105 °C sıcaklıkta kurutulan ve oda sıcaklığına kadar desikatörde soğumaya bırakılan kuru madde kapları, 0,0001 g hassasiyetindeki terazide tartıldıktan sonra, homojenize edilmiş balık örneklerinden 5 g alınarak kaydedilmiştir. Daha sonrasında numuneler, etüvde 105 °C sıcaklıkta 6-8 saat boyunca ağırlıkları sabit hale gelinceye kadar kurutulmuş ve ardından oda sıcaklığına düşmesi için belirli bir süre desikatörde bekletilmiştir. Son olarak, örnekler hassas terazide tekrar tartılmıştır.

Bu işlemler sonucunda %nem miktarı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$Nem\ miktarı(\%) = 100 - \left(\frac{[dara(g) + kuru\ madde(g) - dara(g)]}{örnek\ ağırlığı(g)} \times 100 \right) \quad (3.13)$$

Ham kül analizi

Ham kül analizi AOAC (1995)'a göre yapılmıştır. Kurutma dolabında 105 °C'de kurutulan ve desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulan porselen krezeller içerisine, 2-3 gram balık örneği tartılarak tam otomatik kül fırınında 550 °C'de yakılmıştır. 12 saatlik işlem süresinin sonunda tamamen yanmış ve açık gri bir hal alan kül, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuş ve son ağırlığın tespiti için yeniden hassas terazide tartılmıştır.

Son tartım işlemi sonunda kül miktarının hesaplanması şu formüle göre yapılmıştır:

$$Ham\ kül(\%) = \frac{[dara(g) + ham\ kül(g) - ilk\ dara(g)]}{örnek\ miktarı(g)} \times 100 \quad (3.14)$$

Ham protein analizi

Ham protein analizi Kjeldahl metoduna (AOAC, 1995) göre yapılmıştır. Analizin ilk aşamasında, 300 ml'lik tüplere 1 gram homojenize balık örneği, 2 tablet Kjeldahl katalizörü ve 15 ml derişik H₂SO₄ eklenerek yakma ünitesine yerleştirilmiştir. Yakma ünitesinin sıcaklığı başlangıçta 480 °C'ye (8.5 kademe) ayarlanmış ve hedef sıcaklığa ulaşıldığında 10 dakika daha aynı sıcaklıkta yakma işlemi yapılmıştır. Daha sonra sıcaklık kademesi 9,5'e ayarlanmış ve 550 °C sıcaklığında 10 dakika bekletildikten sonra tekrar 8,5'e getirilerek 480 °C'de 65 dakika daha yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yakma işlemi sonucunda, tüplerde yeşil-sarı saydam bir renk oluşmuştur. Tüpler, 30 dakika boyunca oda sıcaklığında soğutulmuş ve sonrasında içlerine 75 ml su eklenmiştir. Kjeldahl cihazına yakma ünitesinden alınan tüpler yerleştirilmiş ve destilat toplama kısmına sırasıyla 25 ml %4'lük borik asit (H₃BO₃) çözeltisi ve 4 damla taşhiro indikatörü eklenen erlen yerleştirilmiştir. Daha sonra, 50 ml %33'lük NaOH ile 7 dakika boyunca destilasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Destilasyon sonucunda elde edilen destilat, rengi başlangıç rengine kadar 0,1 N HCl ile titre edilmiştir. Sarf edilen HCl miktarı kaydedilerek aşağıdaki formül yardımıyla protein miktarları bulunmuştur:

$$\%N = [0,014 \times N \times (V_1 - V_2) \times 100]/m \quad (3.15)$$

$$\text{Ham protein}(g) = (\%N) \times 6,25 \quad (3.16)$$

V_1 = Harcanan HCl asit hacmi (ml)

V_2 = Kör için titrasyonda harcanan HCl hacmi (ml)

N = HCl çözeltisinin derişimi

m = Örnek ağırlığı (g)

Ham yağ analizi

Ham yağ analizi, AOAC (2005) standardına göre yapılmıştır. Analiz sürecinde Soxhlet Gerhardt marka cihaz kullanılmıştır. Homojenize edilen numunelerden 3-4 gram alınarak selüloz süzme kartuşlarına konulmuştur. Kartuşların ağzı ham pamukla kapatıldıktan sonra Soxhlet tüpüne yerleştirilmiştir. Daha önce 105 °C'de etüvde kurutulmuş, desikatörde soğutulmuş ve darası belirlenmiş balonlar Soxhlet tüplerinin altına yerleştirilmiştir. Her bir tüpe 180 ml dietil eter ((C₂H₅)₂O) eklenmiştir. Kurulan sistem 55 °C'deki sıcak su banyosuna yerleştirilerek geri soğutucuya bağlanmıştır. Ekstraksiyon

işlemi 6 saat sürmüştür. Ekstraksiyon sonrasında balonlarda kalan dietil eter, Heidolph Hei-VAP Core marka/model rotary evaporatör ile uzaklaştırılmıştır. Balonlarda kalan az miktardaki dietil eteri tamamen buharlaştırmak için balonlar 105 °C'deki etüve yerleştirilmiş ve yaklaşık 6 saat boyunca bekletilip ardından soğutulmuştur. İlk tartımları kaydedilen balonlar, tekrar 6 saat boyunca etüvde tutulmuş ve desikatörde soğutulduktan sonra yeniden tartılmıştır. Balonların son tartım sonuçları alındıktan sonra içlerindeki yağ miktarı, aşağıdaki formül kullanılarak % ham yağ olarak hesaplanmıştır.

$$Ham\ yağ\ \% = \frac{[Balon\ son\ ağırlık(g) - Balon\ dara(g)]}{Örnek\ ağırlığı(g)} \times 100 \quad (3.17)$$

3.2.5.6. Duyusal analizler

Çiğ balık duyusal analizi

Çiğ örneklerin duyusal analizinde York ve Sereda (1994)'den modifiye edilmiş olan 10 puanlık hedonik skala kullanılmıştır (Tablo 3.5). Çiğ örneklerin duyusal analizine deneyimli 10 panelist katılmıştır. Her bir K, O ve B grubu duyusal analizi için 50 g balık örneği tartılarak beyaz porselen tabaklarda panelistlere sunulmuş ve örnekleri görünüş, koku, renk ve tekstür kriterleri bakımından değerlendirmeleri istenmiştir. Değerlendirmede deneyinde 10 deneyimli panelist yer almıştır. 10 puanlık hedonik skalada 8 puan ve üzeri; çok beğendim, 7-8 arası; beğendim, 5-7 puan arası; orta derece beğendim ve 3-5 puan arası; beğenmedim 1-3 arası; hiç beğenmedim olarak nitelendirilmiştir. 3 puan ve altındaki ürünler tüketilemez olarak kabul edilmiştir.

Tablo 3.5 Çiğ örneklerin duyusal analizinde kullanılan form.

Tarih:		GRUPLAR					
Deneme günü:		K		O		B	
KRİTERLER	TEKERRÜR	1.Paralel	2.Paralel	1.Paralel	2.Paralel	1.Paralel	2.Paralel
Görünüş	1.Tekerrür						
	2.Tekerrür						
Koku	1.Tekerrür						
	2.Tekerrür						
Renk	1.Tekerrür						
	2.Tekerrür						
Tekstür	1.Tekerrür						
	2.Tekerrür						

Pişmiş balığın duyusal analizi

Pişmiş balığın duyusal analizinde Varlık vd. (2007)'nin bildirdikleri duyusal değerlendirme formundan yararlanılmıştır (Tablo 3.6). Duyusal analiz başında çiğ örnek grupları duyusal analiz için değerlendirildikten hemen sonra kavanozlara konularak ağızları sıkıca kapatılmıştır. Daha sonra kavanozlar 20 dk kaynar su banyosunda tutulmuş pişirildikten sonra 50 °C'ye kadar soğuması beklenmiştir. Örnekler soğuduktan sonra gruplar duyusal olarak panelistlerce aşağıda verilen sıraya göre değerlendirilerek formda yer alan göstergelere göre puanlanmıştır. Puanlamada 2,7 ve üzeri; çok iyi, 2-2,7 arası; iyi 1-2 arası; orta ve 0-1 arası bozulmuş olarak nitelendirmiştir.

- Kavanoz kapağının açılması
- Kavanoz içeriğinin buharı
- Balığın çıkan suyu
- Balık etinin koklanması
- Dış görünüm ve doku incelemesi
- Balık eti ve gerektiğinde çıkan suyun tadım işlemi.

Tablo 3.6 Pişirme deneyinde kullanılan form.

KRİTERLER	TEKERRÜR	GRUPLAR					
		K		O		B	
		1.Paralel	2.Paralel	1.Paralel	2.Paralel	1.Paralel	2.Paralel
<i>Balık yağı rengi</i>	1.Tekerrür						
	2.Tekerrür						
<i>Koku</i>	1.Tekerrür						
	2.Tekerrür						
<i>Kas yapısı</i>	1.Tekerrür						
	2.Tekerrür						
<i>Çiğneme deneyi</i>	1.Tekerrür						
	2.Tekerrür						
<i>Lezzet</i>	1.Tekerrür						
	2.Tekerrür						
Puanlamada kullanılacak kriterler ve karşılık gelen puanlar							
<i>Balık yağı rengi</i>	Beyaz (ya da kendine özgü açık sarı) ise 3 puan	Gri-sarı ise 2 puan		Grimsi-siyah sarı kahverengi ise 0 puan			
<i>Koku</i>	Hoş kendine özgü ise 3 puan	Kokusuz ise 2 puan		Küflü koku balıgımsı amonyak ise 0 puan			
<i>Kas yapısı</i>	Kas bağları sıkı, miyomer yaprak şeklinde ise 3 puan	Kas bağları sıkı, miyomer kısmen dağılmış, parçalanmış ise 2 puan		Parçalanmış, dağılmış ise 0 puan			
<i>Çiğneme deneyi</i>	Sulu elastik sıkı ise 3 puan	Biraz yumuşamış, lapamsı ise 2 puan		Kuru, sert lapamsı ise 0 puan			
<i>Lezzet</i>	Kendine özgü aromatik ise 3 puan	Aromatik, hafif lezzetsiz ise 2 puan		Balıgımsı amonyak benzeri acı ise 0 puan			

3.2.5.7. İstatistiksel analizler

Fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşsal analizler sonucunda elde edilen bulgular Minitab (Ver. 21.1) yazılımı kullanılarak Tek Yönlü Varyans Analizi (One-Way ANOVA) ile incelenmiştir. Gruplar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde ise Tukey testi tercih edilmiştir (Sümbüloğlu ve Sümbüloğlu, 2007). Paketlerde yer alan akıllı etiklerde meydana gelen renk değişimleri ile balık gruplarına fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşsal analizlerden edilen veriler Pearson korelasyon katsayısı analiziyle yapılmıştır. Korelasyon analizleri SPSS sürüm 24.0 paket programı kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar %95’lik güven aralığında, 0,05 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Fiziksel Analizlere Ait Bulgular

4.1.1. Farklı pH noktalarında mor soğan kabuğu boya solüsyonunun renk tepkisi

Farklı pH değerlerinde mor soğan kabuğu boya solüsyonunun renginde meydana gelen değişiklikler Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Mor soğan kabuğu boya solüsyonunun pH 2 ve pH 3 değerlerinde koyu kırmızı renkte olduğu, pH 5’e kadar ise açılarak pembemsi bir renk aldığı, pH 6’ya ulaşıldığında solüsyonun açık yeşil renge döndüğü görülmüştür. pH artışıyla bazik tarafta (pH 11’e kadar) daha yoğun bir hale gelerek kahverengimsi yeşile dönerek, pH 12 ve pH 14 aralığında ise açılarak sarımtırak yeşile renk aldığı gözlemlenmiştir.

Genel olarak, mor soğan kabuğu boya solüsyonunun farklı pH değerlerinde (pH 2 ve pH 14 aralığında) iki ana renge (kırmızı-yeşil) sahip olmasına rağmen, bu pH aralıklarında aldığı kırmızı, pembe, yeşil, kahverengimsi yeşil ve sarımtırak yeşil gibi renk farklılıklarının çıplak gözle açıkça görülebildiği belirlenmiştir. Ayrıca, mor soğan kabuğu boya solüsyonunun renk değiştirdiği pH aralığının (pH 6 ve pH 7), balığın bozulma gösterdiği pH aralığına denk gelmesi nedeniyle, mor soğan kabuğu boyasının akıllı etiket sisteminde balık örneklerinin tazelik göstergesi olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.1 Mor soğan kabuğu boyası çözeltisinin farklı pH tamponlarında renk tepkisi

Chi vd. (2020), Ghorbani vd. (2021) ve Ghadiri Alamdari vd. (2022) antosiyaninlerin geniş bir pH aralığındaki belirgin renk değiştirme özellikleri nedeniyle, sentetik boyaların yerine doğal boya alternatifleri olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Zhao vd. (2023) çeşitli doğal malzemelerden elde edilen antosiyaninlerin kimyasal yapılarında az da olsa farklı hidroksil ve metoksil grupların olabileceğini ve bu küçük farkın, renk değişim davranışı üzerinde büyük bir etkiye sahip olabileceğini bildirmişlerdir.

Farklı kaynaklardan elde edilen çeşitli antosiyaninler, farklı pH'larda belirli bir renk spektrumunu temsil eden tazelik göstergeleri geliştirmek için kullanılmaktadır. Örneğin, tatlı patates antosiyaninlerinin renk spektrumu asidik pH'da pembe, nötr pH'da gri ve yeşil ve alkali pH'da sarı arasında değişirken, üzüm antosiyaninlerindeki renk değişimi sırasıyla pembe, mor ve gridir. Bu çeşitli renk değişimleri, onları gıda tazelik göstergelerinde kullanım için uygun hale getirmektedir (Hassanpour vd., 2022)

Huang vd. (2021), doğal bitkilerden elde edilen boyaların tazelik göstergesi olarak uygunluğunu araştırdıkları bir çalışmada, mor soğan kabuğundan elde edilen solüsyonun pH 1-5 aralığında artan pH değerlerinde kırmızı renkten pembe tonlarına dönüştüğünü ve bazik ortamda yeşil renk aldığını, dolayısıyla balık tazelik göstergesi olarak kullanılabileceğini rapor etmişlerdir. Wei vd. (2017), tatlı mor patates tozundan elde edilen antosiyanin pigmentlerinin pH 1-4 aralığında kırmızı, pH 5-6'de menekşe veya mor, pH 8'de mavi, pH 9-10'da yeşil ve pH 11-14 aralığında sarı renkte olduğunu, bu durumun, kimyasal yapıların flavylum anyonundan (kırmızı, düşük pH değerleri) kuinoidal baza (mavi, pH 5-6) ve kalkon'a (sarı, yüksek pH değerleri) dönüşmesinden kaynaklanıyor olabileceğini bildirmişlerdir. Mohammadalinejad vd., (2020) ve Yong vd., (2019a), gıda tazelik göstergesi hazırlamak için doğal indikatör boyası olarak mor ve siyah pirinç ekstraktı kullanmışlardır. Her iki boya indikatörü tampon çözeltileri pH'ının 3'ten 11'e kadar artmasıyla önce kırmızıdan mora ve sonunda maviye doğru renk değişimi gösterdiğini tespit etmişlerdir. Halász ve Csóka, (2018) çalışmalarında, kolorimetrik pH indikatör filmleri hazırlamak için farklı miktarlarda siyah kuş kirazı (*Aronia melanocarpa*) prina özütünü kitosan ile karıştırmışlar ve kitosan filmlerdeki hareketsizleştirilmiş ekstrakt boyanın, 1-10 pH aralığında yüksek bir renk farkı gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen renk varyasyonları araştırmacıların bildirdiği gibi farklı ve belirli pH noktalarında renk değişimleri göstermiş bu nedenle balık tazelik göstergesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Araştırmacıların bildirdiği farklı renkler kullanılan doğal boya kaynağından kaynaklanmaktadır. Ancak

bahsedildiği gibi asidik ve bazik ortamlara geçişte mor soğan boyasındaki değişimler literatürde bahsedilen dönüşümler gibi çalışmamızda da tespit edilmiştir.

4.1.2. Etiketlerin renk tepkisi ve kolorimetrik analizine ait bulgular

Etiketlerin farklı pH noktalarındaki renk varyasyonlarını incelemek amacıyla pH 2 ve pH 10 aralığındaki pH değerlerine sahip tampon çözeltilere daldırılmışlar, çıkartıldıktan sonra kurumalarına izin verilmeden renk ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları ve ΔE değerinin pH noktalarındaki değişimi sırasıyla Tablo 4.1 ve Şekil 4.2’de sunulmuştur. Çalışmada kullandığımız etiketler pH 2 ve pH 3 solüsyonuna maruz kaldığında kırmızı renk göstermiş, pH 3-4’te ise pembemsi renklere dönüşmüştür. pH 5 ve pH 6 aralığına gelindiğinde bu renkler soluklaşmış, pH 7-8’den sonra ise yeşil renkler gözlemlenmiştir. Genel anlamda, sonuçlara göre, indikatörün rengi farklı pH değerlerinde çıplak gözle net bir şekilde ayırt edilebilmektedir. L^* parametresi (parlaklık) pH 2 ve 9’da sırasıyla 29,68 (en düşük) ile 38,86 (en yüksek) arasında yakın değerlerde tespit edilmiştir ki bu da antosiyanin indikatörünün bu aralıktaki şeffaflığını göstermektedir. a^* parametresi pH 5’ten itibaren pH artışı ile azalmıştır. Dolayısıyla, a^* parametresinin en yüksek (40,24) ve en düşük (-7,65) değerleri sırasıyla pH 4 ve 10’da gözlemlenmiştir; bu da indikatörün asidik ortamda yoğun bir kırmızılığa sahip olduğu anlamına gelmektedir. Etiketlerin b^* değerleri incelendiğinde değişişen pH değerlerine rağmen anlamlı bir değişim göstermediği saptanmıştır. Ayrıca b^* değeri pH 2 ve pH 10 aralığında hiç negatif değerler göstermemiştir.

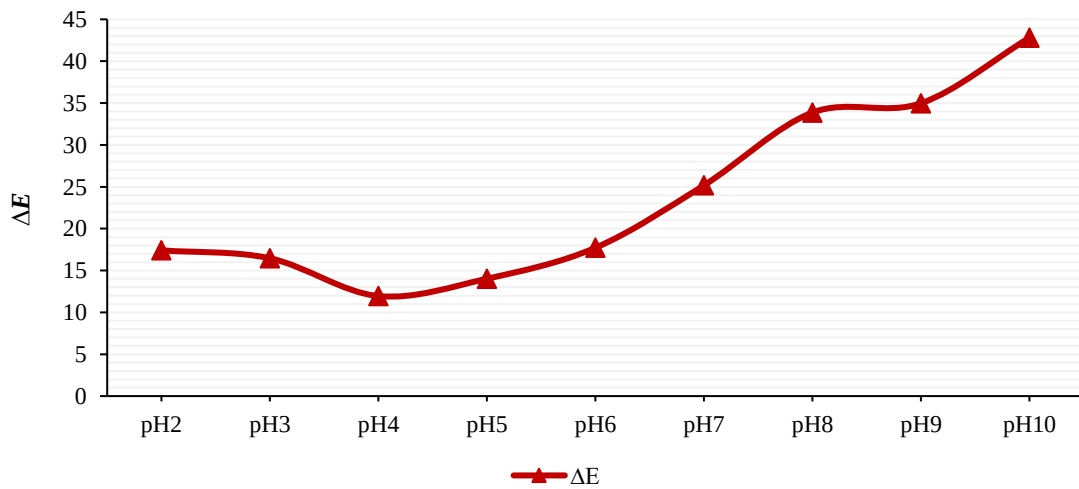
Tablo 4.1 Etiketlerin farklı pH solüsyonlarında gösterdiği renklerin ölçüm değerleri

pH	L*	a*	b*	Dijital Görüntü	ΔE	RI	YI	WI
pH-2	29,68±0,04	36,98±0,01	10,30±0,01		17,41	3,59	49,58	80,12
pH-3	30,52±0,02	34,74±0,03	9,46±0,02		16,46	3,67	44,28	78,25
pH-4	33,23±0,01	40,24±0,01	11,64±0,02		11,95	3,46	50,04	78,82
pH-5	32,65±0,03	37,28±0,05	11,12±0,01		14,02	3,35	48,66	77,78
pH-6	33,66±0,06	21,28±0,06	9,70±0,02		17,72	2,19	41,17	70,34
pH-7	35,97±0,09	11,52±0,11	10,35±0,03		25,18	1,11	41,11	65,88
pH-8	35,86±0,10	1,23±0,13	11,15±0,05		33,87	0,11	44,42	65,11
pH-9	38,86±0,07	-0,85±0,08	9,98±0,03		34,98	-0,09	36,69	61,96
pH-10	38,48±0,05	-7,65±0,06	13,45±0,02		42,81	-0,57	49,93	63,44

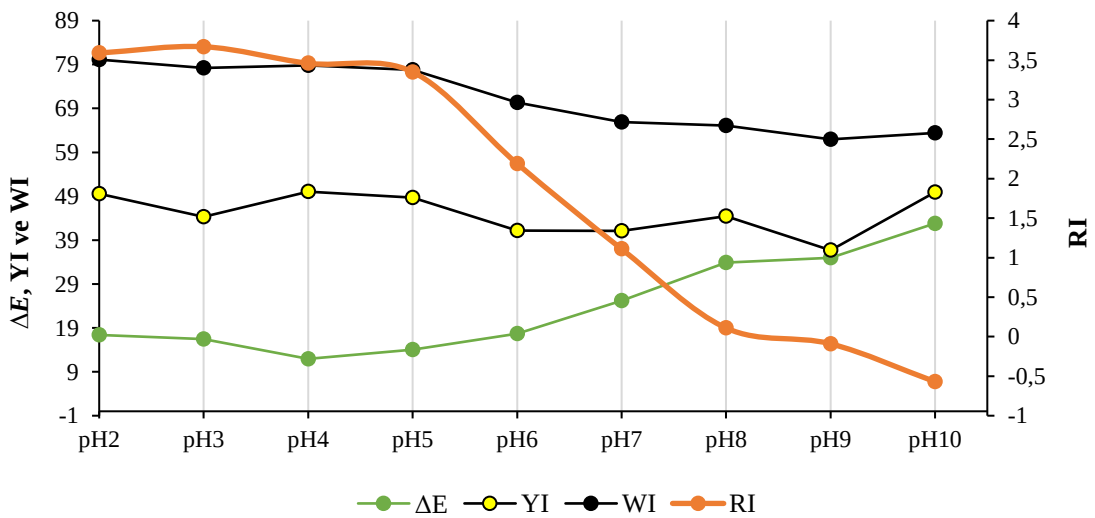
Ort. (n=8) ±st. Hata

L*: Parlaklık, a*: kırmızı (+) veya yeşil (-), b*: sarı (+) veya mavi (-)

ΔE : Ortalama renk farkı, RI: kırmızılık indeksi, YI: sarılılık indeksi, WI: beyazlık indeksi.

**Şekil 4.2** ΔE değerinin farklı pH tampon çözeltilerinde değişimi

Etiketlerin farklı pH noktalarında tespit edilen renk değerleri (L^* , a^* ve b^*) ile solüsyona daldırılmadan önceki kuru hallerinden elde edilen renk değeri (L_0^* , a_0^* ve b_0^*) ile ΔE değeri ölçülmüştür. ΔE , RI, YI ve WI değerleri değişimleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde pH 2'den pH 5 aralığına kadar ΔE değeri yatay seyrederken pH 5'ten itibaren yükselme eğilimi göstermiştir. Bu da pH 2 ve pH 5 aralığında gözlemlediğimiz benzer renkleri doğrulamaktadır (kırmızı ve pembe tonları). İndikatörün renginin hem sayısal hem de görsel olarak, et ve balıkçılık ürünlerinin bozulmasını izlemek için uygun bir aralık olan hafif asidik, nötr ve hafif bazik pH'da (pH 5-8) uygun olduğu söylenebilir. L^* ve b^* renk parametreleri pH ile doğru orantılıdır, a^* değeri ise hafif dalgalanma gösterse de artan pH değerleri ile birlikte düşme eğilimi göstermiştir. Farklı pH çözeltilerine daldırılan filmlerin renk değişimleri mor soğan antosiyaninin yapısal değişimleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Filmler başlangıçta kırmızı renk sergilemiş ve renk pembemsi renge dönüşmüştür, bu da antosiyaninin sarı tuz iyonlarından kuinoidal hale geçtiği pH 3 ila pH 5 aralığında kırmızılığın azaldığını göstermektedir. Son olarak, pH değeri 8.0'ın üzerinde olduğunda, güçlü alkali ortam altında antosiyaninin ayrışması, gözlenen koyu yeşil renkle sonuçlanmıştır. WI değerine bakıldığında pH 2'den pH 10'a doğru azalma göstermiştir ki bu da rengin kırmızıdan yeşile doğru renk değiştirirken ideal beyaza yaklaştığını göstermektedir. RI incelendiğinde kırmızı baskınlığının pH 5'ten itibaren güçlü bir şekilde azalma gösterdiği açıkça görülmektedir.



Şekil 4.3 Farklı pH noktalarında etiketlerin renk tepkileri ve değişimleri

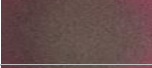
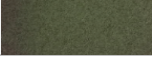
pH indikatör filmlerinin renk varyasyonları, çözeltilerin pH'ına bağlı olarak antosiyaninlerin farklı moleküler yapılarıyla ilişkilidir (He vd., 2015). Asidik pH çözeltilerinde ($\text{pH} < 2$), flavyum katyonu antosiyaninlerin baskın formudur ve kırmızı renklere katkıda bulunmaktadır (Montilla vd., 2011). pH'ın 2'den 4'e yükselmesi, kinonoidal mavi türler üreten bir proton kaybına yol açar. pH 5'den 6'ya kadar, renksiz bir karbinol psödobaz ve bir kalkon formu (açık form) üreten flavylium katyonunun hidrasyonu nedeniyle renk yoğunluğu azalır (Castaneda-Ovando vd., 2009). Flavylium katyonu, kinonoidal baz, karbinol baz ve kalkon dahil olmak üzere denge formlarının bir karışımı, 4 ila 6 arasındaki pH değerlerinde birlikte bulunur (He vd., 2015). Anhidro bazların baskın olduğu daha yüksek bir pH artışı (pH 8-9), hem boya çözeltilerinin hem de antosiyaninlerin yapısal değişikliklerine neden olur (Jurd ve Geissman, 1963).

İndikatörün kolorimetrik parametreleri, Pourjavaher vd. (2017) tarafından bildirilen bakteriyel selülozla seyreltilmiş antosiyanin (kırmızı lahana) indikatörünün renk değişimine benzerdir. Liu vd. (2017) pH 1-14 aralığında nişasta/PVA filmlerine dahil edilen mor tatlı patates antosiyanini için açık kırmızıdan sarıya renk değişimleri gözlemlediklerini bildirmiştir. Koosha ve Hamed (2019), siyah havuç özü ve bentonit nanokil içeren kitosan/PVA nanokompozit filmler üretmişlerdir. İndikatörü yalnızca pH 3 ve pH 13 değerlerinde incelemiş ve indikatör için sırasıyla pembe ve mavi-yeşil renkler rapor etmişlerdir. Choi vd. (2017) mor patates antosiyanini içeren agar/patates nişasta tabanlı akıllı etiket geliştirmiştir. Etiketler pH 2-10 tamponlarında kırmızıdan yeşile görünür renk değişimleri göstermiştir. pH 2'de (güçlü asit tamponu) parlak kırmızı, pH 3 ve 4'te pembe olmuştur. Daha yüksek pH tampon çözeltilerine (pH 5-6) daldırıldığında, film kahverengi bir renk göstermiş, daha sonra pH 7-8 tamponlarında açık yeşilimsi kahverengi bir renge dönüşmüştür. pH 9-10 tamponlarında ise yeşil renk belirginleştiğini ifade etmişlerdir. Moradi vd. (2019), polimer taban olarak bakteriyel selüloz ile ürettikleri siyah havuç antosiyaninlerini içeren indikatör etiketin 2-11 pH değişimine maruz kaldığında kırmızıdan hâkî renge doğru en iyi renk değişimini gösterdiğini ifade etmiştir. Genel olarak, hazırlanan indikatörün kolorimetrik parametrelerini analiz etmek için ΔE hesaplaması yapılmıştır. ΔE 5'ten fazla olduğunda renk değişiklikleri görsel olarak algılanabilmektedir (Tirtashi vd., 2019).

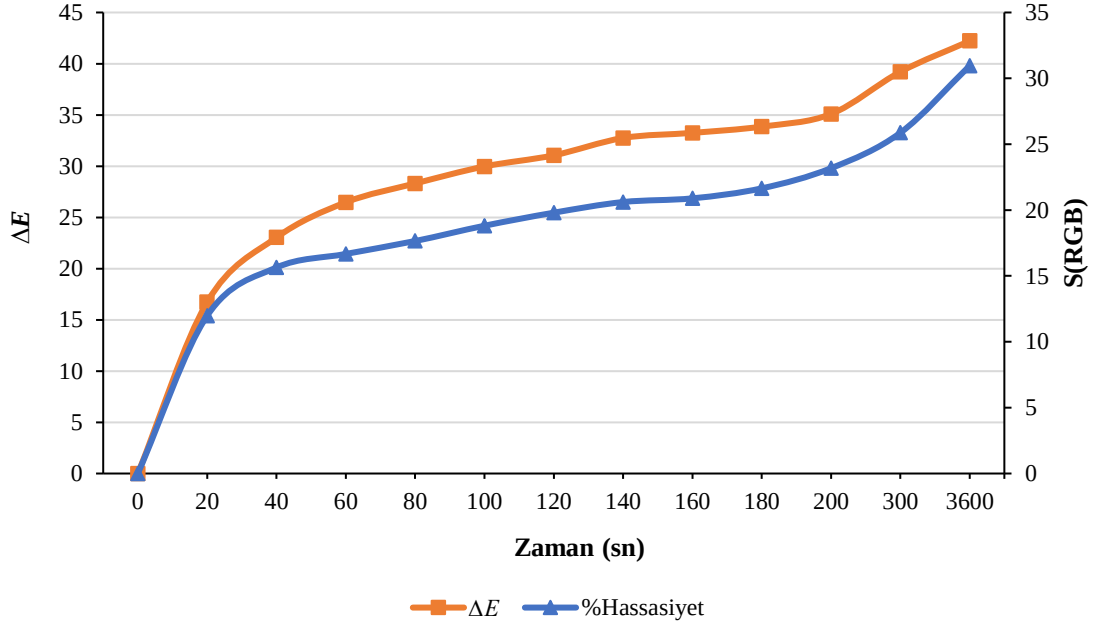
4.1.3. Amonyak hassasiyetine ait bulgular

Amonyak hassasiyeti analizi, protein açısından zengin gıdaların bir tür simülasyonu olan uçucu gaz bileşiklerinin varlığında indikatörlerin renk değişimlerini ve amonyak buhar hassasiyetini (S_{RGB}) incelemek için bir tarama testi olarak gerçekleştirilmiştir. Testte kullanılan akıllı etiketin amonyak buharına maruz kaldığı andaki renk değişimleri incelenmiş ve sonuçlar Tablo 4.2’de sunulmuştur. Ayrıca ΔE ve S_{RGB} açısından değerlerin değişimi Şekil 4.4’te gösterilmiştir. İndikatörlerin amonyağa ilk maruziyetinin ardından mor soğan antosiyaninleri yüklü akıllı etiketlerde kırmızı renkten, önce bordo renge, 1 saatin sonunda ise yeşil renge dönüştüğü açık bir şekilde görülmektedir. Bu da üretilen etiketlerin amonyağa karşı hızlı bir reaksiyon gösterdiğini işaret etmektedir. 1 saatlik süre sonunda ölçülen hassasiyetin (%30,96) ilk ölçülen hassasiyetten (%11,98) daha hassas olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.2 Akıllı etiketlerin amonyak hassasiyeti oranları (%)

Ölçümler (sn)	S_{RGB}	Etiketin Renk Tepkisi	ΔE
0	-		-
20	11,98		16,73
40	15,64		23,04
60	16,67		26,47
80	17,65		28,31
100	18,81		29,97
120	19,80		31,06
140	20,61		32,75
160	20,89		33,25
180	21,65		33,86
200	23,18		35,09
300	25,87		39,21
3600	30,96		42,22

$n=6$



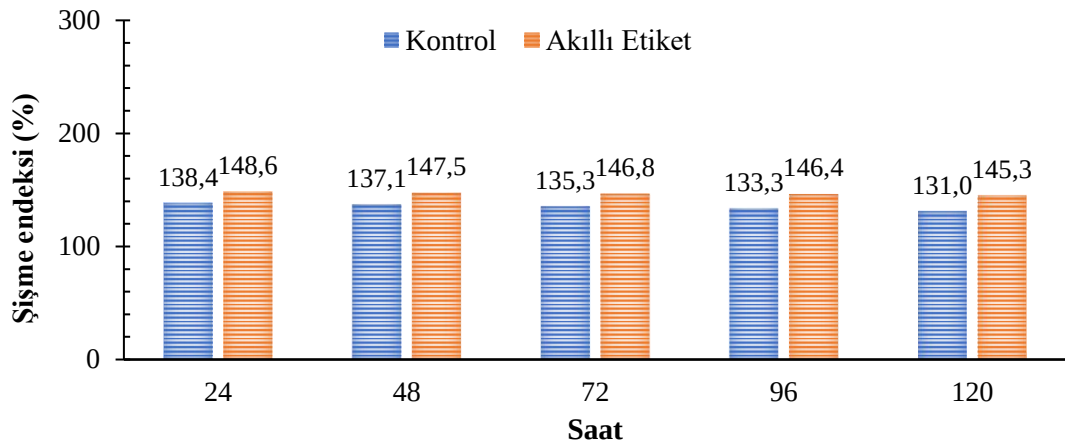
Şekil 4.4 Akıllı etiketın ΔE ve S_{RGB} değerklerinin değışimi

pH'a duyarlı etiketın hassasiyeti ve hızlı renk değışimi, gıda tazelik indikatörlerinin temel özelliklerinden biridir (Ezati ve Rhim, 2020b). Antosiyanin içeren indikatörlerin amonyağa karşı yüksek hassasiyeti, antosiyaninlerin yapısındaki polifenolik bileşiklerin varlığı ve hidroksil iyonlarına bağı yapısal değışim ve oksijen anyonlarının oluşumu ile ilişkilidir. Ma vd., (2017), amonyağı (NH_3) tespit etmek için çözücü dökme yöntemiyle kurkuminin tara sakızı/polivinil alkol filmine immobilize ederek bir gıda tazelik göstergesi üretmişlerdir. Akıllı göstergeler, amonyak buharlarına 1-3 dakika maruz kaldıktan sonra sarıdan kırmızımsı turuncuya gözle görülür renk değışimi gösterdiğini bulmuşlardır. Ayrıca amonyak hidrolizine bağı hidroksil iyonlarına hızlı bir şekilde ve yüksek molaritede 60 dakika maruz kalması sırasında amonyak duyarlılık (S_{RGB}) (80 mL 1 M amonyakta) oluşumu indikatörlerde alkali koşullara neden olur (Hassanpour vd., 2022). Bir çalışmada, bakteriyel nanoselüloz antosiyaninleri içeren tazelik indikatörünün yüksek amonyak duyarlılığı 4 dakika maruziyetten sonra %67 olarak rapor edilmiştir (Taherkhani vd., 2020). Zhang vd. (2019) çalışmasında, nişasta, kitosan ve polivinil alkol içeren gül antosiyanini bazlı tazelik indikatörünün duyarlılığının 16 dakikalık maruziyet sonucunda %30 olduğunu bildirmiştir. Moradi vd. (2019), bakteriyel selüloz tabanlı akıllı etiket ile yürüttükleri bir çalışmada amonyak hassasiyeti analizi yapmışlar, 8. dakikada %38,85 ile maksimum hassasiyet tespit ettiklerini rapor etmişlerdir. Çalışmada elde edilen hassasiyet oranlarının diğerk araştıracılara benzerlik göstermektedir.

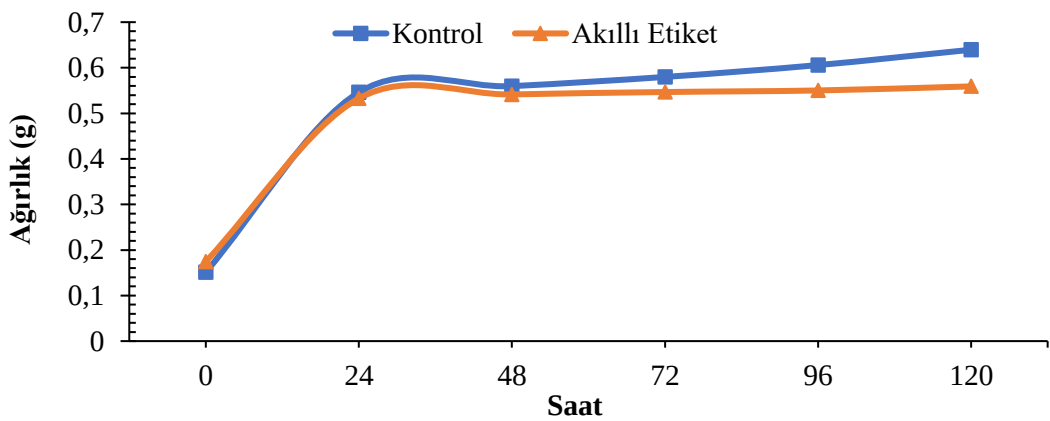
Araştırmacıların elde ettiği sonuçlar çalışmada belirlenen sürelerden ya daha uzun ya da daha kısa sürelerde test edilmiştir. Buna rağmen sonuçlar araştırmacıların ifade ettiği değerler ile benzerlik göstermektedir. Tespit edilen farklılıkların sebebinin mor soğan antosiyaninlerinin yapısında polifenolik bileşiklerin daha fazla olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Genel olarak, indikatörün hızlı renk reaksiyonu arzu edilir ve üretilen indikatör kısa sürede (3-4 dakika) uygun S_{RGB} skoruna sahip olduğundan, indikatör proteinli gıdalarda akıllı ambalaj sistemlerinde ticari kullanım potansiyeline sahiptir.

4.1.4. Etiketlerin şişme endeksi ve suda çözünürlüğüne ait bulgular

Çalışma öncesinde üretilen akıllı etiketler üzerinde yapılan şişme endeksine (%) ait sonuçlar Şekil 4.5'te, etiketlerin su emme davranışı ise Şekil 4.6'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Etiketlerin şişme endeksi değişimi ve suda çözünürlük değeri



Şekil 4.6 Etiketlerin zamana göre su absorpsiyon davranışı

Üretilen 180 adet akıllı etiket içerisinde rastgele seçilen 40 akıllı etiket ve boya yüklemesi yapılmamış filtre kağıtları üzerinde yapılan şişme endeksi ve suda çözünürlük hesaplamasına göre akıllı etiketlerin ilk ölçümde %148,6 şişme oranı ve %9,85 oranında suda çözünürlükleri olduğu belirlenmiştir. Şişme oranı 120. saatin sonunda kontrol grubunda %138,4'ten %131'e, akıllı etiketlerde ise %148,6'dan %145,3'e düştüğü tespit edilmiştir.

Şişme endeksi, akıllı etiketin depolama süresi boyunca suyu emme kabiliyetini yansıttığını ve daha yüksek şişme endeksi boyaların ortama daha hızlı salınmasına neden olduğundan akıllı etiketin tepkisini önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir (Wei vd. 2017). Çalışmada da literatürde ifade edildiği gibi üretilen akıllı etiketlerin yüksek su tutma kapasitesine sahip olması nedeniyle boya salınımları gözlemlenmiştir.

Tirtashi vd. (2019) havuç antosiyaninleri kullanarak selüloz ve kitosan tabanlı pH gösterge etiketi ürettikleri bir çalışmada, havuç antosiyaninlerini filtre kâğıdı ve kitosanın sol-jel çözeltisi ile kaplanan bir filtre kağıdına immobilize etmişler ve etiketlerde şişme endeksi testi yapmışlardır. Test sonunda filtre kağıdının şişme endeksini %140 olarak tespit etmişlerdir. Benzer başka bir çalışmada Pourjavaher vd. (2017) bakteriyel selüloz nanoliflere kırmızı lahana antosiyaninin dahil edilmesinin şişme endeksinde artışa sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Akıllı etiketlerin fiziksel bariyer ve su direnci gibi bazı özellikleri filmin suda çözünürlük değerlerinden etkilenmektedir (Guiga vd., 2010). Kuswandi vd. (2020) yaptıkları çalışmalarında kitosan kaplı ve kaplı olmayan selüloz filtre kağıtları üzerinde yaptıkları çalışmada, suda çözünürlük deneyinde kitosan kaplı selüloz kağıtların suda çözünürlüklerini yaklaşık %43, normal selüloz kağıtların da ise yaklaşık %18 olarak tespit etmiştir. Suda çözünme oranının kitosan kaplı selüloz kağıtlarında normal selüloz kâğıda göre daha fazla olmasının kitosanın hidrofilik gruplarından kaynaklandığını rapor etmişlerdir. Çalışmada bulunan şişme endeksi ve suda çözünürlük oranları bahsedilen literatürdeki çalışmalar ile yakın sonuçlar göstermekte olup tespit edilen farklılıkların nedeninin kullanılan filtre kâğıdı ve akıllı etiket üretim yöntemlerinin olduğu söylenebilir.

4.1.5. Paket içi gaz ölçümlerine ait bulgular

Balık örneklerinin ve örnek içermeyen kontrol grubunun depolama süresince paket içindeki CO₂ miktarlarının ölçüm sonuçları Tablo 4.3 ve Şekil 4.7'de görülmektedir.

Tablo 4.3 Depolama süresince balık gruplarında ölçülen paket içi CO₂ değerleri (%).

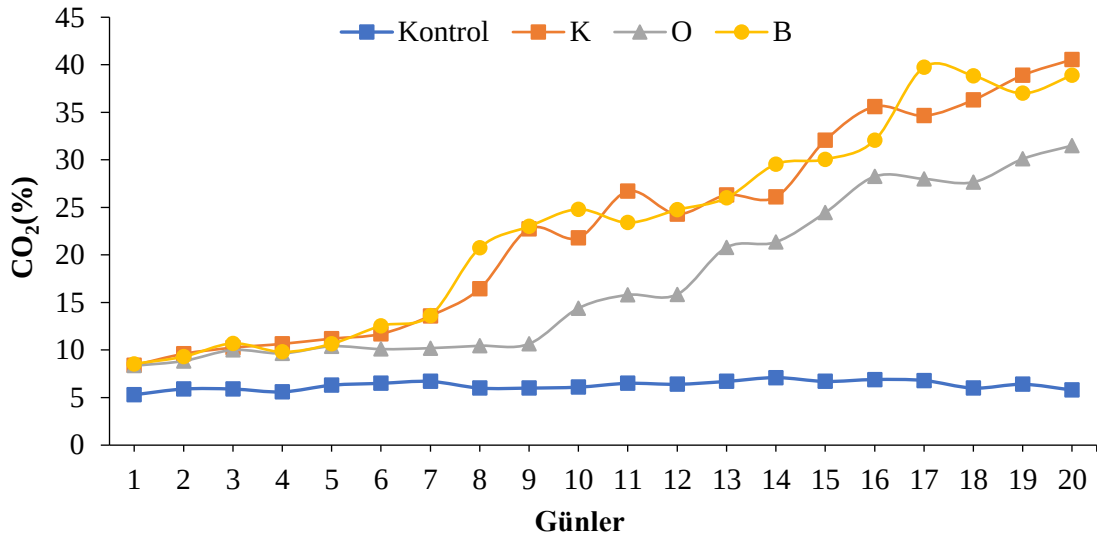
Günler	K*	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	5,3	5,3±0,00 ^{Ak}		5,3±0,00 ^{Ah}		5,4±0,00 ^{Ak}	
1	5,3	8,4±0,00 ^{Aj}		8,4±0,05 ^{Ag}		8,6±0,05 ^{Aj}	
2	5,9	9,6±0,00 ^{Aij}		8,9±0,35 ^{Afg}		9,3±0,10 ^{Aj}	
3	5,9	10,3±0,15 ^{Aij}		10,0±0,10 ^{Afg}		10,7±0,10 ^{Aij}	
4	5,6	10,7±0,05 ^{Aij}		9,7±0,25 ^{Bfg}		9,8±0,10 ^{ABj}	
5	6,3	11,2±0,20 ^{Ahi}		10,4±0,10 ^{Af}		10,7±0,15 ^{Aij}	
6	6,5	11,7±0,10 ^{Ahi}		10,1±0,00 ^{Bfg}		12,6±0,25 ^{Ahi}	
7	6,7	13,6±0,40 ^{Ah}		10,2±0,10 ^{Bf}		13,6±0,43 ^{Ah}	
8	6,0	16,5±0,15 ^{Bg}		10,5±0,15 ^{Cf}		20,8±0,05 ^{Ag}	
9	6,0	22,8±0,95 ^{Af}		10,7±0,15 ^{Bf}		23,0±0,30 ^{Afg}	
10	6,1	21,8±0,10 ^{Bf}		14,4±0,50 ^{Ce}		24,8±0,10 ^{Aef}	
11	6,5	26,7±0,90 ^{Ae}		15,8±0,30 ^{Be}		23,4±1,00 ^{Af}	
12	6,4	24,3±0,20 ^{Aef}		15,9±0,05 ^{Be}		24,8±0,35 ^{Aef}	
13	6,7	26,3±0,20 ^{Ae}		20,8±0,60 ^{Bd}		26,0±0,90 ^{Ae}	
14	7,1	26,1±0,30 ^{Be}		21,4±0,34 ^{Cd}		29,6±0,05 ^{Ad}	
15	6,7	32,1±0,55 ^{Ad}		24,5±0,45 ^{Bc}		30,1±0,35 ^{Ac}	
16	6,9	35,6±0,15 ^{Ac}	-	28,3±0,35 ^{Cb}	-	32,1±0,55 ^{Bc}	-
17	6,8	34,7±1,15 ^{Bcd}	-	28,0±0,10 ^{Cb}	-	39,8±0,55 ^{Aa}	-
18	6,0	36,3±0,00 ^{Bbc}	-	27,7±0,55 ^{Cb}	-	38,9±0,35 ^{Aab}	-
19	6,4	38,9±0,40 ^{Aab}	-	30,1±0,10 ^{Ca}	-	37,0±0,30 ^{Bb}	-
20	5,8	40,6±0,65 ^{Aa}	-	31,5±0,60 ^{Ba}	-	38,9±0,48 ^{Aab}	-

Ort. (n=2) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...k (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

-: Ölçüm yapılmamıştır. K*: Balık Örneği içermeyen kontrol grubu



Şekil 4.7 Grupların depolama sürecince paket içi CO₂ değişimleri

Tablo 4.3'te görüldüğü gibi, balık örneklerinin paketlenmesi sonrası yapılan ilk ölçümlerinde tüm gruplarda (K, O ve B) tespit edilen CO₂ miktarı %5,3±0,00 olarak tespit edilmiştir. Depolama sürecince tüm gruplarda CO₂ miktarları mikrobiyal artışa paralel olarak analiz günlerinde artış göstererek depolama sonunda (20. gün) en yüksek %40,6±0,65 ile K grubunda olurken, en düşük %31,5±0,60 ile O grubunda tespit edilmiştir. Depolamanın 0., 1., 2., 3. ve 5. günlerinde CO₂ konsantrasyonları açısından tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlam yokken ($p>0,05$), diğer tüm günlerde ise O grubunun K ve B grupları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Şekil 4.7 incelendiğinde, K ve B gruplarındaki CO₂ miktarı 7. günden itibaren belirgin bir artış gösterirken O grubunda ise mikrobiyal aktivitenin daha geç gerçekleşmesinden dolayı 9. günden itibaren belirgin bir artış gözlemlenmektedir. Kontrol grubunda depolama sürecince gözlemlenen CO₂ artışının paket kapatma filminin geçirgenliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Metin (2002), alabalık burgerlerini atmosfer paketlenme yaparak 4 °C'de muhafaza ettiği bir çalışmada alabalık burgerlerini 42 gün süresince depolamış ve paketlerde % CO₂ miktarını 21. günde %43,3 olarak tespit etmiştir. Benzer şekilde Lannelongue vd. (1982) çalışmalarında, atmosferik hava ile paketlenen karideslerin CO₂ konsantrasyonun depolamanın 10. gününde %20'ye ulaştığını, bu artışa mikrobiyal solunumun neden olduğunu ve dokulardaki enzim aktivitesinin etki ettiğini bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada, Metin (2003) alabalık dolmaları üzerine yaptığı çalışmada atmosfer paketli

ürünlerde CO₂ değerini 12. günde %15,7 olarak tespit ederken, Reedy vd. (1997) yayın balığı ile yaptıkları çalışmalarında, bozulma ile CO₂ konsantrasyonun %15'lere çıktığını belirtmişlerdir. Çalışmada elde edilen veriler bahsedilen araştırmacıların sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

4.1.6. Su kaybı bulguları (%)

Analiz günlerinde tüm deneme gruplarında tespit edilen su kaybı sonuçları Tablo 4.4 ve Şekil 4.8'de verilmiştir.

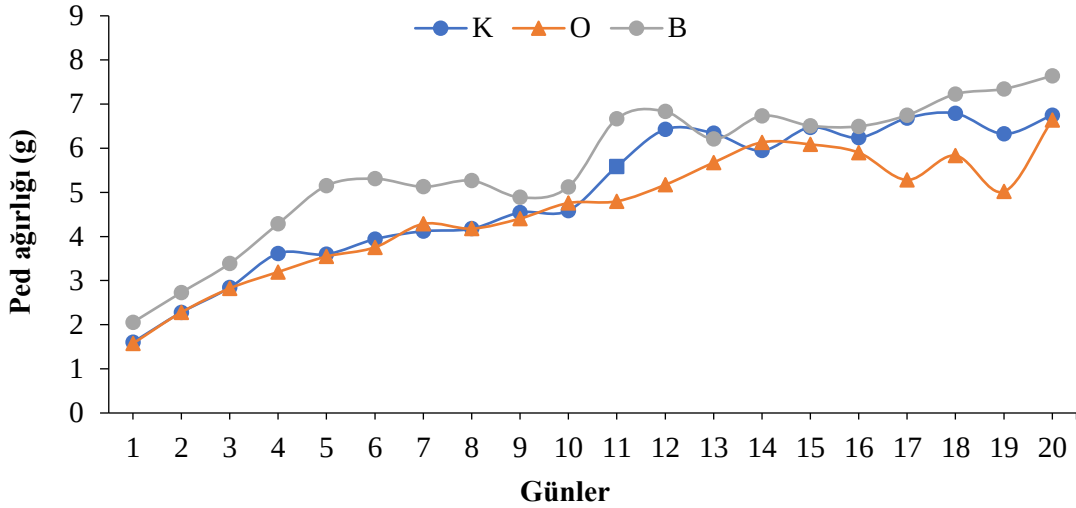
Tablo 4.4 Depolama süresince balık gruplarının su kaybı değerleri (%).

Günler	K	O	B
1	1,60±0,26 ^{Ag}	1,57±0,10 ^{Ak}	2,05±0,26 ^{Ag}
2	2,28±0,11 ^{Afg}	2,28±0,04 ^{Ajk}	2,73±0,13 ^{Ag}
3	2,84±0,06 ^{Aef}	2,82±0,06 ^{Aijk}	3,39±0,15 ^{Afg}
4	3,61±0,05 ^{Bde}	3,20±0,00 ^{Bhij}	4,29±0,16 ^{Aef}
5	3,60±0,38 ^{ABde}	3,55±0,01 ^{Bghij}	5,15±0,28 ^{Acde}
6	3,94±0,22 ^{Ade}	3,75±0,13 ^{Afghij}	5,31±0,48 ^{Abcde}
7	4,12±0,09 ^{Ad}	4,28±0,20 ^{Adefghi}	5,13±0,45 ^{Acde}
8	4,18±0,15 ^{Bd}	4,18±0,10 ^{Befghi}	5,26±0,01 ^{Abcde}
9	4,54±0,05 ^{Ac}	4,41±0,06 ^{Acdefgh}	4,89±0,28 ^{Ade}
10	4,59±0,00 ^{Ac}	4,76±0,52 ^{Abcdefg}	5,12±0,56 ^{Acde}
11	5,58±0,03 ^{Ab}	4,80±0,82 ^{Abcdefg}	6,67±0,31 ^{Aab}
12	6,43±0,21 ^{Aab}	5,17±0,06 ^{Babcdef}	6,83±0,13 ^{Aa}
13	6,34±0,04 ^{Aab}	5,67±0,16 ^{Aabcde}	6,21±0,28 ^{Aabcd}
14	5,95±0,21 ^{Aab}	6,13±0,23 ^{Aab}	6,73±0,08 ^{Aab}
15	6,47±0,33 ^{Aab}	6,09±0,41 ^{Aab}	6,51±0,18 ^{Aabc}
16	6,24±0,05 ^{ABab}	5,90±0,12 ^{Babc}	6,50±0,05 ^{Aabc}
17	6,68±0,05 ^{Aab}	5,28±0,01 ^{Babcdef}	6,75±0,00 ^{Aab}
18	6,79±0,40 ^{Aa}	5,83±0,17 ^{Aabcd}	7,23±0,19 ^{Aa}
19	6,33±0,19 ^{ABab}	5,02±0,40 ^{Bbcdefg}	7,34±0,11 ^{Aa}
20	6,75±0,25 ^{Aa}	6,64±0,05 ^{Aa}	7,64±0,18 ^{Aa}

Ort. (n=2) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...k (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)



Şekil 4.8 Balık örneklerinin su kaybı değişimi (%)

Tablo 4.4'te görüldüğü gibi tüm balık gruplarında çalışmanın ilk gününden sonuna kadar geçen sürede su kaybı görülmektedir. ($p < 0,05$). Depolamanın 1. gününde K, O ve B gruplarında su kayıpları sırasıyla $1,60 \pm 0,26$, $1,57 \pm 0,10$ ve $2,05 \pm 0,26$ olarak tespit edilmiştir. Tüm gruplardaki su kayıp miktarları depolama sürecince artış göstermiş, çalışma sonunda (20.gün) ise en fazla su kaybının $7,64 \pm 0,18$ ile B grubunda, en az su kaybının ise $6,64 \pm 0,05$ ile O grubunda olduğu gözlemlenmiştir. B grubu ile K grubu arasında oluşan su kayıp oranları O grubuna göre fazla olsa da 20 günlük depolamanın 13 gününde (duyusal ve mikrobiyolojik analizlere göre sınırları aştığı günler dahil) su kayıp oranları açısından istatistiksel anlamda fark yoktur ($p > 0,05$).

Özoğul vd (2006) balıkların yaklaşık %1-3 oranlarında kaslarındaki suyu kaybettiklerini ifade etmişlerdir. Çalışmada daha yüksek su kaybı oranının bulunmasının nedeni balık türü, yağ ve su oranı ile alakalı olabileceği gibi balıkların küp haline getirilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kocatepe vd. (2016) yaptıkları çalışmada alabalık kıymasında su kaybının %6 ve %8 arasında olduğunu rapor etmişlerdir. Daha düşük su içeriğine ve daha yüksek yağ oranına sahip balıkların artan CO_2 konsantrasyonlarında su kaybı problemlerine karşı hassas oldukları bildirilmiştir (Özoğul, 2001). Dalgaard vd. (1993) morina filetolarında su kaybının depolama süresince arttığını, CO_2 konsantrasyonunun artması depolanan filetolarında su kaybını artırdığını bildirmişlerdir. Büyük karidesler ile yapılan başka bir çalışmada, modifiye atmosfer ile paketlenen karideslerde %14 üzerinde su kaybı tespit edildiği bildirilmiştir (Church, 1994). Layrisse ve Matches, (1984) karideslerdeki su kaybının karbondioksit artışının bir fonksiyonu

olarak ortaya çıktığını rapor etmişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçlar bahsedilen araştırmacıların bildirdiği bulgular ile benzerlik göstermektedir.

4.1.7. Akıllı etiketlerin paket içi renk değişimlerine ait bulgular

Akıllı etiketlerin üretimi öncesinde ve aşamasında etiketler üzerinde ölçülmüş renk değerleri sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Analizler öncesi boya solüsyonu ve akıllı etiketlere ait ölçüm değerleri

Renk Parametreleri	Boya Solüsyonu**	Whatman No:1001 Nolu Beyaz Filtre Kâğıdı	Solüsyon Absorbsiyonu Sonrası Kurumamış Akıllı Etiketler	Nihai Akıllı Etiketler
L*	11,83±0,00	95,90±0,01	30,40±0,24	44,87±0,20
a*	1,39±0,03	-5,46±0,01	37,86±0,3	33,72±0,06
b*	-2,75±0,02	7,84±0,00	9,74±0,05	7,87±0,05

Ort. (n=180) ± st. Hata

** : Solüsyon için; Ort. (n=10) ± st. Hata

Çalışma başlangıcında üretilen akıllı etiketler balık paketleri içerisine yerleştirilmiş ve ait olduğu balık grubuna göre (K, O, B) adlandırılmıştır. Analiz günlerinde her balık örneklerine yapılan kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik analizler ile paralel olarak etiket gruplarının renk ölçümleri yapılmış, renk parametreleri (L*, a* ve b*) kaydedilmiştir. Ölçülen renk parametreleri ile ΔE , WI, RI ve YI hesaplamaları yapılarak gruplara ait L*, WI ve ΔE değerleri Tablo 4.6'da, a*, RI ve ΔE değerleri Tablo 4.7'de ve b*, YI ve ΔE değerleri Tablo 4.8'de verilmiştir. Gruplarda ölçülen L*, a* ve b* değeri değişimleri sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Analiz günlerinde etiketlerde tespit edilen L*, WI ve ΔE değerleri

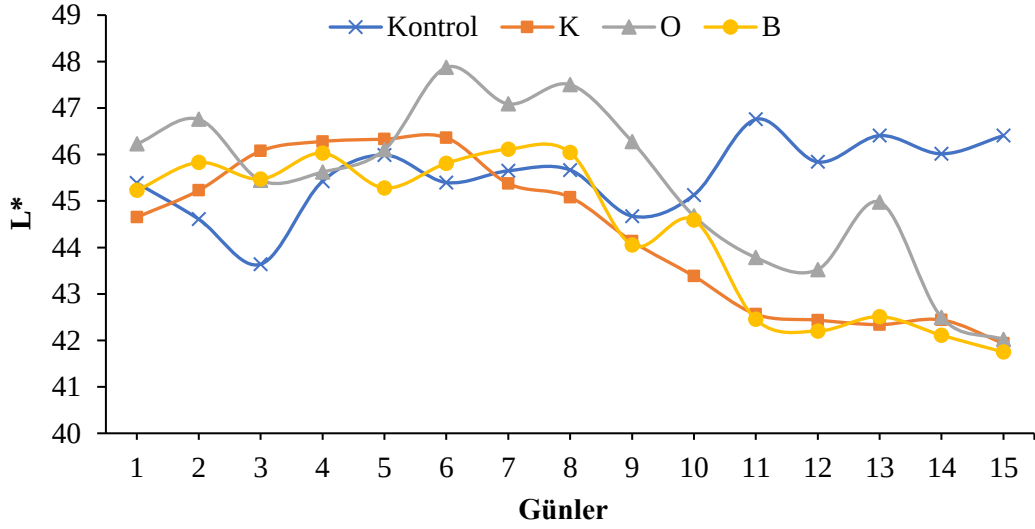
	L*				WI				ΔE			
Günler/Gruplar	KONTROL	K	O	B	Kontrol	K	O	B	Kontrol	K	O	B
0	45,47±0,01	44,89±0,10	46,15±0,08	45,33±0,01	63,85	64,93	63,44	63,63	-	-	-	-
1	45,39±0,32 ^{Aa}	44,65±0,83 ^{Aabc}	46,23±0,52 ^{Aabcd}	45,23±0,74 ^{Aabc}	63,84	64,62	63,42	63,63	0,26	1,06	0,10	0,21
2	44,61±0,23 ^{Aa}	45,23±0,80 ^{Aab}	46,76±0,78 ^{Aabc}	45,83±0,62 ^{Aab}	64,55	62,51	61,37	62,54	0,87	4,45	3,45	1,47
3	43,64±0,08 ^{Aa}	46,08±0,67 ^{Aa}	45,44±0,43 ^{Aabcd}	45,47±0,12 ^{Aabc}	65,35	63,48	64,68	63,99	1,85	1,74	1,48	1,01
4	45,43±0,46 ^{Aa}	46,28±0,12 ^{Aa}	45,62±0,44 ^{Aabcd}	46,03±0,20 ^{Aab}	64,17	63,27	64,27	62,12	0,60	1,70	0,86	1,96
5	45,99±0,90 ^{Aa}	46,33±0,81 ^{Aa}	46,10±0,43 ^{Aabcd}	45,28±0,25 ^{Aabc}	63,37	61,03	63,13	62,70	0,58	5,58	0,75	1,96
6	45,40±0,95 ^{Aa}	46,36±0,69 ^{Aa}	47,88±0,56 ^{Aa}	45,81±0,30 ^{Aab}	63,83	61,12	61,80	60,86	0,20	5,41	1,77	5,00
7	45,65±0,50 ^{Aa}	45,38±0,80 ^{Aab}	47,09±0,55 ^{Aab}	46,11±0,47 ^{Aab}	63,46	61,05	60,75	60,96	0,50	7,44	3,90	4,55
8	45,67±0,66 ^{Aa}	45,08±0,79 ^{Aab}	47,50±0,75 ^{Aab}	46,04±0,38 ^{Aa}	64,00	59,39	60,19	59,02	0,63	12,36	4,52	9,08
9	44,68±0,62 ^{Aa}	44,13±0,57 ^{Aabc}	46,28±0,88 ^{Aabcd}	44,05±0,24 ^{Ac}	64,54	58,82	60,18	57,70	0,83	17,19	6,87	19,80
10	45,13±0,83 ^{Aa}	43,38±0,38 ^{Bbc}	44,68±0,26 ^{Abcde}	44,59±0,13 ^{Abc}	64,28	59,25	60,88	56,86	0,46	18,31	8,68	21,30
11	46,76±0,70 ^{Aa}	42,56±0,17 ^{Cc}	43,78±0,54 ^{Bcde}	42,45±0,21 ^{Bd}	62,33	59,08	61,38	58,50	1,58	22,55	9,87	25,67
12	45,84±0,14 ^{Aa}	42,44±0,08 ^{Bc}	43,52±0,95 ^{Bde}	42,20±0,15 ^{Bd}	63,19	58,56	60,29	58,52	0,82	26,86	13,49	26,85
13	46,41±0,31 ^{Aa}	42,34±0,09 ^{Bc}	44,98±0,86 ^{Abcde}	42,51±0,05 ^{Bd}	63,12	58,82	56,76	58,20	1,09	26,61	21,80	28,44
14	46,02±0,24 ^{Aa}	42,44±0,10 ^{BCc}	42,50±0,10 ^{Be}	42,11±0,07 ^{Cd}	63,65	58,62	59,09	58,56	0,77	27,28	22,15	28,57
15	46,41±0,37 ^{Aa}	41,94±0,25 ^{Bc}	42,02±0,13 ^{Be}	41,75±0,19 ^{Bd}	62,96	58,87	59,25	59,09	1,00	30,81	24,21	29,91

Ort. (n=12) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır ($p<0,05$)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır ($p<0,05$)

L*: Parlaklık, ΔE : Ortalama renk farkı, WI: beyazlık indeksi



Şekil 4.9 Analiz günlerinde etiketlerin L* değerine ait değişimler.

Çalışmada kontrol, K, O ve B gruplarına ait akıllı etiketlerin 15. güne kadar L*, ΔE ile WI değerlerinin zaman içerisindeki değişimleri incelenmiştir. Başlangıçta, tüm grup etiketlerinin L* değerleri oldukça benzerken ($p>0,05$) bu değerler zamanla gruplarda çeşitli değişiklikler göstermiştir. Kontrol grubunun L* değeri depolama süresince genel olarak stabil kalırken ($p>0,05$), K, O ve B gruplarında dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Deneme başında ve sonundan tespit edilen L* değerleri bakımından kontrol ve K gruplarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yokken ($p>0,05$), O grubunda, başlangıçtaki L* değerinde günler ilerledikçe belirgin bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Benzer şekilde, B grubunun da zamanla azalan bir L* değerine sahip olduğu ve 15. gün itibarıyla bu düşüşün belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Depolamanın 10. günü itibarıyla K, O ve B gruplarında ölçülen L* değerleri kontrol grubuna göre anlamlı derecede farklılaşmıştır ($p<0,05$).

WI değerlendirmelerinde, kontrol grubunun değerleri genellikle sabit kalmıştır. Ancak K, O ve B gruplarında WI değerleri zamanla değişiklik göstermiştir. K grubu WI değeri başlangıçta yüksek iken, zamanla bir düşüş eğilimi göstermiştir. O ve B gruplarında da WI zamanla düşmüş ve 15. güne gelindiğinde, bu düşüş daha belirgin hale gelmiştir.

Genel olarak, bu veriler, kontrol grubunun renk ve beyazlık stabilitesini koruduğunu, ancak K, O ve B gruplarının zamanla renk değişimlerine ve beyazlık kaybına uğradığını göstermektedir. Özellikle, K ve B gruplarının en belirgin değişimleri gösterdiği, bu da bu grupların renk stabilitesinin düşük olduğunu ve beyazlıklarını zamanla kaybettiklerini

ortaya koymaktadır. Bu durum, etiketlerin farklı balık gruplarında farklı renk stabilitesine sahip olduğunu ve zamanla belirgin değişimlere uğradığını kanıtlar niteliktedir.

Gruplara ait L^* değeri balık gruplarının taze olduğu ilk günden (K:44,65; O: 46,23; B: 45,23) itibaren depolamanın 15. gününe doğru düşmüştür. Bu düşüş eğilimi depolama süresi boyunca akıllı etiketlerin koyulaştığını göstermektedir. Gruplarda tespit edilen L değerleri değişimine benzer şekilde Aghai vd. (2020)'nin alizarin halokromik boya ile yaptıkları bir çalışmada depolama süresi arttıkça L^* değerlerinde azalmaların meydana geldiğini bildirmiştir.



Tablo 4.7 Analiz günlerinde etiketlerde tespit edilen a*, RI ve ΔE değerleri.

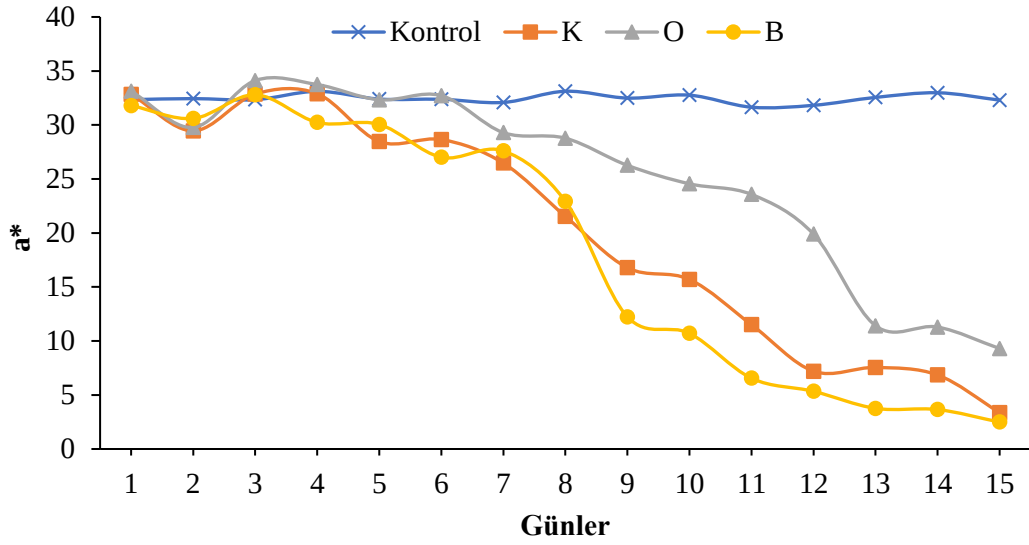
Günler/Gruplar	a*				RI			
	KONTROL	K	O	B	Kontrol	K	O	B
0	32,54±0,01	33,85±0,11	33,02±0,02	31,98±0,14	4,85	5,91	5,63	5,23
1	32,34±0,17 ^{ABa}	32,83±0,24 ^{ABa}	33,13±0,50 ^{Aa}	31,80±0,19 ^{Bab}	4,70	5,60	5,68	5,15
2	32,44±0,41 ^{Aa}	29,46±0,21 ^{Bb}	29,77±0,42 ^{Bb}	30,60±0,71 ^{ABb}	4,77	4,66	4,45	4,84
3	32,34±0,17 ^{Aa}	32,86±0,30 ^{Aa}	34,11±0,51 ^{Aa}	32,80±0,82 ^{Aa}	4,70	5,04	5,15	4,87
4	33,11±0,24 ^{Aa}	32,90±0,46 ^{Aa}	33,74±0,78 ^{Aa}	30,23±0,42 ^{Bb}	5,05	5,50	5,66	5,37
5	32,40±0,09 ^{Aa}	28,46±0,43 ^{Cb}	32,33±0,16 ^{Aa}	30,05±0,51 ^{Bb}	4,66	4,91	5,40	5,16
6	32,38±0,42 ^{Aa}	28,65±0,32 ^{Bb}	32,72±0,17 ^{Aa}	27,00±0,33 ^{Cc}	4,89	4,71	5,77	4,34
7	32,09±0,43 ^{Aa}	26,47±0,33 ^{Cc}	29,29±0,49 ^{Bb}	27,60±0,18 ^{Ac}	4,84	4,04	5,06	3,89
8	33,12±0,20 ^{Aa}	21,54±0,25 ^{Cd}	28,78±0,28 ^{Bb}	22,94±0,49 ^{Dd}	4,83	3,15	4,60	3,41
9	32,49±0,31 ^{Aa}	16,78±0,49 ^{Cd}	26,26±0,42 ^{Bc}	12,24±0,17 ^{De}	4,67	2,21	3,88	1,75
10	32,76±0,36 ^{Aa}	15,70±0,11 ^{Ce}	24,55±0,75 ^{Bcd}	10,71±0,16 ^{De}	4,71	2,05	3,74	1,54
11	32,27±0,08 ^{Aa}	11,51±0,28 ^{Cf}	23,57±0,07 ^{Bd}	6,55±0,08 ^{Df}	4,55	1,50	3,30	0,80
12	31,82±0,19 ^{Aa}	7,20±0,04 ^{Cg}	19,89±0,29 ^{Be}	5,34±0,16 ^{Df}	4,66	0,90	2,83	0,72
13	32,55±0,17 ^{Aa}	7,55±0,13 ^{Cg}	11,41±0,15 ^{Bf}	3,76±0,16 ^{Dg}	4,47	0,85	1,43	0,46
14	32,98±0,25 ^{Aa}	6,85±0,15 ^{Cg}	11,29±0,08 ^{Bf}	3,65±0,07 ^{Dg}	4,68	0,78	1,49	0,46
15	32,30±0,20 ^{Aa}	3,37±0,10 ^{Ch}	9,30±0,15 ^{Bg}	2,49±0,09 ^{Dg}	4,63	0,37	1,18	0,26

Ort. (n=12) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a*: kırmızı (+) veya yeşil (-), ΔE : Ortalama renk farkı, RI: kırmızılık indeksi



Şekil 4.10 Analiz günlerinde etiketlerin a^* değerine ait değişimler

Çalışmada kontrol, K, O ve B gruplarının a^* değerleri, renk farkı (ΔE) ve kırmızılık indeksi (RI) 15 gün boyunca incelenmiştir. Deneme başında O ve B grupları a^* değeri ölçümlerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Ancak bu farklılığın birinci günde gözlemlenmesi aletsel renk ölçümü hatasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. En yüksek a^* değeri (34,11) 3. günde O grubunda ölçülürken en düşük a^* değeri (2,49) 15. günde B grubunda ölçülmüştür. Başlangıçta gruplar arasında belirgin farklar yokken, günler ilerledikçe K, O ve B gruplarında anlamlı değişiklikler gözlenmiştir. İlk günlerde, tüm grupların a^* değerleri birbirine yakın bulunmuştur ($p > 0,05$). Tüm gruplarda 5. günden depolama sonuna kadar ölçülen a^* değerleri bakımından istatistiksel olarak birbirinden farklı bulunmuştur ($p < 0,05$).

Kontrol grubunda a^* değeri günler ilerledikçe genellikle stabil kalmış ($p > 0,05$), ancak K, O ve B gruplarında zamanla anlamlı değişiklikler meydana gelmiştir ($p < 0,05$). a^* değerinin düşüşü, K ve B grubunda belirgin bir şekilde 7. günden itibaren olduğu gözlenirken, O grubunda 12. günden itibaren olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.10).

Kırmızılık indeksi (RI) değerlendirmelerinde kontrol grubunun RI değerinin depolama süresince 5,05-4,47 aralığında stabil kaldığı görülmüştür. Ancak K, O ve B gruplarında RI değerleri zamanla belirgin değişiklikler göstermiştir. K ve B gruplarında RI değeri 6. günden itibaren belirgin şekilde azalırken O grubunda 8. günden itibaren azalmaya başlamıştır ve 15. güne kadar tüm gruplarda devam etmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma kontrol grubunun renk ve kırmızılık stabilitesini koruduğunu, ancak K, O ve B gruplarının zamanla renk değişimlerine ve kırmızılık kaybına uğradığını göstermektedir. İstatistiksel analizler, özellikle 6. gün ve sonrasında gruplar arasında belirgin ve anlamlı farkların ($p<0,05$) ortaya çıktığını doğrulamaktadır. Bu durum, farklı grupların farklı renk stabilitesine sahip olduğunu ve zamanla belirgin değişimlere uğradığını kanıtlar niteliktedir.



Tablo 4.8 Analiz günlerinde etiketlerde tespit edilen b*, YI ve ΔE değerleri.

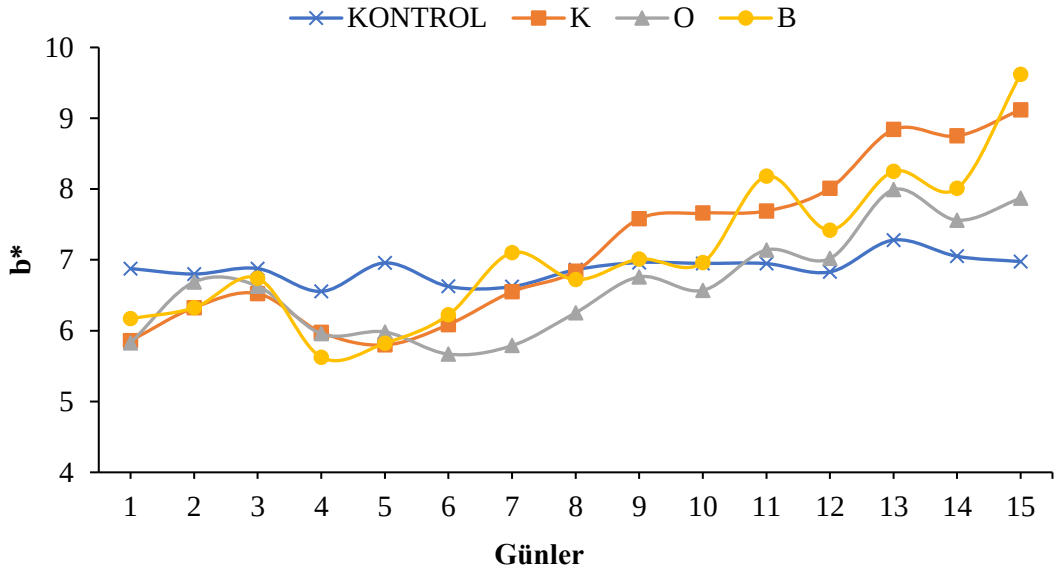
Günler/Gruplar	b*				YI			
	KONTROL	K	O	B	Kontrol	K	O	B
0	6,71±0,01	5,73±0,05	5,86±0,05	6,12±0,07	21,08	18,24	18,14	19,29
1	6,88±0,10 ^{Aa}	5,86±0,11 ^{Bf}	5,83±0,17 ^{Befg}	6,17±0,05 ^{Bfg}	21,65	18,74	18,01	19,49
2	6,80±0,11 ^{Aa}	6,33±0,18 ^{Aef}	6,69±0,15 ^{Acdef}	6,32±0,07 ^{Aefg}	21,78	19,98	20,43	19,71
3	6,88±0,10 ^{Aa}	6,52±0,06 ^{Adef}	6,63±0,12 ^{Adef}	6,74±0,12 ^{Adef}	22,52	20,23	20,84	21,18
4	6,56±0,07 ^{Aa}	5,98±0,12 ^{ABf}	5,96±0,15 ^{ABefg}	5,63±0,19 ^{Bg}	20,62	18,45	18,65	17,46
5	6,96±0,08 ^{Aa}	5,80±0,11 ^{Bf}	5,98±0,11 ^{Befg}	5,82±0,06 ^{Bg}	21,61	17,88	18,54	18,37
6	6,63±0,16 ^{Aa}	6,09±0,05 ^{ABf}	5,67±0,28 ^{Bg}	6,22±0,04 ^{ABfg}	20,85	18,75	16,92	19,41
7	6,62±0,10 ^{ABa}	6,55±0,10 ^{ABcdef}	5,79±0,45 ^{Bfg}	7,10±0,09 ^{Ade}	20,72	20,62	17,56	22,00
8	6,86±0,19 ^{ABa}	6,84±0,04 ^{Acdef}	6,25±0,10 ^{Bdefg}	6,72±0,11 ^{Aef}	21,46	21,68	18,81	20,85
9	6,96±0,13 ^{Ba}	7,58±0,08 ^{Abcde}	6,76±0,15 ^{Bcde}	7,01±0,10 ^{Bde}	22,26	24,54	20,87	22,73
10	6,95±0,11 ^{ABa}	7,66±0,16 ^{Abcd}	6,57±0,07 ^{Bdefg}	6,96±0,06 ^{Bde}	22,00	25,22	21,01	22,30
11	6,95±0,18 ^{Aa}	7,69±0,34 ^{Abc}	7,14±0,10 ^{Aabcd}	8,18±0,09 ^{Ab}	21,23	25,81	23,30	27,53
12	6,83±0,04 ^{Aa}	8,01±0,31 ^{Aab}	7,02±0,25 ^{Abcd}	7,42±0,28 ^{Ac}	21,29	26,97	23,04	25,12
13	7,28±0,05 ^{Ca}	8,84±0,06 ^{Aa}	7,99±0,06 ^{Ba}	8,25±0,08 ^{Bb}	22,41	29,83	25,38	27,73
14	7,05±0,24 ^{Ca}	8,75±0,08 ^{Aa}	7,56±0,15 ^{B^{Cabc}}	8,01±0,13 ^{Bbc}	21,89	29,45	25,41	27,17
15	6,98±0,03 ^{Da}	9,12±0,14 ^{Ba}	7,87±0,13 ^{Cab}	9,62±0,08 ^{Aa}	21,48	31,07	26,76	32,92

Ort. (n=12) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

b*: sarı (+) veya mavi (-), ΔE : Ortalama renk farkı, YI: sarılık indeksi



Şekil 4.11 Analiz günlerinde etiketlerin b* değerine ait değişimler

Çalışmada kontrol, K, O ve B gruplarının b* değerleri, renk farkı (ΔE) ve sarılık indeksi (YI) 15 gün boyunca incelenmiştir. Başlangıçta gruplar arasında belirgin farklar yokken, günler ilerledikçe K, O ve B gruplarında anlamlı değişiklikler gözlenmiştir.

Başlangıçta, tüm grupların b* değerleri birbirine yakındı. Kontrol grubunda b* değeri günler ilerledikçe genellikle stabil kalmıştır, ancak K, O ve B gruplarında zamanla anlamlı değişiklikler meydana gelmiştir ($p < 0,05$). K grubunun b* değeri başlangıçta $5,86 \pm 0,11$ iken, 15. günde $9,12 \pm 0,14$ değerine yükselmiştir ($p < 0,05$). O grubunda da benzer bir artış eğilimi gözlemlenmiştir; başlangıçta $5,83 \pm 0,17$ olan b* değeri, 15. günde $7,87 \pm 0,13$ değerine ulaşmıştır ($p < 0,05$). B grubunda ise b* değeri zamanla artarak $6,17 \pm 0,05$ değerinden $9,62 \pm 0,08$ değerine yükselmiştir ($p < 0,05$). Kontrol grubunda ise b* değerinde günler arasında önemli bir değişiklik olmamıştır ($p > 0,05$).

Sarılık indeksi (YI) puanlarına bakıldığında, kontrol grubunun YI değeri 20,62 ile 22,26 değerleri arasında stabil kalmıştır. Ancak K, O ve B gruplarında YI değerleri zamanla belirgin değişiklikler göstermiştir. K grubunda YI değeri 8. günden itibaren belirgin bir artış göstererek 15. güne kadar bu şekilde devam etmiştir. O grubunun YI değeri ise 11. ve 12. günlerde diğer günlere nazaran daha fazla artış olduğu gözlemlenmiştir. B grubunda bu durum 6. günden itibaren gerçekleşmiş ve tüm gruplara kıyasla en yüksek değere (32,92) 15. günde ulaşmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışma kontrol grubunun renk ve sarılık stabilitesini koruduğunu, ancak K, O ve B gruplarının zamanla renk değişimlerine ve sarılık değerinde artışa uğradığını göstermektedir. İstatistiksel analizler, özellikle 6. gün ve sonrasında gruplar arasında belirgin ve anlamlı farkların ortaya çıktığını doğrulamaktadır. Bu durum, farklı grupların farklı renk stabilitesine sahip olduğunu ve zamanla belirgin değişimlere uğradığını kanıtlar niteliktedir.

Genel olarak, hazırlanan indikatörün kolorimetrik parametrelerini analiz etmek için ΔE hesaplaması yapılmıştır ve toplam renk farkı sonucu (ΔE) 5'ten fazla olduğunda renk değişiklikleri görsel olarak algılanabilmektedir (Moradi vd., 2019). Gruplar ΔE hesaplaması açısından incelendiğinde, kontrol grubunun ΔE değerleri genellikle düşük kalmıştır bu da etiketlerin balık örneği dışında dış etmenlerden etkilenmediğini renk değişiminin minimal olduğunu göstermektedir. Ancak, K, O ve B grupları ΔE değerlerinin zamanla arttığı açıkça görülmektedir. Özellikle, K ve B gruplarında ΔE değerlerindeki artış daha kısa sürede (8.gün) gerçekleşmiştir. ΔE değeri K ve B gruplarında, 9. ve 10. günden sonra dramatik bir artış gösterirken O grubunda bu 11. günden itibaren görülmüştür.

Tirtashi vd. (2019) yaptığı çalışmada, selüloz/kitosan tabanlı siyah havuç antosiyaninleri ile oluşturulan pH indikatör filmlerinin, süt bozulmasını izlemek için kullanıldığı belirtilmiştir. Çalışmada, fizikokimyasal ve mikrobiyal değişimlere paralel olarak indikatörün renginin 24 saat sonra maviden leylak rengine, 48 saat sonra ise mor gül rengine dönüştüğü ve bu renk değişimlerinin süt bozulmasını açıkça gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca en yüksek renk değişiminin 24. ve 48. saatlerde sırasıyla 3,53 ve 29,28 ile artış gösterdiği belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada Pereira vd. (2015), antosiyaninle birleştirilmiş kitosan/polivinil alkol filminin 20 °C'deki pastörize sütte kimyasal ve mikrobiyal değişikliklere uygun olarak renk değişiklikleri gösterdiğini tespit etmişlerdir. Huang vd. (2020), karidesler üzerinde yaptıkları çalışmada, depolama süresi arttıkça a^* değerinin azaldığını, b^* değeri ve toplam renk farkının ise kademeli olarak arttığını rapor etmiştir. Hassanpour vd. (2022), üzüm ve siyah havuç antosiyaninleri içeren filtre kağıtları ile akıllı etiket üretmişlerdir. Et, tavuk filetoları ve karideslerin bozulma aşamalarını inceledikleri çalışmada, depolamanın ilk günü net bir kırmızı renkte olan etiketlerin bozulma başlangıcına kadar hafif bir değişiklik gösterdiği, gıdalar bozulduğunda ise (psikrofilik bakteri yükünün 7 log kob/g aştığı an) belirgin bir şekilde renk değişimi gözlemlendiği, 4 °C'de depolanan karidesin tazeliğini izlemek için

kullandıkları *Echium amoenum* ekstraktları içeren etiketlerin 2 ile 12 arasında değişen pH değerlerinde kırmızıdan sarıya renk değişimi gösterdiğini bildirmişlerdir. Choi vd. (2017), mor patates antosiyanini içeren agar/patates nişastası tabanlı akıllı etiketler üzerine yaptıkları bir çalışmada, a^* değerinin kademeli olarak azalmasıyla pH indikatör filmlerinin yeşil renginin belirginleştiğini, b^* değerinde ise önemli farklılıkların olmadığını rapor etmişlerdir. Yine Huang vd. (2020) çalışmasında, başlangıçta gül kırmızısı renkte olan filmin, pH değerinin $7,30 \pm 0,01$ ve TVB-N içeriğinin $28,23 \pm 4,04$ olduğunu, bozulmanın başlangıç noktasına karşılık gelen 4. günde açık yeşil renge dönüştüğü belirtilmiştir. Ayrıca, bu zamandaki ΔE değerinin $53,19 \pm 1,96$ olup 5'ten yüksek olduğunu, bu da karidesin taze ve ilk bozulma aşamasındaki film renginin kolayca ayırt edilebileceğini ifade etmiştir. 8. günde pH değeri ve TVB-N içeriği eşiği aştığında, film rengi belirgin bir görünür renk değişimi ile sarıya döndüğünü ($\Delta E = 61,90 \pm 0,51$), bunun da ciddi şekilde denatürasyona dan kaynakladığını rapor etmişlerdir.

4.1.8. Balık eti renk değişimlerine ait bulgular

Araştırmada kullanılan K, O ve B gruplarının L^* , a^* ve b^* değeri sonuçları sırasıyla Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'de gösterilmiştir. Ayrıca K, O ve B gruplarında ölçülen renk parametreleri (L^* , a^* ve b^*) ile beyazlık indeksi (WI), kırmızılık indeksi (RI), sarılık indeksi (YI) ve toplam renk farkı (ΔE) hesaplamaları yapıp değerler tablolar içinde verilmiştir. Ayrıca günlere göre değişimleri sırasıyla Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Tüm gruplarda tespit edilen L^* değerleri incelendiğinde değerlerin depolama süresi boyunca (15 gün) $48,29 \pm 0,23$ ve $54,15 \pm 0,23$ arasında olduğu, en düşük L^* değerlerinin K, O ve B gruplarında sırasıyla 0., 11. ve 7. günlerde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek L^* değerlerinin ise tüm gruplarda 6. günde olduğu belirlenmiştir. Depolamanın 2. gününe kadar L^* değeri bakımından tüm gruplar arasında istatistiksel anlamda fark tespit edilmez iken ($p > 0,05$) depolama süresi boyunca yalnızca 5. ve 9. günlerde birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Ayrıca depolama süresi boyunca tüm gruplarda tespit edilen L^* değeri 0. günden itibaren depolama sonuna kadar dalgalı bir seyir göstererek depolama sonunda daha yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$). Grupların WI değerleri incelendiğinde ideal beyaza (WI:0) olan uzaklıkları 0. günde en uzak K grubundayken 15. gün sonunda en yakın yine K grubunda olduğu tespit edilmiştir. Tüm gruplarda hesaplanan WI değeri 6. günde belirgin bir şekilde düşüş göstermiş olsa

da hafif yükselişle depolama sonuna kadar dalgalı hareket ederek başlangıç değerinden daha az olduğu belirlenmiştir.



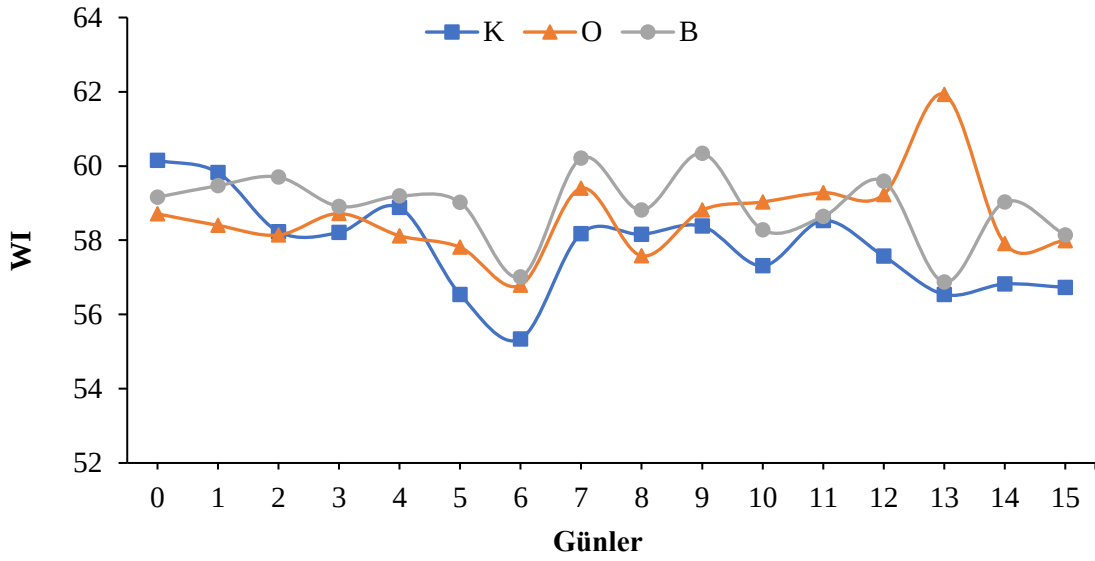
Tablo 4.9 Balık örneklerinin depolama süresine göre L*, WI ve ΔE değerleri.

Günler/Gruplar	L*			Beyazlık İndeksleri (WI)			ΔE		
	K	O	B	K	O	B	ΔE_K	ΔE_O	ΔE_B
0	49,64±0,18 ^{Ae}	50,55±0,26 ^{Aefgh}	49,90±0,49 ^{Aef}	60,15	58,71	59,16	-	-	-
1	49,93±0,20 ^{Ae}	50,80±0,26 ^{Aefg}	49,73±0,51 ^{Aef}	59,82	58,40	59,47	0,34	0,36	0,37
2	52,68±0,34 ^{Abc}	51,95±0,25 ^{Abcde}	49,89±0,19 ^{Bef}	58,23	58,14	59,70	3,22	1,79	1,03
3	52,60±0,31 ^{Abc}	50,69±0,19 ^{Befgh}	50,33±0,25 ^{Bdef}	58,21	58,72	58,91	3,09	0,32	0,49
4	51,56±0,32 ^{Acde}	51,76±0,39 ^{Abcde}	50,99±0,13 ^{Acde}	58,88	58,12	59,19	2,07	1,44	2,10
5	52,64±0,25 ^{Abc}	51,32±0,18 ^{Bcdef}	50,05±0,39 ^{Cef}	56,54	57,81	59,02	4,00	1,08	1,30
6	54,15±0,23 ^{Aa}	53,88±0,21 ^{Aa}	53,09±0,21 ^{Ba}	55,34	56,79	57,01	5,39	3,87	3,75
7	50,87±0,20 ^{Ade}	50,30±0,31 ^{Afgh}	48,29±0,23 ^{Bg}	58,18	59,40	60,21	2,42	0,97	1,82
8	50,64±0,40 ^{Bde}	52,24±0,25 ^{Abcd}	50,14±0,15 ^{Bef}	58,16	57,58	58,81	2,57	1,80	0,63
9	51,78±0,19 ^{Acde}	51,00±0,2 ^{Bdef}	49,02±0,14 ^{Cfg}	58,38	58,81	60,34	2,20	1,10	1,32
10	53,23±0,28 ^{Aab}	51,86±0,24 ^{Bbcde}	52,42±0,22 ^{Aab}	57,31	59,03	58,28	3,67	2,84	3,42
11	51,01±0,42 ^{Ade}	49,25±0,52 ^{Bh}	51,04±0,47 ^{Abcde}	58,53	59,28	58,64	1,78	1,65	2,01
12	52,62±0,20 ^{Abc}	49,36±0,47 ^{Bgh}	50,46±0,21 ^{Bde}	57,57	59,23	59,59	3,29	1,52	1,94
13	53,73±0,3 ^{Aab}	51,19±0,30 ^{Bdef}	51,53±0,44 ^{Bbcd}	56,54	61,93	56,87	4,51	3,60	2,40
14	53,69±0,40 ^{Aab}	52,77±0,22 ^{ABabc}	52,33±0,18 ^{Babc}	56,82	57,91	59,03	4,22	3,08	4,54
15	53,86±0,36 ^{Aab}	52,93±0,22 ^{Bab}	52,5±0,18 ^{Bab}	56,73	57,99	58,14	4,34	3,42	3,47

Ort. (n=12) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...h (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)



Şekil 4.12 Depolama süresince balık eti WI değerleri değişimi

Literatür verileri incelendiğinde, taze alabalık kıymasının L^* değeri 60.32 (Kılınç vd., 2009), 55,88 (Kocatepe vd., 2016), ve 57,16 (Çorapçı, 2017) olarak bildirilmiştir. Kızılkaya (2020), alabalık filetoları üzerinde yapmış olduğu çalışmasında L^* değerini 50,74 olarak bulurken depolama süresi boyunca bu değer artış gösterdiğini rapor etmiştir. Başka bir çalışmada Hisar (2002) gökkuşağı alabalığı filetolarının üzerinde MAP işleminin etkilerini incelediği çalışmasında ise muhafaza süresi arttıkça L^* değerinde artış gözlemlediklerini bildirilmiştir. Çalışmaya benzer olarak, Ebadi vd. (2019) yaptıkları bir çalışmada çipura balıklarını atmosfer paketlenme yaparak 4 °C’de 12 gün boyunca muhafaza etmişlerdir. Depolama süresi boyunca balıklarda tespit edilen parlaklık değerinde bir dalgalanmanın yaşandığı bildirilmiştir. Depolama süresince filetoların L^* parametresinde görülen artışın, mikrobiyolojik artış sonucu meydana gelen amonyak gibi uçucu bileşiklerin varlığının neden olduğu tahmin edilmektedir. Kaya Öztürk vd. (2019) büyük alabalıklar üzerine yaptığı bir araştırmada, çalışmada belirlediğimiz gruplara (baş-orta-kuyruk) benzer şekilde 3 farklı bölgeden (operkulum arkası, dorsal yüzgeç altı ve kaudal yüzgeç) renk ölçümleri yapmış, L^* değeri açısından tüm bölgelerde önemli farklılıkların yaşanmadığını başlangıç ve son ölçümler arasında ise L^* değeri açısından önemli farkların olduğunu rapor etmişlerdir. Çalışmada bulunan L^* değerleri ve depolama süresi boyunca gösterdiği değişimler araştırmacıların bildirdiği bulgular ile benzerlik göstermektedir.

Tüm gruplarda tespit edilen a^* değerleri incelendiğinde değerlerin depolama süresi boyunca $13,47 \pm 0,25$ ve $17,00 \pm 0,13$ arasında olduğu ölçülmüş tespit edilen bu en büyük ve en düşük a^* değerlerinin sırasıyla 2. ve 6. günlerde K grubunda olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın 1., 4. ve 15. günlerinde tespit edilen a^* değerleri incelendiğinde istatistiksel anlamda B grubu diğer gruplardan farklıyken ($p < 0,05$), 2., 3. ve 6. günlerde ise K grubu değerlerinin diğer gruplardan farklı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). 7. ve 14. günler arasında 12. gün hariç tüm gruplarda tespit edilen a^* değeri istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Ayrıca depolama süresince tüm gruplarda a^* değerleri dalgalı seyretse de depolama başında (0.gün) ve sonunda (15.gün) tespit edilen a^* değerleri istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Çalışmada balık etinde ölçülen renk parametreleri ile (a^* ve b^*) kırmızılık indeksi (RI) hesaplaması da yapılmıştır. RI değerleri değişimine bakıldığında, deneme başından 6. güne kadar tüm gruplarda belirgin bir düşüş gerçekleşmiş daha sonra hafif bir yükseliş göstererek dalgalı hareket etmiştir. Bu da balık eti kırmızı renginin, sarılığa olan baskınlığının azaldığını göstermektedir.

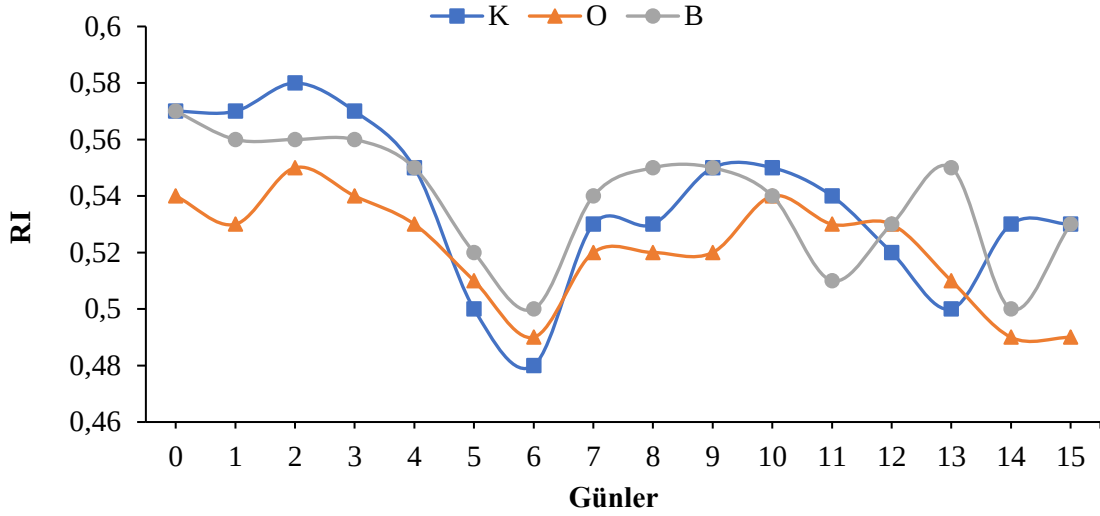
Tablo 4.10 Balık örneklerinin depolama süresine göre a*, RI ve ΔE değerleri

	a*			Kırmızılık İndeksleri (RI)		
Günler/Gruplar	K	O	B	K	O	B
0	16,36±0,24 ^{Aab}	14,95±0,28 ^{Bbc}	15,54±0,20 ^{ABabc}	0,57	0,54	0,57
1	16,19±0,22 ^{Aabc}	14,70±0,25 ^{Bbc}	15,62±0,20 ^{Aab}	0,57	0,53	0,56
2	17,00±0,13 ^{Aa}	15,71±0,21 ^{Bab}	15,83±0,25 ^{Bab}	0,58	0,55	0,56
3	16,80±0,24 ^{Aa}	15,19±0,13 ^{Babc}	15,57±0,18 ^{Babc}	0,57	0,54	0,56
4	16,21±0,16 ^{Aabc}	15,29±0,15 ^{Babc}	15,96±0,18 ^{Aa}	0,55	0,53	0,55
5	13,90±0,38 ^{Aef}	14,20±0,11 ^{Ac}	14,40±0,24 ^{Acd}	0,50	0,51	0,52
6	13,47±0,25 ^{Bf}	14,47±0,25 ^{Ac}	14,45±0,21 ^{Acd}	0,48	0,49	0,50
7	14,51±0,24 ^{Adef}	15,06±0,20 ^{Abc}	14,73±0,22 ^{Abcd}	0,53	0,52	0,54
8	14,41±0,21 ^{Adef}	14,91±0,29 ^{Abc}	14,96±0,23 ^{Aabcd}	0,53	0,52	0,55
9	15,90±0,23 ^{Aabc}	14,90±0,23 ^{Abc}	15,44±0,13 ^{Aabcd}	0,55	0,52	0,55
10	15,87±0,23 ^{Aabc}	16,28±0,32 ^{Aa}	15,97±0,35 ^{Aa}	0,55	0,54	0,54
11	15,29±0,17 ^{Abcd}	14,40±0,20 ^{Ac}	14,66±0,37 ^{Abcd}	0,54	0,53	0,51
12	15,06±0,23 ^{ABcde}	14,30±0,20 ^{Bc}	15,60±0,22 ^{Aab}	0,52	0,53	0,53
13	14,53±0,29 ^{Adef}	14,64±0,31 ^{Abc}	14,33±0,25 ^{Ad}	0,50	0,51	0,55
14	15,33±0,27 ^{Abcd}	14,85±0,15 ^{Abc}	15,51±0,12 ^{Aabcd}	0,53	0,49	0,50
15	15,53±0,16 ^{Abcd}	15,02±0,13 ^{Bbc}	15,65±0,11 ^{Aab}	0,53	0,49	0,53

Ort. (n=12) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05).



Şekil 4.13 Depolama süresince balık eti RI değerleri değişimi

D'Souza vd. (2006) yaptıkları çalışmada, 4 °C'de 2 gün depolanan alabalığın, a^* değerini 5.62 tespit ederken bu değer depolamanın 13. gününde 1,73'e düştüğünü belirtmiştir. Büyük alabalıklar ile yapılan benzer başka bir çalışmada, Altan (2020) ise taze gökkuşağı alabalığı örneklerinin a^* değerini 1,35 olarak bulduğunu ifade etmiştir. Mohan vd. (2018)'nin atmosferik oksijenle paketlenen uskumru filetoları üzerine yaptıkları bir çalışmada, filetoların 4 °C'de 13 gün depolanması sırasında kırmızılık değerlerinde dalgalanmanın olduğu rapor edilmiştir. Kaya Öztürk vd. (2019) büyük alabalıklar üzerine yaptığı çalışmada tıpkı gruplarımıza (baş, orta ve kuyruk) benzer şekilde 3 bölgeden (operkulum arkası, dorsal yüzgeç altı ve kaudal yüzgeç) renk ölçümleri yapmışlar, a^* değerlerinin deneme sonunda balık etinde önemli ölçüde arttığını ifade etmişlerdir. Deneme sonunda operkulum ve dorsal yüzgeç altından yapılan ölçümler sonucunda belirlenen a^* değerleri arasında istatistiksel farkın önemli olmadığını, kaudal yüzgeç ve diğer bölgelerde ölçülen a^* değerinin istatistiksel anlamda ise önemli bir fark içerdiğini bildirmiştir. Çalışmada da benzer şekilde K grubunda ölçülen a^* değerleri depolama süresince azalırken diğer gruplarda artış göstermiştir. Ayrıca araştırmada bulunan a^* değerleri bahsedilen araştırmacıların buldukları değerlerden daha yüksektir. Balık kaslarının rengi, genellikle myoglobin, hemoglobin ve sitokromlar gibi kromoproteinlerin kimyasal yapısı ve içeriği ile ilişkilidir. Taze balık kaslarının kesilmesi sonucu ortaya çıkan mor-kırmızı renk, bu kromoproteinlerin indirgenmiş formlarından kaynaklanır. Yüksek oksijen basıncında pigmentler oksijenlenerek açık kırmızı renge, oksitlenmiş formlar ise kahverengi renge dönüşür. Su ürünlerinin renkleri, işleme

yöntemlerinden de etkilenir (Sikorski, 2009). Ayrıca doğal ortamda yetişen balıkların rengi, planktonik organizmalar ve kabuklular gibi besin kaynaklarından da etkilenir. Kültür balıklarında ise, doğal renklendirme süreci yemlere ilave edilen doğal ve sentetik renklendiricilerle sağlanabilir (Choubert ve Blanc, 1985; Bird ve Savage, 1990; Emir Çoban ve Tuna Keleştemur, 2011). Çalışmada depolama süresi boyunca tüm örnek grupları a^* değerinde önemli değişimler olmadığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin paketleme materyalinin uygun olmasından ve balıklara verilen yemlere ilave edilen doğal ve sentetik renk maddelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tüm gruplarda tespit edilen b^* değerleri incelendiğinde değerlerin depolama süresi boyunca $27,05 \pm 0,18$ ve $30,36 \pm 0,10$ arasında olduğu ölçülmüş, tespit edilen bu en düşük ve en büyük a^* değerlerinin sırasıyla 11. ve 15. günlerde O grubunda olduğu tespit edilmiştir. Tüm gruplarda deneme başı ve deneme sonu ölçülen a^* değerleri arasındaki ilişkiye baktığımızda, K grubunda istatistiksel anlamda fark yokken ($p > 0,05$), O ve B gruplarında anlamlı farklar tespit edilmiştir. Depolamanın 7., 11., 12. ve 13. günlerinde tespit edilen b^* değerleri incelendiğinde istatistiksel anlamda O grubu her bir gruptan farklıken ($p < 0,05$), K ve B grupları arası fark önemsiz bulunmuştur ($p > 0,05$). Tüm gruplarda depolama süresince b^* değerleri dalgalı seyretse de hareketliliğin çok az olduğu söylenebilir. Ancak tüm gruplarda depolama sonunda ölçülen a^* değerlerinin başlangıç değerinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada balık etinde ölçülen renk parametreleri (L^* ve b^*) ile sarılık indeksi (YI) hesaplaması da yapılmıştır. YI değerleri değişimine bakıldığında, deneme sonuna kadar dalgalı hareket etmiştir. K grubunda YI değeri başlangıç değerine nazaran azalırken O ve B gruplarında artış gözlemlenmiştir.

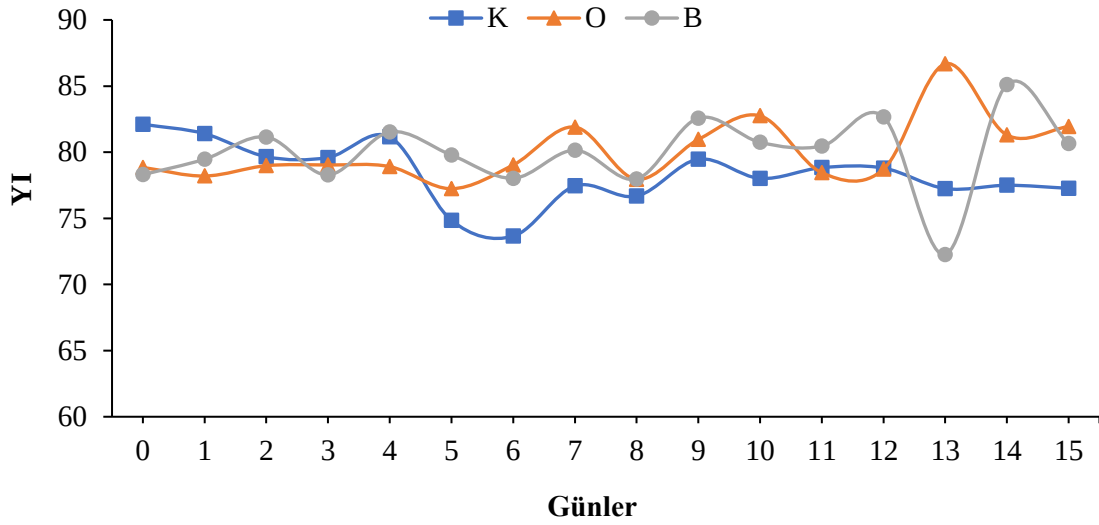
Tablo 4.11 Balık örneklerinin depolama süresine göre b*, YI ve ΔE değerleri

Günler/Gruplar	b*			Sarılık İndeksleri (YI)		
	K	O	B	K	O	B
0	28,53±0,39 ^{Aabcd}	27,90±0,27 ^{Aefg}	27,35±0,37 ^{Acd}	82,11	78,85	78,30
1	28,45±0,41 ^{Aabcd}	27,81±0,34 ^{Aefg}	27,67±0,37 ^{Abcd}	81,40	78,20	79,47
2	29,38±0,24 ^{Aa}	28,72±0,26 ^{ABcde}	28,34±0,34 ^{Babcd}	79,66	78,98	81,15
3	29,31±0,27 ^{Aa}	28,04±0,23 ^{Befg}	27,58±0,34 ^{Bbcd}	79,60	79,03	78,28
4	29,29±0,23 ^{Aa}	28,59±0,21 ^{Ade}	29,10±0,25 ^{Aabc}	81,16	78,91	81,53
5	27,58±0,32 ^{Abcd}	27,75±0,15 ^{Aefg}	27,95±0,36 ^{Aabcd}	74,85	77,24	79,78
6	27,92±0,42 ^{Babcd}	29,81±0,25 ^{Aabcd}	29,00±0,24 ^{Aabc}	73,65	79,03	78,03
7	27,58±0,41 ^{Bcd}	28,83±0,18 ^{Acde}	27,09±0,31 ^{Bd}	77,45	81,90	80,15
8	27,18±0,37 ^{Ad}	28,50±0,32 ^{Ae}	27,37±0,49 ^{Ad}	76,68	77,95	77,98
9	28,80±0,29 ^{Aabc}	28,90±0,24 ^{Abcde}	28,33±0,19 ^{Aabcd}	79,47	80,96	82,58
10	29,07±0,29 ^{Aab}	30,04±0,35 ^{Aab}	29,63±0,53 ^{Aa}	78,02	82,75	80,75
11	28,15±0,28 ^{Aabcd}	27,05±0,18 ^{Bg}	28,75±0,34 ^{Aabcd}	78,83	78,45	80,46
12	29,03±0,26 ^{Aabc}	27,20±0,33 ^{Bfg}	29,20±0,28 ^{Aab}	78,80	78,71	82,67
13	29,05±0,30 ^{Aabc}	28,53±0,36 ^{Aef}	28,31±0,46 ^{Aabcd}	77,25	86,68	72,26
14	29,13±0,23 ^{Babc}	30,03±0,15 ^{Aabc}	29,51±0,16 ^{ABa}	77,50	81,30	85,11
15	29,13±0,23 ^{Babc}	30,36±0,10 ^{Aa}	29,64±0,18 ^{Ba}	77,27	81,94	80,65

Ort. (n=12) ± st. Hata

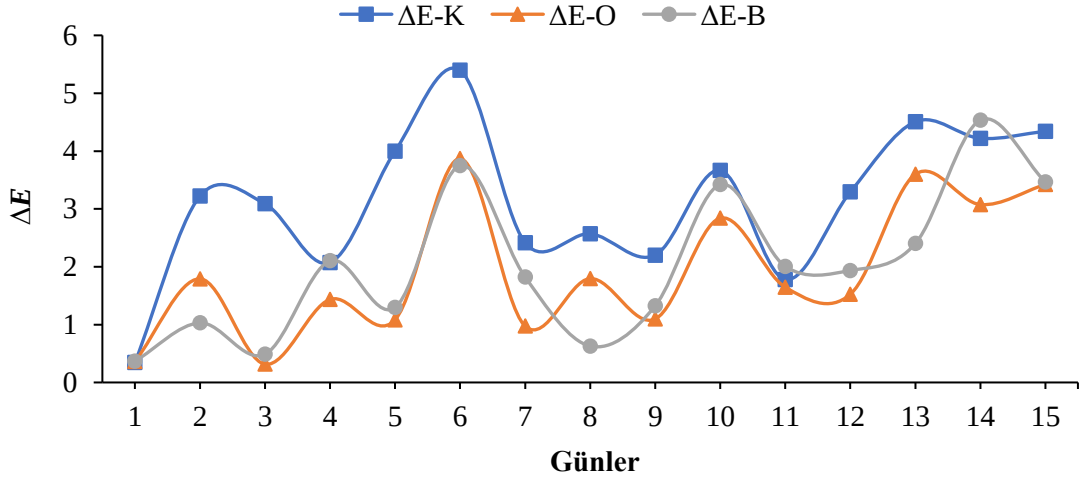
A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)



Şekil 4.14 Depolama süresince balık eti YI değerleri değişimi

D'Souza vd. (2006) yaptıkları çalışmada, 4 °C'de 2 gün depolanan kontrol grubu alabalığın, b* değerini 20,30 olarak tespit etmişler ve bu değerin depolamanın 13. gününde 19,71'e düştüğü bildirilmişlerdir. Kaya Öztürk vd. (2019), büyük gökkuşağı alabalıkları ile yaptıkları bir çalışmada taze balık etinde tespit edilen başlangıç b* değerlerinin deneme sonunda önemli ölçüde arttığını ifade etmişlerdir. Özünlü (2023), alabalık filetolarında b* değerlerinin 2,88 ile 4,58 arasında değerlerde olduğunu, depolamanın ilk günlerinde, 2,88 olan b* parametresinin depolamanın 15. gününde artarak 4,15 olarak tespit edildiğini ifade etmiştir. Ayrıca bu artışın depolama boyunca artış göstermesinin nedeninin yağ oksidasyonu ve protein denatürasyonu ile birlikte mikrobiyal aktivitenin kombinasyonu olabileceğini bildirmiştir. Çalışmada bulunan b* değerleri diğer araştırmalar ile benzerlik gösterse de bildirilen değerlere göre yüksek bulunmuştur. Yetiştiricilik yolu ile üretilen alabalıklarında ölçülen L*, a* ve b* değerlerinin, doğal alabalık değerlerine göre farklılığın, balığın beslendiği yemle doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir.



Şekil 4.15 Depolama süresince gruplarda tespit edilen ΔE değerleri değişimi

Çalışmada depolama süresince tüm gruplarda L^* değerleri artarken beyazlık indeksinin (WI) azaldığı, a^* değeri K grubunda azalıp O ve B grubunda artarken tüm gruplarda kırmızılık indeksinin (RI) azaldığı ve b^* değerlerinin ise tüm gruplarda artarken sarılık indeksi yalnızca O ve B gruplarında artış gösterdiği görülmüştür. Balık etindeki a^* değeri artmasının diyetlerdeki astaksantinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde, b^* değerindeki artış balık yağı oksidasyonundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Et rengi, tüketiciler için biyokimyasal parametrelerin yanı sıra et kalitesinde de çok önemli bir kriterdir (Rasmussen, 2001). Depolama süresince tüm gruplarda hesaplanan ΔE değerleri deneme başından sonuna kadar dalgalı hareket ederek yükseliş göstermiştir. En yüksek ve en düşük ΔE değeri sırasıyla depolamanın 6. ve 1. gününde K grubunda olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak toplam renk farkı sonucu (ΔE) 5'ten fazla olduğunda renk değişiklikleri görsel olarak algılanabilmektedir (Moradi vd., 2019). Depolama süresince ΔE değeri yükseliş göstermiş olsa da sadece 6. günde K grubunda 5'i geçmiştir. Özellikle 6. günde WI, RI ve YI değerleri ani düşüşler göstermiştir ki bu da ΔE açısından ani yükselişle sonuçlanmıştır. Çalışmada bulunan ΔE değişimi, Kaya Öztürk vd. (2019)'un bildirdikleri ΔE değişimleri ile benzerlik göstermektedir.

4.1.9. Su aktivitesi (a_w) analizi bulguları

Çalışmada kullanılan taze alabalık ile oluşturulan K, O ve B gruplarına ait su aktivitesi (a_w) analizi sonuçları Tablo 4.12'de verilmiş olup günlere göre a_w değişimleri Şekil 4.16'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12 Depolama süresince ölçülen gruplara ait su aktivitesi (a_w) değerleri

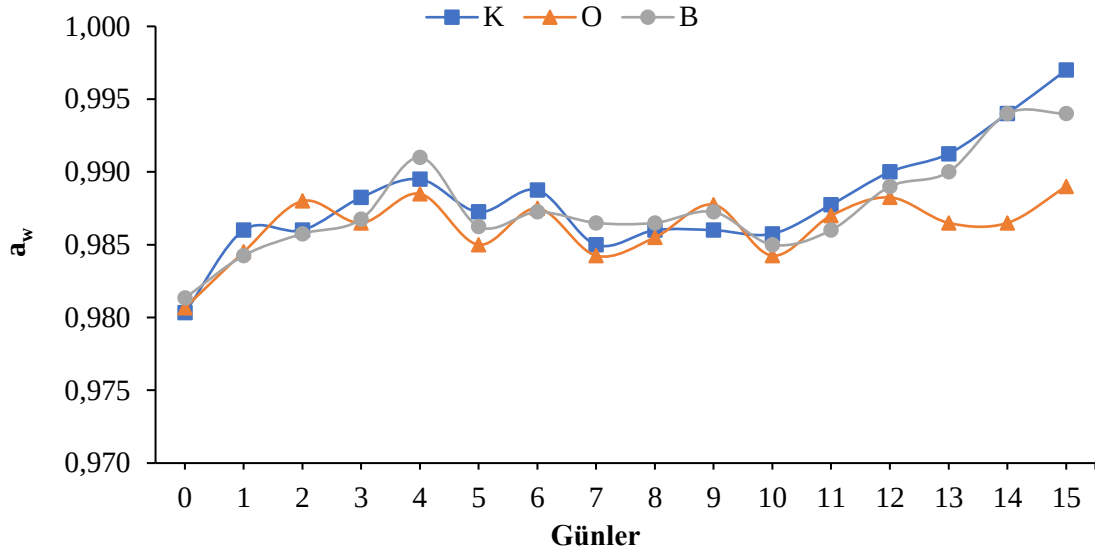
GÜNLER	K	O	B
0	0,980±0,001 ^{Ah}	0,981±0,002 ^{Af}	0,981±0,000 ^{Ag}
1	0,986±0,001 ^{Aefg}	0,985±0,001 ^{Ade}	0,984±0,001 ^{Afg}
2	0,986±0,000 ^{Aefg}	0,988±0,001 ^{Aabc}	0,986±0,000 ^{Af}
3	0,988±0,000 ^{Acde}	0,987±0,001 ^{Aabcde}	0,987±0,000 ^{Aef}
4	0,990±0,001 ^{ABbcd}	0,989±0,000 ^{Bab}	0,991±0,000 ^{Aabc}
5	0,987±0,000 ^{Adefg}	0,985±0,000 ^{Bcde}	0,986±0,000 ^{ABef}
6	0,989±0,000 ^{Acde}	0,988±0,001 ^{Aabcd}	0,987±0,000 ^{Adef}
7	0,985±0,001 ^{ABg}	0,984±0,000 ^{Be}	0,987±0,000 ^{Aef}
8	0,986±0,000 ^{Aefg}	0,986±0,000 ^{Abcde}	0,987±0,001 ^{Aef}
9	0,986±0,001 ^{Aefg}	0,988±0,000 ^{Aabc}	0,987±0,001 ^{Adef}
10	0,986±0,001 ^{Afg}	0,984±0,000 ^{Ae}	0,985±0,001 ^{Af}
11	0,988±0,001 ^{Acdef}	0,987±0,001 ^{Aabcde}	0,986±0,001 ^{Aef}
12	0,990±0,00 ^{Abc}	0,988±0,000 ^{Bab}	0,989±0,000 ^{Abcde}
13	0,991±0,000 ^{Ab}	0,987±0,000 ^{Cabcde}	0,990±0,000 ^{Bbcd}
14	0,994±0,001 ^{Aa}	0,987±0,000 ^{Babcde}	0,994±0,000 ^{Aa}
15	0,997±0,001 ^{Aa}	0,989±0,001 ^{Ba}	0,994±0,000 ^{Bab}

Ort. (n=4) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır ($p<0,05$)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır ($p<0,05$)

Depolama süresince, en düşük su aktivitesi (a_w) değeri 0. günde 0,980±0,001 olarak K grubunda tespit edilirken, en yüksek a_w değeri ise 15. günde 0,997±0,001 olarak yine K grubunda ölçülmüştür. Depolamanın başlangıç günü olan 0. günde, gruplar arasında a_w değerleri istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermemiştir ($p>0,05$). 15 gün boyunca yapılan ölçümlerde, 13. ve 15. günler hariç, K ve B grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığını gözlemlenmiştir ($p>0,05$). Tüm gruplar arasındaki a_w değerleri, sadece 13. günde istatistiksel olarak farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Genel olarak, depolama süresinin a_w değeri üzerindeki etkisinin tüm gruplar için istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Depolama süresince, balık örneklerinin a_w değerinde ilk 4 gün hafif bir artış gözlenirken, 4. günden 10. güne kadar dalgalı bir seyir izlemiş ve daha sonra 15. güne kadar belirgin bir artış şeklinde devam etmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Depolama süresince gruplarda görülen su aktivitesi değişimleri

Gıdalardaki su aktivitesi, belirli bir sıcaklıkta gıdadaki suyun buhar basıncının, aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak tanımlanır. Bu kavram, gıdalardaki serbest su miktarının bir göstergesi olup, suyun gıda ürünlerindeki kimyasal ve yapısal bağlanma derecesini yansıtır. a_w değeri mikrobiyolojik faaliyetler için önemli bir belirleyicidir, çünkü gıdalardaki suyun ne kadarının biyolojik olarak kullanılabilir olduğunu ve hangi derecede olduğunu belirler. Gıdalardaki biyolojik ve kimyasal değişimler, içerdikleri serbest su miktarı nedeniyle meydana gelir ve bu su miktarındaki değişim, su aktivitesinde bir değişikliğe yol açar. Besinlerin genel su aktivitesi, 0,10 ile 0,99 arasında değişmektedir. Gıdaların ve içeceklerin büyük çoğunluğunun su aktivitesi yaklaşık olarak 0,99'dur (Erkmen, 2010).

Kocatepe vd. (2016) taze gökkuşağı alabalığı kıyması üzerine yaptıkları çalışmada taze alabalıkların su aktivitesi değerini 0,970 olarak tespit ederken, Yapıcı (2020)'nin yürüttüğü bir çalışmada, çipura balıklarını atmosferik oksijen ortamında paketlenmiş ve 4 °C'de 17 gün boyunca depolanmıştır. Bu süreçte, numunelerin su aktivitesi değerinin 0,80'den 0,88'e yükseldiğini ve bu değişimin istatistiksel anlamda önemli olduğunu rapor etmiştir. Benzer bir çalışmada, Çorapçı (2017), gökkuşağı alabalıkları üzerine yaptığı çalışmasında alabalık kıymasında su aktivitesi değerlerinin 0,96 olduğunu bildirmiştir. Çalışmada tespit edilen değerler araştırmacıların bulguları ile benzerlik göstermektedir.

4.2. Besin Kompozisyonuna Ait Bulgular

Çalışmada K, O ve B gruplarına ait %nem, %ham kül, %protein ve %yağ analiz sonuçları depolamanın 0, 6, 9, 12 ve 15. günlerde değerlendirilmiştir. Yapılan besin kompozisyonu analizi sonuçları Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13 Gruplara ait örneklerin besin kompozisyonu sonuçları (%)

Analizler	Gruplar	Günler				
		0	6	9	12	15
%Nem	K	67,06±0,15 ^{Aa}	65,85±0,20 ^{Aa}	65,7±0,21 ^{Aa}	66,65±0,21 ^{Aa}	66,23±1,06 ^{Aa}
	O	63,73±0,56 ^{Cc}	65,92±0,20 ^{Aa}	66,32±0,17 ^{Aa}	65,18±0,39 ^{Bac}	64,37±0,19 ^{ABbc}
	B	65,36±0,11 ^{Ba}	63,74±0,19 ^{Bb}	65,74±0,18 ^{Aa}	63,88±0,36 ^{Cb}	63,48±0,36 ^{Bb}
%Ham Kül	K	2,26±0,06 ^{Ab}	2,56±0,09 ^{Aab}	2,76±0,18 ^{Aab}	2,39±0,03 ^{Aab}	2,84±0,18 ^{Aa}
	O	1,97±0,09 ^{Ab}	2,67±0,05 ^{Aa}	2,70±0,06 ^{Aa}	2,65±0,22 ^{Aa}	2,94±0,15 ^{Aa}
	B	1,95±0,09 ^{Ab}	2,55±0,04 ^{Aa}	2,50±0,20 ^{Aa}	2,36±0,03 ^{Aab}	2,63±0,17 ^{Aa}
%Ham Protein	K	20,35±0,25 ^{Ba}	20,1±0,15 ^{Aa}	19,46±0,21 ^{ABa}	19,93±0,26 ^{Ba}	19,60±0,14 ^{Aa}
	O	21,37±0,04 ^{Aa}	19,98±0,05 ^{Ab}	18,51±0,11 ^{Bc}	21,78±0,58 ^{Aa}	20,12±0,04 ^{Ab}
	B	20,30±0,03 ^{Ba}	20,21±0,05 ^{Aa}	19,56±0,37 ^{Aa}	20,21±0,38 ^{ABa}	19,76±0,18 ^{Aa}
%Ham Yağ	K	9,65±0,04 ^{Cd}	10,73±0,08 ^{Bb}	11,31±0,12 ^{Aa}	10,22±0,13 ^{Bc}	10,41±0,02 ^{Cbc}
	O	12,14±0,06 ^{Aa}	10,65±0,04 ^{Bc}	11,65±0,12 ^{Ab}	9,56±0,12 ^{Cd}	11,72±0,10 ^{Bb}
	B	11,58±0,10 ^{Bc}	12,68±0,04 ^{Ab}	11,32±0,13 ^{Ac}	12,61±0,08 ^{Ab}	13,18±0,17 ^{Aa}

Ort. (n=6) ± st. Hata

A, B, C (↓): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (→): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

Çalışma gruplarında nem miktarı incelendiğinde 0. günde O grubunun daha düşük bir nem oranına sahip olduğu (%63,73±0,56) ve diğer gruplardan istatistiksel anlamda farklı olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Tüm gruplarda zamanla nem oranlarında dalgalanmalar olsa da 15. günün sonunda ölçülen nem değerlerinin O grubu hariç 0. güne nazaran daha düşük olduğu tespit edilmiş, tespit edilen bu farkın K ve O gruplarında istatistiksel olarak önemsiz (p>0,05) B grubunda ise önemli olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Alabalık filetosundaki nem miktarı ile ilgili bazı çalışmalarda, Duman (1995) tarafından %76,76, Kolsarıcı ve Özkaya (1998) tarafından %70,95, İnanlı ve Patır (2004) tarafından %77,25 ve Özyılmaz (2007) tarafından ise %74,19 olarak bildirilmiştir. Araştırmacıların bulguları çalışmada tespit edilen değerlerden yüksektir. Bunun nedeninin balık yağ oranından kaynaklandığı düşünülmektedir. Stroud (1972) ve Huss, (1995) balık etinin yüksek su oranı barındırdığını, bunun ortalama %66-%81 oranında olduğunu ve yağ oranı arttıkça azaldığını bildirmiştir. Çalışmada da benzer şekilde nem oranı düşük olan grupların daha yüksek yağ oranına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca K ve B grupları nem değeri ile

yağ değerleri arasında 0,01 düzeyinde güçlü bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir ($R_K=,959$, $R_B=,989$).

Ham kül değerleri incelendiğinde, tüm gruplarda başlangıçtan 15. güne kadar artış eğilimi gözlenmiş ve bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak tüm günlerde gruplar arasında istatistiksel anlamda fark olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). Gökkuşuğu alabalığı etinde ham kül oranlarını (%) Gököğlu vd. (2004), $1,35\pm0,01$; Unusan (2007), $1,53\pm0,11$; Berik vd. (2011), $2,51\pm0,01$; Rezaeifar vd. (2020) ise $1,70\pm0,00$ olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Çalışmada bulunan kül değerleri bazı araştırmacıların değerlerinden yüksek bazıları ile ise benzerdir. Bunun nedeninin nem oranının farklılıklarından kaynaklandığı söylenebilir ki benzer şekilde K ve B gruplarında da nem oranı düşüşü gözlenirken kül miktarının arttığı gözlemlenmiştir.

Ham protein değerleri bakımından deneme başında ve sonunda en yüksek protein değerleri sırasıyla $21,37\pm0,04$ ve $20,12\pm0,04$ ile O grubunda tespit edilmiştir. Deneme başında O grubunda tespit edilen protein değeri K ve B gruplarındaki ham protein miktarıyla karşılaştırıldığında istatistik olarak farklıyken ($p<0,05$), K ve B gruplarının protein değerleri birbirinden farksız bulunmuştur ($p>0,05$). Tüm gruplarda başlangıçtan 15. güne kadar azalış eğilimi gözlenmiş ve bu azalışın sadece O grubu örneklerinde istatistiksel anlamda önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Aynı zamanda tüm gruplarda 15. günde tespit edilen protein değerleri istatistiksel anlamda farkın önemli olmadığı ($p>0,05$). Sidwell, (1980) çoğu kemikli balık türünde ham protein miktarının %18-22 arasında değişiklik gösterdiğini rapor etmiştir. Gökkuşuğu alabalığı etinde ham protein değerlerini (%) Gököğlu vd. (2004), 19,80; Unusan (2007), 20,28; Baki vd. (2013), 19,36; Blaufuss vd. (2020), 17,90; Hoseini vd. (2020), 15,30; Zamani vd. (2020), 19,45 ve Rezaeifar vd. (2020) ise 21,19 olarak bildirmişlerdir. Çalışma gruplarında kullanılan balıkların ham protein oranı (K: $20,35\pm0,25$, O: $21,37\pm0,04$; B: $20,30\pm0,03$) pek çok araştırma ile benzerlik göstermektedir.

Deneme başında K, O ve B gruplarının taze örneklerinde % ham yağ miktarları sırasıyla; $9,65\pm0,04$, $12,14\pm0,06$, ve $11,58\pm0,10$ olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen bu yağ değerleri bakımından gruplar arası fark istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca 12. ve 15. günlerde tüm gruplarda tespit edilen ham yağ değerleri bakımından gruplar arasında istatistiksel olarak fark olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Deneme başında en yüksek yağ oranının $12,14\pm0,06$ ile O grubundayken 15. günde $13,18\pm0,17$ ile B grubunda olduğu belirlenmiştir. K ve B gruplarında nem oranının zamanla

azalmasına paralel olarak ham yağ oranlarında artış gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Özyılmaz (2007) yaptığı çalışmada taze alabalıkların ham yağ içeriği $4,61\pm0,20$ ve $6,08\pm 0,57$ olarak tespit ettiğini bildirmiştir. Gökkuşığı alabalığında ham yağ oranları Ayas (2006) tarafından $7,02\pm0,21$, Oğuzhan vd. (2006) tarafından $4,61\pm0,20$, Baki vd. (2013) tarafından $4,85\pm0,59$ ve Zamani vd. (2020) tarafından ise $7,19\pm0,44$ olarak bildirilmiştir. Literatür verileri ile kıyaslandığında, araştırmamızda kullanılan gökkuşığı alabalığının ham yağ değerlerine benzer ve farklı sonuçlar rapor edilmiştir. Bu farklılıkların en büyük nedenlerinin ise balığın yaşı, bulunduğu ortam ve beslenme rejimi gibi değişkenlerin olduğu bilinmektedir.

Sonuç olarak, K, O ve B gruplarında yapılan besin kompozisyonu analizleri, zamanla istatistiksel olarak anlamlı değişiklikler göstermiştir. Özellikle, %nem ve %ham yağ içerikleri gruplar arasında dalgalı değişiklikler sergilemiştir. Etiketlerde görülen renk değişiklikleri ile besin kompozisyonu arasında ilişki incelendiğinde anlamlı bir ilişki bulunamamıştır ($p>0,05$) Bu sonuçlar, depolama süresinin besin bileşenleri üzerinde önemli etkileri olduğunu ve bu etkilerin gruplar arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

4.3. Kimyasal Analizlere Ait Bulgular

4.3.1. Toplam uçucu bazik nitrojen (TVB-N) analizi bulguları

Su ürünlerinin kalitelerini belirlemede önemli bir yeri olan toplam uçucu bazik azot (TVB-N) analizi, depolama süresince tüm gruplarda gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları mg/100 g olarak Tablo 4.14'te ve Şekil 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.14 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TVB-N değerleri (mg/100 g).

GÜNLER	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	15,83±0,35 ^{Ajk}		15,58±0,24 ^{Aij}		15,37±0,61 ^{Aij}	
1	14,67±0,31 ^{Ak}		14,96±0,36 ^{Aj}		13,16±0,39 ^{Bj}	
2	15,15±0,29 ^{Bk}		16,99±0,14 ^{Ahi}		15,91±0,53 ^{ABi}	
3	18,04±0,23 ^{Bi}		15,34±0,11 ^{Cj}		20,38±0,15 ^{Ah}	
4	20,93±0,43 ^{Ai}		17,63±0,22 ^{Bh}		20,98±0,40 ^{Ah}	
5	21,95±0,37 ^{Ag}		19,43±0,11 ^{Bg}		21,51±0,29 ^{Agh}	
6	23,63±0,21 ^{Ah}		22,06±0,09 ^{Bf}		22,57±0,24 ^{Bg}	
7	25,55±0,43 ^{Ag}		22,78±0,23 ^{Bf}		26,60±0,32 ^{Af}	
8	29,27±0,46 ^{Aef}		25,61±0,29 ^{Bde}		25,92±0,10 ^{Bf}	
9	28,95±0,27 ^{Aef}		25,52±0,28 ^{Be}		28,21±0,26 ^{Ae}	
10	28,34±0,33 ^{Af}		25,75±0,55 ^{Bde}		29,53±0,40 ^{Ae}	
11	30,36±0,35 ^{Ade}		25,80±0,17 ^{Bde}		31,18±0,21 ^{Ad}	
12	31,88±0,50 ^{Ad}		26,89±0,35 ^{Bd}		31,82±0,35 ^{Ad}	
13	35,06±0,10 ^{Ac}		30,52±0,17 ^{Bc}		35,37±0,21 ^{Ac}	
14	38,27±0,13 ^{Ab}		33,07±0,21 ^{Bb}		37,53±0,41 ^{Ab}	
15	43,75±0,26 ^{Aa}		36,56±0,21 ^{Ba}		44,41±0,20 ^{Aa}	

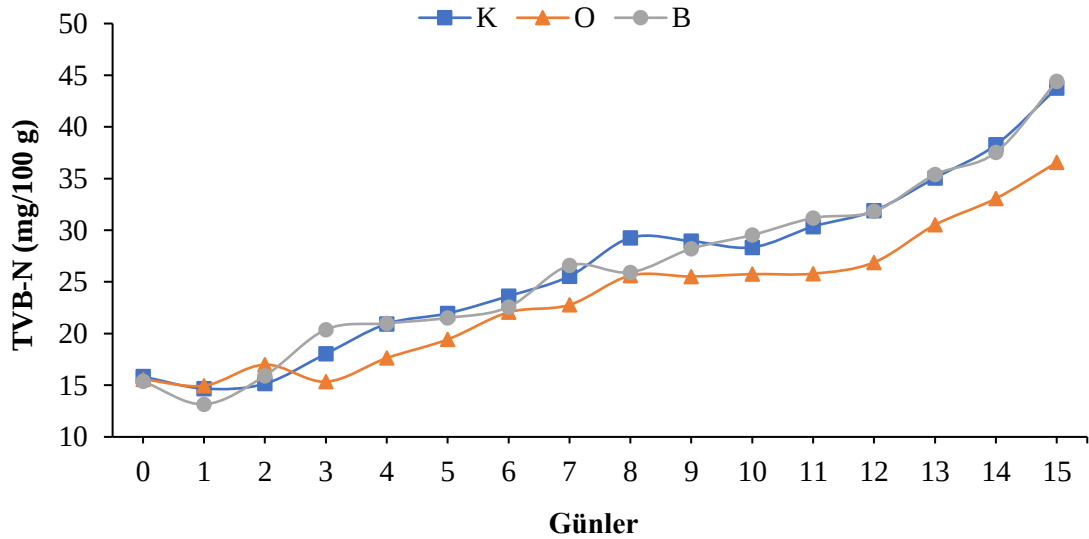
Ort. (n=10) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...k (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

Çalışmanın başlangıcında (0.gün) K, O ve B gruplarına ait TVB-N değerleri sırasıyla 15,83±0,35; 15,58±0,24 ve 15,37±0,61 mg/100 g olarak bulunmuştur. İstatistiksel analiz,

deneme başında gruplar arasında anlamlı bir farkın olmadığını göstermiştir ($p>0,05$). Depolamanın 1. günü tüm gruplarda ölçülen TVB-N miktarında bir önceki güne göre azalma gözlemlenmiş; ancak, tüm gruplarda bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). Tüm gruplarda 1. günden itibaren ölçülen TVB-N değerleri 15. güne kadar artış göstermiş ($p<0,05$), K ve B grubunda 13. günde, O grubunda ise 15. günde eşik sınır olarak kabul edilen 35 mg/100 g değerini aşmıştır (Ludorf ve Meyer, 1973). Depolamanın 0. ve 8. günleri arasında tüm gruplarda ölçülen değerler yakınlık göstermektedir. Ancak 9. günden itibaren O grubu ile K ve B grupları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p<0,05$), K ve B grupları arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Balık örneklerinde orta filetoyu temsil eden O grubunun diğer iki gruba göre daha geç sınır değerini aşmasının nedenin; içerdiği su oranının (%63,73) oransal olarak diğer gruplardan daha az olmasından bu nedenle daha düşük mikrobiyal artışa sebep olabileceği düşünülmektedir. Akıllı etiketlerin renk değişiklikleri incelendiğinde, özellikle 10. ve 11. günlerde belirgin değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu renk değişimlerinin pH, TVB-N ve mikrobiyolojik analiz sonuçlarıyla da uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, 10. günde, özellikle K ve B grupları duyu analizlerinde ağır bir kokunun varlığı saptanmıştır.



Şekil 4.17 Gruplarında tespit edilen TVB-N değerlerinin günlerine göre değişimi

TVB-N içeriği, düşük sıcaklıkta depolama sırasında mikrobiyolojik aktivitenin bir sonucu olarak üretilebilen veya işleme sırasında endojen bileşiklerin termal

parçalanmasından kaynaklanabilen çok çeşitli bazik uçucu bileşikler (amonyak, metilamin, dimetilamin, trimetilamin, vb.) göstermektedir (Hsiao ve Chang, 2017).

TVB-N analizi, balık kasında protein ve protein olmayan azotlu bileşiklerin mikrobiyal ve enzimatik yıkımı sonucu oluşan maddelerin bir ölçüsüdür. Ayrıca, taze ve işlenmiş ürünlerin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir (Varlık vd., 1993).

Bozulmanın ana nedeni mikrobiyal aktivite ile ilişkilendirilebilir, bu da karbondioksit ve paket tepe boşluğunda biriken amonyak, dimetilamin ve trimetilamin gibi uçucu bileşiklerin üretimiyle sonuçlanır ve paketlerin tepe boşluğunda birikmektedir. Bu nedenle pH hassasiyeti olan etiketler ile gıdaların bozulmaları takip edilebilmektedir (Hassanpour vd., 2022).

İnal (1992) çalışmasında, tazeliğini kaybetmemiş balığın TVB-N değerinin 25-30 mg/100 g arasında olduğunu ve tüketilebilirlik sınır değerinin 30-35 mg/100 g arasında olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Ludorf ve Meyer (1973) ile Kietzmann vd. (1969) balık ve su ürünlerinin TVB-N değerlerine göre kalite sınıflandırmasını yapmışlar; balık ve su ürünlerinin 25 mg/100 g TVB-N değerine kadar “çok iyi” kalitede olduğunu, 30 mg/100 g’a kadar “iyi”, 35 mg/100 g’a kadar “pazarlanabilir” ve 35 mg/100 g’dan yukarı TVB-N değerlerinin ise “bozulmuş” olarak tanımladıklarını ifade etmişlerdir.

Yukarıda önerilen limit değerlerin aksine, bazı çalışmalarda 20, 25, ve 30 mg/100 g TVB-N değerleri balık ve su ürünleri için ret sınırı olarak önerilmiştir (Huang vd., 2019; Aghai vd., 2020; Dalgaard, 2000; Forghani vd., 2023). Başka bir çalışmada Nowzari vd. (2013) balık bozulmasının başlaması için kritik TVB-N seviyesinin 25 mg/100 g olduğu ifade ederken, Bekhit vd. (2021) 15-25 mg/100 g TVB-N değerini kritik limit olarak kullanmıştır. Arahisar vd. (2004) ise gökkuşağı alabalığı için maksimum TVB-N değerinin 25 mg/100 g olduğunu belirtmişlerdir.

Moradi vd. (2019) ilk 7 gün içinde, genel kabul edilebilirliğinin bir göstergesi olarak örneklerin TVB-N değerlerini 25 mg/100 g’dan daha düşük olduğunu rapor etmiştir. Jouki vd. (2014)’de gökkuşağı alabalığı filetosunun TVB-N değerinin 4 °C’de 9. günde 25 mg/100 g’ı aştığını bildirmiştir. Korkmaz (2016) gökkuşağı alabalığı filetoları üzerine yaptıkları çalışmada, taze alabalık filetolarının TVB-N değerini 13,85±0,63 mg/100 g olarak belirlerken, 12 günlük depolama sonunda bu değerleri 20,35±0,49 mg/100 g olarak tespit etmiştir.

Shi vd. (2021), balık filetolarının paketlenmesinde yaban mersini kabuğu ekstraktını kullandıkları bir akıllı etiket üretmişlerdir. 10 gün süresince 4 °C’de depolama yapmışlar, balık filetolarındaki tespit edilen TVB-N değerinin 7,93 mg’dan 22,22 mg/100 g’ye yükseldiğini ve bu artışın istatistiksel anlamda önemli olduğunu rapor etmiştir ($p<0,05$).

Wells vd. (2019) benzer şekilde ambalajın üst boşluğunda TVB-N birikimi, akıllı etiket konsantrasyonuna bağlı bir şekilde renk değişikliklerine neden olduğunu ifade etmiştir. Tamponlardaki renk varyasyonlarına uygun olarak, filetoların 15 günlük depolanması sırasında, balıkların TVB-N içeriği ile belirgin bir şekilde korele olan indikatörde ayrı iki farklı renk gözlemlenmiştir.

Aghai vd. (2020), TVB-N seviyesinin 4 °C’de depolama süresi boyunca arttığını, TVB-N seviyesinin taze balıkta 14 mg/100 g iken 6 günlük depolamadan sonra 19,83 mg/100 g’a yükseldiğini, balıkların 6. günde ne taze ne de bozulmuş olduğunu, TVB-N kabul edilebilirlik sınırının 10. ve 12. günlerde sırasıyla 28,70 ve 29,17 mg/100 g’a ulaştığı gün olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca depolamanın ilk 6 günü boyunca balık paketlerinde kullandıkları akıllı etiketlerin renklerinde belirgin değişiklikler olmadığını rengin az bir değişimle morumsu renge dönüştüğünü bildirmişlerdir.

Forghani vd. (2023) karides ile yaptıkları ve akıllı etiketlerin etkinliğini inceledikleri çalışmada TVB-N artışı ile etiketlerin renk değişimleri (ΔE) arasında güçlü bir korelasyon ($R^2=0.8653$) olduğunu rapor etmişlerdir.

Mo vd. (2017), gözenekli anodik alüminyum (PAA) membran tabanlı ve bromokresol yeşili ile oluşturulan pH’a duyarlı akıllı etiketlerin kullanıldığı bir çalışmada, balık kalitesinin izlenmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla tilapya üzerinde gerçekleştirilen etiket denemelerinde, balığın bozulmasıyla TVB-N değerindeki artışa bağlı olarak etiketlerde renk değişimlerini incelemişlerdir. Bulgularına göre, 25 °C 6 saatlik bir süre sonunda, 20 mg/100 g TVB-N değerinde etiketlerin sarı renkten yeşile doğru belirgin bir şekilde dönüştüğü gözlemlenmiştir. Jiang vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, çim sazanlarının paketlenmesi sırasında tazelik gösterge etiketi olarak tatlı mor patates (*Ipomoea batatas*) boyası içeren akıllı bir film kullanmışlardır. 25°C’de depolama süresince, örneklerdeki tespit edilen TVB-N miktarlarında önemli artışlar tespit edilmiş ve bu artışların istatistiksel olarak anlamlı olduğu rapor edilmiştir. Depolamanın sonunda ise TVB-N değerlerinin 35 mg/100 g seviyesine ulaştığını bildirmişlerdir. Liu vd., (2020) çalışmalarında, balık tazeliğini izlemek için bromokresol yeşili bazlı filtre

kağıdına kaplanmış bir sol-jel matris tabakası ile kolorimetrik izleme etiketi geliştirmişlerdir. Akıllı etiketin rengi değiştikçe balık tazeliğinin çıplak gözle açıkça tespit edilebildiğini, TVB-N miktarının oda sıcaklığında 16,4 ile 23,11 mg/100 g aralığında ve soğuk muhafazada 9,28 ile 24,12 mg/100 g aralığında doğrusal bir yanıt gösterdiğini belirlemişlerdir. Huang vd., (2019) Wuchang çipurasının (*Megalobrama amblycephala*) soğuk (4 °C) ve oda koşullarında (25 °C) muhafazasında tazelik değişimlerini izlemek için *Arnebia euchroma* kökünden ekstrakte edilen doğal boya ile agar birleşiminden oluşturdukları yeni bir gösterge filmi kullanmışlar, balık bozulması süresince etiketteki renk değişimini TVB-N ölçümleri ile simultane olarak 4 saatlik periyotlarla takip etmişlerdir. Doğal boya ekstraktı içeriğine sahip gösterge etiketinin, balık bozulma sırasında belirgin renk değişimi gösterdiğini ve tazelik etiketinin renk tepkisi, TVB-N içeriğinin bozulma eşiği ile tutarlı olduğunu, geliştirilen kolorimetrik gösterge etiketinin, görünür renk değişikliği ile balık bozulmasını başarıyla gösterebildiğini ifade etmişlerdir. Moradi vd., (2019) soğuk muhafaza koşullarında (4 °C) depoladıkları sazan (*Cyprinus carpio*) ve gökkuşağı alabalıklarının kalitelerini izlemek için bakteriyel nanoselüloz ve havuç antosiyaninlerine dayalı bir pH'a duyarlı etiket geliştirmişler, etiketin, 2–11 pH aralığında iken çıplak gözle açıkça fark edilebilen kırmızıdan griye geniş renk farklılıkları gösterdiğini, her iki balıkta da bozulma aşamalarında (taze-tüketilebilir-bozuk) belirgin renkler gösterdiğini ayrıca gökkuşağı alabalığı ve sazan örneklerindeki gösterge etiketinin toplam renk farklı değerleri ile bakteri sayısı ve TVB-N değerleri arasında güçlü ve pozitif bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir. Taze Rastrelliger balıklarını çürümüş olanlardan ayırmak için *Ruellia simplex* ekstraktına emdirilmiş basit bir selüloz kâğıdı kullanılarak indikatör etiketi üretilmiştir. İndikatör başlangıçta morumsu pembe bir renk sunmuş, daha sonra 25 °C'de 17 saat boyunca depolamanın sonunda TVB-N artışla morumsu maviye dönüşmüştür (Listyarini vd., 2017).

Çalışmada bulunan TVB-N değerleri bahsedilen araştırmacıların bildirdikleri başlangıç değerlerine benzerlik göstermektedir. Ayrıca çalışmada fileto üzerinden bölgesel grupların (K, O ve B) oluşturulması sebebiyle diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Bu nedenle bütün filetoda yer alan orta kısmın diğer kısımlara nazaran daha uzun raf ömrüne ve dayanıklılığa sahip olacağı söylenebilir. Bu çalışmada üretilen akıllı etiketin literatürde diğer araştırmacıların tespit ettiği gibi TVB-N miktarı artışıyla renk değişiminin benzerlik

gösterdiği bu nedenle toplam renk farkı değişiminin TVB-N ile doğrusal bir bağlantısı olduğu söylenebilir.

4.3.2. pH analizi bulguları

K, O ve B grubunda yer alan alabalık örneklerinin depolama süresince tespit edilen pH değişimleri Tablo 4.15'te ve Şekil 4.18'te sunulmuştur. Çalışmanın başlangıcında (0.gün) K, O ve B gruplarına ait pH değerleri sırasıyla $6,743 \pm 0,052$; $6,690 \pm 0,090$ ve $6,557 \pm 0,037$ olarak bulunmuş istatistiksel olarak aralarında fark olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0,05$). 15 günlük depolama süresi sonunda bu değerler artış göstererek sırasıyla $7,413 \pm 0,019$ $7,303 \pm 0,010$ ve $7,490 \pm 0,023$ olarak tespit edilmiştir ($p < 0,05$). 13 günden itibaren tespit edilen pH değerleri incelendiğinde tüm gruplar arası pH değeri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$).

Tablo 4.15 Depolama süresince gruplarda tespit edilen pH değerleri

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	6,743±0,052 ^{Acde}		6,690±0,090 ^{Afg}		6,557±0,037 ^{Aij}	
1	6,642±0,009 ^{Be}		6,695±0,016 ^{Afg}		6,627±0,004 ^{Bhi}	
2	6,320±0,028 ^{Af}		6,295±0,013 ^{Ai}		6,320±0,011 ^{Ak}	
3	6,387±0,014 ^{Af}		6,180±0,008 ^{Cj}		6,225±0,007 ^{Bl}	
4	6,395±0,017 ^{Bf}		6,357±0,020 ^{Bhi}		6,508±0,008 ^{Aj}	
5	6,710±0,018 ^{Ade}		6,425±0,014 ^{Bh}		6,712±0,08 ^{Afg}	
6	6,703±0,008 ^{Ade}		6,680±0,009 ^{Ag}		6,572±0,021 ^{Bij}	
7	6,645±0,015 ^{Be}		6,718±0,004 ^{Afg}		6,658±0,004 ^{Bgh}	
8	6,775±0,012 ^{Bcd}		6,842±0,004 ^{Ae}		6,763±0,007 ^{Bef}	
9	6,842±0,004 ^{Ac}		6,847±0,004 ^{Ae}		6,817±0,002 ^{Be}	
10	6,813±0,010 ^{Acd}		6,755±0,009 ^{Bf}		6,832±0,007 ^{Ae}	
11	7,038±0,055 ^{Ab}		6,970±0,006 ^{Acd}		7,060±0,004 ^{Ad}	
12	7,107±0,006 ^{Ab}		6,933±0,002 ^{Bd}		7,145±0,025 ^{Ac}	
13	7,303±0,041 ^{Ba}		7,022±0,007 ^{Cc}		7,398±0,010 ^{Ab}	
14	7,350±0,020 ^{Ba}		7,183±0,011 ^{Cb}		7,438±0,021 ^{Aab}	
15	7,413±0,019 ^{Ba}		7,303±0,010 ^{Ca}		7,490±0,023 ^{Aa}	

Ort. (n=6) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...k (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

Yoshida vd., (2014) pH ile birlikte birçok faktörün gıdanın raf ömrünü etkileyebileceğini, lezzet, dayanıklılık ve raf ömrünü etkileyebilecek kimyasal reaksiyonlar ve

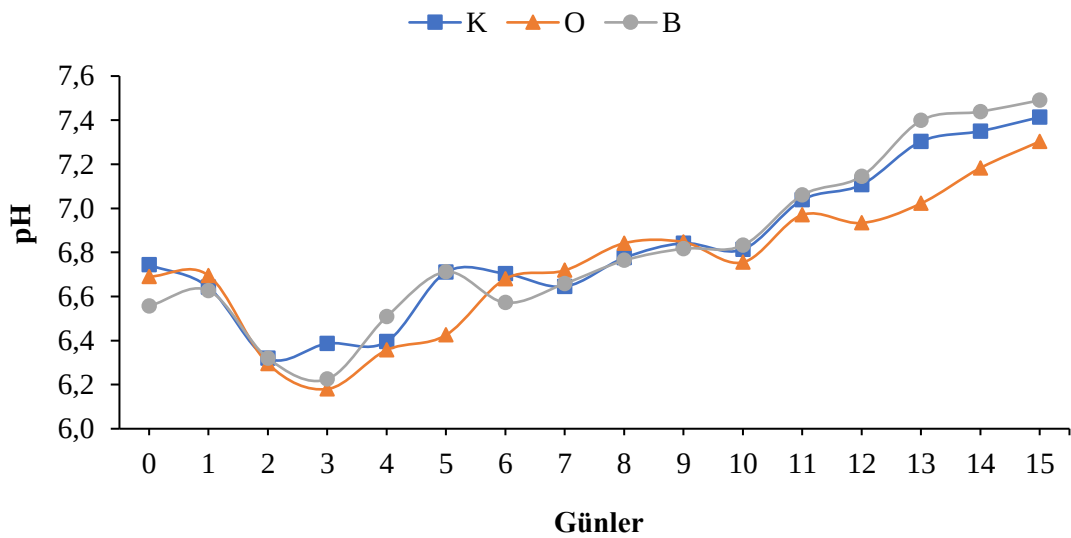
mikroorganizma artışının gıda pH'ında değişiklikler meydana getireceğini bildirmişlerdir.

Arashisar vd. (2004), taze gökkuşağı alabalığında pH değerini 6,30 olarak bulmuşlardır. Berizi vd. (2018) gökkuşağı alabalığı üzerine yaptıkları bir çalışmada, depolamanın başında pH'ın $6,30 \pm 0,11$ olduğunu, depolamanın sonunda ise (6. ay) $7,29 \pm 0,36$ olarak tespit ettiklerini bildirilmişlerdir. Benzer şekilde, pH değerini; Berik vd. (2011) 6,77, İnanlı vd. (2011) 6,81, Oğuzhan ve Angiş (2012) 6,31, Kocatepe vd. (2016) 6,20, Yerlikaya vd. (2017) 6,52, ve Çorapçı (2017) ise 6,40 olarak tespit etmişlerdir. Yapılan ölçümlerde, literatürdeki değerlere kıyasla örnek gruplarının başlangıç pH değerinin bahsedilen araştırmacıların bazılarında nispeten yüksek olduğu görülmüştür; ancak sonuçlarımızın benzer bulgular içerdiği gözlemlenmiştir. Bu farklılığın, taze balığın ölümünden hemen sonra, laktik asit oluşumu henüz başlamadan yapılan pH ölçümlerinden kaynaklandığı söylenebilir. pH değişimi tek başına bir kalite kriteri olarak yeterli olmasa da genel olarak taze balıkta pH değerlerinin mevsime, türe, beslenme alışkanlıklarına, avlanma sırasındaki stres düzeyine ve cinsiyete bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Varlık vd. (1993) ve Bilgin vd. (2007), taze balıktaki pH'ın ölüm sonrasında nötr olduğunu, ardından laktik asit oluşumuyla düştüğünü ve bozulma sürecinin başlamasıyla yeniden yükseldiğini belirtmektedir. Şekil 4.18 incelendiğinde, depolama süresi boyunca tüm gruplarda pH değerlerinde değişikliklerin meydana geldiği özellikle 0. günden itibaren 3. güne kadar düşüş gösterdiği 3. günden itibaren tekrar artış gösterdiği görülmektedir. Tüm gruplarda, depolama süresi boyunca otolitik enzim yıkımı ve mikrobiyolojik parçalanmanın etkisiyle pH değerlerinde bir artış meydana gelmiştir ($p > 0,05$).

Aghai vd. (2020) taze gökkuşağı alabalığının pH değerini 6,46 olarak bulduklarını bildirmişlerdir. Bu değer 6. ve 12. günlerde kademeli olarak 6,57 ve 6,90'a yükseldiğini bunun nedeni olarak balık proteininin hidrolizi ve alkali metabolitlerin üretimi olabileceğini ifade etmişlerdir. 6. güne kadar çalışmalarında kullandıkları akıllı etikette renk değişiminin olmadığını ancak 6. günden itibaren rengin hafifçe değişerek mor denge dönüştüğünü rapor etmişlerdir.

Forghani vd. (2023) karides ile yaptıkları ve akıllı etiketlerin etkinliğini inceledikleri bir çalışmada pH artışı ile etiketlerin renk değişimleri (ΔE) arasında çok güçlü bir korelasyon ($R^2 = 0,9991$) olduğunu rapor etmişlerdir.

Tazelik indikatörlerinin performansı, mikrobiyal aktivite sonucu gıdanın pH'ında bir değişikliğe neden olmasına ve farklı uçucu bileşikler (örneğin, karbondioksit, amonyak, hidrojen sülfür, dimetilamin ve trimetilamin) üreterek indikatörde bir renk değişikliğine yol açmasına bağlıdır (Hassanpour vd., 2022). Ezati vd. (2019a) çalışmasında gökkuşağı alabalıklarına ait filetolar ile yaptığı paketleme işleminde alizarin boyası içeren gıda tazelik gösterge etiketi kullanmışlar ve 4 °C'de 8 günlük depolama sonunda ürünün pH'ının 6,24'ten 7,00 seviyelerine yükseldiği rapor etmişlerdir. Choi vd. (2017) yaptıkları çalışmada hızlı bir bozulma gerçekleştirme amacıyla domuz etini oda sıcaklığında (25 °C) depolamışlardır. Domuz eti örneklerinin bozulması takiben etin pH'sı 7,46'ya yükselmiş buna bağlı olarak mor tatlı patates antosiyaninlerini içeren pH indikatör filmleri kırmızıdan yeşile doğru belirgin renk değişikliği göstermiştir. Moradi vd. (2019) çalışmalarında, atmosferik oksijenle paketlenmiş gökkuşağı alabalık filetolarında siyah havuç ekstraktı içeren akıllı etiketler kullanmışlardır. Depolama süresince ürünün pH değerinin önemli ölçüde artarak depolama sonunda 6,36'dan 7,09'a yükseldiği ve bu artışın mikrobiyal ve enzimatik aktiviteden kaynaklandığı belirtilmiştir. Alabalık filetolarını kullanarak yapılan bir başka çalışmada, şikonin katkılı bir indikatör kullanılarak akıllı etiketler üretilmiş ve 4 °C sıcaklıkta depolama süresince örneklerin pH'ının mikrobiyal artışa paralel bir şekilde 36 saat sonunda 5,60'tan 6,90'a yükseldiğini ve depolama süresinin sonunda 6,90 seviyelerine ulaştığını bildirilmiştir (Ezati vd., 2021).



Şekil 4.18 Depolama süresince gruplarda tespit edilen pH değerleri değişimi

4.4. Mikrobiyolojik Analizlere Ait Bulgular

Araştırmada kullanılan alabalık gruplarında toplam mezofil aerob bakteri (TMAB), toplam psikrofilik bakteri (TPAB), toplam maya-küf (TMK), toplam koliform (TK), laktik asit bakteri (LAB) ve *Pseudomonas* spp. sayımları yapılmış, analiz günlerinde tespit edilen mikrobiyolojik analiz sonuçları sırasıyla Tablo 4.16, Tablo 4.17, Tablo 4.18, Tablo 4.19, ve Tablo 4.20’de log kob/g cinsinden gösterilmiştir.

4.4.1. Toplam mezofilik aerob bakteri analizi bulguları

Toplam mezofilik aerob bakteri sayısı 0. günde, K, O ve B gruplarında sırasıyla $1,34 \pm 0,11$; $1,73 \pm 0,05$ ve $1,60 \pm 0,02$ log kob/g olarak bulunmuştur. Ayrıca depolama boyunca örneklerin TMAB sayısında önemli artışlar olduğu gözlemlenmiştir ($p < 0,05$) (Şekil 4.19). Depolama süresince tüm gruplar arası fark yalnızca 9. günde istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). Depolama sonunda (14. günde) K ve B grupları arasında anlamlı bir fark olmadığı ($p > 0,05$), ancak O grubunun diğer gruplardan istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$).

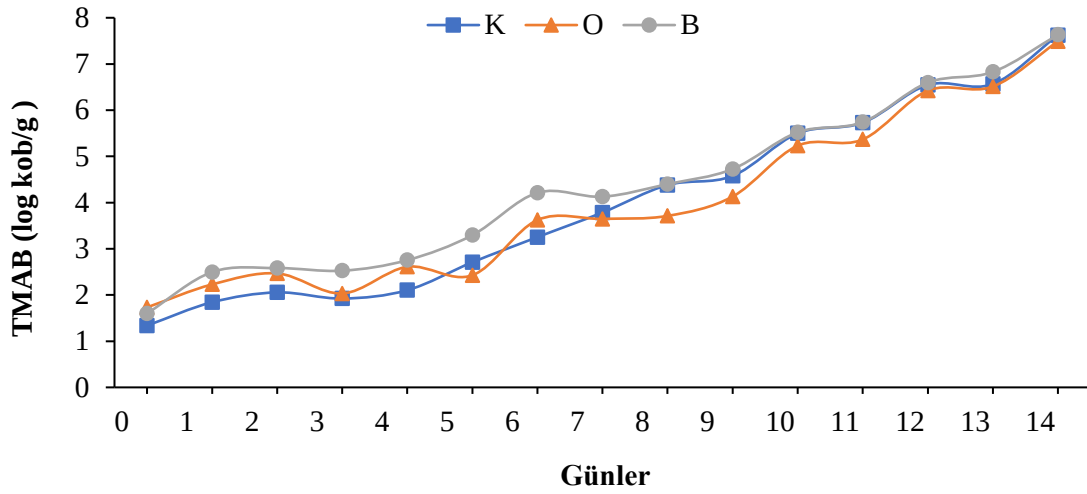
Tablo 4.16 Analiz günlerinde ölçülen toplam mezofilik aerob bakteri sayıları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	1,34±0,11 ^{Bi}		1,73±0,05 ^{Ai}		1,60±0,02 ^{ABg}	
1	1,84±0,03 ^{Bg}		2,23±0,10 ^{Agh}		2,50±0,06 ^{Af}	
2	2,06±0,14 ^{Bg}		2,47±0,08 ^{Afg}		2,58±0,06 ^{Af}	
3	1,92±0,09 ^{Bh}		2,03±0,03 ^{Bh}		2,53±0,03 ^{Af}	
4	2,10±0,07 ^{Bg}		2,61±0,05 ^{Af}		2,75±0,04 ^{Aef}	
5	2,71±0,11 ^{Bg}		2,43±0,07 ^{Bfg}		3,30±0,01 ^{Ae}	
6	3,25±0,14 ^{Bg}		3,62±0,06 ^{ABe}		4,21±0,39 ^{Ad}	
7	3,79±0,05 ^{Be}		3,65±0,09 ^{Be}		4,13±0,07 ^{Ad}	
8	4,38±0,07 ^{Ad}		3,71±0,08 ^{Be}		4,40±0,02 ^{Ad}	
9	4,58±0,02 ^{Bd}		4,13±0,04 ^{Cd}		4,73±0,01 ^{Ad}	
10	5,50±0,04 ^{Ac}		5,23±0,02 ^{Bc}		5,52±0,02 ^{Ac}	
11	5,73±0,03 ^{Ac}		5,37±0,02 ^{Bc}		5,74±0,01 ^{Ac}	
12	6,55±0,04 ^{ABb}		6,42±0,02 ^{Bb}		6,60±0,04 ^{Ab}	
13	6,57±0,03 ^{Ab}		6,51±0,01 ^{Ab}		6,83±0,24 ^{Ab}	
14	7,62±0,01 ^{Ba}		7,49±0,01 ^{Aa}		7,63±0,01 ^{Ba}	

Ort. (log kob/g) ± st. Hata
(n=4)

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...i (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)



Şekil 4.19 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TMAB sayısı değişimi

Gıdalar için Uluslararası Mikrobiyolojik Spesifikasyonlar Komisyonu (ICMSF) (1986) tarafından balıklar için 7 log kob/g değeri sınır değer olarak bildirilmiştir. Gökkuşığı alabalığı üzerine yapılan araştırmalarda, deneme başında yüksek sayıda (3-4 log kob/g) toplam canlı organizma tespit edilmiştir (Gonzalez, 1999; Arashisar vd., 2004; Özoğul ve Özoğul, 2004; Rezaei ve Hosseini, 2008; Frangos vd., 2010). Yapar (1993) taze gökkuşığı alabalığının TMAB sayısının 3,47 log kob/g, Kolsarıcı ve Özkaya (1998) ise başlangıç TMAB değerinin 2,47 log kob/g olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmada kullanılan alabalığın TMAB yükü bahsedilen araştırmacılar tarafından bulunan başlangıç bakteri yüküne göre oldukça düşük ve iyi düzeydedir. Bu ürünün mikrobiyal açıdan kaliteli olduğunu da kanıtlamaktadır. Ayrıca, yeni hasat edilen alabalıkların ivedi şekilde ve buz içerisinde laboratuvara getirilmiş olmasından dolayı mikrobiyolojik yükün düşük olduğunu söylemek mümkündür. Benzer bir çalışmada, Aghai vd. (2020), gökkuşığı alabalığı üzerinde yaptıkları çalışmalarında; toplam bakteri yükünün taze balıkta başlangıçta 0,85 log kob/g olduğunu 6 gün sonunda 2,66 log kob/g ve 12 günlük depolamadan sonra ise 7,15 log kob/g olarak tespit ettiklerini bildirmişlerdir. Buzdolabı koşullarında, akıllı etiketlerde ilk 4 gün içinde belirgin bir renk değişikliği meydana gelmediğini ancak, 6. günden itibaren akıllı etiketlerde açık mor bir renk gözlemlediklerini rapor etmişlerdir.

Depolama süresinin başında, spesifik bozucu mikroorganizmalar düşük miktarlarda bulunur. Depolama süresi arttıkça, bunlar genellikle daha hızlı büyür ve koku, tat, renk ve doku değişikliklerinden sorumlu çeşitli metabolitler üretir ve sonuçta duyuşsal olarak

reddedilir. Bir çalışmada taze çipuranın başlangıç toplam bakteri yükü $4,0 \times 10^{-5}$ kob/g iken, 25 °C’de 12 saat sonra $1,7 \times 10^{-7}$ kob/g’a ve 4 °C’de 5 gün sonra $1,3 \times 10^{-7}$ kob/g’a yükselmiştir. Ayrıca bu çalışmada TVB-N ve toplam bakteri eşiğine ulaşma süreleri arasında bir zaman farkı olduğu da belirlenmiştir. Bunun nedenin, uçucu baz üretiminin mikrobiyal popülasyondaki artışı doğal olarak takip etmesi olduğu, depolama süresinin başında spesifik bozucu mikroorganizmalar düşük miktarlarda bulunduğu, depolama süresi arttıkça bunların genellikle daha hızlı artıp koku, tat, renk ve doku değişikliklerinden sorumlu çeşitli metabolitler ürettiği ifade edilmiştir (Huang vd., 2019).

Shi vd. (2021) tilapia balıkları üzerine yaptıkları bir çalışmada, yaban mersini antosiyaninlerini içeren etiketlin etkinliğini araştırmışlar ve 4 °C’de depoladıkları tilapia balıklarında 8. günde toplam aerobik yükün sınır değerini aştığını rapor etmişlerdir. Yine Shi vd. (2021) aynı çalışmalarında 10 günün sonunda toplam aerobik yükün 7,61 log kob/g değerine ulaşmasıyla paketlere uyguladıkları akıllı etiketlerin renginin mor renkten morumsu mavi renge değiştiğini bildirmişlerdir. Huang vd. (2019), Wuchang çipurasının (*Megalobrama amblycephala*) soğuk (4 °C) ve oda koşullarında (25 °C) muhafazasında tazelik değişimlerini izlemek için *Arnebia euchroma* kökünden ekstrakte edilen doğal boya ile agar birleşiminden oluşturdukları yeni bir gösterge filmi kullanmışlar, balık bozulması süresince etiketteki renk değişimini, toplam bakteri sayısını ölçümleri ile simultane olarak 4 saatlik periyotlarla takip etmişlerdir. Doğal boya ekstraktı içeriğine sahip gösterge etiketinin, balık bozulma sırasında belirgin renk değişimi gösterdiğini ve tazelik etiketinin renk tepkisi, balık örneğindeki toplam bakteri içeriğinin bozulma eşiği ile tutarlı olduğunu, geliştirilen kolorimetrik gösterge etiketinin, görünür renk değişikliği ile balık bozulmasını başarıyla gösterebildiğini ifade etmişlerdir. Julyaningsih vd. (2020) ton balığı filetoları üzerinde yaptıkları çalışmada boyar madde olarak sentetik boyalar (metil kırmızısı, bromotimol mavisi) ve polimer taban olarak filtre kâğıdı kullanmışlar, yaptıkları mikrobiyolojik analiz sonucunda 9. günde toplam bakteri yükünün 8 log kob/g değerini aştığını, etiketlerin önce kırmızıdan sarıya daha sonra ise maviye döndüğünü bildirmişlerdir. Wells vd. (2019), 22 °C ve 4 °C’de balık bozulma indikatörü olarak kolorimetrik film üzerine çalışma yaptıkları sırada aynı zamanda mikrobiyolojik bir çalışma da gerçekleştirmişler ve indikatörün rengindeki değişim ile balık üzerindeki bakteriyel koloni oluşturan birimlerin konsantrasyonu arasında güçlü bir korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir.

Forghani vd. (2023) karides ile yaptıkları ve akıllı etiketlerin etkinliğini inceledikleri bir çalışmada TMAB artışı ile etiketlerin renk değişimleri (ΔE) arasında güçlü bir korelasyon ($R^2 = 0.9632$) olduğunu rapor etmişlerdir. Zhai vd. (2019) tavuk göğsü ile yaptıkları bir çalışmada, b^* değeri ile toplam bakteri yükünün $R^2 = 0.9838$ değeriyle doğrusal bir bağlantısı olduğunu rapor etmişlerdir. Ding vd. (2020), karideste mikrobiyal faaliyetlerin neden olduğu bozulmanın tespiti için akıllı PVA/ARC filmini kullanmışlardır. Amonyak (NH_3) ve diğer uçucu aminlerin bakteriyel artışın bir sonucu olduğundan PVA/ARC filminin NH_3 konsantrasyonuna tepki özellikleri inceleyerek etiketlerin renk tepkilerini ölçmüşlerdir. İncelemeleri neticesinde etikette sarı renkten kahve rengine bir dönüş olduğunu tespit etmişlerdir.

Kuswandi ve Nurfawaidi (2017), sığır etinin tazeliğini izleyebilen bir etiket üretmek için Whatman kağıdının (No.1001) bir kesimini 12 saat boyunca metil kırmızısı çözeltisine daldırıp kaplayarak paket üzerine entegre edebildikleri bir akıllı etiket geliştirmişlerdir. Deneme başında ilk 2 saat boyunca toplam bakteri yükünün oda sıcaklığında bozulma eşiği olarak $1,80 \times 10^{-4}$ kob/g'dan 8 saat sonunda $1,14 \times 10^{-6}$ kob/g'a istikrarlı bir şekilde arttığını akıllı etiketin renk değişimi ile etteki bakteri sayısı arasında net bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir.

Tirtashi vd. (2019), tazelik indikatörü olarak selüoz/kitosan tabanlı akıllı bir etiket geliştirerek $20^\circ C$ 'de muhafaza ettikleri sütün fizikokimyasal ve mikrobiyal değişimlerini incelemişler, toplam bakteri yükünün sınır değeri aşmasıyla (7,45 kob log/g) indikatörün renginin 24 saat sonra maviden leylak rengine, 48 saat depolamadan sonra ise mor gül rengine dönüşerek sütün bozulduğunu açıkça gösterdiğini bildirmişlerdir.

4.4.2. Toplam psikrofilik aerob bakteri analizi bulguları

Toplam psikrofilik aerob bakteri sayısı 0. günde, K, O ve B gruplarında sırasıyla $2,02 \pm 0,07$; $2,31 \pm 0,06$ ve $2,47 \pm 0,09$ log kob/g olarak tespit edilmiş ve depolama süresince örneklerin TPAB sayısında belirgin artışlar gözlemlenmiştir ($p < 0,05$) (Tablo 4.17 ve Şekil 4.20). Depolamanın 9. gününden itibaren 14. gün hariç tüm gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,05$). Depolama sonunda (14. günde) K ve B grupları arasında fark bulunmazken ($p > 0,05$), O grubu bu iki gruptan istatistiksel olarak farklı olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). K ve B grubu 12. günde sınır değeri aşarken, O grubu 14. gün sonunda dahi sınır değerini aşmayarak sınıra oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.

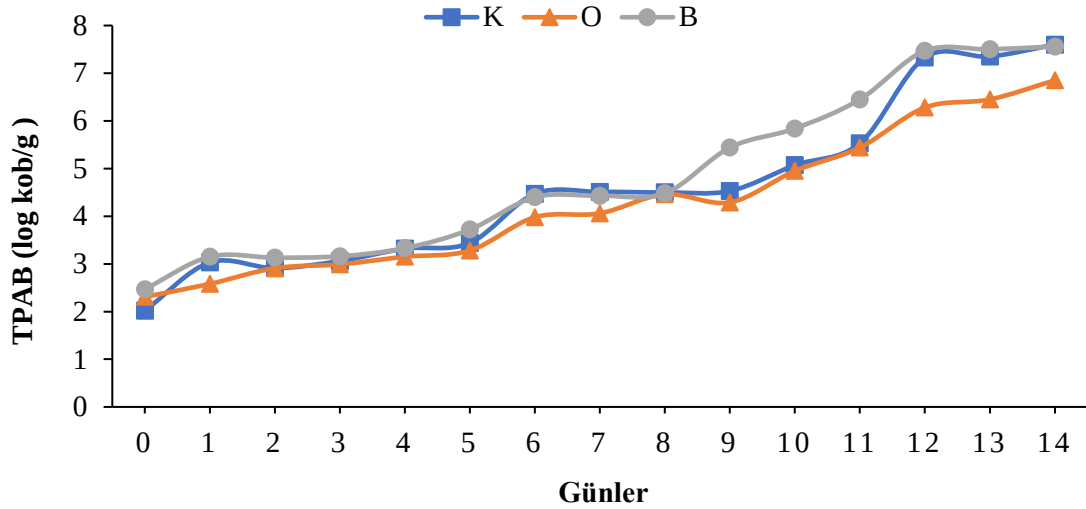
Tablo 4.17 Analiz günlerinde ölçülen toplam psikrofilik aerob bakteri sayıları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	2,02±0,07 ^{Bh}		2,31±0,06 ^{ABk}		2,47±0,09 ^{Ai}	
1	3,03±0,09 ^{Ag}		2,58±0,06 ^{Bj}		3,15±0,05 ^{Ah}	
2	2,91±0,01 ^{Bg}		2,91±0,02 ^{Bi}		3,13±0,01 ^{Ah}	
3	3,06±0,03 ^{Bg}		2,99±0,02 ^{Bhi}		3,16±0,01 ^{Agh}	
4	3,32±0,04 ^{Af}		3,15±0,02 ^{Agh}		3,33±0,07 ^{Ag}	
5	3,44±0,02 ^{Bf}		3,28±0,09 ^{Bg}		3,72±0,02 ^{Af}	
6	4,47±0,00 ^{Ae}		3,98±0,01 ^{Bf}		4,40±0,04 ^{Ae}	
7	4,51±0,01 ^{Ae}		4,06±0,04 ^{Bf}		4,43±0,01 ^{Ae}	
8	4,50±0,01 ^{Ae}		4,46±0,00 ^{Be}		4,48±0,01 ^{ABe}	
9	4,53±0,02 ^{Be}		4,29±0,05 ^{Ce}		5,44±0,00 ^{Ad}	
10	5,07±0,02 ^{Bd}		4,95±0,04 ^{Cd}		5,84±0,01 ^{Ac}	
11	5,53±0,01 ^{Bc}		5,44±0,01 ^{Cc}		6,45±0,01 ^{Ab}	
12	7,33±0,03 ^{Bb}		6,28±0,01 ^{Cb}		7,47±0,01 ^{Aa}	
13	7,35±0,02 ^{Bb}		6,45±0,04 ^{Cb}		7,50±0,02 ^{Aa}	
14	7,60±0,01 ^{Aa}		6,85±0,06 ^{Ba}		7,56±0,00 ^{Aa}	

Ort. (log kob/g) ± st. Hata
(n=4)

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...k (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)



Şekil 4.20 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TPAB sayısı değişimi

Pseudomonas gibi psikrofilik bakteriler buzdolabı sıcaklığında balıkların bozulmasının ana nedenidir. Genel olarak, balıklar için TPAB sayısı sınır değerinin 7 log kob/g olduğu kabul edilir (Ojagh vd., 2010). Gökkuşáğı alabalığı ile yürütölen çalışmada, filetolarda atmosferik paketlenme yapılmış ve paketlerin 4 °C’de 8 gün boyunca muhafazası sırasında tespit edilen TPAB sayısının 4,23 log kob/g seviyesinden 8 log kob/g seviyesine kadar artış gösterdiği bildirilmiştir (Ezati vd., 2019a). Yapılan bir çalışmada araştırmamıza benzer TPAB sayısı (3,3 kob/g) bulunmuştur (Pezeshk vd., 2011). 4 °C’de depolanan gökkuşáğı alabalığı filetolarının TPAB sayısında depolama süresine bağılı olarak önemli artışlar olduğu, 3,85 log kob/g olan başlangıç değerinin 16. gün sonunda 8,43 log kob/g’a ulaştığı bildirilmiştir (Ojagh vd., 2010). Asya deniz levreğı (*Lates calcarifer*) ile yapılan çalışmada, 4 °C’de 20 günlük depolama süresince TPAB sayısının 4 log kob/g’dan 8 log kob/g’a yükseldiğı tespit edilmiştir (Chaijan vd., 2020). Araştırmada kullanılan alabalığın TPAB yükü bahsedilen araştırmacılar tarafından bulunan başlangıç bakteri yüküne göre oldukça düşük ve iyi düzeydedir. Bu ürünün buz içerisinde laboratuvara hızlı getirilmiş olmasından dolayı mikrobiyolojik yükün düşük olduğunu söylemek mümkündür.

Moradi vd. (2019) siyah havuç antosiyanini entegre ettikleri bakteriyel selüloz nanofiber akıllı etiketlerini gökkuşáğı alabalığı ve adi sazan balığı örnekleri üzerinde tazelik izlemesi amacıyla araştırmışlardır. Çalışmada, 4 °C’de depoladıkları gökkuşáğı alabalığında başlangıçta 2,59 log kob/g olarak tespit ettikleri TPAB sayısının 10 günlük depolamanın sonunda 8,51’e ulaştığını, akıllı etiketlerin ilk 5 gün koyu karmin renkte iken sabit kaldığı, 10. güne doğru pembemsi renk aldığı ve 10.günden itibaren koyu mavi renge döndüğünü rapor etmişlerdir.

Hassanpour vd. (2022) siyah havuç ve üzüm antosiyaninleri selüloz kağıtlara immobilize ederek karides üzerinde kullanılabilirliğini incelediği çalışmalarında, depolamanın ilk gününde, göstergelerin parlak kırmızı bir renge sahip olduğunu ve bozulma başlangıcına kadar depolama sırasında renk yoğunluğunda hafif bir değişiklik ile aynı renkte kaldığını rapor etmişlerdir. Yine aynı çalışmada, Hassanpour vd. (2022) indikatördeki ayırt edilebilir renk değişiminin karides bozulmasından hemen sonra meydana geldiğini (7 log kob/g), yalnızca siyah havuç antosiyaninleri ile oluşturulan etiketin karideste taze olandan bozulmuş olanı ayırt edebileceğini ifade etmiştir.

Forghani vd. (2023) karides ile yaptıkları ve akıllı etiketlerin etkinliğini inceledikleri bir çalışmada TPAB artışı ile etiketlerin renk değişimleri (ΔE) arasında oldukça güçlü bir korelasyon ($R^2=0,9918$) olduğunu rapor etmişlerdir.

4.4.3. Toplam maya-küf analizi bulguları

Depolama süresince gruplara ait maya-küf sayısı değişimleri Tablo 4.18’de sunulmuştur. Maya-küf analiz sonuçları incelendiğinde gruplar arası ve günler arası istatistiksel farklar belirgin şekilde gözlenmiştir ($p<0,05$). B grubu genel olarak diğer gruplardan daha yüksek maya-küf değerleri sergilemiştir. 0. ve 1. günde K, O ve B grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmezken ($p>0,05$) 14 günlük depolama süresince yalnızca 5. ve 10. günlerde istatistiksel anlamda farklar bulunmuştur ($p<0,05$). Depolamanın 3., 4., 7., 8., 11. ve 14. günlerinde de benzer şekilde B grubunda daha yüksek değerler tespit edilirken, bu günlerde O grubunun diğer grupların her biri ile arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Depolama süresi boyunca günlere göre tespit edilen değerler karşılaştırıldığında her üç grubun da zamanla artış gösterdiği gözlemlenmiştir ($p<0,05$) (Şekil 4.21). 10. günden itibaren K grubundaki artış günler açısından istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Aynı durum O ve B gruplarında 11. günden itibaren gözlemlenmiştir. Genel anlamda 10. günden itibaren gruplarda tespit edilen maya-küf sayılarının baskılandığı ve sınır değerini aşmadığı söylenebilir. Bu sonuçlar, B grubunun diğer gruplara kıyasla daha yüksek maya-küf büyümesi gösterdiğini ve zamanla tüm gruplarda benzer artışların yaşandığını ortaya koymaktadır.

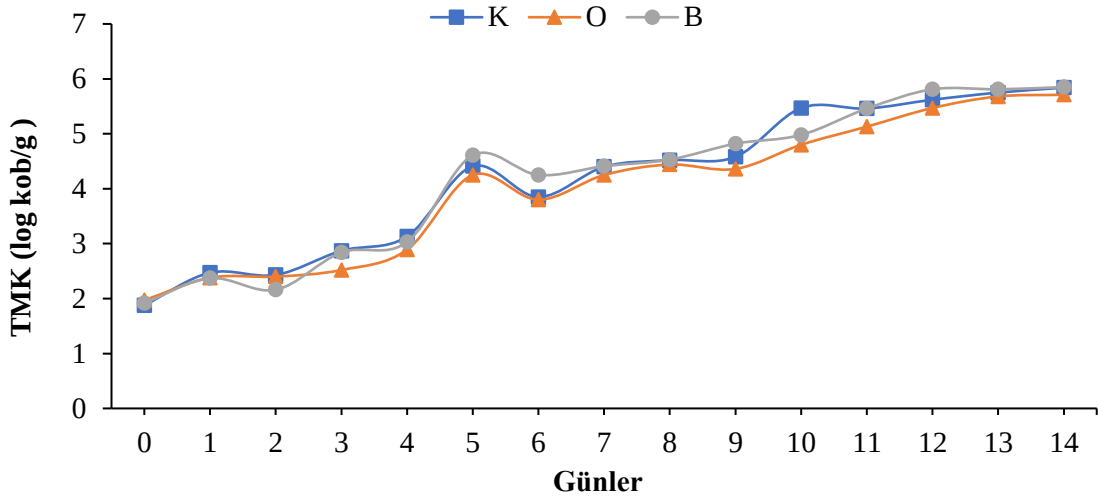
Tablo 4.18 Analiz günlerinde ölçülen toplam maya-küf sayıları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	1,88±0,16 ^{Ag}		1,97±0,07 ^{Ah}		1,92±0,10 ^{Ai}	
1	2,47±0,18 ^{Aef}		2,38±0,03 ^{Ag}		2,37±0,09 ^{Ah}	
2	2,43±0,03 ^{Af}		2,40±0,01 ^{Ag}		2,16±0,03 ^{Bhi}	
3	2,87±0,04 ^{Ade}		2,52±0,06 ^{Bg}		2,84±0,04 ^{Ag}	
4	3,13±0,02 ^{Ad}		2,89±0,05 ^{Bf}		3,03±0,02 ^{Ag}	
5	4,41±0,03 ^{Bb}		4,25±0,02 ^{Cd}		4,61±0,06 ^{Ade}	
6	3,85±0,12 ^{ABc}		3,80±0,11 ^{Be}		4,25±0,09 ^{Af}	
7	4,40±0,01 ^{Ab}		4,25±0,06 ^{Bd}		4,41±0,03 ^{Aef}	
8	4,52±0,01 ^{Ab}		4,44±0,00 ^{Bd}		4,53±0,00 ^{Aef}	
9	4,58±0,09 ^{ABb}		4,36±0,10 ^{Bd}		4,82±0,06 ^{Ac}	
10	5,47±0,06 ^{Aa}		4,80±0,04 ^{Cc}		4,98±0,02 ^{Bc}	
11	5,46±0,00 ^{Aa}		5,13±0,02 ^{Bb}		5,46±0,00 ^{Ab}	
12	5,62±0,03 ^{Aa}		5,47±0,13 ^{Aa}		5,81±0,07 ^{Aa}	
13	5,75±0,04 ^{Aa}		5,68±0,01 ^{Aa}		5,81±0,06 ^{Aa}	
14	5,84±0,01 ^{Aa}		5,71±0,03 ^{Ba}		5,85±0,02 ^{Aa}	

Ort. (log kob/g) ± st. Hata
(n=4)

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)



Şekil 4.21 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TMK sayısı değişimi

Kaba ve Çorapçı (2014) çalışmalarında gökkuşağı alabalık filetolarının 4 °C’de depolamışlar buna bağlı olarak başlanıçta 2,60 log kob/g olan TMK sayısının depolama sonunda 6,25 log kob/g’a kadar artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Varlık vd. (2007) düşük su aktivitesi değerlerinde maya ve küflerin baskın hale geleceğini ifade etmişlerdir. Çalışmada depolama sonlarına doğru gruplarda artan su aktivitesi nedeniyle maya ve küf sayılarının baskılandığını söylemek mümkündür. Altan (2020) MTgaz ilaveli gökkuşağı alabalıklarından yapılmış köfteleri modifiye atmosfer paketleme yaparak 4 °C’de muhafaza etmiş ve 24 günlük depolamanın sonunda toplam maya-küf sayısının maksimum 6,94 log kob/g’a ulaştığını bildirmiştir. Chatli vd. (2012), sazan (*Cyprinus carpio*) balığından elde ettikleri kıymayı %30/%70:CO₂/N₂ oranında gaz karışımı ile modifiye atmosfer paketleyerek buzdolabı koşullarında depolamışlardır. TMK bakımından modifiye atmosfer paketlemenin atmosferik paketlemeye göre olumlu etkileri olduğunu (p<0,05) bildirmişlerdir. Özünlü (2023), alabalıklar üzerinde yaptığı ve 5 farklı akıllı etiketi incelediği çalışmasında gökkuşağı alabalıklarını 4 °C’de 20 gün süresince depolamış, alabalık filetolarındaki TMK sayısının 1,85 ile 3,75 log kob/g arasında değişkenlik gösterdiğini bildirmiştir.

4.4.4. Toplam koliform bakteri analizi bulguları

Depolama süresince gruplara ait toplam koliform bakteri sayısı değişimleri Tablo 4.19’da verilmiştir. Koliform bakteri analiz sonuçları incelendiğinde; 3. güne kadar tüm gruplarda ölçülen koliform bakteri sayısı <0,3 log kob/g altında olduğu tespit edilmiştir. Depolama süresi sonuna doğru tüm gruplarda toplam koliform bakteri sayısı açısından anlamlı

artışlar gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Özellikle 9. günden itibaren tüm gruplarda ani artışlar gözlemlenmiştir (Şekil 4.22). Depolamanın 3. gününde 0,3 log kob/g üzerinde ölçümler tespit edilmiş olsa da tespit edilen koliform bakteri sayısı bakımından gruplar arasında istatistiksel anlamda anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). 14 gün boyunca yapılan ölçümlerde yalnızca 11. günde istatistiksel olarak tüm gruplar arası fark önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Ayrıca, 7., 8. ve 10. günler hariç O grubunda tespit edilen koliform bakteri sayıları K ve O gruplarında bulunan koliform bakteri sayılarına göre istatistiksel anlamda önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p>0,05$).



Tablo 4.19 Analiz günlerinde ölçülen toplam koliform bakteri sayıları

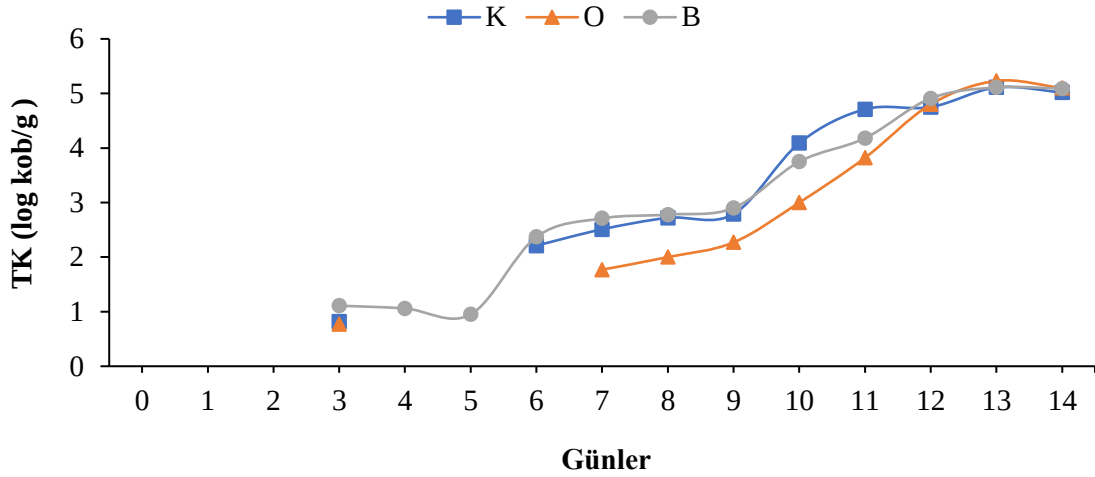
Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	<0,30		<0,30		<0,30	
1	<0,30		<0,30		<0,30	
2	<0,30		<0,30		<0,30	
3	0,82±0,12 ^{Ad}		0,77±0,08 ^{Af}		1,11±0,24 ^{Ad}	
4	<0,30		<0,30		1,06±0,18 ^d	
5	1,18±0,41 ^{Ad}		<0,30		0,95±0,17 ^{Ad}	
6	2,21±0,23 ^{Ac}		<0,30		2,37±0,04 ^{Ac}	
7	2,51±0,14 ^{Ac}		1,77±0,08 ^{Bde}		2,71±0,07 ^{Ac}	
8	2,72±0,07 ^{Ac}		2,00±0,12 ^{Bde}		2,78±0,17 ^{Ac}	
9	2,79±0,17 ^{Ac}		2,27±0,22 ^{Ad}		2,90±0,12 ^{Ac}	
10	4,09±0,12 ^{Ab}		3,00±0,00 ^{Bc}		3,75±0,09 ^{Ab}	
11	4,71±0,03 ^{Aab}		3,82±0,10 ^{Cb}		4,18±0,05 ^{Bb}	
12	4,75±0,17 ^{Aab}		4,80±0,04 ^{Aa}		4,91±0,06 ^{Aa}	
13	5,11±0,03 ^{Aa}		5,23±0,03 ^{Aa}		5,11±0,10 ^{Aa}	
14	5,02±0,05 ^{Aa}		5,10±0,10 ^{Aa}		5,09±0,13 ^{Aa}	

Ort. (log kob/g) ± st. Hata
(n=4)

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

<0,30: saptanabilir sınır altı



Şekil 4.22 Depolama süresince gruplarda tespit edilen TK bakteri sayısı değişimi

Altan (2020), gökkuşağı alabalığı üzerine yaptığı çalışmasında taze gökkuşağı alabalığı örneklerinde koliform bakteri sayısının 1 log kob/g altında olduğunu ifade etmiştir. Ekici vd. (2011) tarafından inci kefalinin bütün ve iç organı çıkarılarak -18 derecede 120 gün boyunca depolandığı bir çalışmada, ilk gün temizlenmiş bütün ve iç organlardaki koliform miktarı $1,15 \pm 0,21$ olarak belirlenmiş, denemenin sonunda (120. gün) bu değer $1,76 \pm 0,40$ olduğu tespit edilmiştir. Young vd. (2014) 4 °C’de depoladıkları karides numunelerinde ilk 3 gün koliform bakteri sayısına rastlanmadıklarını, 14 gün sonunda koliform bakteri sayısının 2,9 log kob/g’a ulaştığını rapor etmişlerdir. Chen vd. (2007) tarafından 2 °C’de depolanan kerevit kuyrukları üzerinde yapılan bir çalışmada, 6 günlük depolama sonrasında 5,5 log kob/g koliform sayısı gözlemlenmiştir. Linton vd. (2003) ise hidrostatik basınçla muamele edilen ve 2 °C’de depolanan karideslerde 28 günlük depolama süresi boyunca herhangi bir koliform tespit etmediklerini bildirmiştir. Başka çalışmada taze yayın balığı filetolarında başlangıçta tespit edilen koliform sayısı 3,2 log kob/g iken, balık örneklerinin atmosfer paketleme ile paketleme sonrasında koliform sayısı depolama süresi ile artmış ve bozulma gününde 6,5 log kob/g değerlerine ulaşmıştır (Reddy vd., 1997). Yine aynı çalışmada Reddy vd. (1997) çalışmalarında, 4 °C balık örneklerinde tespit edilen koliform artışının 15. günde en yüksek seviyeye geldiğini daha sonra balık ürünlerin bozulmasına kadar sabit seyrettiğini ifade etmiştir. Balıklar için izin verilen maksimum toplam koliform bakteri limiti ICMSF (1986) tarafından 100 kob/g olduğu bildirilirken diğer ülkelerde yerel otoritelerce daha yüksek (5 log kob/g) koliform bakteri sınır değerleri uyguladığı rapor edilmiştir (Wong vd., 2015). Bahsedilen literatürler bulguları çalışmada elde edilen sonuçlara benzerlik göstermekte olup balık

gruplarımızda tespit edilen koliform bakteri sayısı artışları ilk günlerinde hızlı yükseliş göstermiş olsa da literatürde ifade edildiği gibi çalışmada da bozulma sonlarında yatay seyretmiş ve sınır değeri aşmamıştır.

4.4.5. Laktik asit bakteri analizi bulguları

Depolama süresince gruplara ait laktik asit bakteri sayısı bulguları Tablo 4.20’de sunulmuştur. Laktik asit bakteri analiz sonuçları incelendiğinde; K ve B grubunda 6. güne kadar, O grubunda ise 8. güne kadar ölçülen laktik asit bakteri sayıları 0,30 log kob/g altında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek laktik asit bakteri sayısı 14. günde B grubunda 4,39 log kob/g olarak tespit edilmiştir. Depolama süresi sonuna doğru tüm gruplarda anlamlı artışlar gözlemlenmiştir ($p<0,05$) (Şekil 4.23). 14 günlük depolama süresince 11. gün hariç K ve B grupları arasında laktik asit bakteri sayısı bakımından istatistiksel anlamda fark gözlenmemiştir ($p>0,05$).

Tablo 4.20 Analiz günlerinde ölçülen laktik asit bakteri (LAB) sayıları

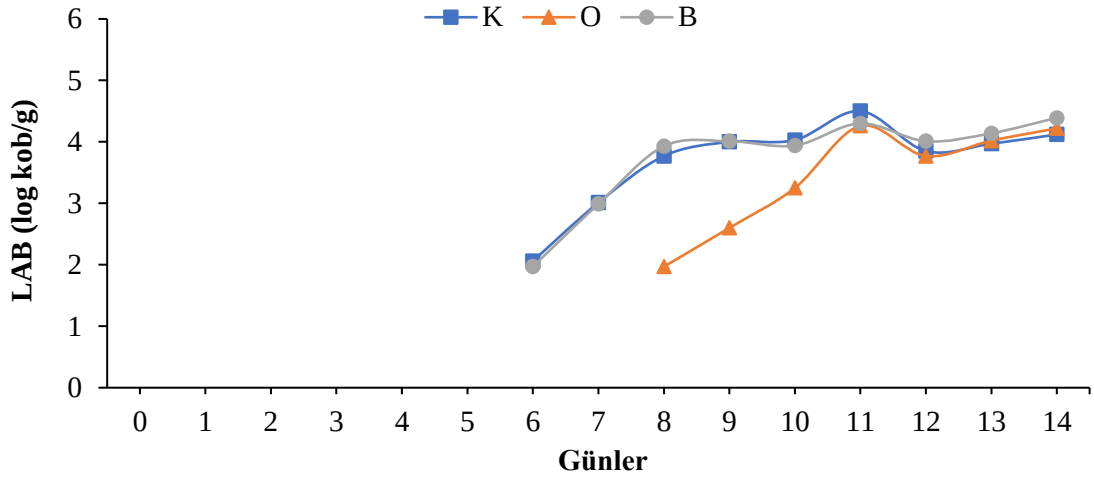
Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	<0,30		<0,30		<0,30	
1	<0,30		<0,30		<0,30	
2	<0,30		<0,30		<0,30	
3	<0,30		<0,30		<0,30	
4	<0,30		<0,30		<0,30	
5	<0,30		<0,30		<0,30	
6	2,06±0,12 ^{Ad}		<0,30		1,97±0,10 ^{Ac}	
7	3,01±0,03 ^{Ac}		<0,30		2,99±0,03 ^{Ad}	
8	3,77±0,11 ^{Ab}		1,97±0,10 ^{Be}		3,93±0,09 ^{Ac}	
9	4,00±0,03 ^{Ab}		2,60±0,06 ^{Bd}		4,01±0,04 ^{Abc}	
10	4,03±0,10 ^{Ab}		3,25±0,08 ^{Bc}		3,94±0,02 ^{Abc}	
11	4,50±0,02 ^{Aa}		4,26±0,06 ^{Ba}		4,30±0,03 ^{Bab}	
12	3,85±0,09 ^{Ab}		3,77±0,08 ^{Ab}		4,01±0,11 ^{Abc}	
13	3,97±0,10 ^{Ab}		4,02±0,14 ^{Aab}		4,14±0,09 ^{Aabc}	
14	4,12±0,07 ^{Aab}		4,22±0,09 ^{Aa}		4,39±0,09 ^{Aa}	

Ort. (log kob/g) ± st. Hata
(n=4)

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...e (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

<0,30: saptanabilir sınır altı



Şekil 4.23 Depolama süresince gruplarda tespit edilen LAB sayısı değişimi

Laktik asit bakterileri, modifiye atmosfer paketleme (MAP) ve soğuk zincir koşullarında muhafaza edilen ürünlerde bozulma sırasında gözlemlenen ekşi tat değişiminden sorumludur (Nollet ve Toldra, 2010). Pournis vd. (2005), tekir balığını (*Mullus surmuletus*) modifiye atmosfer koşullarında paketlenerek buzdolabı ortamında saklamış ve gaz karışımlarında kullanılan karbondioksit (CO_2) miktarının artışıyla laktik asit bakterileri üzerindeki inhibitör etkinin de arttığını tespit etmişlerdir. Volpe vd. (2015), buzdolabı koşullarında 15 gün boyunca sakladıkları alabalık filetolarında başlangıç (0. gün) toplam laktik asit bakteri yükünü $2,00 \pm 0,02$ log kob/g olarak belirlemişler ve 15. günde bu değerin $2,93 \pm 0,10$ log kob/g seviyesine ulaştığını gözlemlemişlerdir. Alak vd. (2010) ise, 4 ± 1 °C’de palamut (*Sarda sarda*) filetolarını atmosferik koşullarda muhafaza etmiş ve 15 günlük depolama süresince LAB açısından anlamlı bir farklılık tespit etmemişlerdir ($p > 0,05$). Françoise (2010); aerobik, anaerobik veya MAP uygulanarak paketlenen su ürünleri üzerinde laktik asit bakterilerinin etkisinin çok fazla etkili olmadığını, özellikle marine balık, tuzlu balık, soğuk dumanlanmış balık vb. işlenmiş ürünlerde daha etkili olduğunu ifade etmiştir. Çalışmada da laktik asit bakterileri 6 log kob/g değeri altında kalmıştır. Karbondioksitin mikroorganizmalar üzerindeki etkileri çeşitlidir. %10-20 konsantrasyonunda karbondioksit laktik asit bakterilerinin büyümesini hızlandırmaktadır (Yingyuad vd., 2006). Çalışmada paket içi gaz ölçümlerine bakıldığında laktik asit bakteri artışının CO_2 değerinin %10’ları geçtiği günlerde her grupta benzer artışlar gösterdiği açıkça görülmektedir.

Hsiao ve Chang (2017), çığ orfoz balıkları (*E. Lanceolatus*) ile mikrobiyal zaman-sıcaklık indikatörlerini araştırdıkları bir çalışmada başlangıçta 2,55 log kob/g olan LAB

sayısının başlangıç seviyesinden başlayarak süresinin sonunda 6,8 log kob/g'a kadar ulaştığını kullandıkları indikatörlerin renginin ise kırmızıdan sarı renge değişim gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Laktik asit ve bakteriyosin oluşumu nedeniyle laktik asit bakterilerinin diğer bakterilerin büyümesini engelleyebileceği ve bu durumun deniz ürünlerinin bozulması sırasında seçici büyümelerine katkıda bulunabileceği bir çalışmada ifade edilmiştir (Taoukis vd., 1999). Çalışmada da laktik asit bakteri sayısının 4 log kob/g aştığı günlere tekabül eden günlerde toplam koliform bakterileri sayı artışının duraklama tepkileri gösterdiği açıkça görülmekte ve böylece laktik asit bakteri artışının koliform grubu bakterilerini baskılandığı düşünülmektedir. Ayrıca depolama süresi sonuna doğru balık paketleri içerisinde CO₂ konsantrasyonunun artmasıyla laktik asit bakteri artışının da baskılandığı düşünülmektedir.

4.4.6. *Pseudomonas* spp. analizi bulguları

Depolama süresince gruplara ait *Pseudomonas* spp. sayısı bulguları Tablo 4.21'de sunulmuştur. *Pseudomonas* spp. analiz sonuçları incelendiğinde; K, O ve B gruplarında sırasıyla 2., 5. ve 4. günlere kadar tespit edilen *Pseudomonas* spp. sayıları 0.30 log kob/g altında bulunmuştur. Hasat edilen alabalıkların oldukça kısa sürede ve buz içerisinde laboratuvara getirilmiş olmasından dolayı mikrobiyolojik yükünün düşük olduğunu söylemek mümkündür. En yüksek *Pseudomonas* spp. 14. günde B grubunda (4,38 log kob/g) tespit edilmiştir. Depolama süresince tüm gruplarda anlamlı artışlar gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Tüm gruplarda 4. günden 8. güne kadar hızlı bir yükseliş olduğu görülmektedir (Şekil 4.24). Ayrıca, *Pseudomonas* spp. sayısı bakımında 8. günde O grubu ile K ve B grupları arasında istatistiksel anlamda önemli farklar tespit edilmiştir ($p<0,05$). Son analiz günü olan 14. günde ise tüm gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Tablo 4.21 Analiz günlerinde ölçülen *Pseudomonas* spp. sayıları

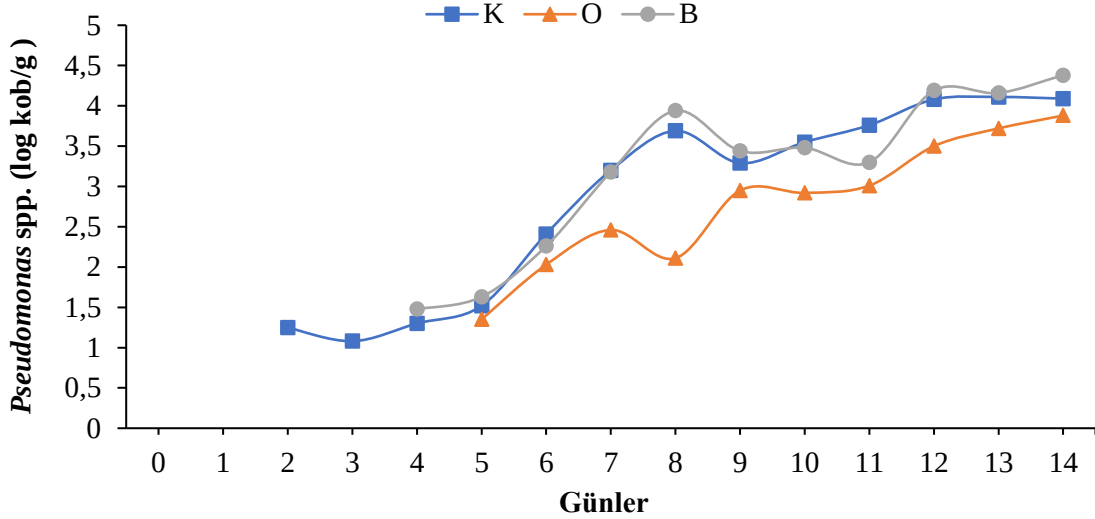
Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	<0,30		<0,30		<0,30	
1	<0,30		<0,30		<0,30	
2	1,25±0,20 ^e		<0,30		<0,30	
3	1,08±0,12 ^e		<0,30		<0,30	
4	1,30±0,13 ^{Ae}		<0,30		1,48±0,09 ^{Ae}	
5	1,52±0,05 ^{ABe}		1,35±0,05 ^{Be}		1,63±0,09 ^{Ae}	
6	2,41±0,09 ^{Ad}		2,03±0,08 ^{Ad}		2,26±0,12 ^{Ad}	
7	3,20±0,04 ^{Ac}		2,46±0,34 ^{Acd}		3,18±0,07 ^{Ac}	
8	3,69±0,10 ^{Aabc}		2,11±0,09 ^{Bd}		3,94±0,10 ^{Aab}	
9	3,29±0,04 ^{ABbc}		2,95±0,02 ^{Bbc}		3,44±0,20 ^{Abc}	
10	3,55±0,15 ^{Abc}		2,92±0,13 ^{Abc}		3,48±0,20 ^{Abc}	
11	3,76±0,10 ^{Aab}		3,01±0,08 ^{Bbc}		3,30±0,03 ^{Bc}	
12	4,08±0,04 ^{Aa}		3,50±0,16 ^{Bab}		4,19±0,09 ^{Aa}	
13	4,11±0,05 ^{Aa}		3,72±0,06 ^{Ba}		4,16±0,10 ^{Aa}	
14	4,09±0,02 ^{Ba}		3,88±0,03 ^{Ca}		4,38±0,03 ^{Aa}	

Ort. (log kob/g) ± st. Hata
(n=4)

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır ($p<0,05$)

a, b, c ...e (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır ($p<0,05$)

<0,30: saptanabilir sınır altı



Şekil 4.24 Depolama süresince gruplarda *Pseudomonas* spp. sayısı değişimi

Kimyasal yöntemler yalnızca laboratuvarlar ve araştırma basamakları için uygundur. TMAB, *Brochothrix thermosphacta*, laktik asit bakterileri (LAB), *Pseudomonas spp* ve *Enterobacteriaceae* et kalitesini değerlendirmek amacıyla mikrobiyal analiz için kullanılan yaygın yöntemlerdir (Borch ve Agerhem 1992; Vaikousi vd., 2009; Zhang vd., 2011). Et ürünlerinde karşılaşılabilecek patojen mikroorganizmalar genellikle mezofilik ve termofilik özellikler taşısa da özellikle buzdolabı koşullarında saklanan etlerde *Pseudomonas* gibi bazı psikrofilik mikroorganizmalar daha belirgin hale gelmektedir. Fakat, psikrofilik mikroorganizmaların, termofilik veya mezofilik bakterilere kıyasla daha yavaş bir büyüme hızına sahip oldukları bilinmektedir (Antunes vd., 2016). *Pseudomonas* gibi psikrofilik bakteriler buzdolabı sıcaklığında balık bozulmasının ana nedenidir (Moradi vd., 2019). Ancak, psikrofilik bakterilerin (*Pseudomonas*) üremesi sonucu oluşan metabolitler nedeniyle balıklar soğutma koşullarında bile bozulmaktadır (Luo vd., 2023). Atmosferik hava ile ambalajlanan taze etlerde, mikrobiyal bozulmanın esas olarak proteolitik özelliklere sahip *Pseudomonas* ve koliform türü bakterilerin sebep olduğu bildirilmiştir (Rossi vd., 2016). Karbondioksit, mikrobiyal bozulmayı kolayca başlatan *Pseudomonas spp.* gibi gram-negatif aerobları inhibe eder (Yousefi vd., 2019). CO₂'nin antimikrobiyal etkisi, dekarboksilasyonu (enzimatik) önleyen anaerobik bir ortam yaratma kabiliyetinden kaynaklanmaktadır. CO₂ birikimi ayrıca bazı mikroorganizmaların membranlarının geçirgenliğini de bozabilir. Altan (2020), gökkuşağı alabalıklarından yaptığı köftelerde MTgaz enzimi kullanmış, depolama süresi sonuna kadar tüm gruplarda *Pseudomonas spp.* yükünün limit sınırlar içerisinde kaldığını ifade etmiştir. Kocatepe (2010), levrek balıkları üzerinde farklı gaz karışımları içeren

MAP paketleme yöntemlerini araştırdığı çalışmasında kontrol grubu taze örneklerinde başlangıçta 2,52 log kob/g olarak tespit ettiği *Pseudomonas* spp. sayısının 10. günde 6,61 log kob/g'a ulaştığını bildirmiştir. Çalışmada da 4. ve 5. günlerden başlayıp 8. ve 9. günlere kadar hızlı bir artış olduğu, 9. günden itibaren tüm gruplarda artışlar gözlemlense de bu artışların daha yavaş olduğu görülmektedir. Buda zamanla ortamdaki CO₂ konsantrasyonunun artışının *Pseudomonas* spp. artışını baskılandığı düşünülmektedir. Bahsedilen araştırmacılar ile farklı değerlerde sonuçların bulunması kullanılan balık türü ve paketleme yöntemlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.5. Duyusal Analizlere Ait Bulgular

Çalışmada yapılan duyusal analiz 10 eğitimli panelist tarafından gerçekleştirilmiş, analiz sonuçları çiğ ve pişmiş ürünler için ayrı ayrı sunulmuştur.

4.5.1. Çiğ ürünlerin duyusal analiz bulguları

K, O ve B grupları çiğ örneklerinin duyusal analiz değerlendirmeleri görünüş, koku, renk ve tekstür kriterlerine göre yapılmış ve bu kriterlerin analiz günlerinde panelistler tarafından verilen görünüş, koku, renk ve tekstür puanları sırasıyla Tablo 4.22, Tablo 4.23, Tablo 4.24 ve Tablo 4.25'te verilmiş günlere göre grafiksel değişimleri Şekil 4.25'te gösterilmiştir.

Tablo 4.22 Çiğ balık örneklerinin depolama süresine göre görünüş puanları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	9,917±0,06 ^{Aa}		9,875±0,07 ^{Aa}		9,958±0,04 ^{Aa}	
1	9,333±0,10 ^{Ba}		9,917±0,06 ^{Aa}		9,833±0,08 ^{Aa}	
2	9,250±0,12 ^{Ba}		9,792±0,08 ^{Aa}		9,583±0,10 ^{Ab}	
3	8,125±0,15 ^{Ab}		8,250±0,23 ^{Abc}		8,083±0,20 ^{Ab}	
4	7,042±0,20 ^{Bd}		7,833±0,19 ^{Acd}		7,667±0,2 ^{ABbc}	
5	7,875±0,14 ^{Cbc}		8,875±0,14 ^{Ab}		8,417±0,10 ^{Bb}	
6	7,167±0,22 ^{Bcd}		8,208±0,16 ^{Abc}		7,833±0,14 ^{Abc}	
7	6,708±0,16 ^{Bde}		8,083±0,16 ^{Ac}		7,083±0,13 ^{Bc}	
8	6,208±0,16 ^{Bef}		7,542±0,19 ^{Acd}		6,250±0,17 ^{Bd}	
9	5,750±0,12 ^{Bf}		7,167±0,08 ^{Ad}		5,542±0,16 ^{Bde}	
10	5,000±0,21 ^{Bg}		6,333±0,14 ^{Ae}		4,958±0,16 ^{Bc}	
11	3,167±0,14 ^{Ch}		4,542±0,16 ^{Af}		3,750±0,16 ^{Bf}	
12	2,708±0,14 ^{Bh}		3,542±0,15 ^{Ag}		3,292±0,25 ^{ABf}	
13	1,625±0,16 ^{Bi}		3,083±0,21 ^{Ag}		2,167±0,20 ^{Bg}	
14	1,208±0,08 ^{Bi}		1,750±0,11 ^{Ah}		1,458±0,12 ^{ABg}	

Ort. (n=24) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...i (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

Başlangıçta tüm gruplardaki örnekleri et yapısı sıkı, parlak ve estetik açıdan hoş bir görünüme sahipti. Ancak, depolama süresi ilerledikçe örnekler bu özelliklerini kaybederek bozulmaya uğramıştır. Özellikle depolamanın ilk 10 gününde tüm grupların

panelistler tarafından 5 puan ve üzeri değerlendirildiği gözlenmiştir. Bu dönemin ardından görünüş puanlarında belirgin bir düşüş yaşanmış ve K grubu örnekleri diğer gruplara kıyasla daha düşük puanlar almıştır. Depolama süresinin ilerlemesiyle birlikte, görünüş puanlarında da anlamlı bir düşüş saptanmıştır ($p<0,05$). Çalışma başlangıcında (0. gün) en yüksek puanı $9,958\pm0,07$ ile B grubu örnekleri alırken, 14. günde en düşük puanı $1,208\pm0,08$ ile K grubu örneklerinin aldığı görülmüştür. Ayrıca, görünüş puanlarının değerlendirilmesi sonucunda, K, O ve B gruplarına ait puanlar sırasıyla 12., 14. ve 13. günden itibaren kabul edilebilir limit değer olan 3'ün altına düşmüştür. Depolamanın ilk 4 günü boyunca, O ve B gruplarının görünüş puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p>0,05$). Ancak, 0. ve 3. gün hariç, K ve O gruplarına verilen puanlar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$). Bunun yanı sıra, 7. günden depolama sonuna kadar (11. gün hariç) K ve B gruplarına verilen puanlar arasında istatistiksel bir fark görülmemiştir ($p>0,05$), ancak her analiz gününde en yüksek puanı O grubu örnekleri almıştır. Depolama süresince tüm grupların sadece 5. ve 11. günlerde birbirinden anlamlı derecede farklı olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Bu durum, 6. günde balık etinde tespit edilen renk farkının ($\Delta E=5,39$) yüksek olmasını doğrulamaktadır. Sonuç olarak, depolama süresi boyunca çiğ balık örneklerinin görünüş puanlarının düşmesi, ürün kalitesinin zamanla bozulduğunu ve özellikle K grubunun diğer gruplara kıyasla daha hızlı bir kalite kaybı yaşadığını göstermektedir. Bu bulgular, depolama süresinin uzatılmasının balık etinin görsel özellikleri üzerinde olumsuz etkiler yarattığını ortaya koymaktadır.

Duyusal test, herhangi bir gıda ürününün tazelik ve kalitesini belirlemede kullanılan öncelikli ve güvenilir kalite kontrol yöntemlerinden biridir (Barbosa ve Vaz-Pires, 2004; Jorgensen vd., 2003). Duyusal test yöntemleri, görme, koku, tat, duyma ve dokunma gibi duyular yardımıyla gıda özelliklerini ölçmek, analiz etmek ve yorumlamak olarak tanımlanır. Dış görünüm, koku ve renk gibi özellikler kalite kontrolünde hala çok önemlidir (Çaklı, 2007). Duyusal testler sonucunda uygun olmadığı tespit edilen bir ürün tüketime sunulmaz (Gökoğlu, 1994). Gökkuşığı alabalığı üzerine yapılan çalışmada Kolsarıcı ve Özkaya (1998), alabalıkları 4 ± 1 °C'de muhafaza etmişler ve görünüş kriterine göre değerlendirmişlerdir. Değerlendirmeler neticesinde 4 ± 1 °C'de depolanan alabalıkların görünüş puanlarını 1. günde 8,6 olduğunu, depolama süresince ise ürünlerin duyusal değerlerinde azalma tespit ettiklerini ifade etmiştir. Benzer bir çalışmada Doğan (2013), görünüş açısından gökkuşığı alabalıklarına yapılan değerlendirmeler sonucunda;

tüm örnek gruplarında bozulma sınır değerinin muhafazanın son günlerinde aşıldığını, depolama süresi sonuna doğru görünümünün düşük puanlar aldığını ifade etmiştir.



Tablo 4.23 Çiğ balık örneklerinin depolama süresine göre koku puanları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	9,883±0,10 ^{Aa}		9,958±0,04 ^{Aa}		9,917±0,06 ^{Aa}	
1	9,833±0,08 ^{Aa}		9,917±0,06 ^{Aa}		9,917±0,06 ^{Aa}	
2	9,250±0,09 ^{Aa}		9,333±0,10 ^{Aa}		9,333±0,10 ^{Aa}	
3	7,833±0,14 ^{Ab}		8,042±0,19 ^{Ab}		8,125±0,22 ^{Ab}	
4	7,792±0,21 ^{Ab}		8,208±0,15 ^{Ab}		7,833±0,12 ^{Ab}	
5	7,917±0,16 ^{Bb}		8,500±0,16 ^{Ab}		7,958±0,13 ^{Bb}	
6	6,958±0,22 ^{Bc}		8,250±0,21 ^{Ab}		7,458±0,10 ^{Bb}	
7	7,000±0,24 ^{Bc}		7,833±0,14 ^{Ab}		6,500±0,20 ^{Bc}	
8	6,125±0,14 ^{Bd}		6,833±0,12 ^{Ac}		5,500±0,12 ^{Cd}	
9	5,167±0,14 ^{Bc}		6,750±0,09 ^{Ac}		5,083±0,10 ^{Bde}	
10	5,042±0,20 ^{Bc}		6,417±0,13 ^{Ac}		4,625±0,20 ^{Be}	
11	2,458±0,16 ^{Bf}		3,750±0,26 ^{Ad}		3,083±0,10 ^{Bf}	
12	2,417±0,16 ^{Af}		2,583±0,18 ^{Ae}		2,833±0,25 ^{Af}	
13	1,583±0,13 ^{Bg}		2,458±0,26 ^{Ae}		1,792±0,23 ^{ABg}	
14	1,208±0,08 ^{Ag}		1,417±0,13 ^{Af}		1,292±0,13 ^{Ag}	

Ort. (n=24) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...g (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

Çalışmada, depolama süresince tüm grupların koku puanlarında istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Başlangıçta (0. gün), O grubu örnekleri en yüksek koku puanını (9,958±0,04) alırken, en düşük puan 14. gününde 1,208±0,08 ile

K grubuna aitti. Deneme sürecinin ilk dokuz gününde tüm gruplara verilen puanlar 5'in üzerindeyken, 10. günden sonra hızlı bir düşüş yaşanmıştır. K grubuna ait koku puanları 11. günde, O ve B gruplarına ait koku puanları ise 12. günden itibaren kabul edilebilir limit değeri olan "3"ün altına düşmüştür. Deneme süresince (8. gün hariç), K ve B gruplarında kaydedilen koku puanları istatistiksel olarak anlamlı bir fark göstermemiştir ($p>0,05$). Ancak, 8. gününde tüm gruplarda koku puanları istatistiksel olarak farklılık göstermiştir ($p<0,05$). Ayrıca, gözlemler, O grubu örneklerinin her analiz gününde diğer gruplara göre daha yüksek koku puanları aldığını ortaya koymuştur.

Debevere ve Boskou, (1996) depolama sürecinde bakteri ve enzim faaliyetleri, amonyak, monoetilamin, dimetilamin ve trimetilamin gibi bileşiklerin oluşumuna neden olarak balıkta kötü kokuların oluşmasına sebep olduğunu, bu koku oluşumunun ise ürünün bozulma belirtisi olarak kabul edildiğini ifade etmiştir. Araştırmada elde edilen koku testi sonuçları Cardinal vd. (2006) ile Özyılmaz (2007)'ın bulgularıyla benzerlik göstermektedir.

Tablo 4.24 Çiğ balık örneklerinin depolama süresine göre renk puanları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	10,00±0,00 ^{Aa}		9,875±0,07 ^{Aa}		9,917±0,06 ^{Aa}	
1	9,417±0,16 ^{Ba}		9,792±0,08 ^{Aa}		9,917±0,06 ^{Aa}	
2	9,583±0,10 ^{Aa}		9,333±0,10 ^{Aa}		9,667±0,10 ^{Aa}	
3	8,458±0,19 ^{Ab}		8,125±0,21 ^{Abc}		7,833±0,28 ^{Abc}	
4	7,792±0,18 ^{Bbc}		8,542±0,13 ^{Ab}		7,667±0,12 ^{Bbc}	
5	7,542±0,21 ^{Bcd}		8,542±0,18 ^{Ab}		8,208±0,08 ^{Ab}	
6	6,833±0,19 ^{Bde}		8,000±0,21 ^{Abc}		7,750±0,12 ^{Abc}	
7	6,792±0,16 ^{Cde}		7,875±0,14 ^{Abcd}		7,292±0,09 ^{Bc}	
8	6,542±0,18 ^{Be}		7,667±0,13 ^{Ac}		6,208±0,21 ^{Bd}	
9	5,417±0,22 ^{Bf}		7,250±0,09 ^{Ad}		5,417±0,10 ^{Be}	
10	5,125±0,21 ^{Bf}		6,333±0,13 ^{Ae}		5,167±0,17 ^{Be}	
11	3,375±0,12 ^{Cg}		5,000±0,17 ^{Af}		4,250±0,14 ^{Bf}	
12	2,500±0,15 ^{Bh}		3,125±0,15 ^{ABg}		3,333±0,28 ^{Ag}	
13	1,750±0,12 ^{Bhi}		2,958±0,23 ^{Ag}		2,167±0,19 ^{Bh}	
14	1,292±0,11 ^{Bi}		1,833±0,14 ^{Ah}		1,458±0,10 ^{ABh}	

Ort. (n=24) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...i (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

Analiz sonuçlarına göre, çalışmada yer alan tüm grupların depolama süresince renk puanlarında istatistiksel olarak anlamlı bir düşüş gözlemlenmiştir (p<0,05). Başlangıçta (0. gün), K grubu örnekleri en yüksek renk puanını (10,00±0,00) alırken, en düşük puan

yine K grubuna ait örneklerde 14. gününde ($1,292 \pm 0,11$) kaydedilmiştir. Denemenin ilk on gününde tüm gruplara verilen puanlar 5'in üzerinde iken, 11. günden itibaren belirgin bir bozulma gözlenmiştir. K grubunda ait renk puanları 12. günde, O ve B gruplarına ait renk puanları ise 13. günden itibaren kabul edilebilir limit değeri olan "3"ün altına düşmüştür. Depolama süresince, gruplar arasında sadece 7. ve 11. günlerde istatistiksel olarak farklı renk puanları kaydedilmiştir ($p < 0,05$). Renklerdeki kötüleşmenin mikrobiyal aktivite sonucu oluşan sülfürlü bileşiklerin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Et rengi, tüketiciler için biyokimyasal parametrelerin yanı sıra et kalitesinde de çok önemli bir kriterdir (Rasmussen, 2001). Doğal yaşam ortamında yetişen balıkların et rengi, besin hedeflerinde yer alan planktonik organizmalar ve kabuklular gibi canlılar tarafından da etkilenir. Kültür balıklarında ise, doğal yaşam ortamındakine benzer şekilde arzu edilen renklendirme, balıkların yemlerine eklenen doğal ve sentetik renklendiricilerle sağlanabilmektedir (Choubert ve Blanc, 1985; Bird ve Savage, 1990; Emir Çoban ve Tuna Keleştemur, 2011). Çalışmada kullanılan balık etinin renk ölçümlerinin daha önceki çalışmalarda bildirilen değerinden daha yüksek olduğu daha önce renk (L^* , a^* , b^*) sonuçlarında da ifade edilmiştir. Bunun nedeninin ise balık yetiştiriciliğinde yemlere katılan astaksantin gibi renklendiricilerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çünkü astaksantin, gıdaların besin değerini ve duyu kalitesini artırmak için gıda renklendiricisi ve antioksidan olarak gökkuşağı alabalığı yetiştiriciliğinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bjorklund vd., 2022). Bu nedenle çalışmada izlenen renk kriteri panelistlerce 11. güne kadar yüksek puanlar almış mikrobiyal üremeye paralel olarak balık etinin renk değerlerinde de azalışlar tespit edilmiştir. Doğan (2013), renk açısından gökkuşağı alabalıklarına yapılan değerlendirme sonucunda; tüm örnek gruplarında bozulma eşiğinin muhafazanın son günlerinde aşıldığını, depolama süresi sonuna doğru düşük renk puanları aldığını ifade etmiştir.

Tablo 4.25 Çiğ balık örneklerinin depolama süresine göre tekstür puanları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	9,625±0,10 ^{Ba}		9,917±0,06 ^{Aa}		9,833±0,08 ^{ABa}	
1	9,750±0,09 ^{Aa}		9,708±0,09 ^{Aa}		9,917±0,06 ^{Aa}	
2	9,167±0,08 ^{Ba}		9,667±0,10 ^{Aa}		9,792±0,08 ^{Aa}	
3	7,750±0,17 ^{Ab}		8,250±0,26 ^{Ab}		8,333±0,13 ^{Ab}	
4	7,500±0,16 ^{Bbc}		8,417±0,13 ^{Ab}		8,250±0,11 ^{Ab}	
5	7,750±0,17 ^{Bb}		8,625±0,16 ^{Ab}		8,333±0,10 ^{Ab}	
6	7,458±0,22 ^{Bbc}		8,333±0,16 ^{Ab}		7,875±0,11 ^{ABbc}	
7	6,792±0,16 ^{Ccd}		7,958±0,09 ^{Abc}		7,250±0,09 ^{Bc}	
8	6,333±0,13 ^{Bd}		7,417±0,15 ^{Acđ}		5,958±0,14 ^{Bđ}	
9	5,458±0,15 ^{Be}		7,208±0,08 ^{Ad}		5,333±0,10 ^{Bđ}	
10	5,333±0,16 ^{Be}		6,333±0,10 ^{Ae}		5,292±0,22 ^{Bđ}	
11	3,500±0,23 ^{Bf}		5,000±0,20 ^{Af}		3,833±0,13 ^{Be}	
12	2,417±0,26 ^{Ag}		3,292±0,22 ^{Ag}		3,000±0,30 ^{Af}	
13	1,667±0,16 ^{Bgh}		2,542±0,23 ^{Ah}		2,375±0,19 ^{Af}	
14	1,417±0,16 ^{Ah}		1,875±0,15 ^{Ah}		1,583±0,15 ^{Ag}	

Ort. (n=24) ± st. Hata

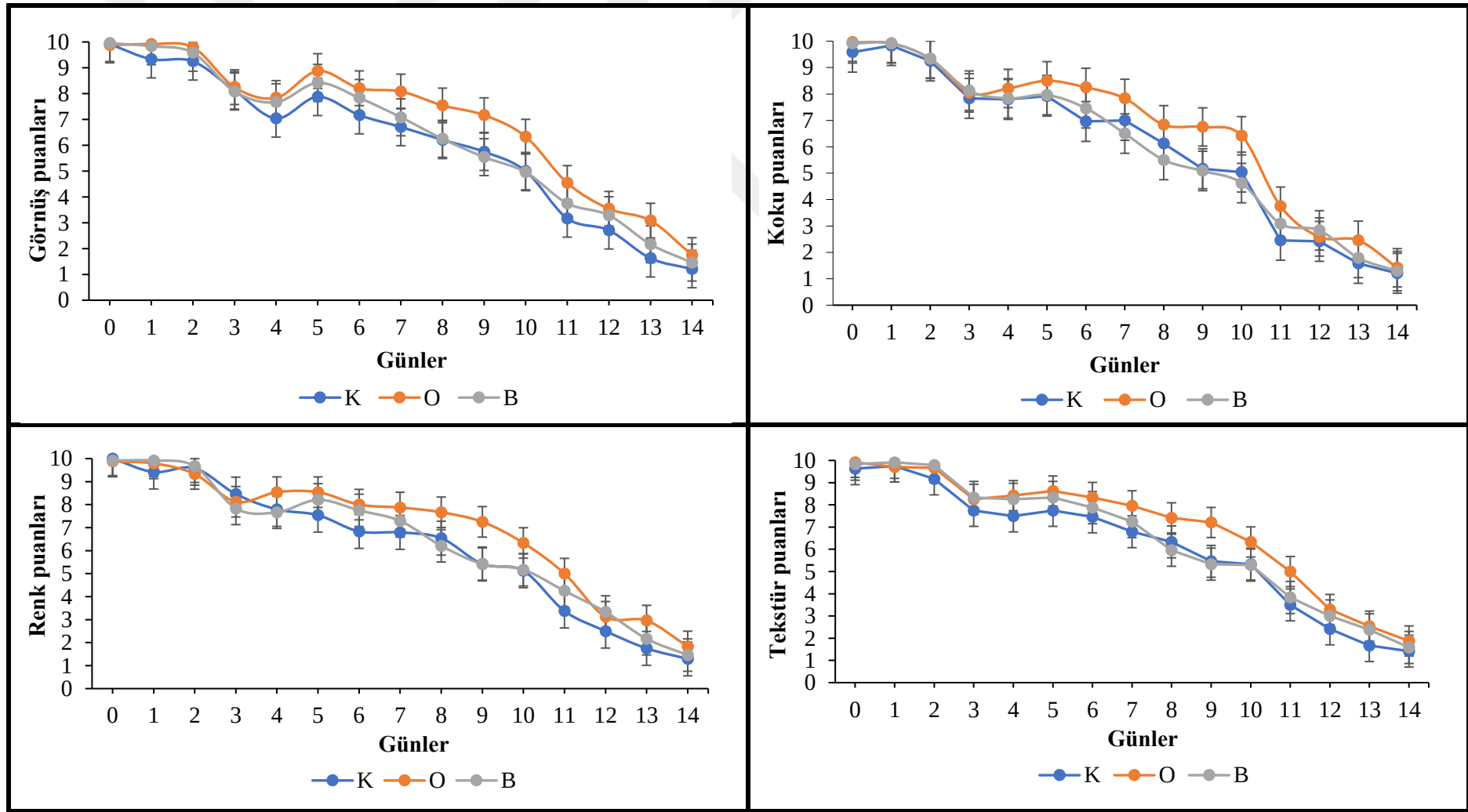
A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...h (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

Depolamanın ilk gününde (0. gün), tüm gruplar tekstür kriteri açısından oldukça yüksek puanlar almış olup K ve O grubunun tekstür değerlerindeki farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p<0,05). Depolama süresi ilerledikçe, tüm gruplarda tekstür puanlarında da bir düşüş gözlemlenmiştir. Özellikle 4. günden itibaren K, O ve B

gruplarındaki tekstür puanlarındaki azalma belirginleşmiştir. Tekstür açısından limit değer olarak kabul edilen 3'ün altına K grubu 12. günde düşerken O ve B grupları 13. günde düşmüştür. K grubu için tekstür puanları, 14. gün sonunda $1,417 \pm 0,16$ 'ya kadar düşerken, O grubunda $1,875 \pm 0,15$ ve B grubunda $1,583 \pm 0,15$ olarak ölçülmüştür.

Kolsarıcı ve Özkaya (1998), Cardinal vd. (2006) ile Yanar vd. (2006) yaptıkları çalışmalarda, tekstür puanlarının depolama süresinin artmasıyla azalış gösterdiğini bildirmişlerdir. Yavuzer (2011), doğal ve ticari yemler ile beslenen gökkuşığı alabalıkları üzerine yaptığı bir araştırmada duyusal olarak balıkların 14 günlük raf ömrüne sahip olduğunu rapor etmiştir. Chytiri vd., (2004) iç organları çıkarılmadan bütün olarak ve fileto olarak buzda depolanan kültür gökkuşığı alabalıklarının sırasıyla 15-16 ve 10-12 günlük bir raf ömrüne sahip olduğunu bulmuşlardır.



Şekil 4.25 Çiğ balık örneklerinin günlere göre duyu analizi puanlarının değişimi

4.5.2. Pişmiş ürünleri duyu analizi bulguları

Kavanoz deneyi olarak da isimlendirilen bu testte, K, O ve B gruplarına ait pişmiş alabalık örneklerinin duyu analizi yağ rengi, koku, kas yapısı, çiğneme testi ve lezzet kriterlerine göre yapılmıştır. Yağ rengi, koku, kas yapısı, çiğneme testi ve lezzet kriterlerine göre panelistlerce verilen puanlar sırasıyla Tablo 4.26, Tablo 4.27, Tablo 4.28, Tablo 4.29 ve Tablo 4.30’da verilmiştir. Ayrıca tüm kriterlerin depolama süresine göre değişimleri Şekilde 4.26’da sunulmuştur.

Tablo 4.26 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre yağ rengi puanları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}	
1	3,000±0,00 ^{Aa}		2,833±0,08 ^{Bab}		3,000±0,00 ^{Aa}	
2	3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}	
3	2,958±0,04 ^{Aab}		3,000±0,00 ^{Aa}		2,917±0,06 ^{Aa}	
4	3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}		2,917±0,06 ^{Aa}	
5	2,875±0,07 ^{Aab}		2,917±0,06 ^{Aab}		2,750±0,09 ^{Aab}	
6	2,750±0,09 ^{Aab}		2,875±0,07 ^{Aab}		2,750±0,09 ^{Aab}	
7	2,750±0,09 ^{Aab}		2,917±0,06 ^{Aab}		2,375±0,10 ^{Bbc}	
8	2,458±0,10 ^{ABbc}		2,708±0,09 ^{Aab}		2,208±0,08 ^{Bc}	
9	2,000±0,00 ^{Bc}		2,500±0,10 ^{Ab}		2,000±0,00 ^{Bcd}	
10	1,250±0,20 ^{Bd}		1,833±0,12 ^{Ac}		1,500±0,18 ^{ABde}	
11	1,167±0,21 ^{Ad}		1,750±0,14 ^{Ac}		1,250±0,20 ^{Aef}	
12	0,583±0,19 ^{Ae}		0,875±0,20 ^{Ad}		0,750±0,20 ^{Af}	

Ort. (n=24) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

Pişmiş ürünlerin yağ rengi kriterlerine göre yapılan değerlendirmede, 7. güne kadar tüm grupların yağ rengi puanları farkının istatistiksel anlamda önemli olmadığı (p>0,05) ve

bu sürede "çok iyi" kabul edilen 2,7 ve üzeri puanlar aldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, 7. güne kadar tüm gruplarda günler arası puan farklarının istatistiksel olarak anlamsız olduğu belirlenmiştir ($p>0,05$). 7., 8. ve 9. günlerde O ve B grubu puanları arasında ($p<0,05$), 10. günde ise K ve O grubu puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir ($p<0,05$).

9. günden itibaren pişirilen balık örneklerinden çıkan yağların kahverengileşmeye başladığı, deneme başında görülen berraklığını kaybederek matlaştığı ve buna bağlı olarak K, O ve B gruplarına ait yağ rengi puanlarının hızlıca düşerek 12. günde kabul edilebilir limit değer olan 1 puanın altına indiği görülmüştür. Bu bulgular, yağ rengi bakımından 7. güne kadar tüm grupların benzer performans gösterdiğini, ancak 9. günden itibaren kalite düşüşünün başladığını ortaya koymaktadır.

Tablo 4.27 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre koku puanları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}	
1	3,000±0,00 ^{Aa}		2,833±0,08 ^{Aab}		2,833±0,08 ^{Aab}	
2	3,000±0,00 ^{Aa}		2,750±0,09 ^{Bab}		3,000±0,00 ^{Aa}	
3	2,667±0,10 ^{Bab}		3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}	
4	2,667±0,10 ^{ABab}		2,833±0,08 ^{Aab}		2,417±0,10 ^{Bbc}	
5	2,542±0,10 ^{Aab}		2,792±0,08 ^{Aab}		2,583±0,10 ^{Aabc}	
6	2,375±0,10 ^{Ab}		2,667±0,10 ^{Aab}		2,417±0,10 ^{Abc}	
7	2,208±0,08 ^{Bbc}		2,833±0,08 ^{Aab}		2,375±0,10 ^{Bbc}	
8	2,125±0,13 ^{Bbc}		2,458±0,18 ^{Ab}		2,125±0,11 ^{Bcd}	
9	1,667±0,16 ^{Bcd}		2,667±0,10 ^{Aab}		1,667±0,16 ^{Bd}	
10	1,167±0,21 ^{Bde}		1,917±0,17 ^{Ac}		1,083±0,21 ^{Be}	
11	0,750±0,20 ^{Be}		1,500±0,18 ^{Ac}		0,917±0,21 ^{Be}	
12	0,083±0,08 ^{Bf}		0,583±0,10 ^{Ad}		0,000±0,00 ^{Bf}	

Ort. (n=24) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

Pişmiş ürünlerin koku kriter puanları incelendiğinde, O grubu örneklerinin 7. güne kadar "çok iyi" kabul edilen 2,7 ve üzeri puan aldığı ve bu süre boyunca günler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (p>0,05). Depolama süresince tüm gruplarda koku puanlarının deneme sonuna kadar düşüş gösterdiği ve bu farkların anlamlı olduğu gözlemlenmiştir (p<0,05). 7. günden itibaren deneme sonuna kadar O grubu, diğer gruplardan daha yüksek puanlar almış ve 12. güne kadar tüm gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu tespit edilmiştir (p<0,05).

Özellikle 8. günden itibaren K ve B gruplarında bozulma belirtileriyle birlikte koku puanlarında belirgin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu nedenle, K ve B grubu puanları 11. günde kabul edilebilirlik sınır değeri olan 1 puanın altına düşerken, O grubu örneklerinde bu düşüş 12. günde gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, O grubunun koku kriteri açısından diğer gruplara göre daha uzun süre yüksek kalitede kaldığını göstermektedir. Bir çalışmada depolama süresinin başında, spesifik bozucu mikroorganizmaların düşük miktarlarda bulunduğu, depolama süresi arttıkça, bunların genellikle daha hızlı büyüdüğü, koku, tat, renk ve doku değişikliklerinden sorumlu çeşitli metabolitler üretilmesi nedeniyle duysal olarak reddedildiği ifade edilmiştir (Huang vd., 2019).



Tablo 4.28 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre kas yapısı puanları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}	
1	2,667±0,10 ^{Bab}		3,000±0,00 ^{Aa}		2,833±0,08 ^{ABa}	
2	2,500±0,10 ^{Bab}		3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}	
3	2,250±0,09 ^{Cbc}		3,000±0,00 ^{Aa}		2,750±0,09 ^{Ba}	
4	2,583±0,10 ^{Bab}		2,917±0,06 ^{Aa}		2,833±0,08 ^{ABa}	
5	2,208±0,08 ^{Cbc}		2,917±0,08 ^{Aa}		2,500±0,10 ^{Babc}	
6	2,333±0,10 ^{Bbc}		2,750±0,09 ^{Aab}		2,542±0,10 ^{ABab}	
7	2,458±0,10 ^{Aabc}		2,750±0,09 ^{Aab}		2,458±0,10 ^{Aabc}	
8	2,083±0,12 ^{Bbc}		2,667±0,14 ^{Aab}		2,000±0,15 ^{Bbc}	
9	1,875±0,19 ^{Ac}		2,333±0,10 ^{Abc}		1,917±0,13 ^{Acđ}	
10	1,167±0,21 ^{Bđ}		2,000±0,15 ^{Acđ}		1,333±0,22 ^{Bđe}	
11	0,750±0,20 ^{Bđe}		1,500±0,18 ^{Ağe}		1,083±0,21 ^{ABe}	
12	0,208±0,08 ^{Be}		1,000±0,21 ^{Ae}		0,833±0,21 ^{Ae}	

Ort. (n=24) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...e (\\): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

K, O ve B grubu pişmiş örneklerinin kas yapısı kriteri bakımından yapılan incelemede, O grubunun 8. güne kadar "çok iyi" kabul edilen 2,7 ve üzeri puan aldığı ve 9. güne kadar puanlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir (p>0,05). Benzer şekilde, B grubunda da 8. güne kadar puanlar arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır (p>0,05). Bu benzerlik, O ve B grubu örneklerinin K grubuna kıyasla daha yağlı ve sıkı bir kas yapısına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tüm gruplar için kas yapısı kriteri puanlarına bakıldığında, depolama süresi boyunca yalnızca 3. ve 5. günlerde istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu görülmüştür ($p<0,05$). 7. günden itibaren, özellikle K grubunda kas yapılarında gevşeme gözlemlenmiş ve bu durum K grubunun puanlarının 11. günde kabul edilebilir sınır olan 1 puanın altına düşmesine neden olmuştur. O ve B grubu örneklerinde ise puanlar 12. günde bu seviyenin altına düşmüştür. Bu sonuçlar, O ve B gruplarının K grubuna göre daha uzun süre kaliteli kaldığını, K grubunun ise daha erken bozulma gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Tablo 4.29 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre çiğneme testi puanları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	2,958±0,04 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}	
1	2,833±0,08 ^{Aab}		2,833±0,08 ^{Aab}		3,000±0,00 ^{Aa}	
2	2,417±0,10 ^{Babc}		3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}	
3	2,375±0,10 ^{Bbc}		3,000±0,00 ^{Aa}		2,750±0,09 ^{Aa}	
4	2,250±0,09 ^{Bc}		2,917±0,06 ^{Aa}		2,875±0,07 ^{Aa}	
5	2,458±0,10 ^{Babc}		2,958±0,04 ^{Aa}		2,500±0,10 ^{Bab}	
6	2,250±0,09 ^{Bc}		2,833±0,08 ^{Aab}		2,542±0,10 ^{ABab}	
7	2,208±0,08 ^{Bcd}		2,792±0,08 ^{Aab}		2,167±0,08 ^{Bbc}	
8	1,917±0,13 ^{Ac}		2,417±0,18 ^{Ab}		1,917±0,17 ^{Ac}	
9	1,667±0,16 ^{Bd}		2,667±0,10 ^{Aab}		1,667±0,16 ^{Bcd}	
10	1,083±0,21 ^{Be}		1,875±0,16 ^{Ac}		1,167±0,21 ^{Bd}	
11	0,333±0,16 ^{Bf}		0,958±0,19 ^{Ad}		0,417±0,17 ^{ABe}	
12	-		-		-	

Ort. (n=24) ± st. Hata

A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

-: panelistler ürünü reddetmiştir

Pişmiş ürünlerin çiğneme testi kriterlerine göre yapılan değerlendirmede, 5. güne kadar O ve B gruplarına verilen çiğneme testi puanlarının istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı (p>0,05) ve bu grupların 5. güne kadar "çok iyi" kategorisinde değerlendirilen 2,7 ve üzeri puanlar aldığı belirlenmiştir. K, O ve B gruplarına ait çiğneme testi puanları, kabul edilebilir limit olan 1 puanın altına düştükleri gün olan 11. güne kadar incelendiğinde, O ve B grupları arasındaki farkın 5., 7., 9. ve 10. günlerde istatistiksel

olarak anlamlı olduğu ($p<0,05$), ancak K ve B grupları arasındaki farkın depolamanın 2., 3. ve 4. günleri hariç diğerk depolama günlerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$).

Ayrıca, O grubunun 2. gün hariç tüm günlerde diğerk gruplara kıyasla daha yüksek puanlar aldığı gözlemlenmiştir. O grubuna verilen puanlar 8. güne kadar istatistiksel olarak birbirinden farksızken, B grubunda bu durum 7. güne, K grubunda ise sadece 3. güne kadar devam etmiştir. Bu bulgular, O grubuna verilen yüksek puanların istikrarını desteklemektedir.

K ve B gruplarında 7. günden itibaren sulu ve elastik yapının azalması ve lapamsı özelliklerin artması nedeniyle puanlarda belirgin düşüşler gözlemlenmiştir. O grubunda ise bu durum 9. günden itibaren ortaya çıkmıştır. 12. güne kadar yağ rengi, koku ve kas yapısı testleri de yapılmış, ancak 12. günde panelistler ürünü çiğneme testine tabi tutmayı reddetmişlerdir.

Bu sonuçlar, O grubunun diğerk gruplara kıyasla daha uzun süre yüksek kaliteyi koruduğunu, K grubunun ise en hızlı bozulma gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4.30 Pişmiş balık örneklerinin depolama süresine göre lezzet testi puanları

Günler	K	Etiket _K	O	Etiket _O	B	Etiket _B
0	3,000±0,00 ^{Aa}		2,958±0,04 ^{Aa}		2,958±0,04 ^{Aa}	
1	2,833±0,08 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}		2,833±0,08 ^{Aa}	
2	2,500±0,10 ^{Bbc}		3,000±0,00 ^{Aa}		3,000±0,00 ^{Aa}	
3	2,333±0,10 ^{Cc}		3,000±0,00 ^{Aa}		2,708±0,09 ^{Bab}	
4	2,500±0,10 ^{Bbc}		2,958±0,04 ^{Aa}		2,750±0,09 ^{ABab}	
5	2,417±0,10 ^{Bbc}		3,000±0,00 ^{Aa}		2,500±0,10 ^{Bab}	
6	2,417±0,10 ^{Bbc}		2,875±0,07 ^{Aa}		2,458±0,10 ^{Bab}	
7	2,250±0,09 ^{Bc}		2,750±0,09 ^{Aab}		2,250±0,09 ^{Bbc}	
8	2,083±0,06 ^{ABcd}		2,333±0,18 ^{Abc}		1,833±0,16 ^{Bc}	
9	1,667±0,16 ^{ABd}		2,250±0,20 ^{Ac}		1,167±0,21 ^{Bd}	
10	1,083±0,21 ^{Ae}		1,750±0,17 ^{Ad}		1,083±0,21 ^{Ad}	
11	0,000±0,00 ^{Cf}		0,917±0,13 ^{Ae}		0,417±0,10 ^{Be}	
12	-		-		-	

Ort. (n=24) ± st. Hata

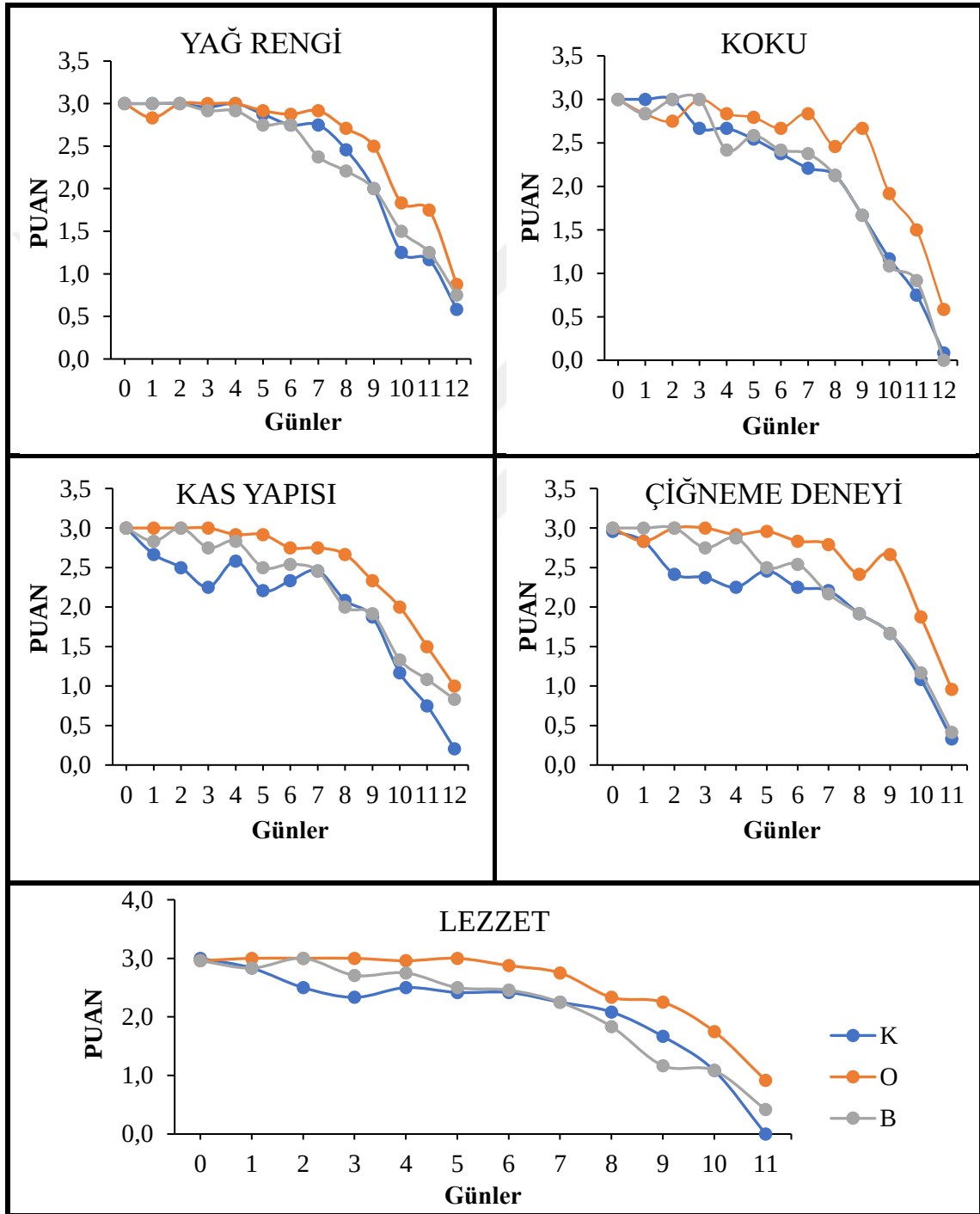
A, B, C (→): Üssel farklı harf bulunan gruplar istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

a, b, c ...f (↓): Üssel farklı harf bulunan günler istatistiksel anlamda farklıdır (p<0,05)

-: panelistler ürünü reddetmiştir

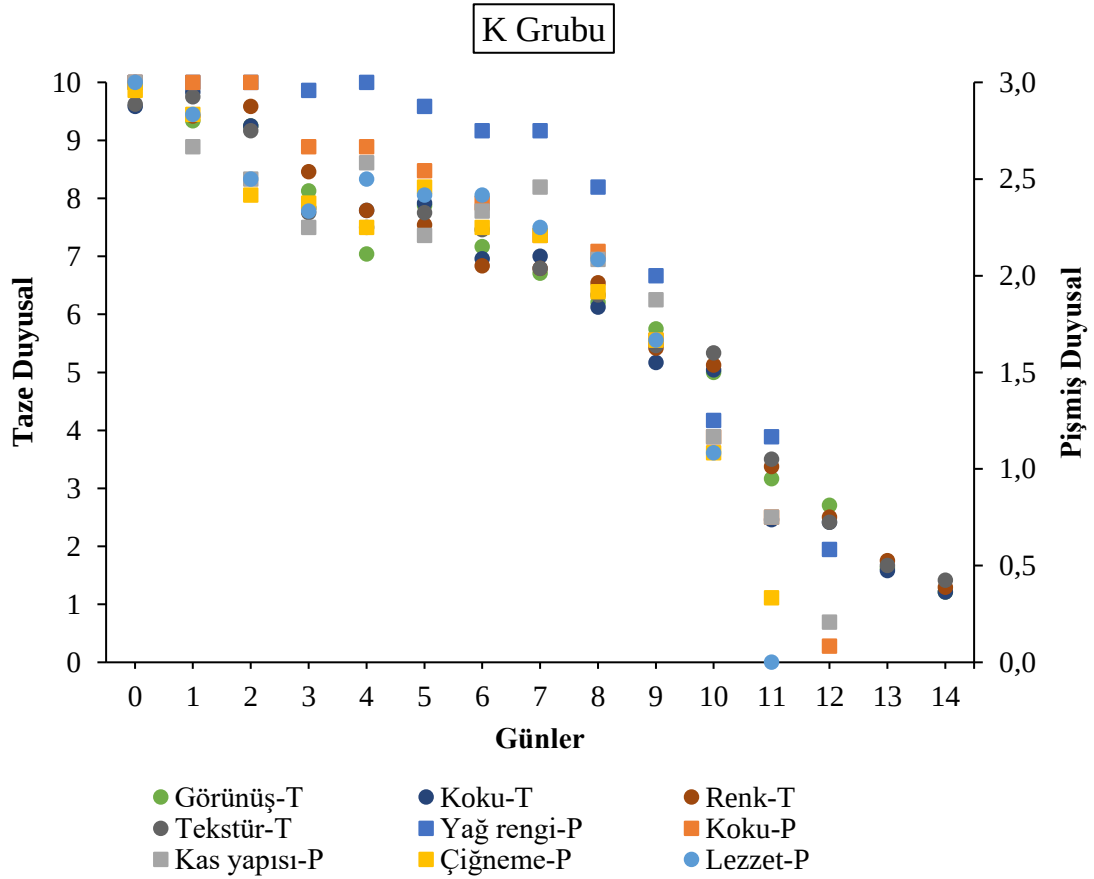
Gruplara verilen puanlar incelendiğinde, K grubunun lezzet puanlarının ilk birkaç gün yüksek olduğu, ancak 3. günden itibaren hızlı bir düşüş yaşadığı ve 11. günde tamamen bozulduğu görülmektedir. K grubunda günlere göre yaşanan bu düşüş istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). O grubu, analiz süresince en istikrarlı performansı göstermiş ve 7. güne kadar çok iyi (p>0,05), 9. güne kadar ise "İyi" seviyede kalmıştır (p<0,05). Ancak bu grup 11. günde lezzet açısından kötüleşmeye başlamıştır. B grubu ise

9. günden itibaren lezzet kalitesinde belirgin bir düşüş yaşamış ve neredeyse 10. günde bozulmuştur. Genel olarak, O grubunun en dayanıklı, K grubunun ise en hızlı bozulma gösterdiği açıkça görülmektedir. 12. günde yağ rengi, koku ve kas yapısı testleri yapılsa da panelistler tüm grupları lezzet açısından değerlendirmeye tabii tutmayıp değerlendirmeyi reddetmiştir.



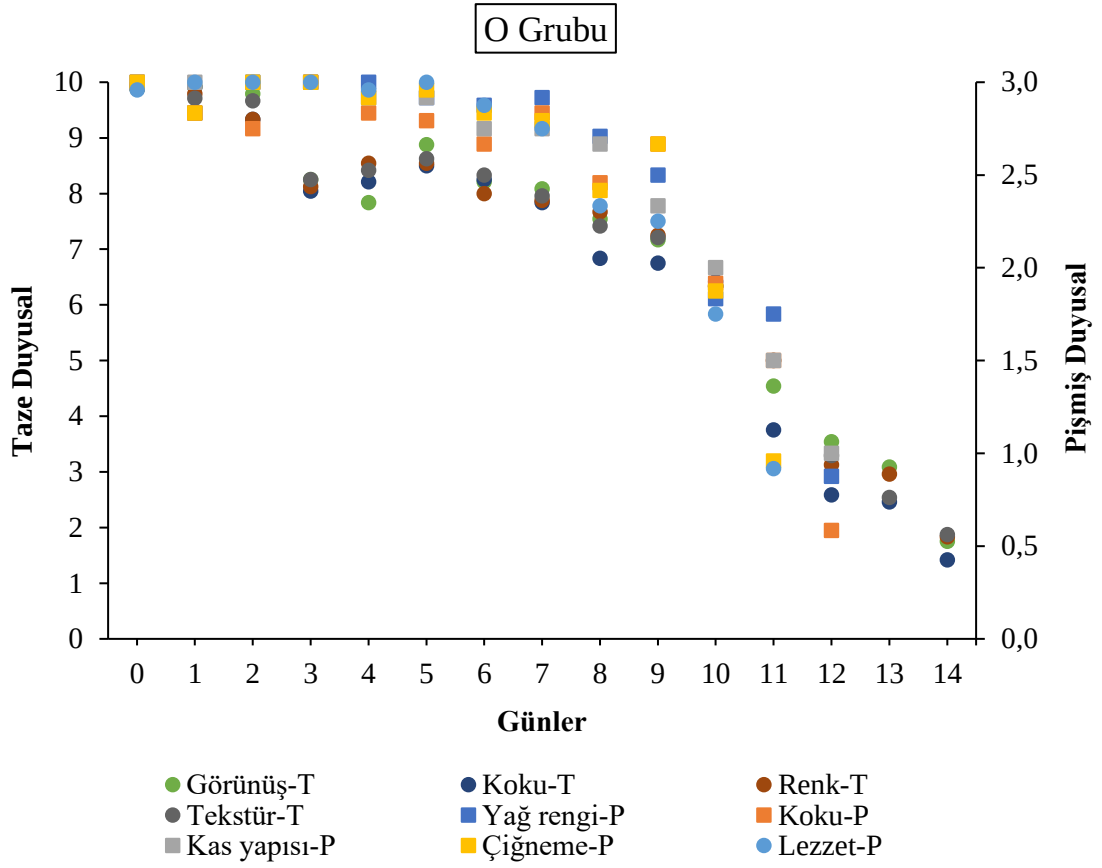
Şekil 4.26 Pişmiş balık örneklerinin günlere göre duyusal puanlarının değişimi

K, O ve B gruplarının hem taze hem de pişmiş olarak aldığı puanların günlere göre dağılımı sırasıyla Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da bir arada gösterilmiştir. Panelistlerin gruplara vermiş olduğu puanlar genel anlamda ürünü tüketme tercihlerini göstermektedir. Bu nedenle panelistlerin gruplara vermiş oldukları puan dağılımları baz alınarak balıkların hangi günlerde çok iyi, iyi-orta ve bozulmuş özellikte oldukları belirlenmiştir.



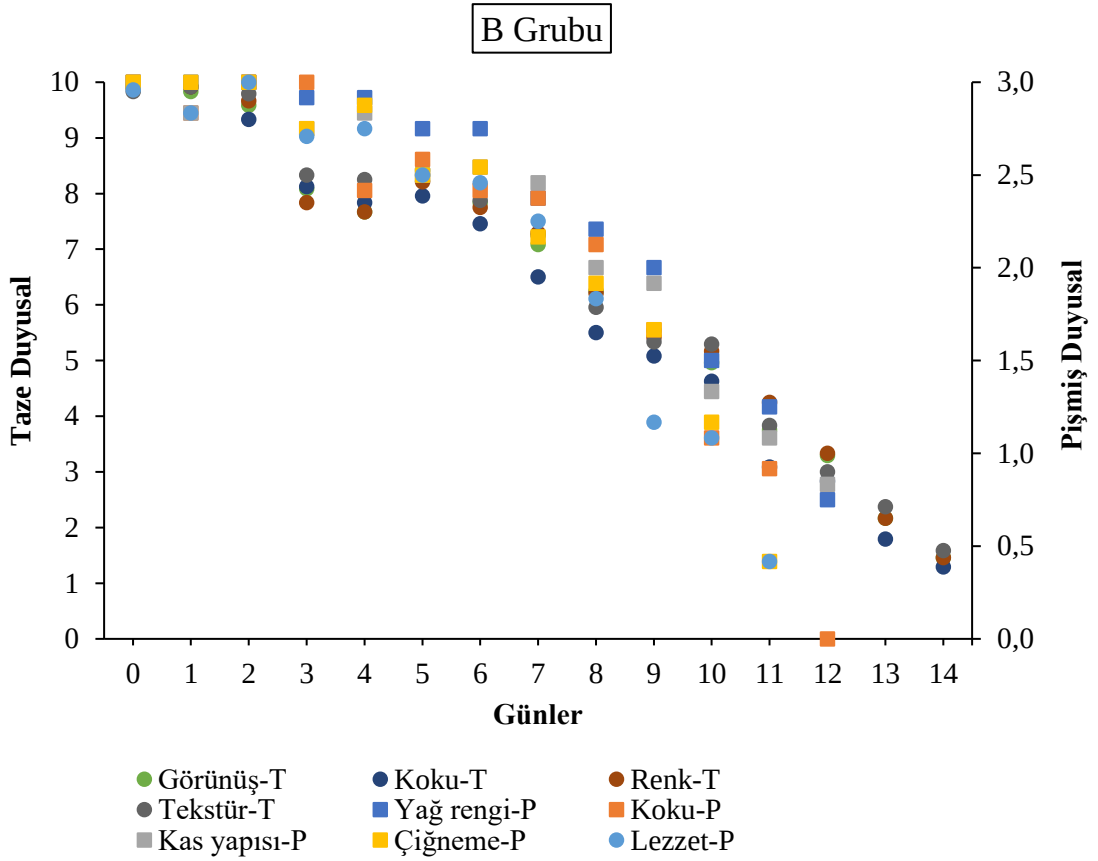
Şekil 4.27 K grubu örneklerinin aldığı duyusal puanları dağılımı

Şekil 4.27 incelendiğinde K grubu taze ve pişmiş örneklerinin puan dağılımları 0-2. günlerinde çok iyi, 3-8. günlerde iyi, 9-10 günlerde orta ve 11. ve 14. günler arasında ise bozuk/tüketmek istemiyorum olarak değerlendirildiği görülmüştür.



Şekil 4.28 O grubu örneklerinin aldığı duyuşal puanları dağılımı

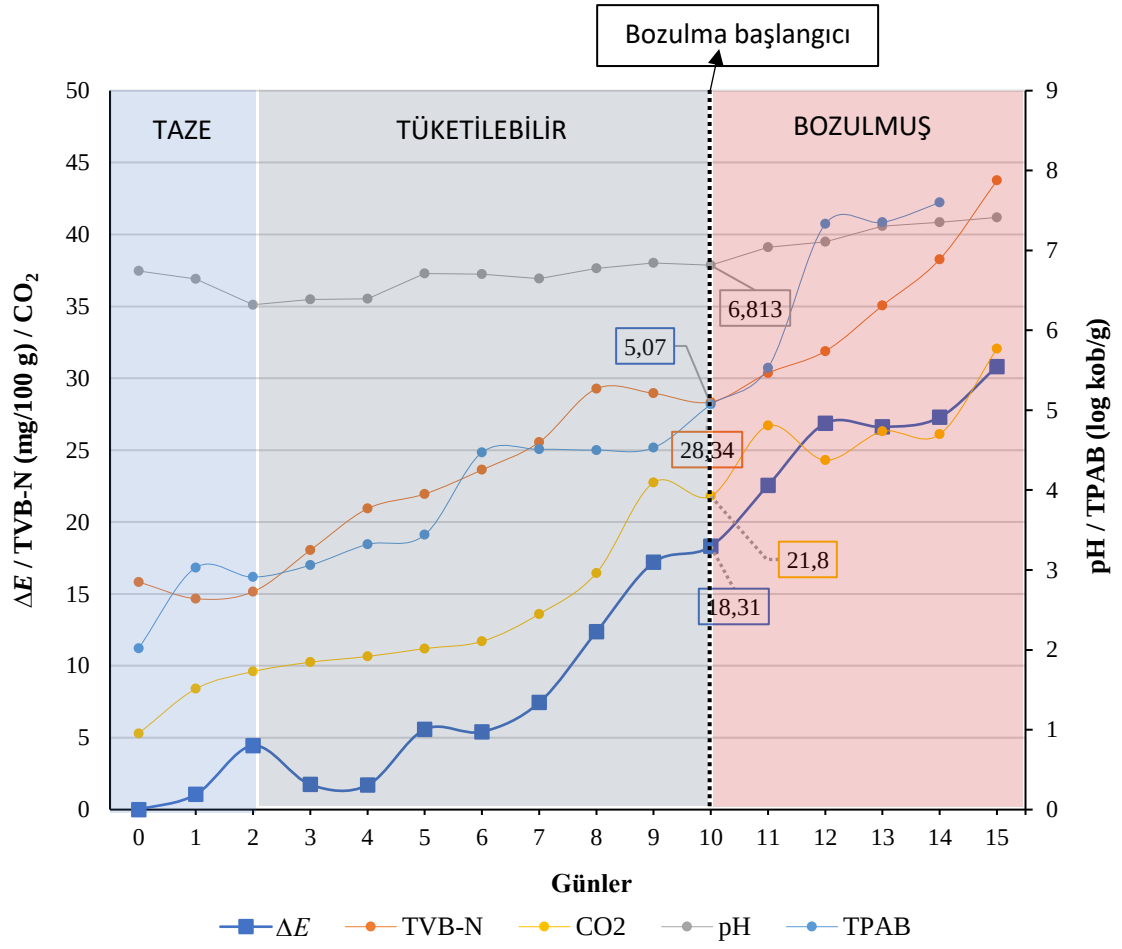
Şekil 4.28 incelendiğinde O grubu taze ve pişmiş örneklerinin puan dağılımları 0-6. günlerinde çok iyi, 7-9. günlerde iyi, 10-11 günlerde orta ve 12. ve 14. günler arasında bozuk/tüketmek istemiyorum olarak değerlendirildiği görülmüştür.



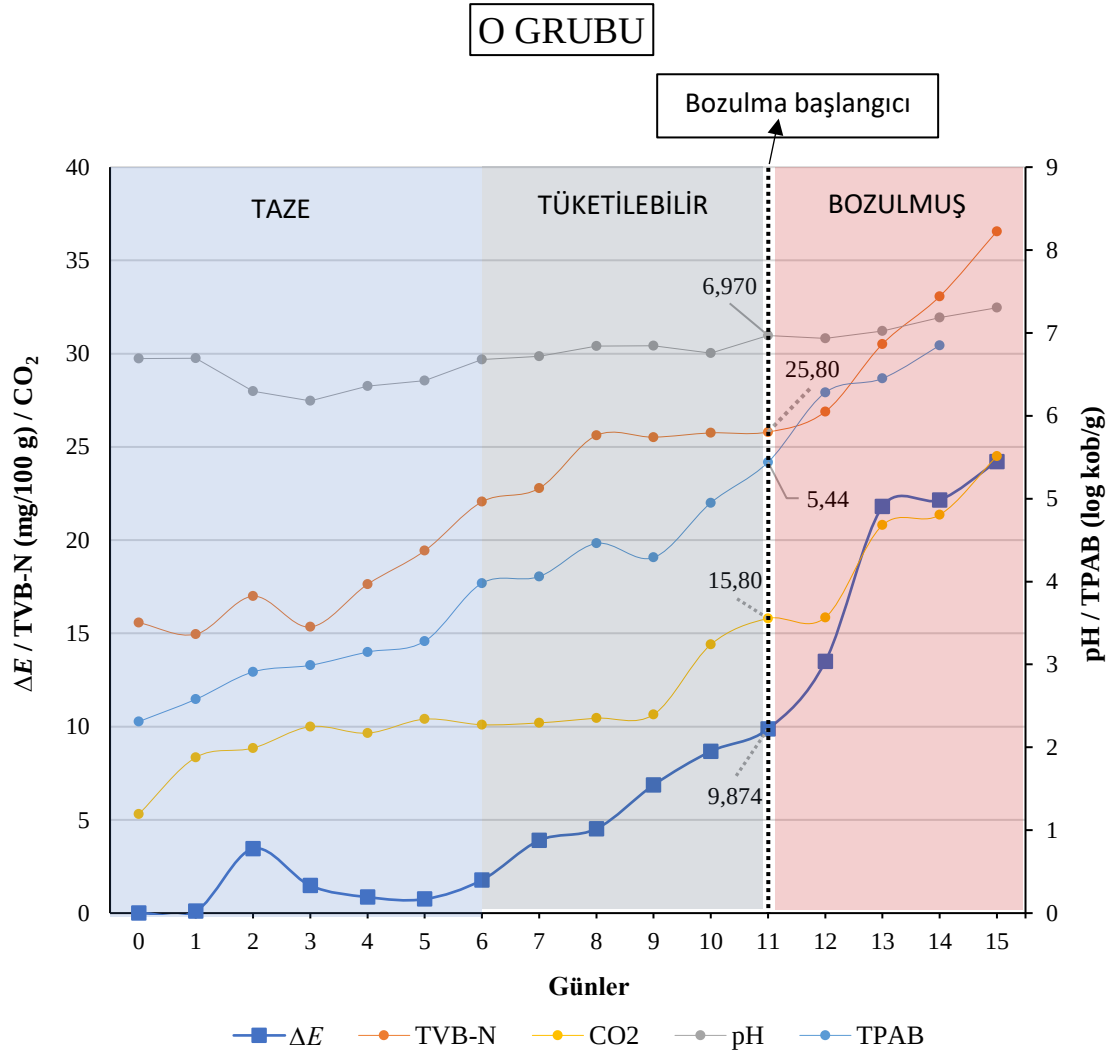
Şekil 4.29 B grubu örneklerinin aldığı duyuşsal puanları dağılımı

Şekil 4.29 incelendiğinde B grubu taze ve pişmiş örneklerinin puan dağılımları 0-5. günlerinde çok iyi, 6-8. günlerde iyi, 9. günde orta ve 10-14 günler arasında bozuk/tüketmek istemiyorum olarak değerlendirildiği görülmüştür. Bu dağılımların sınıflandırılmasına göre “çok iyi” puanların alındığı günler “TAZE”; iyi ve orta puanların olduğu günler “TÜKETİLEBİLİR” ve beğenmedim/kötü puanlarının alındığı günler “BOZULMUŞ” olarak değerlendirilmiştir. Bu kriterler açısından K, O ve B gruplarının taze, tüketilebilir ve bozuk olduğu gün aralıklarının gösteren şema sırasıyla Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de gösterilmiştir.

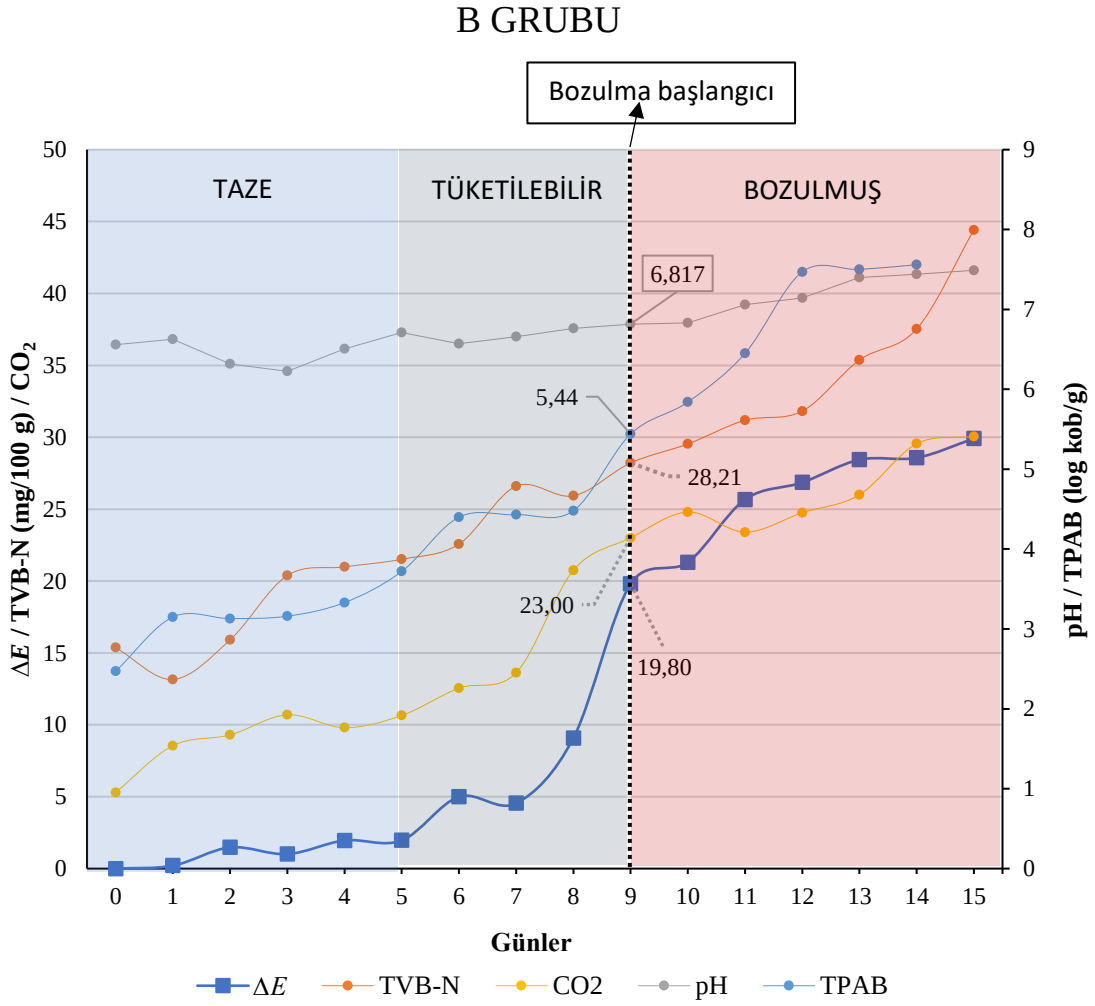
K GRUBU



Şekil 4.30 K grubu tazelik şeması



Şekil 4.31 O grubu tazelik şeması



Şekil 4.32 B grubu tazelik şeması

4.6. Etiket renk değişiminin pH, TVB-N, CO₂, mikrobiyolojik ve duyuşal değişiklikler ile arasındaki korelasyon ilişkisi

Sensör dizisinin doğruluğunu değerlendirmek, zaman içinde balık bozulmasının tespiti ve bozulmayı doğrulamak amacıyla, çeşitli fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analiz (TVB-N, pH, CO₂, TMAB, TPAB, TK, TMK, LAB ve *Pseudomonas* spp.) yöntemleri ve duyuşal testler kullanılarak izlenmiş ve akıllı etiket göstergelerinden gelen renk sinyalleri ile ilişkilendirilmiştir. Etiket polimer tabanına dahil edilen kemo-duyarlı bileşiğin (antosiyenin) pH indikatörü ya da indikatörde görülen renk değişikliğinin (ΔE) nedeni olduğu gerçeğinden yola çıkarak, balık gruplarının tepe boşluğundaki CO₂ konsantrasyonu, uçucu bazik azot birikimi, pH'taki değişiklikler ve mikrobiyal yükler arasındaki doğrusal ilişki olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Çalışma gruplarında da tespit edilen sonuçlara göre tüm grupların ΔE değişimi ile mikrobiyoloji analizleri arasında en yüksek korelasyon katsayısının TPAB sonuçlarıyla olduğu görülmüştür (Tablo 4.31). Bu nedenle balık kalite tespit analizleri (TVB-N, pH, CO₂ ve duyuusal değerlendirme) ile ΔE değişimi arasında korelasyon katsayısı değerlendirmelerinde mikrobiyoloji analizlerinden TPAB sonuçları dahil edilmiştir. K, O ve B grupları kalite analiz sonuçları ile ΔE değişimi arasındaki korelasyon katsayıları Tablo 4.32, Tablo 4.33 ve Tablo 4.34’te verilmiştir.

Tablo 4.31 Gruplara ait ΔE değeri ile mikrobiyoloji analiz sonuçları arasındaki korelasyon katsayıları.

Gruplar	TMAB	TPAB	TMK	TK	LAB	<i>Pseudomonas spp.</i>
K	R=0,942	R=0,977*	R=0,911	R=0,944	R=0,869	R=0,883
O	R=0,936	R=0,941*	R=0,814	R=0,925	R=0,868	R=0,799
B	R=0,944	R=0,974*	R=0,866	R=0,929	R=0,874	R=0,820

n=60

Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir

**: Aynı satırdaki en yüksek katsayı*

TMAB: toplam mezofilik aerob bakteri, **TPAB:** toplam psikrofilik aerob bakteri, **TMK:** toplam maya-küf, **TK:** toplam koliform, **LAB:** laktik asit üreten bakteri

Tablo 4.32 Etiketlerin ΔE değeri ile K grubu örneklerinde hesaplanan kalite analizleri arasındaki Pearson korelasyon katsayı analizi sonuçları

						Taze Duyusal Kriterleri				Pişmiş Duyusal Kriterleri				
Parametreler	ΔE	TVB-N	pH	TPAB	CO ₂	Görünüş	Koku	Renk	Tekstür	Yağ Rengi	Koku	Kas Yapısı	Çiğneme Testi	Lezzet
ΔE	1	,930**	,885**	,977**	,951**	-,958**	-,970**	-,966**	-,965**	-,967**	-,972**	-,947**	-,937**	-,927**
TVB-N		1	,864**	,935**	,941**	-,958**	-,956**	-,964**	-,956**	-,814**	-,882**	-,796**	-,816**	-,769**
pH			1	,873**	,786**	-,868**	-,878**	-,891**	-,872**	-,819**	-,823**	-,750**	-,623*	-,651*
TPAB				1	,887**	-,970**	-,958**	-,977**	-,968**	-,897**	-,948**	-,911**	-,869**	-,832**
CO ₂					1	-,912**	-,916**	-,913**	-,907**	-,906**	-,914**	-,863**	-,878**	-,839**
Taze Görünüş						1	,992**	,995**	,995**	,917**	,967**	,929**	,953**	,924**
Taze Koku							1	,992**	,994**	,926**	,971**	,935**	,959**	,943**
Taze Renk								1	,993**	,923**	,974**	,931**	,932**	,910**
Taze Tekstür									1	,924**	,975**	,938**	,946**	,925**
Pişmiş Yağ Rengi										1	,982**	,969**	,946**	,944**
Pişmiş Koku											1	,971**	,967**	,959**
Pişmiş Kas Yapısı												1	,968**	,976**
Pişmiş Çiğneme Testi													1	,990**
Pişmiş Lezzet														1

**Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir

*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir

ΔE : toplam renk farkı, TVB-N; Toplam Uçucu Bazik Azot, TPAB: Toplam Psikrofilik Aerob Bakteri, CO₂: Karbondioksit

Tablo 4.33 Etiketlerin ΔE değeri ile O grubu örneklerinde hesaplanan kalite analizleri arasındaki Pearson korelasyon katsayı analizi sonuçları.

Parametreler	ΔE	TVB-N	pH	TPAB	CO ₂	Taze Duyusal Kriterleri				Pişmiş Duyusal Kriterleri				
						Görünüş	Koku	Renk	Tekstür	Yağ Rengi	Koku	Kas Yapısı	Çiğneme Testi	Lezzet
ΔE	1	,922**	,821**	,941**	,977**	-,944**	-,941**	-,956**	-,961**	-,938**	-,919**	-,959**	-,852**	-,923**
TVB-N		1	,883**	,964**	,919**	-,898**	-,901**	-,899**	-,904**	-,718**	-,706**	-,783**	-,680**	-,766**
pH			1	,848**	,818**	-,755**	-,758**	-,749**	-,762**	-,652**	-,620**	-,694**	-,649**	-,692**
TPAB				1	,948**	-,970**	-,975**	-,977**	-,977**	-,890**	-,896**	-,932**	-,832**	-,876**
CO ₂					1	-,968**	-,961**	-,978**	-,976**	-,968**	-,937**	-,973**	-,832**	-,904**
Taze Görünüş						1	,993**	,993**	,994**	,909**	,909**	,954**	,879**	,911**
Taze Koku							1	,992**	,993**	,908**	,919**	,956**	,889**	,925**
Taze Renk								1	,997**	,935**	,937**	,966**	,874**	,910**
Taze Tekstür									1	,933**	,931**	,964**	,882**	,920**
Pişmiş Yağ Rengi										1	,980**	,980**	,938**	,955**
Pişmiş Koku											1	,969**	,976**	,956**
Pişmiş Kas Yapısı												1	,954**	,985**
Pişmiş Çiğneme Testi													1	,978**
Pişmiş Lezzet														1

**Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir

*Korelasyon 0,05 düzeyinde önemlidir

ΔE : toplam renk farkı, TVB-N; Toplam Uçucu Bazik Azot, TPAB: Toplam Psikrofilik Aerob Bakteri, CO₂: Karbondioksit

Tablo 4.34 Etiketlerin ΔE değeri ile B grubu örneklerinde hesaplanan kalite analizleri arasındaki Pearson korelasyon katsayı analizi sonuçları

Parametreler	ΔE	TVB-N	pH	TPAB	CO ₂	Taze Duyusal Kriterleri				Pişmiş Duyusal Kriterleri				
						Görünüş	Koku	Renk	Tekstür	Yağ Rengi	Koku	Kas Yapısı	Çiğneme Testi	Lezzet
ΔE	1	,916**	,911**	,974**	,941**	-,960**	-,959**	-,951**	-,964**	-,968**	-,958**	-,968**	-,958**	-,984**
TVB-N		1	,895**	,950**	,950**	-,980**	-,986**	-,979**	-,977**	-,899**	-,875**	-,902**	-,905**	-,898**
pH			1	,920**	,901**	-,904**	-,901**	-,900**	-,914**	-,887**	-,893**	-,890**	-,838**	-,846**
TPAB				1	,941**	-,974**	-,976**	-,968**	-,978**	-,975**	-,974**	-,972**	-,961**	-,967**
CO ₂					1	-,945**	-,963**	-,939**	-,956**	-,903**	-,859**	-,898**	-,898**	-,913**
Taze Görünüş						1	,996**	,998**	,996**	,956**	,946**	,960**	,953**	,956**
Taze Koku							1	,993**	,997**	,954**	,934**	,960**	,959**	,957**
Taze Renk								1	,995**	,945**	,939**	,951**	,932**	,943**
Taze Tekstür									1	,963**	,948**	,967**	,959**	,968**
Pişmiş Yağ Rengi										1	,982**	,989**	,991**	,983**
Pişmiş Koku											1	,972**	,959**	,967**
Pişmiş Kas Yapısı												1	,987**	,981**
Pişmiş Çiğneme Testi													1	,985**
Pişmiş Lezzet														1

**Korelasyon 0,01 düzeyinde önemlidir

ΔE : toplam renk farkı, TVB-N; Toplam Uçucu Bazik Azot, TPAB: Toplam Psikrofilik Aerob Bakteri, CO₂: Karbondioksit

Tablolarda verilen korelasyon katsayıları incelendiğinde akıllı etiketlerde görülen ΔE değişimi ile tüm gruplarda yapılan kalite analizleri sonuçları arasında yüksek korelasyon olduğu açıkça görülmektedir. K ve B grubunda en yüksek pozitif korelasyon katsayısının sırasıyla $R=0,972$ ve $R=0,974$ ile TPAB sayıları arasında olurken en yüksek negatif korelasyon katsayısının pişmiş örnek koku ve yağ puanları arasında ($R=0,970$ ve $R=0,968$) olduğu tespit edilmiştir. O grubunda ise en yüksek pozitif korelasyon katsayısının $R=0,972$ ile CO_2 konsantrasyonu arasında olurken en yüksek negatif korelasyon katsayısının taze örnek tekstür puanları arasında olduğu belirlenmiştir ($p<0,01$).

Bu ilişkileri destekler nitelikte panelistler K ve B grubu örneklerinde 7. günden itibaren koku varlığını ifade etmiş ve 7. günden itibaren koku puanlarındaki düşüş derinleşmiştir. Aynı zamanda kokuya sebep olduğu düşünülen psikrofilik bakteri sayısının her ikisinde de 6. günden itibaren 4 log kob/g değerinin üzerine ulaştığı ve bu değişime akıllı etiketlerin pembemsi renk dönüşümü ile tepki verdiği görülmüştür. Buda indikatörün renk değişimlerinin psikrofilik bakteri artışı ve koku kötüleşmesi ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu ve bozulmanın başlangıcını temsil ettiğini göstermektedir. Psikrofilik bakterilerin soğuk muhafaza koşullarında balıkların kötüleşmesinin temel nedeni olduğu bilinmektedir (Ojagh vd., 2010). Çalışmadaki bulgulara benzer olarak, Aghai vd. (2020), gökkuşağı alabalığı üzerinde yaptıkları bir çalışmada; toplam bakteri yükünün taze balıkta başlangıçta 0,85 log kob/g, olduğunu 6 gün sonunda 2,66 log kob/g ve 12 günlük depolamadan sonra ise 7,15 log kob/g olarak tespit ettiklerini rapor etmişlerdir. Wells vd. (2019) 22 °C ve 4 °C’de balık bozulma indikatörü olarak kolorimetrik film üzerine çalışma yaptıkları sırada aynı zamanda mikrobiyolojik çalışma da gerçekleştirmişler ve indikatörün rengindeki değişim ile bakteriyel koloni oluşturan birimlerin konsantrasyonu arasında güçlü bir korelasyon olduğunu rapor etmişlerdir. Forghani vd. (2023) karides ile yaptıkları ve akıllı etiketlerin etkinliğini inceledikleri bir çalışmada TPAB artışı ile etiketlerin renk değişimleri (ΔE) arasında oldukça güçlü bir korelasyon ($R^2=0,9918$) olduğunu rapor etmişlerdir. Bahsedilen bulgularda çalışmadaki günlere göre daha düşük psikrofilik bakteri sayısı bildirilmiş olması çalışmada yaptığımız gibi fileto dilimleme ve küp haline getirme işlemlerinin yapılmamasına bağlanabilir.

Mikrobiyal yükün artması; CO_2 ve paket tepe boşluğunda biriken amonyak, dimetilamin ve trimetilamin gibi uçucu bileşiklerin üretimiyle sonuçlanmakta ve paketlerin tepe boşluğunda birikmektedir. Bu nedenle pH hassasiyeti olan etiketler ile gıdaların

bozulmaları takip edilebilmektedir (Fan vd., 2008; Gandotra vd., 2012; Hassanpour vd., 2022; Morsy vd., 2016). O grubu paketlerimizde tespit edilen CO₂ konsantrasyonu mikrobiyal aktivite sonunda artmış etiket renk değişimleri ile pozitif bir korelasyona (R=0,977) sahip olduğu belirlenmiştir. O grubunda ΔE ile ikinci en büyük korelasyonun taze örneklerin tekstürü ve pişmiş örneklerin kas yapısı puanları arasında olduğu görülmüş olup bu korelasyona CO₂ artışının sebep olduğu düşünülmektedir. CO₂ artışının tekstür ve kas yapısının değişimine neden olduğu, ΔE değişimi ile tekstür değişimlerinin ilgisi olmadığını söylenebilir. CO₂ varlığının koliform bakteri varlığını baskıladığı olumlu etkiler gibi olumsuz etkileri de olabilmektedir. B grubunda CO₂ artışına takiben CO₂'nin suda çözünmesiyle birlikte karbonik asit oluşturduğu bu nedenle etin tekstüründe sertleşmeye ve ekşimsi tat bırakmaya sebep olduğu düşünülmektedir. Buda tekstür ve kas yapısına verilen düşük puanlar ile sonuçlanmıştır. Bu durumu kanıtlar nitelikte balık eti pH'ı bozulmayla birlikte artması gerekirken 10. günde dahi başlangıç pH değerine yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca tekstür puanlarının benzer şekilde 10. günden itibaren derin düşüşü bunu kanıtlar niteliktedir. Lannelongue vd. (1982) atmosferik hava ile paketlenen karideslerin CO₂ konsantrasyonun depolamanın 10. gününde %20'ye ulaştığını, bu artışa mikrobiyal solunumun neden olduğunu bildirmiştir.

K, O ve B grupları pH değerleri değişimi ile ΔE değişimi arasında korelasyon katsayısının sırasıyla R=0,885, R=0,821 ve R=0,911, olduğu belirlenmiştir. pH indikatör filmlerinde rengin, balık etleri taze olduğunda kırmızı renkte olduğu pH 6,9 seviyelerine gelene kadar ciddi bir renk değişikliği görülmemekle birlikte hafif pembeleşme olduğu gözlemlenmiştir. Balık örneklerinin pH değerleri, daha önce Gandotra vd. (2012) tarafından bildirilen değerlerle uyumlu olarak depolama süreleri boyunca 6,30 ile 7,40 arasında yükselerek hareket etmiştir. K, O ve B gruplarında ayırt edilebilir renk değişimlerinin sırasıyla 8., 12. ve 9. günlerden sonra gözlemlendiği tespit edilmiştir. Balık bozulmasına takiben pH değeri 7,40 civarlarında iken pH indikatör filminin rengi depolama süresiyle birlikte sürekli olarak kırmızıdan pembeye daha sonra grimsi kahverengi ve yeşile değiştiği görülmüştür.

Balık kalitesini belirlemede önemli yeri olan TVB-N değerleri açısından bakıldığında, ΔE değişimi ile K, O ve B gruplarında tespit edilen TVB-N sonuçları arasında yakın ve yüksek korelasyon katsayıları tespit edilmiştir (R=0,930, R=0,922 ve R=0,916). İndikatörün amonyağa duyarlılığı nedeniyle, indikatörün bozulmanın erken evresinde TVB-N'e karşı hızlı bir tepkiyi temsil etmesi beklenmektedir. Buna benzer şekilde

çalışmada, ilk günlerde indikatörün rengi koyu kırmızı renkteyken, K, O ve B grupları için 7., 9. ve 8. günlerde TVB-N değerlerinin artmasıyla ve ΔE değerlerinin sırasıyla 7,44; 6,87 ve 9,08 olmasıyla beraber, indikatör pembeye dönüşmüş olup ve bu da örneklerin hala tüketilebilecek durumda olduğunu göstermektedir. Mikrobiyal ve CO₂ konsantrasyonundaki değişikliklerin sonucu olan TVB-N birikimi ile ilgili de bazı çalışmalarda 20, 25, 30 ve 35 mg/100 g TVB-N değerleri balık ürünleri için ret sınırı olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Aghai vd., 2020; Dalgaard, 2000; Forghani vd., 2023; Huang vd., 2019). Nowzari vd. (2013) balık bozulmasının başlaması için kritik TVB-N seviyesinin 25 mg/100 g olduğu ifade ederken, Bekhit vd. (2021) 15-25 mg/100 g TVB-N değerini kritik limit olarak kullanmıştır. Arahisar vd. (2004) ise gökkuşağı alabalığı için maksimum TVB-N değerinin 25 mg/100 g olarak kabul edilebileceği belirtmişlerdir. Forghani vd. (2023)'de karides ile yaptıkları ve akıllı etiketlerin etkinliğini inceledikleri bir çalışmada TVB-N artışı ile etiketlerin renk değişimleri arasında güçlü bir korelasyon ($R=0.8653$) olduğunu rapor etmişlerdir.

Genel olarak çalışmada tespit edilen CO₂, pH, mikrobiyal yük ve TVB-N gibi analiz sonuçları ve ΔE değişim davranışları araştırmacıların bildirdiği bulgular ile uyum göstermektedir. Bu bulgular neticesinde etiketlerin zamana göre ΔE değişimleri, mikrobiyal yük, CO₂ konsantrasyonu, TVB-N ve pH değişimlerine duyarlılığı olduğunu ortaya koymuştur. pH indikatör filmlerinin gözle görülebilir renk değişimleri, balık eti örneklerinin pH, CO₂, TVB-N ve mikrobiyolojik değişimleri ile yakın bir ilişki içerisinde olduğu ve çıplak gözle gözlemlenebildiğinden, bu akıllı etiket filmi gökkuşağı alabalığının kalite değişimlerini gerçek zamanlı tespit etmek için güvenilir ve görsel bir yöntem olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Karadeniz’de ağ kafeslerde yetiştirilen büyük gökkuşağı alabalığının kalite değişimleri, buzdolabı koşullarında mor soğan kabuğu boyası içeren selüloz etiketler aracılığıyla gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan tüm balık örnekleri öncelikle derisiz fileto haline getirilmiş, ardından üç kısma (kuyruk fileto, orta fileto, baş fileto) ayrılarak küp şeklinde doğranmış ve çalışma grupları oluşturulmuştur. Bu grupların her biri, atmosferik koşullarda polipropilen paketler içerisinde paketlenmeden önce üretilen akıllı etiketler paketlerin tepe boşluğuna denk gelecek şekilde kapama filmine çift taraflı bant ile yerleştirilmiş ve paketler hermetik olarak kapatılmıştır. Tüm gruplar, buzdolabı koşullarında (4 ± 1 °C) 20 gün boyunca depolanmıştır.

Depolama süresi boyunca balık eti örneklerine fiziksel (renk, su aktivitesi, paket içi gaz ölçümü, % su kaybı), kimyasal (TVB-N, pH), biyokimyasal (ham protein, ham yağ, ham kül, nem), mikrobiyolojik (toplam mezofilik aerob bakteri, toplam psikrofilik aerob bakteri, toplam maya-küf, toplam koliform, laktik asit bakteri ve *Pseudomonas* spp.) analizler ile duyuusal testler (taze ve pişmiş örnekler) uygulanarak kalite değişimleri incelenmiştir. Aynı zamanda, paket içerisindeki etiketlerin gerçek zamanlı renk ölçümleri yapılmış ve kalite değişim anlarındaki renk tepkileri tespit edilmiştir. Mor soğan boya solüsyonunun ve boyanın immobilize edildiği akıllı etiketlerin farklı pH noktalarında gösterdikleri renk değişimlerini incelemek amacıyla renk varyasyonları testi yapılmış, fiziksel olarak etiketlerin amonyak buharına karşı hassasiyet ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca etiketlerin morfolojik karakterlerini anlamak için şişme endeksi ve suda çözünürlük oranları ölçülmüştür.

Yapılan tüm analizler ve testler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Mor soğan kabuğu boya solüsyonunun pH 2 ve pH 14 değerleri arasında iki ana renge (kırmızı ve yeşil) sahip olduğu, bu pH aralıklarında pembe, kahverengimsi yeşil ve sarımtırak yeşil gibi ara renk farklılıklarının çıplak gözle açıkça ayırt edilebildiği tespit edilmiştir. Balığın bozulma başlangıcının yer aldığı pH 6 ve pH 8 aralığında, mor soğan kabuğu boya solüsyonunun başlangıç renginden (koyu kırmızı) ayırt edilebilir şekilde renk değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, mor soğan kabuğu boyasının, akıllı etiket

sisteminde balık örneklerinin tazelik göstergesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Üretilen akıllı etiketlerin farklı pH değerlerine sahip tampon çözeltilerde gösterdiği tepkimeler incelendiğinde, a* (kırmızı-yeşil) değerinin indikatörün asidik ortamda yoğun bir kırmızılığa sahip olduğu ve pH 5'ten itibaren pH artışı ile azaldığı belirlenmiştir. b* değerinin ise pH 2 ve pH 10 aralığında hiç negatif değerler göstermediği görülmüştür. Bu değişimler sonucunda ΔE değerinin pH 5'ten pH 10'a kadar artış gösterdiği tespit edilmiştir (pH 5=14,02; pH 10=42,81). Bu bulgular, mor soğan kabuğu boyasının akıllı etiket sisteminde etkili bir tazelik göstergesi olarak kullanılabilirliğini desteklemektedir.

Protein açısından zengin gıdaların simülasyonu olan amonyak buharı testinde, mor soğan boyası içeren akıllı etiketlerin amonyak buharına hızlı ve arzu edilen bir şekilde tepki verdiği tespit edilmiştir. Bu etiketler, amonyak buharına maruz kaldıklarında başlangıçta koyu kırmızı renkten kahverengimsi gri renge, ardından yeşil ve sarımtırak yeşil renklere geçiş göstermiştir.

Akıllı etiketlerin gözenekli yapılarından dolayı suyu emme kapasitelerinin yüksek olduğu (%148,6) ve bu nedenle selüloz yapısındaki etiketlerin boyayı arzu edilmeyen bir şekilde sızdırdığı gözlenmiştir.

Depolama sürecinde K, O ve B gruplarında CO₂ miktarlarının her analiz gününde artış gösterdiği ve depolama sonunda (20. gün) en yüksek değerin %40,6±0,65 ile K grubunda, en düşük değerin ise %31,5±0,60 ile O grubunda olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, farklı paketlenme gruplarının farklı seviyelerde mikroorganizma aktivitesi ve solunum hızı sergilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Depolamanın 0., 1., 2., 3. ve 5. günlerinde CO₂ değerleri bakımından tüm gruplar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli değilken ($p>0,05$), bu günlerde mikroorganizma aktivitesinin henüz belirgin farklılıklar yaratacak seviyeye ulaşmadığı anlaşılmaktadır. Ancak depolama süresinin ilerleyen günlerinde, özellikle O grubunun K ve B gruplarına göre daha düşük CO₂ değerleri göstermesi, bu grubun daha düşük mikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu ve dolayısıyla daha yavaş bozulma süreci geçirdiğini göstermektedir. Bu farklılıkların diğer günlerde istatistiksel olarak önemli bulunması ($p<0,05$), uzun süreli depolamada mikroorganizma aktivitesinin gruplar arasında belirgin şekilde farklılaştığını ortaya koymaktadır.

Depolamanın 1. gününde, K, O ve B gruplarında su kayıpları sırasıyla %1,60, %1,57 ve %2,05 olarak tespit edilmiştir; bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$). Depolama süresi boyunca tüm gruplarda su kaybı miktarları artış göstermiştir. Çalışma sonunda (20. gün) en fazla su kaybının %7,64 ile B grubunda, en az su kaybının ise %6,64 ile O grubunda olduğu gözlemlenmiştir, ancak bu farklar da istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$). B grubu ile K grubu arasında oluşan su kayıp oranları O grubuna göre daha yüksek olmasına rağmen, 20 günlük depolamanın 13 gününde su kayıp oranları açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p>0,05$). Gruplar arasındaki su kaybı farklarının istatistiksel olarak anlamlı olmaması, kullanılan paketleme yöntemlerinin su kaybını benzer şekilde kontrol ettiğini ve bu nedenle su kaybı oranlarının depolama süresi boyunca büyük ölçüde homojen olduğunu göstermektedir.

K, O ve B gruplarının L^* , a^* ve b^* değerlerinin depolama süresi boyunca sırasıyla 48,29 ve 54,15; 13,47 ve 17,00; 27,05 ve 30,36 arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek L^* değerleri 6. günde tüm gruplarda gözlemlenirken, a^* değeri K grubunda 2. ve 6. günlerde, b^* değeri ise 15. günde O grubunda en yüksek değerine ulaşmıştır. Depolamanın 2. gününe kadar L^* değeri bakımından tüm gruplar arasında istatistiksel anlamda fark bulunmazken ($p>0,05$), depolama süresi boyunca yalnızca 5. ve 9. günlerde gruplar arasında farklılık tespit edilmiştir ($p<0,05$). Tüm gruplarda a^* değerleri dalgalı bir seyir izlemiş, depolama başında (0. gün) ve sonunda (15. gün) tespit edilen a^* değerleri istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). b^* değeri ise tüm gruplarda depolama süresi boyunca dalgalı bir seyir izlemiştir. Tüm gruplarda balık etinin depolama süresi boyunca tazeliğini kaybetmesi ve yüzeyde mikrobiyal artış ile birlikte meydana gelen kimyasal değişimlerden kaynaklı bozulma nedeniyle beyazlık indeksinde (WI) düşüşler olmuş ve beyazlıklarının arttığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, tüm gruplarda balık eti kırmızılığının (RI) (K: 0,57; O: 0,54; B: 0,57) azaldığı ve sarılık üzerine baskınlığının da azaldığı tespit edilmiştir (K: 0,53; O: 0,49; B: 0,53). Balık eti sarılığında ise K grubunda azalma (82,11'den 77,27'ye), O ve B gruplarında ise artışlar (O: 78,85'ten 81,94'e; B: 78,30'dan 80,65'e) gözlemlenmiştir. Bu değişiklikler, balık etinin depolama süresince maruz kaldığı oksidasyon ve diğer kimyasal reaksiyonlar sonucunda renk değişimlerini yansıtmaktadır. Depolama süresince tüm grupların gözlemlenebilir renk değişiminde ($\Delta E>5$), K grubu hariç (6. günde $\Delta E_K=5,39$) belirgin değişiklikler olmadığı tespit edilmiştir. Renk değişimleri, tüketici tarafından kolayca fark edilebilir ve ürünün

tazeliği hakkında bilgi verebilir. Bu nedenle, renk değişimleri ve bu değişimlerin istatistiksel analizi, balık etinin depolama süresince kalite kontrolünde önemli bir rol oynar. K grubunda belirgin renk değişikliklerinin 6. günde tespit edilmesi, bu grubun daha hızlı bir bozulma süreci geçirdiğini ve bu sürecin renk değişimi ile açıkça gözlemlenebildiğini göstermektedir.

Depolama süresince, en düşük su aktivitesi (a_w) değerinin 0. günde 0,980 ile K grubunda olduğu, en yüksek a_w değerinin ise 15. günde 0,997 ile yine K grubunda olduğu tespit edilmiştir. Depolama süresince a_w değerinin tüm gruplarda arttığı ve depolama süresinin a_w üzerindeki etkisinin tüm gruplar için istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$).

Deneme başında, O grubunun daha düşük bir nem oranına sahip olduğu (%63,73) ve diğer gruplardan istatistiksel anlamda farklı olduğu bulunmuştur ($p<0,05$). Tüm gruplarda zamanla nem oranlarında düşüş olduğu belirlenmiş, bu düşüş K ve O gruplarında istatistiksel olarak anlamlı değilken ($p>0,05$), B grubunda önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Tüm gruplarda başlangıçtan 15. güne kadar %ham kül miktarlarında artış eğilimi gözlenmiş ve bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak tüm günlerde gruplar arasında istatistiksel anlamda farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$). Deneme başında ve sonunda en yüksek ham protein değerleri sırasıyla %21,37 ve %20,12 ile O grubunda tespit edilmiştir. Deneme başındaki O grubundaki protein değeri, K ve B gruplarındaki ham protein miktarıyla karşılaştırıldığında istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($p<0,05$). Ancak, K ve B grupları arasındaki ham protein değerleri istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir ($p>0,05$).

Çalışmanın başlangıcında (0.gün) K, O ve B gruplarına ait TVB-N (mg/100 g) değerleri sırasıyla 15,83, 15,58 ve 15,37 mg/100 g olarak bulunmuş, gruplar arasında istatistiksel anlamda farklılık gözlenmemiştir ($p>0,05$). Ancak, 1. günden itibaren ölçülen TVB-N değerlerinin 15. güne kadar artış gösterdiği belirlenmiştir ($p<0,05$). Depolamanın 0. ve 8. günleri arasında tüm gruplarda ölçülen değerlerin benzerlik gösterdiği, ancak 9. günden itibaren O grubu ile K ve B grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu ($p<0,05$), K ve B grupları arasında ise önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). Balık örneklerinde orta filetoyu temsil eden O grubunun diğer iki gruba göre daha iyi sonuçlar gösterdiği belirlenmiştir. TVB-N miktarındaki artışla renk değişiminin benzerlik gösterdiği ve bu nedenle toplam renk farkı değişiminin TVB-N ile doğrusal bir bağlantısı olduğu tespit edilmiştir ($R_K=0,930$; $R_O=0,922$; $R_B=0,916$).

K, O ve B gruplarına ait pH değerleri sırasıyla 6,743; 6,690 ve 6,557 olarak bulunmuş ve istatistiksel olarak aralarında anlamlı farklılıklar tespit edilmemiştir ($p>0,05$). 15 günlük depolama süresi sonunda bu değerler artarak sırasıyla 7,413, 7,303 ve 7,490 olarak ölçülmüştür ($p<0,05$). 13 günden itibaren tespit edilen pH değerleri incelendiğinde tüm gruplar arasında pH değerlerinin istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklılık gösterdiği belirlenmiştir ($p<0,05$). Depolama süresince pH artışıyla renk değişiminin benzerlik gösterdiği ve bu nedenle toplam renk farkı değişiminin pH ile pozitif korelasyona sahip olduğu; en yüksek korelasyonun B grubunda olduğu tespit edilmiştir ($R_K=0,885$; $R_O=0,821$; $R_B=0,911$).

K, O ve B gruplarında 0. günde, toplam mezofilik ve psikrofilik aerobik bakteri sayılarının sırasıyla 1,34; 1,73 ve 1,60 ile 2,02; 2,31 ve 2,47 log kob/g olduğu belirlenmiş ve tüm gruplarda mezofilik bakteri sayısının 14. günde, psikrofilik bakteri sayısının ise 12. günde sınır değerini aştığı (K ve B gruplarında) (7 log kob/g) belirlenmiştir. Maya ve küf sayılarının tüm gruplarda artan su aktivitesi nedeniyle baskılandığı ve 14. günde bile sınır değerini aşmadığı (K: 5,84 log kob/g, O: 5,71 log kob/g, B: 5,85 log kob/g) gözlemlenmiştir. Koliform bakteri sayısının ilk 3 gün boyunca 0,3 log kob/g altında olduğu, depolama süresince anlamlı artışlar görülse de gruplar arasında istatistiksel olarak farkın önemli olmadığı belirlenmiştir ($p>0,05$). Ayrıca, K ve B gruplarında 6. güne kadar, O grubunda ise 8. güne kadar ölçülen laktik asit bakteri sayılarının $<0,3$ log kob/g altında bulunurken, en düşük *Pseudomonas* spp. sayısının 2. günde K grubunda, en yüksek *Pseudomonas* spp. sayısının ise 14. günde B grubunda olduğu tespit edilmiştir. Depolama süresince tüm gruplarda *Pseudomonas* spp. sayısında anlamlı artışlar gözlemlenmiş ($p<0,05$), özellikle 4. günden 8. güne kadar hızlı bir yükseliş olduğu saptanmıştır. Mikrobiyoloji analiz sonuçlarıyla üretilen akıllı etiketin renk değişimleri arasında önemli bir korelasyon olduğu tespit edilmiş; K, O ve B grupları için mikrobiyoloji analizi sonuçları içinde TPAB sayısının renk değişimi ile en yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir ($R_K=0,977$; $R_O=0,941$ ve $R_B=0,974$).

Duyusal değerlendirmelerde, taze örneklerin görünüş, renk ve tekstür kriterleri açısından 10. güne kadar genellikle çok iyi, iyi ve orta kalitede olduğu, ancak 6. ve 7. günlerden itibaren paketlerde koku varlığı sebebiyle belirgin puan düşüşlerinin olduğu gözlemlenmiştir. Tüm günlerde, O grubu taze örneklerinin diğer gruplara göre daha yüksek puanlar aldığı belirlenmiştir. Pişmiş örneklerde ise, 9. günde tüm gruplarda yağ renginin berraklığını kaybederek kahverengileşmeye başladığı ve 12. gün alınan

puanlarda kabul edilebilir sınırın altına düştüğü tespit edilmiştir. Kokuya dayalı olarak, K ve B gruplarında belirgin kokular 8. günde başlarken, O grubunda 11. günden itibaren olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm pişmiş grupların kas yapısı testinde, depolama süresi boyunca yalnızca 3. ve 5. günlerde istatistiksel olarak anlamlı farklar olduğu görülmüştür ($p<0,05$). 7. günden itibaren özellikle K grubunda kas yapısında yumuşama gözlemlenmiş ve bu durum K grubu puanlarının 11. günde kabul edilebilir sınır olan 1 puanın altına düşmesine neden olmuştur. O ve B grubu örnekleri ise bu seviyenin altına 12. günde düşmüştür. K ve B gruplarında 7. günden itibaren sulu ve elastik kas yapısının azalması ve lapamsı özelliklerin artması nedeniyle puanlarda belirgin düşüşler gözlemlenmiştir. O grubunda ise bu durum 9. günden itibaren ortaya çıkmıştır.

Duyusal testler sonucunda O grubunun diğer gruplara kıyasla daha uzun süre yüksek kaliteyi koruduğu, K grubunun ise en hızlı duyusal bozulma gösterdiği belirlenmiştir. Etiketlerde gözlemlenen renk değişikliklerinin K grubunun taze ve pişmiş örneklerinde koku puanları, B grubunun tekstür ve lezzet puanları, O grubunun ise tekstür ve kas yapısı puanları ile arasında negatif ve yüksek bir korelasyona sahip oldukları belirlenmiştir.

K, O ve B gruplarına ait akıllı etiketlerde analiz günlerinde ölçülen L^* değerleri düşüş göstermiş, kontrol grubu etiketlere göre depolama sonunda istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Denemenin ilk günlerinde, tüm grupların a^* değerleri birbirine yakın bulunurken ($p>0,05$) 5. günden itibaren depolama sonuna kadar ölçülen a^* değerleri bakımından gruplar arasında istatistiksel anlamda farklılıklar olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Benzer şekilde başlangıçta grupların b^* değerleri arasında belirgin farklar yokken, günler ilerledikçe aralarında anlamlı değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir. Etiket kırmızılığının depolama süresince azalma gösterip yeşil renge yaklaştığı, balıkların bozulma başlangıç günlerinde ise pembemsi tonlardan kahverengimsi gri tonlara geçişerek bozulma başlangıcını temsil ettiği görülmüştür. K, O ve B balık gruplarının duyusal olarak bozulmaya başladığı günlerde (10, 11, ve 9. günler) K ve B grubu etiketleri daha yüksek renk değişim değerleri gösterdiği ($\Delta E_K:18,31$; $\Delta E_B:19,80$), B grubu etiketinde ise diğer gruplara nazaran daha düşük renk farkı değerine sahip ($\Delta E_O:9,87$) olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle balığın kuyruk ve baş bölgesinden oluşan paketlerde etiketlerin etkinliğinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak atmosfer paketli gökkuşuğı alabalığı filetolarında kullanılan akıllı etiketin renklerinde önemli değışikliklerin olduğı tespit edilmiştir. Etiket renginde meydana gelen değışiklikler çalışma süresince yapılan fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duysal analiz sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Yapılan duysal test sonuçları tüketici tercihlerini belirlediğı için;

- K grubu örneklerinin, ilk 2 gün taze, 2. ve 10. günler arası tüketilebilir ve 10. günden itibaren bozulmuş olarak değerlendirilebileceğı,
- O grubunu örneklerinin, ilk 6 gün taze, 6. ve 11. günler arası tüketilebilir ve 11 günden itibaren bozulmuş olarak değerlendirilebileceğı,
- B grubunun, ilk 5 gün taze, 5. ve 9. günler arası tüketilebilir ve 9. günden itibaren bozulmuş olarak değerlendirilebileceğı, bozulma günlerde tespit edilen fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik analiz sonuçlarına göre tüm gruplar için 25 mg/100 g TVB-N değerin ve 5 log kob/g TPAB yükünün kritik eşik olarak kullanılabileceğı tespit edilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar, gökkuşuğı alabalığının depolama süresince kalite değışimlerinin mor soğan kabuğı boyası içeren akıllı etiketler ile gerçek zamanlı izlenmesi üzerine önemli bulgular sunmaktadır. Bu bulgular, mor soğan kabuğı boyasının balık tazeliğini izleme konusunda potansiyel bir indikatör olduğunu göstermektedir. Ancak, bu çalışmanın bulgularını daha kapsamlı ve genel geçer kılmak için aşağıdaki öneriler de dikkate alınabilir:

- Çalışma sadece gökkuşuğı alabalığını kapsamaktadır. Farklı su ürünleri üzerinde benzer çalışmalar yapılarak, mor soğan kabuğı boyasının tazelik izleme konusundaki etkinliğinin geniş bir yelpazede değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu, yöntemin bilimsel anlamda genel geçerliliğini ve güvenilirliğini artıracaktır.
- Çalışma, buzdolabı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Farklı depolama sıcaklıkları ve ortamları (örneğin, dondurucu koşulları, oda sıcaklığı) üzerinde de benzer testler yaparak, mor soğan kabuğı boyasının çeşitli şartlarda nasıl performans gösterdiği incelenebilir.
- Çalışmada kimyasal ve duysal analiz sonuçları neticesinde atmosferik hava ile paketlenmiş gruplarda 15 günlük bir depolama süresi kullanılmıştır. Daha uzun süreli depolama koşullarının sağlanması için farklı paketleme metotları ve gaz

karışımlarının denenmesiyle, akıllı etiketlerin uzun vadede ne kadar etkili olduğu ve tazelik izleme kapasitesinin sürekliliği değerlendirilebilir.

- Mor soğan kabuğu boyasının farklı pH seviyelerinde renk değiştirme özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ancak, etiketlerin su emme kapasiteleri ve sızdırma sorunları da çalışma kapsamında belirlenmiştir. Etiket materyalinin geliştirilmesi ve optimizasyonu, bu tür problemleri minimize ederek daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.
- Akıllı etiketlerin tüketici tarafından nasıl algılandığını ve kabul gördüğünü belirlemek için anket ve daha kapsamlı duyuşal testler yapılabilir. Bu tür çalışmalar, etiketlerin pratikte ne kadar kullanılabilir olduğunu ve pazarda kabul görme potansiyelini ortaya koyabilir.
- Mor soğan kabuğu boyasının farklı dozaj ve konsantrasyonlarının tazelik izleme üzerindeki etkisi araştırılabilir. Bu, en uygun boya miktarının belirlenmesine ve etiketlerin etkinliğinin maksimize edilmesine katkı sağlayabilecektir.
- Mor soğan kabuğu boyası içeren akıllı etiketlerin, piyasada mevcut olan diğer tazelik izleme yöntemleri ve gıda tazelik indikatörleri ile karşılaştırmalı analizlerinin yapılması, bu çalışmanın bulgularını daha güçlü ve geçerli kılacak, mor soğan kabuğu boyasının diğer yöntemlere göre avantaj ve dezavantajlarını ortaya koyacaktır.

Genel olarak bu çalışma, mor soğan kabuğu boyasının akıllı etiket olarak kullanımıyla gökkuşakı alabalığının tazelik durumunun izlenmesine dair önemli ve yenilikçi bulgular sunmaktadır. Mor soğan kabuğu boyasının doğal ve çevre dostu bir kaynak olması, sürdürülebilirlik açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. Doğal boyaların kullanımı ve akıllı etiketin tazelik izleme konusundaki hassasiyeti, gıda güvenliği, tüketici güvenliği ve çevre dostu ambalajlama konularında artan tüketici talepleri ve yasal düzenlemeler ile örtüşmektedir. Bu tür etiketlerin kullanımı, tüketiciye taze ve güvenli gıda sunma, gıda israfını azaltma ve bilinçli tüketici tercihlerini destekleme konusunda değerli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, çalışmanın sunduğu doğal ve sürdürülebilir olan çözüm, endüstriyel uygulamalarda da geniş bir potansiyele sahiptir. Bu özellikler, bilimsel literatüre önemli katkılar sağlamakta ve akıllı etiket teknolojilerinde yeni indikatörlerin kullanımına kapı açmaktadır. Çalışmamız, bu açıdan hem akademik hem de pratik uygulamalar için değerli bir nitelik taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aghaei, Z., Emadzadeh, B., Ghorani, B., & Kadkhodae, R. (2018). Cellulose acetate nanofibres containing alizarin as a halochromic sensor for the qualitative assessment of rainbow trout fish spoilage. *Food and Bioprocess Technology*, 11(5), 1087–1095. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2046-5>
- Aghaei, Z., Ghorani, B., Emadzadeh, B., Kadkhodae, R., & Tucker, N. (2020). Protein- based halochromic electrospun nanosensor for monitoring trout fish freshness. *Food Control*, 111, Article 107065. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107065>
- Alak, G., Aras Hisar, Ş., Hisar, O., Kaban, G., & Kaya, M. (2010). Microbiological and chemical properties of bonito fish (*Sarda sarda*) fillets packaged with chitosan film, modified atmosphere and vacuum. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16, 73-80. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2009.1475>
- Almasi, H., Forghani, S., & Moradi, M. (2022). Recent advances on intelligent food freshness indicators; an update on natural colorants and methods of preparation. *Food Packaging and Shelf Life*, 32, Article 100839. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100839>
- Altan, C. O. (2020). *Modifiye atmosfer ile paketlenen alabalık (Oncorhynchus mykiss walbaum, 1792) köftesinde mikrobiyal transglutaminaz enziminin ürün kalitesi üzerine etkisi ve endüstriyel kullanım olanaklarının araştırılması* (Yayın No. 660452) [Yayınlanmış Doktora Tezi, Sinop Üniversitesi].
- Aman Mohammadi, M., Hosseini, S. M., & Yousefi, M. (2020). Application of electrospinning technique in development of intelligent food packaging: *A short review of recent trends*. *Food Science & Nutrition*, 8(9), 4656–4665. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1781>
- Anonim, (2022). Yeterli ve Dengeli Beslenmenin Önemi. https://www.yemektedenge.org/documents/ogretmenler/1b_saglik_korunma_yeterli_den_geli_beslenme_hareketli_yasam_esaslari.pdf (Erişim tarihi 31.08.2023)
- Antunes, P., J. Mourão, J. Campos, L. Peixe. (2016). Salmonellosis: The Role of Poultry Meat. *Clinical Microbiology and Infection*, 22, 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.12.004>
- AOAC, (1995). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC, (2000). Official Methods of Analysis (17th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC (2005). Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed., Gaithersburg, MD.
- Arashisar, Ş., Hisar, O., Kaya, M. & Yanik, T. (2004). Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *International Journal of Food Microbiology*, 97(2), 209–214. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2004.05.024>.
- Ayas, D. (2006). Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), hamsi (*Engraulis encrasicolus*) ve sardalya (*Sardina pilchardus*)’ nın sıcak tütsülenmesi sonrasındaki kimyasal kompozisyon oranlarındaki değişimleri. *Su Ürünleri Dergisi*, 23(3), 343-346.
- Baki, B., Kaya, D., & Öztürk, R. (2013). Gökkuşığı alabalığında (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) süreli açlığın biyokimyasal kompozisyonuna etkisi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(1), 49-53.
- Balbinot-Alfaro, E., Craveiro, D. V., Lima, K. O., Costa, H. L. G., Lopes, D. R., & Prentice, C. (2019). Intelligent Packaging with pH Indicator Potential. *Food Engineering Reviews*, 11(4), 235–244. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09198-9>

- Barbosa, A. & Vaz-Pires, P. (2004). Quality Index Method (QIM): Development of a Sensorial Scheme for Common (*Octopus vulgaris*). *Food Control*, 15, 161-168.
- Bekhit, A. E. D. A., Holman, B. W., Giteru, S. G., & Hopkins, D. L. (2021). Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 280-302. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.006>
- Berik, N., Çankırılıgil, C., & Kahraman, D. (2011). Alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) filetosundan kroket yapımı ve kalite niteliklerinin belirlenmesi. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 17(5), 735-740.
- Berizi, E., Hosseinzadeh, S., Shekarfroush, S.S. & Barbieri, G. (2018). Microbial, chemical, textural and sensory properties of coated rainbow trout by chitosan combined with pomegranate peel extract during frozen storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 1004–1013. <https://doi.org/10.1016/j.IJBIOMAC.2017.08.099>
- Bilgin, Ş., Ertan, Ö. O., & Günlü, A. (2007). Farklı tuzlama tekniklerinin (*Salmo trutta macrostigma* Dumeril, 1858)'nın kimyasal bileşimine etkileri. *E.Ü Su Ürünleri Dergisi*, 24(3-4), 225-232.
- Bird, J. N., & Savage, G. P. (1990). Carotenoid pigmentation in aquaculture. *Proceedings of the nutrition society of New Zealand*, 15, 45-56.
- Bjørklund, G., Gasmi, A., Lenchyk, L., Shanaida, M., Zafar, S., Mujawdiya, P. K., Lysiuk, R., Antonyak, H., Noor, S., Akram, M., Smetanina, K., Piscopo, S., Upyr, T., & Peana, M. (2022). The role of astaxanthin as a nutraceutical in health and age-related conditions. *Molecules*, 27(21), 7167. <https://doi.org/10.3390/molecules27217167>.
- Blaufuss, P. C., Bledsoe, J. W., Gaylord, T. G., Sealey, W. M., Overturf, K. E., Powell, M. S. (2020). Selection on a plant – based diet reveals changes in oral tolerance, microbiota and growth in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) when fed a high soy diet. *Aquaculture*, 525(2020), 735287. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735287>
- Borch, E., & Agerhem, H. (1992). Chemical, microbial and sensory changes during the anaerobic cold storage of beef inoculated with a homofermentative *Lactobacillus* sp. or a *Leuconostoc* sp. *International Journal of Food Microbiology*, 15(1-2), 99-108. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(92\)90139-T](https://doi.org/10.1016/0168-1605(92)90139-T)
- Brown, V. I. & Lowbury, E. J. L. (1965). Use of improved cetrimide agar medium and other culture methods for *Pseudomonas aureginosa*. *Journal of Clinical Pathology*, 18, 752-756.
- Cardinal, M., Cornet, J., Serot, T., Baron, R. (2006). Effects of the smoking process on odour characteristics of smoked herring (*Clupea harengus*) and relationships with phenolic compound content. *Food Chemistry*, 96, 137–146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.040>
- Castañeda-Ovando, A., de Lourdes Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4), 859–871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>
- Cha, D.S. & Chinnan, M.S., (2004). Biopolymer-based antimicrobial packaging: A review. *Food Science Nutrition*, 44, 223-237. <https://doi.org/10.1080/10408690490464276>
- Chaijan, S., Panpipat, W., Panya, A., Cheong, L. Z., & Chaijan, M. (2020). 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, Article 107400. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107400>
- Chatli, M. K., Genica, A. S., Biswas, A. K., & Sahoo, J. (2012). Extension of shelf life of fish mince under modified atmosphere packaging at refrigeration temperature (4±1 °C). *Journal of Veterinary Public Health*, 10(2), 111-117.

- Chen, G., Xiong, Y. L., Kong, B., Newman, M. C., Thompson, K. R., Metts, L. S., & Webster, C. D. (2007). Microbiological and physicochemical properties of red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) stored in different package systems at 2 °C. *Journal of Food Science*, 72(8), E442–E449. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00482.x>
- Chi, W., Cao, L., Sun, G., Meng, F., Zhang, C., Li, J., & Wang, L. (2020). Developing a highly pH-sensitive κ-carrageenan-based intelligent film incorporating grape skin powder via a cleaner process. *Journal of Cleaner Production*, 244, Article 118862. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118862>
- Cho, M. H., Paik, Y. S., & Hahn, T. R. (1999). Physical stability of shikonin derivatives from the roots of *Lithospermum erythrorhizon* cultivated in Korea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(10), 4117–4120. <https://doi.org/10.1021/jf9902853>
- Choi, I., Lee Y. J., Lacroix, M., & Han, J. (2017). Intelligent pH indicator film composed of agar/potato starch and anthocyanin extracts from purple sweet potato. *Food Chemistry*, 218, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.05>
- Choubert, G., & Blanc, J. M. (1985). Flesh colour of diploid and triploid Rainbow trout fed canthaxanthin. *Aquaculture*, 47, 299-304. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(85\)90215-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(85)90215-7)
- Church, N. (1994). Developments in modified atmosphere packaging and related technologies. *Trends in Food Science and Technology*, 5, 345- 352. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(94\)90211-9](https://doi.org/10.1016/0924-2244(94)90211-9)
- Chytiri, S., Paleologos, E., Savvaidis, I., & Kontominas, M. G. (2004). Relation of biogenic amines with microbial and sensory changes of whole and filleted freshwater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored on ice. *Journal of Food Protection*, 67(5), 960-965. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.5.960>
- Çaklı, Ş., (2007). *Su Ürünleri İşleme Teknolojisi*. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, 696s, İzmir.
- Çakmak, E., Özel, O. T., Batır, E., & Evin, D. (2024). Gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) endüstrisinde yeni bir yaklaşım:" Türk Somonu" üretim ve pazarlama eğilimleri. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 41(1), 69-81. <https://doi.org/10.12714/egejfas.41.1.10>
- Çorapçı, B. (2017). *Dondurarak kurutma teknolojisinin alabalık (Oncorhynchus mykiss, Walbaum 1792) kıymasına uygulanabilirliği ve kalite özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi*. (Yayın No. 470643) [Yayınlanmış Doktora Tezi, Sinop Üniversitesi].
- CIE, (1976). Commission International de l'Eclairage. *Colorimetry* (Vol. 15). Vienna: Bureau Central de la CIE
- D'souza, N., Skonberg, D. I., Stone, D. A. J., & Brown, P. B. (2006). Effect of soybean meal-based diets on the product quality of rainbow trout fillets. *Journal of Food Science*, 71, 4. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00018.x>
- Dalgaard, P., Gram, L., & Huss, H. H. (1993). Spoilage and shelf-life of cod fillets packed in vacuum or modified atmospheres. *International Journal of Food Microbiology*, 19, 283-294. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(93\)90020-H](https://doi.org/10.1016/0168-1605(93)90020-H)
- Dalgaard, P. (2000). Fresh and lightly preserved seafood. In C. M. Man, & A. Jones (Eds.). *Shelf life evaluation of foods* (pp. 110–139). Aspen Publishers.
- Dalmoro, V., Zimnoch dos Santos, J. H., Pires, M., Simanke, A., Baldino, G. B., & Oliveira, L. (2017). Encapsulation of sensors for intelligent packaging. In A. M. Grumezescu (Ed.), *Food packaging* (pp. 111–145). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804302-8.00004-2>.

- Debevere, J., & Boskou, G. (1996). Effect of modified atmosphere packaging technology, A review. *Journal of food Protection*, 54(1), 58-60
- Ding, L., Li, X., Hu, L., Zhang, Y., Jiang, Y., Mao, Z., Xu, H., Wang, B., Feng, X., & Sui, X. (2020). A naked-eye detection polyvinyl alcohol/cellulose-based pH sensor for intelligent packaging. *Carbohydrate Polymers*, 233, Article 115859. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115859>
- Directive, E.U. (2008). Commission Regulation (EC) No 1022/2008 of 17 October 2008 amending Regulation (EC) No 2074/2005 as regards the total volatile basic nitrogen (TVB-N) limits. L277/18 EN, Official Journal the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1022> (Erişim tarihi: 04.06.2024)
- Doğan, G. (2013). *Uçucu yağlarla zenginleştirilmiş kitosan filmlerin dumanlanmış gökkuşağı alabalığı (Oncorhynchus mykiss w., 1792) filetolarının kalite özelliklerine etkisi.* (Yayın No. 353568) [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi].
- Domínguez-Aragón, A., Olmedo-Martínez, J. A., & Zaragoza-Contreras, E. A. (2018). Colorimetric sensor based on a poly (ortho-phenylenediamine-co-aniline) copolymer for the monitoring of tilapia (*Oreochromis niloticus*) freshness. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 259, 170-176. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.12.020>
- Dong, H., Ling, Z., Zhang, X., Zhang, X., Ramaswamy, S., & Xu, F. (2020). Smart colorimetric sensing films with high mechanical strength and hydrophobic properties for visual monitoring of shrimp and pork freshness. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 309, Article 127752. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.127752>
- Duman, M. (1995). *Cip balık üretim ve yetiştirme tesisinde yetiştirilen gökkuşağı alabalığının (Oncorhynchus mykiss W.) kimyasal kalitesi.* (Yayın No.45628) [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi].
- Ebadi, Z., Khodanazary, A., Hosseini, S. M., & Zanguee, N. (2019). The shelf-life extension of refrigerated *Nemipterus japonicus* fillets by chitosan coating incorporated with propolis extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 94-102, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.204>
- Ebrahimi Tirtashi, F., Moradi, M., Tajik, H., Forough, M., Ezati, P., & Kuswandi, B. (2019). Cellulose/chitosan pH-responsive indicator incorporated with carrot anthocyanins for intelligent food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 920–926. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.148>
- Ekici, K., Sağun, E., Sancak, Y. C., Sancak, H., Yörük, İ. H., & İşleyici, Ö. (2011). Dondurulmuş olarak muhafaza edilen inci kefalinde (*Chalcalburnus tarichi*, Pallas 1811) biyojen amin oluşumu ve mikrobiyolojik değişimlerin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 22(2), 93-99.
- Emir Çoban, Ö., & Tuna Keleştemur, G. (2011). Farklı oranlardaki sentetik β-karotenin alabalık (*Oncorhynchus mykiss*, W. 1792) filetolarında kas karotenoid stabilitesi ve lipid peroksidasyon düzeyine etkileri. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 25 (1), 17–21.
- Emre, Y., Kürüm, V. (2007). *Havuz ve Kafeslerde Alabalık Yetiştiriciliği.* Posta Basım. İstanbul. 272 s.
- Erkmen, O. (2010). *Gıda Mikrobiyolojisi.* Efil Yayınevi, Ankara, 552 s.
- Ezati, P., Tajik, H., Moradi, M., & Molaei, R. (2019a). 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.173>

- Ezati, P., Tajik, H., & Moradi, M. (2019b). Fabrication and characterization of alizarin colorimetric indicator based on cellulose-chitosan to monitor the freshness of minced beef. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 285, 519–528. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.01.089>
- Ezati, P., & Rhim, J. W. (2020a). pH-responsive pectin-based multifunctional films incorporated with curcumin and sulfur nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 230, Article 115638. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115638>
- Ezati, P., & Rhim, J. W. (2020b). pH-responsive chitosan-based film incorporated with alizarin for intelligent packaging applications. *Food Hydrocolloids*, 102, Article 105629. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105629>
- Ezati, P., Rhim, J. W., Moradi, M., Tajik, H., & Molaei, R. (2020). CMC and CNF-based alizarin incorporated reversible pH-responsive color indicator films. *Carbohydrate Polymers*, 246, Article 116614. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116614>
- Ezati, P., Bang, Y. J., & Rhim, J. W. (2021). Preparation of a shikonin-based pH-sensitive color indicator for monitoring the freshness of fish and pork. *Food Chemistry*, 337, Article 127995. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127995>
- Fan, W., Chi, Y., & Zhang, S. (2008). The use of a tea polyphenol dip to extend the shelf life of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) during storage in ice. *Food Chemistry*, 108, 148e153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.057>
- FAO, (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FAO, (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- FAO, (2023). FishStat database. FishStatJ, a tool for fishery statistics analysis. Release: 4.03.03 FAO, Fishery and Aquaculture Department, Statistics and Information Branch. <https://www.fao.org/fishery/en/statistics/software/fishstatj> (Erişim tarihi: 09.05.2024)
- Fernández-Rojas, B., Hernández-Juárez, J., & Pedraza-Chaverri, J. (2014). Nutraceutical properties of phycocyanin. *Journal of functional foods*, 11, 375–392. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.10.011>
- Ferreira, F. V., Otoni, C. G., De France, K. J., Barud, H. S., Lona, L. M. F., Cranston, E. D., & Rojas, O. J. (2020). Porous nanocellulose gels and foams: Breakthrough status in the development of scaffolds for tissue engineering. *Materials Today*, 37, 126–141. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.03.003>
- Forghani, S., Zeynali, F., Almasi, H., & Hamishehkar, H. (2023). Accurate Monitoring of Shrimp Freshness via Cornflower Anthocyanins-Loaded Bio-based Nanofiber Mats and Casted Films. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(10), 4258–4273.
- Françoise, L. (2010). Occurrence and role of lactic acid bacteria in seafood products. *Food Microbiology*, 27, 698–709. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.05.016>
- Frangos, L., Pyrgotou, N., Giatrakou, V., Ntzimani, A., & Ísavvaidis. N. (2010). Combined effects of salting, oregano oil and vacuum-packaging on the shelflife of refrigerated trout fillets. *Food Microbiology*, 27, 115–121.
- Gandotra, R., Sharma, S., Koul, M., & Gupta, S. (2012). Effect of chilling and freezing on fish muscle. *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 2(5), 5–9.
- Genovese, M. E., Abraham, S., Caputo, G., Nanni, G., Kumaran, S. K., Montemagno, C. D., & Fragouli, D. (2018). Photochromic paper indicators for acidic food spoilage detection. *ACS Omega*, 3(10), 13484–13493. <https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02570>

- Ghaani, M., Cozzolino, C. A., Castelli, G., & Farris, S. (2016). An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science and Technology*, 51, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.02.008>
- Ghadiri Alamdari, N., Forghani, S., Salmasi, S., Almasi, H., Moradi, M., & Molaei, R. (2022). Ixiolirion tataricum anthocyanins-loaded biocellulose label: Characterization and application for food freshness monitoring. *International Journal of Biological Macromolecules*, 200, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.188>
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Entezami, A. A. (2010). Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(4), 697–702. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.06.001>
- Ghorbani, M., Divsalar, E., Molaei, R., Ezati, P., Moradi, M., Tajik, H., & Abbaszadeh, M. (2021). 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 & Emerging Technologies*, 74, Article 102864. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102864>
- Gonzalez, C. J. (1999). Bacterial microflora of wild brown trout (*Salmo trutta*), wild pike (*Esox lucius*), and aquacultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Food Protection*, 62, 1270–1277. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-62.11.1270>
- Goodarzi, M. M., Moradi, M., Tajik, H., Forough, M., Ezati, P., & Kuswandi, B. (2020). Development of an easy-to-use colorimetric pH label with starch and carrot anthocyanins for milk shelf life assessment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.014>
- Gökoğlu, N. (1994). Balık Köftesinin Soğukta Depolanması. *Gıda*, 19(3), 217–220.
- Gökoğlu, N., Yerlikaya, P., Cengiz, E. (2004). Effects of cooking methods on the proximate composition and mineral contents of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Chemistry*, 84(1), 19–22.
- Gökten, D. (1990). *Gıdaların Mikrobiyal Ekolojisi-Et Mikrobiyolojisi*. Cilt I., Ege Üniv., Basımevi, Mühendislik Fakültesi yayınları, 21, 61–66.
- Gram, L. & Dalgaard, P. (2002). Fish spoilage bacteria-problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*, 13, 262–266. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(02\)00309-9](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(02)00309-9)
- Guiga, W., Swesi, Y., Galland, S., Peyrol, E., Degraeve, P., & Sebti, I. (2010). Innovative multilayer antimicrobial films made with Nisaplin® or nisin and cellulosic ethers: Physico-chemical characterization, bioactivity and nisin desorption kinetics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 352–360. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.01.008>
- Guo, M., Wang, H., Wang, Q., Chen, M., Li, L., Li, X., & Jiang, S. (2020). Intelligent double-layer fiber mats with high colorimetric response sensitivity for food freshness monitoring and preservation. *Food Hydrocolloids*, 101, Article 105468. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105468>
- Gutiérrez Carmona, T. J., & Alvarez, V. A. (2018). Bionanocomposite films developed from corn starch and natural and modified nano-clays with or without added blueberry extract. *Food Hydrocolloids*, 77, 407–420. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.017>
- Halász, K., & Csôka, L. (2018). Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace extract immobilized in chitosan for colorimetric pH indicator film application. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.002>
- Halkman, A. K. (2005). *Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları*. Başak Matbaacılık, Ankara, 358 s.

- Han, J. H., Ho, C. H. L., & Rodrigues, E. T. (2005). Intelligent packaging. In J. H. Han (Ed.), *Innovations in food packaging* (p. 139). Amsterdam: Ed. Elsevier Academic Press.
- Harmancıoğlu, M. (1955). Türkiye’de bulunan önemli bitki boyalarından elde olunan renklerin çeşitli müessirlere karşı yün üzerinde haslık dereceleri. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 77-41.
- Hassanpour, A., Moradi, M., Tajik, H., & Molaei, R. (2022). Development of two types of intelligent indicators based on cellulose, black carrot, and grape anthocyanins for monitoring food freshness/spoilage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(6), 4295-4302. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01507-x>
- He, X. L., Li, X. L., Lv, Y. P., & He, Q. (2015). Composition and color stability of anthocyanin-based extract from purple sweet potato. *Food Science and Technology*, 35(3), 468–473. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6687>
- Hisar, Ş.A. (2002). Modifiye Atmosferde Ambalajlamanın Gökkuşáğı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Filetolarının Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özelliklerine Etkisi. (Yayın No. 141351) [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi].
- Hoseini, S. M., Mirghaedi, A. T., Ghelichpour, M., Pagheh, E., Iri, Y., & Kor, A. (2020). Effects of dietary tryptophan supplementation and stocking density on growth performance and stress responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 519, Article 734908. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734908>
- Hsiao, H. I., & Chang, J. N. (2017). Developing a microbial time–temperature indicator to monitor total volatile basic nitrogen change in chilled vacuum-packed grouper fillets. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), Article e13158.
- Hu, H., Yao, X., Qin, Y., Yong, H., & Liu, J. (2020). Development of multifunctional food packaging by incorporating betalains from vegetable amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) into quaternary ammonium chitosan/fish gelatin blend films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159, 675–684. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.103>
- Huang, J., Chen, M., Zhou, Y., Li, Y., & Hu, Y. (2020). Functional characteristics improvement by structural modification of hydroxypropyl methylcellulose modified polyvinyl alcohol films incorporating roselle anthocyanins for shrimp freshness monitoring. *International journal of biological macromolecules*, 162, 1250-1261. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.156>
- Huang, S., Xiong, Y., Zou, Y., Dong, Q., Ding, F., Liu, X., & Li, H. (2019). A novel colorimetric indicator based on agar incorporated with Arnebia euchroma root extracts for monitoring fish freshness. *Food Hydrocolloids*, 90, 198-205. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.009>
- Huang, X. W., Zou, X. B., Shi, J. Y., Guo, Y., Zhao, J. W., Zhang, J., & Hao, L. (2014). Determination of pork spoilage by colorimetric gas sensor array based on natural pigments. *Food Chemistry*, 145, 549–554. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.101>
- Huang, Y. G., Wang, G. Y., Qi, K. X., & Fang, P. F. (2021). Study on Freshness Indicator Agent of Natural Plant Dyes. In *Advances in Artificial Intelligence and Security: 7th International Conference, ICAIS 2021, Dublin, Ireland, July 19-23, 2021, Proceedings, Part II 7* (pp. 530-540). Springer International Publishing.
- Huss, H.H. (1995). *Quality and Quality Changes in Fresh Fish*. FAO Fisheries Technical Paper, 348p, Rome.
- ICMSF, (1986). International Commission on Microbiological Specifications for Foods. *Sampling plans for fish and shellfish, in Microorganisms in Foods. Sampling for*

- Indriyati, Yudianti, R., & Karina, M. (2012). Development of nanocomposites from bacterial cellulose and poly(vinyl alcohol) using casting-drying method. *Procedia Chemistry*, 4, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2012.06.011>
- Isah, K. U., Ahmadu, U., Idris, A., Kimpa, M. I., Uno, U. E., Ndamitso, M. M., & Alu, N. (2015). Betalain pigments as natural photosensitizers for dye-sensitized solar cells: the effect of dye pH on the photoelectric parameters. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 4, 39. <https://doi.org/10.1007/s40243-014-0039-0>
- İnal, T. (1992). *Besin Hijyeni Hayvansal Gıdaların Sağlık Kontrolü*. 2.baskı, Final Ofset A.Ş., İstanbul, 783 s.
- İnanlı, A. G., Özpolat, E., Çoban, Ö. E., & Karaton, N. (2011). Alabalık keki yapımı ve ürünün duyuusal, kimyasal kalitesi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(1), 149-153.
- İnanlı, A. G., Patır, B. (2004). Tuzlanmış ve potasyum sorbat uygulanmış alabalık (*Oncorhynchus mykiss* W.) filetolarının raf ömrü ile sorbat kalıntılarının incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 17(2), 23-30.
- Jamróz, E., Kulawik, P., Guzik, P., & Duda, I. (2019a). 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, Article 105211. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105211>
- Jamróz, E., Kulawik, P., Krzyściak, P., Talaga-Ćwiertnia, K., & Juszcak, L. (2019b). Intelligent and active furcellaran-gelatin films containing green or pu-erh tea extracts: Characterization, antioxidant and antimicrobial potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 745–757. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.008>
- 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. (2019). Preparation and characterization of indicator films from carboxymethyl-cellulose/starch and purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) lam) anthocyanins for monitoring fish freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 359-372.
- Jorgensen, B. M., Oehlenschläger, J., Olafsdottir, G., Tryggvadottir, S. V., Careche, M., Heia, K., Nesvadba, P., Nunes, M. L., Poli, B. M., Di Natale, C., Perez-Villareal, B., Ballo, H., Luten, J., Smelt, A., Denton, W., Bossier, P., Hattula, T., Akesson, G. (2003). A study of the attitudes of the European fish sector towards quality monitoring and labelling. In: *Quality of Fish From Catch to Consumer*, Luten, J. B., Oehlenschläger, J., Olafsdottir (Eds.), Wageningen Academic Publishers, Netherlands, 57-74.
- Jouki, M., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., Koocheki, A., & Khazaei, N. (2014). Effect of quince seed mucilage edible films incorporated with oregano or thyme essential oil on shelf life extension of refrigerated rainbow trout fillets. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.01.001>
- Julyaningsih, A. H., Latief, R., & Dirpan, A. (2020). The making of smart and active packaging on tuna fillet. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 486, No. 1, p. 012053). IOP Publishing.
- Jurd, L., & Geissman, T. A. (1963). Anthocyanins and related compounds. ii. structural transformations of some anhydro bases. *The Journal of Organic Chemistry*, 28(9), 2394-2397. <https://doi.org/10.1021/jo01044a060>
- Kaba, N., & Corapci, B. (2014). 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(6), 2155-2166.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.12195>
- Kan, J., Liu, J., Xu, F., Yun, D., Yong, H., & Liu, J. (2022). Development of pork and shrimp freshness monitoring labels based on starch/polyvinyl alcohol matrices and anthocyanins from 14 plants: A comparative study. *Food Hydrocolloids*, 124, Article 107293.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107293>
- Kanatt, S. R. (2020). 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, Article 100506.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100506>
- Kasım, M. U., & Kasım, R. (2019). Gıdalarda Akıllı Ambalajların Geleceği, Avantaj ve Dezavantajları. *International Marmara Sciences Congress (Autumn) 2019*. Proceedings Book (Natural and Applied Sciences).
- Kaur, R., Khullar, P., Mahal, A., Gupta, A., Singh, N., Ahluwalia, G. K., & Bakshi, M. S. (2018). Keto-enol tautomerism of temperature and pH sensitive hydrated curcumin nanoparticles: Their role as nanoreactors and compatibility with blood cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(45), 11974–11980.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03893>
- Kaya Öztürk, D., Baki, B., Öztürk, R., Karayücel, S., & Uzun Gören, G. (2019). Determination of growth performance, meat quality and colour attributes of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in the southern Black Sea coasts of Turkey. *Aquaculture Research*, 50(12), 3763-3775. <https://doi.org/10.1111/are.14339>
- Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 61(1), Article 1361779.
<https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>
- Kılınç, B., Çaklı, Ş., Dinçer, T., Tolasa, S. (2009). Microbiological, chemical, sensory, color, and textural changes of rainbow trout fillets treated with sodium acetate, sodium lactate, sodium citrate, and stored at 4 °C. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 18(1-2): 3-17. <https://doi.org/10.1080/10498850802580924>
- Kietzmann, U., Priebe, K., Rakov, D., Rekhstein, K. (1969). *Seefisch als Lebensmittel*. Paul Parey Verlag. Hamburg Berlin, 368 p.
- Kızılkaya, P. (2020). *Nanokompozit kaplama materyallerinin alabalık filetolarında kullanım imkânları*. (Yayın No. 630459) [Yayınlanmış Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi].
- Kocaadam, B., & Şanlıer, N. (2017). Curcumin, an active component of turmeric (*Curcuma longa*), and its effects on health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(13), 2889–2895. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1077195>
- Kocatepe, D. (2010). *Farklı modifiye atmosfer koşullarında paketlenen ve buzdolabı sıcaklığında depolanan levrek balığının (Dicentrarchus labrax, Linnaeus 1758) fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik yönden incelenmesi*. (Yayın No. 275715) [Yayınlanmış Doktora Tezi, Sinop Üniversitesi].
- Kocatepe, D., Turan H., Altan C. O., Keskin İ., & Ceylan A. (2016). Effect of modified atmosphere packaging on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) mince. *Food Science and Technology International*, 22(4), 343-352.
<https://doi.org/10.1177/1082013215601771>
- Kolsarıcı, A., & Özkaya, O. (1998). Gökkuşaağı alabalığı (*Salmo gairdneri*)’nın raf ömrü üzerine tütüleme yöntemleri ve depolama sıcaklığının etkisi. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 22, 273-284.

- Koosha, M., & Hamed, S. (2019). Intelligent Chitosan/PVA nanocomposite films containing black carrot anthocyanin and bentonite nanoclays with improved mechanical, thermal and antibacterial properties. *Progress in Organic Coatings*, 127, 338–347. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.11.028>
- Korkmaz, F. (2016). *Yenilebilir biyofilm olarak kinoa (Chenopodium quinoa)'nın gökkuşağı alabalığı (Onchorynchus mykiss) filetolarının raf ömrü üzerine etkisinin araştırılması*. (Yayın No. 434879) [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi].
- Kostaki, M., Giatrakou, V., Savva, I. N. & Kontominas, M. G. (2009). Combined effect of MAP and thyme essential oil on the microbiological, chemical and sensory attributes of organically aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) filets. *Food Microbiology*, 26 (5), 475–482. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.02.008>
- Kumar, S., Mukherjee, A., & Dutta, J. (2020). Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 196–209. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>
- Kurek, M., Garofulić, I. E., Bakić, M. T., Ščetar, M., Uzelac, V. D. & Galić, K. (2018). Development and evaluation of a novel antioxidant and pH indicator film based on chitosan and food waste sources of antioxidants. *Food Hydrocolloids*, 84, 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.050>
- Kuswandi, B. (2017). *Freshness sensors for food packaging*. Reference Module in Food Science. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21876-3>
- Kuswandi, B., & Nurfawaidi, A. (2017). On-package dual sensors label based on pH indicators for real-time monitoring of beef freshness. *Food Control*, 82, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.028>
- Kuswandi, B., Asih, N. P., Pratoko, D. K., Kristiningrum, N., & Moradi, M. (2020). Edible pH sensor based on immobilized red cabbage anthocyanins into bacterial cellulose membrane for intelligent food packaging. *Packaging Technology and Science*, 33(8), 321–332. <https://doi.org/10.1002/pts.2507>
- Kuswandi, B., Restyana, A., Abdullah, A., Heng, L. Y., & Ahmad, M. (2012). A novel colorimetric food package label for fish spoilage based on polyaniline film. *Food control*, 25(1), 184–189. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.10.008>
- Lako, J., Trenerry, V. C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., & Premier, R. (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101, 1727–1741. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.031>
- Lannelongue, M., Finne, G., Hanna, M. O., Nickelson, R., & Vanderzant, G. (1982). Storage characteristics of brown shrimp (*Penaeus aztecus*) stored in retail packages containing CO₂-enriched atmospheres. *Journal of Food Science*, 47(3), 911–913. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1982.tb12743.x>
- Lantano, C., Alfieri, I., Cavazza, A., Corradini, C., Lorenzi, A., Zucchetto, N., & Montenero, A. (2014). Natamycin based sol–gel antimicrobial coatings on polylactic acid films for food packaging. *Food Chemistry*, 165, 342–347. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.066>
- Latos-Brozio, M., & Masek, A. (2020). The application of natural food colorants as indicator substances in intelligent biodegradable packaging materials. *Food and Chemical Toxicology*, 135, Article 110975. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110975>
- Lauro, G.J. and Francis, F. J. (2000). Natural Food colours, Science and technology. *IFT Basic Symposium Series 14*, Marcel Dekker, CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482270518>

- Lavoine, N., & Bergström, L. (2017). Nanocellulose-based foams and aerogels: processing, properties, and applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(31), 16105–16117. <https://doi.org/10.1039/C7TA02807E>
- Layrisse, M. E., & Matches, J. R. (1984). Microbiological and chemical changes of spotted shrimp (*Pandalus platyceros*) stored under modified atmospheres. *Journal of Food Protection*, 47(6), 453–457. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-47.6.453>
- Lee, K., Baek, S., Kim, D., & Seo, J. (2019). A freshness indicator for monitoring chicken-breast spoilage using a Tyvek® sheet and RGB color analysis. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.016>
- Li, S., Jiang, Y., Zhou, Y., Li, R., Jiang, Y., Alomgir Hossen, M., Dai, J., Qin, W., & Liu, Y. (2022). Facile fabrication of sandwich-like anthocyanin/chitosan/lemongrass essential oil films via 3D printing for intelligent evaluation of pork freshness. *Food Chemistry*, 370, Article 131082. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131082>
- Liang, T., & Wang, L. (2018). A pH-sensing film from tamarind seed polysaccharide with litmus lichen extract as an indicator. *Polymers*, 10(1), 13–23. <https://doi.org/10.3390/polym10010013>
- Lin, T., Wu, Y., Li, Z., Song, Z., Guo, L., & Fu, F. (2016). Visual monitoring of food spoilage based on hydrolysis-induced silver metallization of Au nanorods. *Analytical Chemistry*, 88(22), 11022–11027. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b02870>
- Linton, M., Mc Clements, J., & Patterson, M. (2003). Changes in the microbiological quality of shellfish, brought about by treatment with high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science & Technology*, 38(6), 713–727. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2003.00724.x>
- Listyarini, A., Sholihah, W., Imawan, C., & Fitriana, R. (2017). Colorimetric method by using natural dye for monitoring fish spoilage. *International Seminar on Sensor, Instrumentation, Measurement and Metrology (ISSIMM)*, 141–145. <https://doi.org/10.1109/ISSIMM.2017.8124279>
- Liu, B., Xu, H., Zhao, H., Liu, W., Zhao, L., & Li, Y. (2017). Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 157, 842–849. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.067>
- Liu, J., Wang, H., Wang, P., Guo, M., Jiang, S., Li, X., & Jiang, S. (2018). Films based on κ -carrageenan incorporated with curcumin for freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, 83, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.012>
- Liu, X., Chen, K., Wang, J., Wang, Y., Tang, Y., Gao, X., & Li, J. (2020). An on-package colorimetric sensing label based on a sol-gel matrix for fish freshness monitoring. *Food Chemistry*, 307, Article 125580. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125580>
- Lotfi, M., Tajik, H., Moradi, M., Forough, M., Divsalar, E., & Kuswandi, B. (2018). Nanostructured chitosan/monolaurin film: Preparation, characterization and antimicrobial activity against *Listeria monocytogenes* on ultrafiltered white cheese. *LWT*, 92, 576–583. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.020>
- Ludorf, W. & V. Meyer. (1973). *Fische und fischerzeugnisse*. Verlag Paul Parey, Printed in Germany bei A. W. Hayn's Erben.
- Luo, Q., Hossen, A., Sameen, D. E., Ahmed, S., Dai, J., Li, S., Qin, W., & Liu, Y. (2023). Recent advances in the fabrication of pH-sensitive indicators films and their application for food quality evaluation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 63(8), 1102–1118. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1959296>

- Lyhs, U., Lahtinen, J., Fredriksson-Ahomaa, M., Hyytiä-Trees, E., Elfing, K. & Korkeala, H. (2001). Microbiological quality and shelf life of vacuum-packaged 'gravad' rainbow trout stored at 3 and 8 °C. *International Journal of Food Microbiology*, 70, 221-230. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00548-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00548-7)
- Ma, Q., & Wang, L. (2016). Preparation of a visual pH-sensing film based on tara gum incorporating cellulose and extracts from grape skins. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 235, 401–407. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.05.107>
- Ma, Q., Du, L., & Wang, L. (2017). Tara gum/polyvinyl alcohol-based colorimetric NH₃ indicator films incorporating curcumin for intelligent packaging. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 244, 759–766. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.01.035>
- Manthey, M., Karnop, G. & Rehbein, H. (1988). Quality changes of European catfish (*Silurus glanis*) from warm water aquaculture during storage in ice. *International Journal of Food Science and Technology*, 23, 1-9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb00543.x>
- Mauriello, G., De Luca, E., La Stora, A., Villani, F. & Ercolini D. (2005). Antimicrobial activity of a nisin-activated plastic film for food packaging. *Letters in Applied Microbiology*, 41, 464-469. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2005.01796.x>
- Medina-Jaramillo, C., Ochoa-Yepes, O., Bernal, C., & Famá, L. (2017). Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. *Carbohydrate Polymers*, 176, 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.079>
- Metin, S. (2002). Modifiye atmosferde paketlenmenin alabalık burgerlerinin raf ömrü üzerine etkisi. *Gıda*, 27(3), 209-217.
- Metin, S. (2003). Modifiye Atmosferde Paketleme Teknolojisinin Alabalık Dolmalarının Kalitesi ve Raf Ömrü Üzerine Etkisi. *Gıda*, 28(1), 85-93.
- Mirtalebi, S. S., Almasi, H., & Khaledabad, M. A. (2019). Physical, morphological, antimicrobial and release properties of novel MgO-bacterial cellulose nanohybrids prepared by in-situ and ex-situ methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 848–857. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.007>
- Mitrović, T., Stamenković, S., Cvetković, V., Nikolić, M., Tošić, S., & Stojičić, D. (2011). Lichens as source of versatile bioactive compounds. *Biologica Nyssana*, 2(1), 1-6.
- Mo, R., Quan, Q., Li, T., Yuan, Q., Su, T., Yan, X., Qian, Z., Hong, P., Zhou, C., & Li, C. (2017). An intelligent label for freshness of fish based on a porous anodic aluminum membrane and bromocresol green. *ChemistrySelect*, 2(28), 8779-8784. <https://doi.org/10.1002/slct.201701313>
- Mohammadalinejad, S., Almasi, H., & Moradi, M. (2020). Immobilization of *Echium amoenum* anthocyanins into bacterial cellulose film: A novel colorimetric pH indicator for freshness/spoilage monitoring of shrimp. *Food Control*, 113, 107169. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107169>
- Mohan, C. O., Ashitha, V. A., Kishore, P., Panda, S. K., & Ravishankar, C. N. (2018). 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. <https://doi.org/10.1007/s41783-018-0025-6>
- Mohapatra, S., Kar, R. K., Biswal, P. K., & Bindhani, S. (2022). Approaches of 3D printing in current drug delivery. *Sensors International*, 3, Article 100146. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100146>
- Montilla, E. C., Arzaba, M. R., Hillebrand, S., & Winterhalter, P. (2011). Anthocyanin composition of black carrot (*Daucus carota* ssp. *sativus* var. *atrorubens* Alef.) cultivars Antonina, Beta Sweet, Deep Purple, and Purple Haze. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(7), 3385–3390. <https://doi.org/10.1021/jf104724k>

- Moradi, M., Jacek, P., Farhangfar, A., Guimarães, J. T., & Forough, M. (2021). The role of genetic manipulation and in situ modifications on production of bacterial nanocellulose: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 635-650. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.173>
- Moradi, M., Tajik, H., Almasi, H., Forough, M., & Ezati, P. (2019). A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness. *Carbohydrate polymers*, 222, Article 115030. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115030>
- Moreira, J. B., Terra, A. L. M., Costa, J. A. V., & de Moraes, M. G. (2018). Development of pH indicator from PLA/PEO ultrafine fibers containing pigment of microalgae origin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 1855–1862. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.028>
- Morsy, M. K., Zór, K., Kostashe, N., Alstrøm, T. S., Heiskanen, A., El-Tanahi, H., Sharoba, A., Papkovsky, D., Larsen, J., Khalaf, H., Jakobsen, M. H., & Emnéus, J. (2016). Development and validation of a colorimetric sensor array for fish spoilage monitoring. *Food control*, 60, 346-352. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.038>
- Musso, Y. S., Salgado, P. R., & Mauri, A. N. (2017). Smart edible films based on gelatin and curcumin. *Food Hydrocolloids*, 66, 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.11.007>
- Nilson, K. & Ekstrand, B. (1994). Refreezing rate glazing affects cod and rainbow trout muscle tissue. *Journal of Food Science*, 59(4):797-798. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb08130.x>
- Nollet, L. M. L., Toldrá, F. (2010). *Handbook of Seafood and Seafood Product Analysis*. CRC Press, Taylor& Francies Group Boca Raton, New York, pp. 928.
- Nowzari, F., Shábanpour, B., & Ojagh, S. M. (2013). Comparison of chitosan–gelatin composite and bilayer coating and film effect on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food chemistry*, 141(3), 1667-1672. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.022>.
- Oğuzhan, P., & Angiş, S. (2012). Effect of salting and packaging treatments on fresh rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during storage at refrigerator temperatures. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18(3), 443-448.
- Oğuzhan, P., Angiş, S., Haliloğlu, H. İ., & Atamanalp, M. (2006). Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarında sıcak tütsüleme sonrası kimyasal kompozisyon değişimleri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23(3), 465-466.
- Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2010). Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*, 120(1), 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.006>
- Önem, E., Mutlu, M. M., Günay, S., & Azeri, H. (2012). Soğan (*Allium Cepa*) Yumru Dış Kabuğundan Doğal Boyarmadde Ekstraksiyonu ve Deri Boyamada Kullanımı. *Journal Of Textiles & Engineers*, 19(88), 1-8. <http://dx.doi.org/10.7216/130075992012198801>
- Özçandır, S., & Yetim, H. (2010). Akıllı ambalajlama teknolojisi ve gıdalarda izlenebilirlik. *Electronic Journal of Food Technologies*, 5(1), 1-11.
- Özogul, F., Taylor, K. D. A., Quantick, P., & Özogul, Y. (2001). Chemical, microbiological and sensory evaluation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) stored in ice, modified atmosphere and vacuum pack. *Food Chemistry*, 71, 267–273. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00169-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00169-2)
- Özoğul, Y., Özoğul, F. (2004). Effects of slaughtering methods on sensory, chemical and microbiological quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored in ice and MAP. *European Food Research & Technology*, 219, 211–216.

- Özoğul, Y., Özoğul, F., & Küley, E. (2006). Modifiye Edilmiş Atmosfer Paketlemenin Balık ve Balık Ürünlerine Etkisi. *Ege University Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 23(1), 193-200.
- Özünlü, O. (2023). *Farklı et örneklerinin atmosferik ve modifiye atmosfer paketlenmesinde kullanılan tazelik indikatörü doğal ve yapay boyalar*. (Yayın No. 843048) [Yayınlanmış Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi].
- Özyılmaz, A. (2007). *Gökkuşluğu alabalığı (Oncorhynchus mykiss, Walbaum, 1972) filetolarında kekik eterik yağı kullanımının raf ömrü üzerine etkisi*. (Yayın No. 202780) [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi].
- Papageorgiou, V. P., Assimopoulou, A. N., Samanidou, V. F., & Papadoyannis, I. N. (2006). Analytical methods for the determination of alkannins and shikonins. *Current Organic Chemistry*, 10(5), 583–622. <https://doi.org/10.2174/138527206776055277>
- Patel, A., Mishra, S., Pawar, R., & Ghosh, P. K. (2005). Purification and characterization of C-Phycocyanin from cyanobacterial species of marine and freshwater habitat. *Protein Expression and Purification*, 40(2), 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2004.10.028>
- Peralta, J., Bitencourt-Cervi, C. M., Maciel, V. B., Yoshida, C. M., & Carvalho, R. A. (2019). Aqueous hibiscus extract as a potential natural pH indicator incorporated in natural polymeric films. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 47-55. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.017>
- Pereira Jr, V. A., de Arruda, I. N. Q., & Stefani, R. (2015). Active chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleraceae* (Red Cabbage) as Time–Temperature Indicators for application in intelligent food packaging. *Food hydrocolloids*, 43, 180-188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.014>
- Pervaiz, T., Songtao, J., Faghihi, F., Haider, M. S., & Fang, J. (2017). Naturally occurring anthocyanin, structure, functions and biosynthetic pathway in fruit plants. *Journal of Plant Biochemistry and Physiology*, 5(2), 1–9. <https://doi.org/10.4172/2329-9029.1000187>
- Pezeshk, S., Rezaei, M., Hosseini, H. (2011). Effects of turmeric, shallot extracts, and their combination on quality characteristics of vacuum-packaged rainbow trout stored at 4±1 °C. *Journal of Food Science*, 76, 387-391. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02242.x>
- Pham, T. N., Toan, T. Q., Lam, T. D., Vu-Quang, H., Vo, D. V. N., & Vy, T. A. (2019). Anthocyanins extraction from Purple Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam): The effect of pH values on natural color. In *IOP conference series: Materials science and engineering*, 542, Article 012031. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/542/1/012031>
- Poli, M. B., Messina, A., Parisi, G., Scappini, F., Vigiani, V., Giorgi, G. & Vincenzini, M. (2006). Sensory, pshysical, chemical and microbiological changes in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets packed under modified atmosphere/air of prepared from whole fish stored in ice. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 444-454. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01094.x>
- Pourjavaher, S., Almasi, H., Meshkini, S., Pirs, S., & Parandi, E. (2017). Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleraceae*) extract. *Carbohydrate polymers*, 156, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.027>
- Pournis, N., Papavergou, A., Badeka, A., Kontominas, M. G., Savvaidis, I. N. (2005). Shelf- life extension of refrigerated Mediterranean mullet (*Mullus surmuletus*) using modified atmosphere packaging. *Journal of Food Protection*, 68(10), 2201-2207. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-68.10.2201>

- Qin, Y., Liu, Y., Zhang, X., & Liu, J. (2020). Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel into starch/polyvinyl alcohol films. *Food Hydrocolloids*, 100, Article 105410. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105410>
- Rasmussen, R. S. (2001). Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics. *Aquaculture Research*, 32, 767–786. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00617.x>
- Rather, L. J., Jameel, S., Ganie, S. A., & Bhat, K. A. (2018). Lichen derived natural colorants: History, Extraction, and Applications. In M. Yusuf (Ed.), *Handbook of renewable materials for coloration and finishing* (pp. 103–114). Beverly: Scrivener Publishing LLC.
- Ravichandran, K., Saw, N. M. M. T., Mohdaly, A. A. A., Gabr, A. M. M., Kastell, A., Riedel, H., & Smetanska, I. (2013). Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. *Food Research International*, 50(2), 670–675. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.002>
- Razavi, R., Molaei, R., Moradi, M., Tajik, H., Ezati, P., & Shafipour Yordshahi, A. (2020a). Biosynthesis of metallic nanoparticles using mulberry fruit (*Morus alba* L.) extract for the preparation of antimicrobial nanocellulose film. *Applied Nanoscience*, 10(2), 465–476. <https://doi.org/10.1007/s13204-019-01137-8>
- Razavi, R., Tajik, H., Moradi, M., Molaei, R., & Ezati, P. (2020b). Antimicrobial, microscopic and spectroscopic properties of cellulose paper coated with chitosan sol-gel solution formulated by epsilon-poly-L-lysine and its application in active food packaging. *Carbohydrate Research*, 489, Article 107912. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2020.107912>
- Reddy, N. R., Roman, M. G., Villanueva, M., Solomon, H. M., Kautter, D. A., & Rhodehamel, E. J. (1997). Shelf life and Clostridium botulinum toxin development during storage of modified atmosphere-packaged fresh catfish filets. *Journal of Food Science*, 62(4), 878–884. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15478.x>
- Rezaei, M., Hosseini, S.F. (2008). Quality assessment of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during chilled storage. *Journal of Food Science*, 73, 93–96. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00792.x>
- Rezaeifar, M., Mehdizadeh, T., Langroodi, A. M., Rezaei, F. (2020). 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(3), Article 12781. <https://doi.org/10.1111/jfs.12781>
- Rizvi, S. H. , Daniels, J. A. , Benado, A. L., & Zollweg, J. A. (1986). Supercritical fluid extraction: operating principle and food applications. *Food Technology*, 6, 57–64.
- Roger, S., John, I., Mark, W. & Page, P. (1987). *General microbiology*. Fifth edition, published by Macmillan Education Ltd, Houndmills, Basingstoke, Hampshire, RG21 2xs and London, 689 p.
- Rossi, C., Chaves-López, C., Serio, A., Goredó, E., Goga, B. T. C., & Paparella, A. (2016). 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. <https://doi.org/10.4081%2Fijfs.2016.5793>
- Roy, S., & Rhim, J. W. (2020). Anthocyanin food colorant and its application in pH- responsive color change indicator films. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(14), 2297–2325. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1776211>
- Rukchon, C., Nopwinyuwong, A., Trevanich, S., Jinkarn, T., & Suppakul, P. (2014). Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast. *Talanta*, 130, 547–554. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.07.048>

- Saliu, F., & Della Pergola, R. (2018). Carbon dioxide colorimetric indicators for food packaging application: Applicability of anthocyanin and poly-lysine mixtures. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 258, 1117–1124. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.12.007>
- Sampels, S. (2015). The effects of processing technologies and preparation on the final quality of fish products. *Trends in Food Science & Technology*, 44(2), 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.003>
- Santos, E. E. M. & Regenstein, J. M. (1990). Effect of vacuum packaging, glazing, and erythorbic acid on the shelf-life of frozen white hake and mackerel. *Journal of Food Science*, 55(1), 64–70. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06017.x>
- Shahmohammadi Jebel, F., & Almasi, H. (2016). Morphological, physical, antimicrobial and release properties of ZnO nanoparticles-loaded bacterial cellulose films. *Carbohydrate Polymers*, 149, 8–19. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2016.04.089>
- Sharma, R., & Ghoshal, G. (2018). Emerging trends in food packaging. *Nutrition & Food Science*, 48(5), 764–779. <https://doi.org/10.1108/NFS-02-2018-0051>
- Shi, C., Zhang, J., Jia, Z., Yang, X., & Zhou, Z. (2021). Intelligent pH indicator films containing anthocyanins extracted from blueberry peel for monitoring tilapia fillet freshness. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(5), 1800–1811. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10794>
- Sidwell, V. D. (1980). *Chemical and nutritional composition of finfishes, whales, crustaceans, mollusks, and their products* (Vol. 55). US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service.
- Sikorski, Z.E. (2009). Food quality and standards pertaining to fish. P. 142. In Lasztity, R. (ed.) *Food quality and standarts – Vol II*. Eolss Publishers/ UNESCO, Oxford, United Kingdom. ISBN-978-1-905839-42-1.
- Silva-Pereira, M. C., Teixeira, J. A., Pereira-Júnior, V. A., & Stefani, R. (2015). Chitosan/ corn starch blend films with extract from *Brassica oleraceae* (red cabbage) as a visual indicator of fish deterioration. *LWT–Food Science and Technology*, 61(1), 258–262. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.041>
- Silva, S., Costa, E. M., Calhau, C., Morais, R. M., & Pintado, M. E. (2017). Anthocyanin extraction from plant tissues: A review. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 57(14), 3072–3083. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087963>
- Stoica-Guzun, A., Stroescu, M., Jinga, S., Jipa, I., Dobre, T., & Dobre, L. (2012). Ultrasound influence upon calcium carbonate precipitation on bacterial cellulose membranes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(4), 909–915. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2011.12.002>
- Stroud, G.D. (1972). *The herring*. Torrey Advisory Note No. 57.
- Sun, G., Chi, W., Zhang, C., Xu, S., Li, J., & Wang, L. (2019). Developing a green film with pH-sensitivity and antioxidant activity based on κ-carrageenan and hydroxypropyl methylcellulose incorporating *Prunus maackii* juice. *Food Hydrocolloids*, 94, 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.039>
- Sümbüloğlu, K., Sümbüloğlu, V. (2007). *Biyoistatistik*, Hatipoğlu Yayınları, 299 s.
- Taherkhani, E., Moradi, M., Tajik, H., Molaei, R., & Ezati, P. (2020). 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.177>
- Tang, B., He, Y., Liu, J., Zhang, J., Li, J., Zhou, J., & Wang, X. (2019). Kinetic investigation into pH-dependent color of anthocyanin and its sensing performance. *Dyes and Pigments*, 170, Article 107643. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.107643>

- Taoukis, P. S., Koutsoumanis, K., & Nychas, G. J. E. (1999). Use of time– temperature integrators and predictive modelling for shelf life control of chilled fish under dynamic storage conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 53, 21–31. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(99\)00142-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(99)00142-7)
- Taşcı, B., & Koca, İ. (2019). Mor soğanın (*Allium cepa* L.) Önemli Bileşiği: Kersetin ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi*, 4(2), 32-37.
- TGK, (2018). Türk gıda kodeksi. *Gıda ile temas eden madde ve malzemelere dair yönetmelik*. Resmi Gazete, No: 30382, 5 Nisan 2018.
- Tirtashi, F. E., Moradi, M., Tajik, H., Forough, M., Ezati, P., & Kuswandi, B. (2019). Cellulose/chitosan pH-responsive indicator incorporated with carrot anthocyanins for intelligent food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 136, 920-926. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.148>
- Tiwari, A., Singh, A., Garg, N., & Randhawa, J. K. (2017). Curcumin encapsulated zeolitic imidazolate frameworks as stimuli responsive drug delivery system and their interaction with biomimetic environment. *Scientific Reports*, 7(1), 12598. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12786-6>
- Tolstorebrov, I., Eikevik, T. M., & Bantle, M. (2016). Effect of low and ultra-low temperature applications during freezing and frozen storage on quality parameters for fish. *International Journal of Refrigeration*, 63, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.11.003>
- Topuz, F., & Uyar, T. (2020). Antioxidant, antibacterial and antifungal electrospun nanofibers for food packaging applications. *Food Research International*, 130, Article 108927. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108927>
- TÜİK, (2024). Türkiye İstatistik Kurumu. *Su Ürünleri İstatistikleri* <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1>. (Erişim tarihi: 05.06.2024)
- Turturică, M., Oancea, A. M., Răpeanu, G., & Bahrim, G (2015). Anthocyanins: naturally occurring fruit pigments with functional properties. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI-Food Technology*, 39(1), 9–24.
- UN Nutrition, (2021). *The role of aquatic foods in sustainable healthy diets*. Discussion Paper. www.unnnutrition.org/wp-content/uploads/FINAL-UN-Nutrition-Aquatic-foods-Paper_EN_.pdf (Erişim tarihi: 24.05.2024)
- Unusan, N. (2007). Change in proximate, amino acid and fatty acid contents in muscle tissue of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after cooking. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(9): 1087-1093. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01354.x>
- Vaikousi, H., Biliaderis, C. G., & Koutsoumanis, K. P. (2009). Applicability of a microbial Time Temperature Indicator (TTI) for monitoring spoilage of modified atmosphere packed minced meat. *International Journal of Food Microbiology*, 133, 272-278. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.05.030>
- Varlık, C., Özden, Ö., Erkan, N., Üçok Alakavuk, D. (2007). *Su Ürünlerinde Temel Kalite Kontrol*. İstanbul Üniversitesi yayını no: 4662. ISBN 975-404-771-5. 202 s.
- Varlık, C., Uğur, M., Gökoğlu, N., Gün, H. (1993). *Su Ürünlerinde Kalite Kontrol İlke ve Yöntemleri*. Gıda Teknolojisi Dernegi Yayın No: 17, Ankara, 174 s.
- Vo, T. S., Ryu, B., & Kim, S. K. (2013). Purification of novel anti-inflammatory peptides from enzymatic hydrolysate of the edible microalgal *Spirulina maxima*. *Journal of Functional Foods*, 5(3), 1336–1346. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.05.001>

- Volpe, M. G., Siano, F., Paolucci, M., Sacco, A., Sorrentino, A., Malinconico, M., Varricchio, E. (2015). Active edible coating effectiveness in shelf-life enhancement of trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *LWT-Food Science and Technology*, 60(1), 615-622.
- Wei, Y. C., Cheng, C. H., Ho, Y. C., Tsai, M. L., & Mi, F. L. (2017). Active gellan gum/purple sweet potato composite films capable of monitoring pH variations. *Food Hydrocolloids*, 69, 491-502. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.010>
- Wells, N., Yusufu, D., & Mills, A. (2019). Colourimetric plastic film indicator for the detection of the volatile basic nitrogen compounds associated with fish spoilage. *Talanta*, 194, 830–836. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.11.020>
- World Health Organization, (2020). Food safety. <https://www.who.int/health-topics/food-safety/> (Erişim Tarihi 09.05.2024).
- Wong, H. C., Jiang, H. Y., Lin, H. Y., & Wang, Y. T. (2015). Microbiological quality of seafood marketed in Taiwan. *Journal of food protection*, 78(11), 1973-1979. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-152>
- Wu, C., Sun, J., Chen, M., Ge, Y., Ma, J., Hu, Y., & Yan, Z. (2019). Effect of oxidized chitin nanocrystals and curcumin into chitosan films for seafood freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, 95, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.047>
- Wu, S., Wang, W., Yan, K., Ding, F., Shi, X., Deng, H., & Du, Y. (2018). Electrochemical writing on edible polysaccharide films for intelligent food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 186, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.058>
- Wu, Y., Tang, P., Quan, S., Zhang, H., Wang, K., & Liu, J. (2021). Preparation, characterization and application of smart packaging films based on locust bean gum/polyvinyl alcohol blend and betacyanins from cockscomb (*Celosia cristata* L.) flower. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 679–688. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.113>
- Xu, Y., Yang, N., Yang, J., Hu, J., Zhang, K., Nishinari, K., & Fang, Y. (2020). Protein/polysaccharide intramolecular electrostatic complex as superior food-grade foaming agent. *Food Hydrocolloids*, 101, Article 105474. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105474>
- Yanar, Y., Çelik, M., Akamca, E. (2006). Effects of brine concentration on shelf-life of hot-smoked tilapia (*Oreochromis niloticus*) stored at 4 °C. *Food Chemistry*, 97, 244–247. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.043>
- Yang, Z., Zhai, X., Zou, X., Shi, J., Huang, X., Li, Z., & Xiao, J. (2021). Bilayer pH- sensitive colorimetric films with light-blocking ability and electrochemical writing property: Application in monitoring crucian spoilage in smart packaging. *Food Chemistry*, 336, Article 127634. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127634>
- Yapar, A. (1993). *Balık pastırması üretimi ve kalite parametrelerinin belirlenmesi*. (Yayın No. 28653) [Yayınlanmış Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi]
- Yapıcı, H. H. (2020). *Bazı Mikrobiyolojik Metabolitlerin Çipura (Sparus aurata)'daki Bozucu Mikroorganizmalar Üzerine Etkisi ve Soğukta Depolama Aşamasında Kullanılma Potansiyeli*. (Yayın No. 652110) [Yayınlanmış Doktora Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi]
- Yavuzer, E. (2011). Doğal ve ticari yemle beslenen gökkuşığı alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) buzda depolanma süresince kimyasal, duyuşal ve mikrobiyolojik değişimler. (Yayın No. 285276) [Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi]
- Yerlikaya, P., Yatmaz, H. A., Gökoğlu, N., & Uçak, I. (2017). The quality alterations of rainbow trout mince treated with transglutaminase. *LWT*, 84(2017), 815-820. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.034>

- Yingyuad, B. S., Ruamsin, S., Reekprkhon, D., Douglas, S., Pongamphai, S., & Siripatrawan, U. (2006). Effect of Chitosan Coating and Vacuum Packaging on the Quality of Refrigerated Grilled Pork. *Packaging Technology and Science*, 19, 149-157. <https://doi.org/10.1002/pts.717>
- Yong, H., Liu, J., Qin, Y., Bai, R., Zhang, X., & Liu, J. (2019a). Antioxidant and pH- sensitive films developed by incorporating purple and black rice extracts into chitosan matrix. *International Journal of Biological Macromolecules*, 137, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.009>
- Yong, H., Wang, X., Zhang, X., Liu, Y., Qin, Y., & Liu, J. (2019b). Effects of anthocyanin- rich purple and black eggplant extracts on the physical, antioxidant and pH-sensitive properties of chitosan film. *Food Hydrocolloids*, 94, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.012>
- York, R. K. & Sereda, L. M. (1994). Sensory assessment of quality in fish and seafoods. In, F. Shahidi and J.R. Botta (Eds.) *Seafoods: Chemistry, Processing Technology and Quality*, Canada, 232-262p.
- Yoshida, C. M., Maciel, V. B. V., Mendonça, M. E. D., & Franco, T. T. (2014). Chitosan biobased and intelligent films: Monitoring pH variations. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.015>
- Young, H., Anang, D. M., & Tiwari, B. K. (2014). Shelf life and textural properties of cooked-chilled black tiger prawns (*Penaeus monodon*) stored in vacuum pack or modified atmospheric packaging at 4 or 20 °C. *Food Packaging and Shelf Life*, 2(2), 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.07.001>
- Yousefi, H., Su, H. M., Imani, S. M., Alkhalidi, K., M. Filipe, C. D., & Didar, T. F. (2019). Intelligent food packaging: A review of smart sensing technologies for monitoring food quality. *ACS sensors*, 4(4), 808-821. <https://doi.org/10.1021/acssensors.9b00440>
- Zamani, A., Khajavi, M., Moafi, A., Gisbert, E. (2020). Utilization of grape seed oil as a dietary lipid source in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets. *Journal of Applied Aquaculture*, 33(2), 126-149. <https://doi.org/10.1080/10454438.2020.1722305>
- Zhai, X., Shi, J., Zou, X., Wang, S., Jiang, C., Zhang, J., Huang, X., Zhang, W., & Holmes, M. (2017). Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, 69, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.014>
- Zhai, X., Li, Z., Zhang, J., Shi, J., Zou, X., Huang, X., & Holmes, M. (2018). Natural biomaterial-based edible and pH-sensitive films combined with electrochemical writing for intelligent food packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(48), 12836–12846. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04932>
- Zhai, X., Li, Z., Shi, J., Huang, X., Sun, Z., Zhang, D., Zou, X., Sun, Y., Zhang, J., Holmes, M., Gong, Y., Povey, M., & Wang, S. (2019). A colorimetric hydrogen sulfide sensor based on gellan gum-silver nanoparticles bionanocomposite for monitoring of meat spoilage in intelligent packaging. *Food chemistry*, 290, 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.138>
- Zhai, X., Zou, X., Shi, J., Huang, X., Sun, Z., Li, Z., & Xiao, J. (2020). Amine-responsive bilayer films with improved illumination stability and electrochemical writing property for visual monitoring of meat spoilage. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 302, Article 127130. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127130>
- Zhang, J., Zou, X., Zhai, X., Huang, X., Jiang, C., & Holmes, M. (2019). Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness. *Food Chemistry*, 272, 306–312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.041>

- Zhang, X., Lu, S., & Chen, X. (2014). A visual pH sensing film using natural dyes from *Bauhinia blakeana* Dunn. *Sensors and actuators B: Chemical*, 198, 268-273. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.02.094>
- Zhang, Y., Mao, Y., Li, K., Dong, P., Liang, R., & Luo, X. (2011). Models of *Pseudomonas* Growth Kinetics and Shelf Life in Chilled Longissimus dorsi Muscles of Beef. *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 24, 713-722. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10404>
- Zhao, Y., Gao, L., Wang, J., Xue, Z., Zhang, M., Ma, X., Wang, G., & Lv, S. (2023). Preparation and application of ph-sensitive film containing anthocyanins extracted from *Lycium ruthenicum* Murr. *Materials*, 16(10), 3828. <https://doi.org/10.3390/ma16103828>
- Zia, J., Mancini, G., Bustreo, M., Zych, A., Donno, R., Athanassiou, A., & Fragouli, D. (2021). Porous pH natural indicators for acidic and basic vapor sensing. *Chemical Engineering Journal*, 403, Article 126373. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126373>



ETİK KURUL KARARI

Evrak Tarih ve Sayısı: 05.03.2024-245268



T.C.
SINOP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
İnsan Araştırmaları Etik Kurulu
Karar Belgesi

Oturum Tarihi	Oturum Sayısı	Oturum Karar Sayıları
29.02.2024	2	2024/17-41

Sinop Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Prof. Dr. Erkal ARSLANOĞLU başkanlığında 29.02.2024 tarihinde 09:30-12:00 saatleri arasında toplanarak aşağıdaki kararı almıştır.

Karar Sayısı: 2024/34

Arş. Gör. Bayram KÖSTEKLİ, Prof. Dr. Mehmet Emin ERDEM, Doç. Dr. Bengünur ÇORAPCI, Dr. Öğr. Üyesi Can Okan ALTAN ve Doktora Öğrencisi Rukiye KÖKLÜ'nün 21 Şubat 2024 tarihli "Soğuk Muhafaza Koşullarında Depolanan Gökkuşuğu Alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) Kalitesinin Belirlenmesinde pH'a Duyarlı Akıllı Etiket Geliştirilmesi" başlıklı araştırmalarına ait ekte sunulan belgeler, Üniversitemiz İnsan Araştırmaları Etik Kurulunca değerlendirilmiştir.

Araştırmanın fikri, hukuki ve telif hakları bakımından metot ve ölçeğine ilişkin sorumluluğu araştırmacılara ait olmak üzere ve "Kişisel Verilerin Korunması Kanununa" dikkat edilmesi şartıyla Üniversitemiz İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Yönergesine "Uygun" olduğunun kabulüne, sonucun sorumlu araştırmacı Arş. Gör. Bayram KÖSTEKLİ'ye bildirilmesine oybirliği ile karar verildi.

Ek:

- 1- Etik Kurul Başvuru Formu (6 Sayfa)
- 2- Dekanlık İzin Yazısı (1 Sayfa)
- 3- Veri Toplama Araçları (1 Sayfa)
- 4- Beyanlar Taahhütnameler (8 Sayfa)
- 5- Bilgilendirilmiş Onam Formu (1 Sayfa)

Prof. Dr. Erkal ARSLANOĞLU
İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Başkanı

Doç. Dr. Songül ÇEK
Başkan Yardımcısı

Doç. Dr. Ahmet MOR
Kurul Üyesi

Doç. Dr. İbrahim DEMİRCİ
Kurul Üyesi

Doç. Dr. Aydın ÜNAL
Kurul Üyesi

Doç. Dr. Bilge BAL ÖZKAPTAN
Kurul Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Nestihan ŞAHİN
Kurul Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Hilal KARAKUŞ
Kurul Üyesi

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu :BSRKN3BBU/ Pin Kodu :18392

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=5743&eD=BSRKN3BBU/&eS=245268>

Adres:Korucuk Mah. Üniversite Cad. 15 Temmuz Yerleşkesi Rektörlük Binası No:21B 57010 Merkez/SINOP

Telefon:(0 368) 271 57 68 Faks:(0 368) 271 57 70

e-Posta:inarek@sinop.edu.tr İnternet Adresi:www.inarek.sinop.edu.tr

Kep Adresi:sinopuniversitesi@hs01.kep.tr

Raportör: Mehmet ÇAY

Unvanı: Bilgisayar İşletmeni

Tel No: 1207



2024/34 Sayılı İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Kararı – Sayfa 1 / 1

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bayram KÖSTEKLİ

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Akşehir Selçuklu Yabancı Dil Ağırlıklı Lise, 2008

Lisans : Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, 2013

Yüksek Lisans : Sinop Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi (Arş. Gör), 2020-...

Yayın Listesi

1. Altan, C.O., Kocatepe, D., Çorapçı, B., **Köstekli, B.** & Turan H. (2024). A Comprehensive Investigation of Tenderization Methods: Evaluating the Efficacy of Enzymatic and Non-Enzymatic Methods in Improving the Texture of Squid Mantle — A Detailed Comparative Study. Food Bioprocess Technol(2024).
2. Kocatepe, D., Çorapçı, B., Altan, C., **Köstekli, B.**, Keskin, İ., & Turan, H. (2024). Potential Contribution of Farmed Fishes to The Recommended Nutrient Intakes (RNIs): A Case Study of Farmed Atlantic Salmon (*S. salar*) and Different Origin Large Rainbow Trout (*O. mykiss*). Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 14(1), 23-37.
3. Kocatepe, D., Çorapçı, B., Altan, C. O., **Köstekli, B.**, & Turan, H. (2023). Effect of microbial transglutaminase addition on reconstructed frozen rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) meatballs' quality. Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society, 74(4), 6425-6438.
4. Altan, C. O., Kocatepe, D., İpar, M. S., Çorapçı, B., **Köstekli, B.** & Turan, H. (2023). The Effect of Microbial Transglutaminase (MTGase) Enzyme on Physical, Sensorial and Nutritional Properties of Atlantic Salmon (*Salmo salar* Linnaeus, 1758) Meatballs. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG), 40 (1) , 41-49 . DOI: 10.55507/gopzfd.1219841
5. Altan, C. O., **Köstekli, B.**, Çorapçı, B., İpar, M. S., Kocatepe, D., & Turan, H. (2022). The sensory characteristics, nutritional profile and physical changes of the

Atlantic bonito (*Sarda sarda* Bloch, 1793) gravlax: Effect of dill (*Anethum graveolens*) and garden cress (*Lepidium sativum*). International Journal of Gastronomy and Food Science, 28, 100490.

6. Kocatepe, D., Turan, H., **Köstekli, B.**, Altan, C. O., & Çorapci, B. (2022). Preliminary investigation of the nutritional composition of two commercial fish species: Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society, 73(4), 4817-4826.
7. Keskin, İ., Köstekli, B., & Erdem, M. E. (2022). Orta Karadeniz Bölgesinde Satılan Türk Somonu ile Atlantik Somonunun Besin İçeriği ve Yağ Asidi Kompozisyonu Yönünden Karşılaştırılması. Akademik Et ve Süt Kurumu Dergisi, (3), 18-25.
8. Erdem, M. E., Tunçtaş, N., Köstekli, B., & Keskin, İ. (2022). Su Ürünlerinde Kullanılan Paketleme Yöntemleri: Vakum Paketleme, MAP, Biosensörler, Oksijen Emici Etiketler. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 7(2), 128-137.
9. Turan, H., Çorapci, B., Keskin, I., **Köstekli, B.**, Eyuboglu, A., Altan, C.O., & Kocatepe, D. (2021). The New Gastronomic Product: Dried and Vacuumed Rainbow Trout Roe. The Annals of The University Of Dunarea De Jos Of Galati. Fascicle VI. Food Technology, 45(1), 26-37.
10. Erdem, M., **Köstekli, B.**, Keskin, İ., Kocatepe, D., & Kaya Y. (2021). Mineral Matter Content and Heavy Metal Contamination of Anchovy (*Engraulis encrasicolus* Linnaeus 1758) Captured From Different Seas. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 24(2), 285-292.
11. Yavuz, F., Erdem, M., **Köstekli, B.**, Keskin, İ., & Eyuboğlu, A. (2021). Doğal ve Mekanik Yöntemlerle Kurutularak Farklı Şekillerde Paketlenen Hamsi Balıklarında (*Engraulis encrasicolus* L., 1758) Kalite Değişimlerinin Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 24(1), 156-164.
12. Çorapci, B., **Köstekli, B.**, Eyüboğlu, A., & Kocatepe, D. (2021). The Effect of Different Application Methods of Sumac (*Rhus Coriaria*) And Tarragon (*Artemisia Dracunculus*) on Nutritional Composition, Fatty Acids and Tbars Values of Marinated Sea Bream (*Sparus Aurata* L., 1758). Journal Of Food Processing and Preservation, 45(2), E15102.
13. Çorapci, B., **Köstekli, B.**, Eyüboğlu, A., & Kocatepe, D. (2020). The Effect of Different Application Methods of Sumac (*Rhus Coriaria*) and Tarragon (*Artemisia Dracunculus*) On Some Quality Properties of Marinated Sea Bream (*Sparus Aurata* L., 1758). Journal Of Food Processing and Preservation, 44(10), E14751.
14. **Köstekli B.**, Keskin İ., Erdem M. E. 2019. Determination of Quality Changes of Hot Smoked Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum 1792) Fillets Kept

in The Deep Freeze for Different Storage Time Periods. Fresenius Environmental Bulletin. Vol.28, No,08/2019, 5962-5972.

15. Keskin İ. **Köstekli B.**, Eyuboğlu A., Kaya, Y. 2019. Determination of the shelf life of smoked sea bass (*Dicentrarchus labrax*, linnaeus, 1758) marinade stored under refrigerated conditions (4°C). Ukrainian Food Journal. 8(2);294-306. DOI: 10.24263/2304- 974X-2019-8-2-9
16. Kocatepe D., Turan H., Altan C. O., Keskin İ., **Köstekli B.**, Ceylan A., Candan C. (2019) Influence of different essential oils on marinated anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) during refrigerated storage. Food Science & Technology. 39(Suppl.1); 255-260.
17. Güneri N., **Köstekli B.** 2018. Effects of Multiple Freezing-Thawing Cycles in Different Condition on Quality Changes of Atlantic Bonito (*Sarda Sarda*, Bloch 1793) Fresenius Environmental Bulletin. 27(12; 8414-8423p.
18. Turan H., Kocatepe D., Keskin İ., Altan C.O., **Köstekli B.**, Candan C., Ceylan A. 2017. Interaction Between Rancidity and Organoleptic Parameters of Anchovy Marinade (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) Include Essential Oils. Journal of Food Science and Technology. DOI: 10.1007/s13197-017-2605-9.
19. Kaya, Y., **Köstekli B.**, Keskin, İ., Kocatepe, D. & Erdem, M. (2022). The Effect of Cold Marination on Some Physical Properties and Nutritional Composition of Sardine (*Sardina pilchardus*) . Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG), 39 (2) , 85-91 . DOI: 10.55507/gopzfd.1073536.
20. Kocatepe D., Erdem M.E., Keskin İ., **Köstekli B.**, Kaya Y. 2019. Differences on Lipid Quality Index and Amino Acid Profiles of European Anchovy Caught from Different Area in Turkey. Ukranian Journal of Food Science. 7(1); 6-15.
21. Keskin İ., Kocatepe D., Turan H., Altan C. O., **Köstekli B.**, Ceylan A., Candan C. 2018. Marinasyon işlemi sırasında hamside (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) meydana gelen renk değişiminin ve bazı kimyasal parametrelerin belirlenmesi. The Journal of Food 43 (4): 655-662. Doi: 10.15237/gida.GD18051.
22. Keskin İ. **Köstekli B.**, Eyuboğlu A., Erdem M.E., 2017. Comparasion of discoloration with sensory and chemical qualities of gary mullet (*Mugil cephalus* L. 1758) held at room temperature", The Int. J. of Eng. and Sci. 6(1):60

