



**DEPOLAMA SICAKLIĞININ VAKUM
PAKETLENMİŞ GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI
FİLETOLARINDA FİTALAT MİGRASYON
POTANSİYELİ ve OLASI İNSANALIM SEVİYESİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Rabia Nur YAVAŞ

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Gonca ALAK
Su Ürünleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2024

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SU ÜRÜNLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**DEPOLAMA SICAKLIĞININ VAKUM PAKETLENMİŞ GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI
FİLETOLARINDA FİTALAT MİGRASYON POTANSİYELİ ve OLASI İNSANAM
SEVİYESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

(Investigation of the Storage Temperature Effect on Phthalate Migration Potential in Vacuum-
Packed Rainbow Trout Fillets and Possible İntake Level Forhuman)

DOKTORA TEZİ

Rabia Nur YAVAŞ

Danışman: Prof. Dr. Gonca ALAK

Erzurum
Kasım, 2024

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Rabia Nur YAVAŞ tarafından hazırlanan “Depolama Sıcaklığının Vakum Paketlenmiş Gökkuşığı Alabalığı Filetolarında Fitalat Migrasyon Potansiyeli Ve Olası İnsan Alım Seviyesine Etkisinin Araştırılması” başlıklı çalışması 7 / 11 / 2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Su Ürünleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof.Dr. Fatih ÖZOĞUL Çukurova Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır.
Danışman:	Prof.Dr. Gonca ALAK Atatürk Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi:	Prof.Dr. Muhammed ATAMANALP Atatürk Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi:	Prof.Dr. Ahmet AKKÖSE Atatürk Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır.
Jüri Üyesi:	Doç.Dr. Mine KÖKTÜRK İğdır Üniversitesi	Aslı ıslak imzalıdır.

Enstitü Yönetim Kurulunun
....../.../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Unvan Ad SOYAD

Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FDK-2023-11840

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

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak *Prof. Dr. Gonca ALAK* danışmanlığında sunulan “Depolama Sıcaklığının Vakum Paketlenmiş Gökkuşaağı Alabalığı Filetolarında Fitalat Migrasyon Potansiyeli Ve Olası İnsan Alım Seviyesine Etkisinin Araştırılması” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	20	30
Kuramsal Temeller	9	30
Materyal ve Yöntem	27	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	17	20
Sonuç ve Öneriler	6	20
Tezin Geneli	16	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Rabia Nur YAVAŞ	Prof.Dr. Gonca ALAK
19.11.2024	19.11.2024
İmza: Aslı ıslak imzalıdır.	İmza: Aslı ıslak imzalıdır.

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca her daim desteğini, yardımını esirgemeyen, lisanüstü eğitimim boyunca bilgisi ve tecrübesiyle yoluma ışık tutan değerli danışaman hocam Sayın Prof.Dr. Gonca ALAK'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımın periyodik takiplerinde, önerileri ile katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Muhammed ATAMANALP ve Sayın Prof.Dr. Ahmet AKKÖSE'ye, bilimsel katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Fatih ÖZOĞUL'a teşekkürimi sunarım. Çalışmamda laboratuvar analizlerinde yardımcı olan ve bilimsel katkılar sunan Sayın Doç.Dr. Mine KÖKTÜRK hocama da teşekkür ederim. Yine çalışmalarım boyunca yardımını ve desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Doç.Dr. Arzu UÇAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, çalışmalarım boyunca bana desteğini esirgemeyen, her koşulda yanımda olduğunu hissediren sevgili eşim OğuzhanYAVAŞ'a, annelik duygusunu bana yaşatarak hayata farklı bir çerçeveden bakmamı sağlayan canım oğlum Hamza Bera YAVAŞ'a ve dünyaya geldiğim andan beri beni koruyup, kollayan ve her daim doğru yolu gösteren, eli hep üstümde olan canım annem Asuman BAYRAM'a çok teşekkür ederim.

Bu doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi (BAP) (Proje No: FDK-2023-11840) tarafından desteklenmiştir. Sağladığı maddi desteklerden dolayı BAP birimine teşekkür ederim.

Rabia Nur YAVAŞ

ÖZET

DOKTORA TEZİ

DEPOLAMA SICAKLIĞININ VAKUM PAKETLENMİŞ GÖKKUŞAĞI ALABALIĞI FİLETOLARINDA FİTALAT MİGRASYON POTANSİYELİ ve OLASI İNSANALIM SEVİYESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Rabia Nur YAVAŞ

Danışman: Prof. Dr. Gonca ALAK

Amaç: Ambalajlanmış su ürünlerinde mikroplastik özellikle de fitalat asit esterlerinin migrasyonuna yönelik ilişkin bilgi sınırlıdır ve bu konuda sadece birkaç çalışma vardır. Bu çalışmanın amacı, vakum ambalajlanarak depolanan gökkuşağı alabalığı filetolarında fitalatların olası migrasyon potansiyeli ve hızını depolama sıcaklığına bağlı olarak fileto kalite parametrelerindeki etkisini belirlemektir.

Yöntem: Çalışmada 192 adet gökkuşağı alabalığı filetosu rastgele olarak her ambalaj poşetinde 4 adet olacak şekilde dağıtılmış ve vakum ambalajlanarak yaygın kullanılan sıcaklıklarda (+4 °C ve -20°C) 6 ay boyunca depolanmıştır. Depolamanın ilk gününde fileto ve ambalaj materyallerinde, depolamanın belirli periyotlarında ise her sıcaklık grubuna ait filetoda fitalat içeriği GC/MS tekniği ile belirlenmiştir. Filetolardan izole edilen filtrelerin üzerindeki mikroplastiklerin kimyasal bileşiminin tanımlanması ve parçacıkların kimliğini doğrulamak için μ -Raman, ambalaj materyalinin paketlenme öncesi ve depolama sonrası kimyasal içeriğindeki değişimi belirlemek için ise Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi kullanılmıştır. Depolama süresince yağ miktarı, su aktivitesi (aw), su tutma kapasitesi (WHC), pH, renk (L*, a* ve b*), imyofibril parçalanma indeksinin (MFI), lipid oksidasyonu ve protein denatürasyonu periyodik olarak tespit edilmiştir.

Bulgular: μ -Raman spektroskopisinde yapılan analiz sonucunda sadece 2 filetoda mikroplastik (MP) belirlenmiş ve MP miktarları açısından gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Vakum paketlenme işleminde kullanılan ambalajın depolama süresine bağlı olarak kimyasal bileşiminin sıcaklıktan etkilendiği ve işlem gören paket materyalinde daha farklı polimer tiplerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Ambalaj materyali ve depolanan filetolarda DIBP, DBP, DPENP, DHEXP, BBP, DEHP, DCHP, DNOP, DINP ve DIDP olmak üzere 10 çeşit fitalat esteri (FTLs) belirlenmiştir. Tüm sıcaklık uygulamalarında ve depolama sürelerinde filetolarda baskın fitalat esterlerinin DPENP olduğu, ambalajda ise DEHP olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgularda, sıcaklık ve zamana bağlı olarak çalışılan tüm kalite parametrelerinde nispi değişimlerin olduğu L*, pH, WHC, % yağ ve TBARS değerleri sıcaklık etkisinde önemli bulunmuşken, zaman bağlı değişimde bu parametrelerin yanı sıra aw, b* ve TVB-N değerleri de istatistiki olarak anlamlı bulunmuştur. Bununla birlikte tespit edilen fitalat esterlerinden DNOP ve DEHP ile bu fiziko-kimyasal parametreler arasında korelasyon belirlenmemiştir.

Sonuç: Bu çalışma; depolama zamanı ve sıcaklığına bağlı olarak fitalat migrasyonunun, et kalitesi ve raf ömrüne yönelik çalışmalarına bir alt küme oluşturduğunu, yeni deneysel tasarımlar ve araştırma iş birlikleri için geliştirilebilir olacağını göstermektedir. Bununla birlikte, gelişmekte olan bu alanda, sonraki araştırmalara rehberlik etmek ve veri sunmaktadır. Son olarak, elde edilen bulgular, gıdalarda FTL varlığı ve migrasyonunun izlenmesine yardımcı olmakta ve doğru teknolojilerin benimsenmesinde motive edici bir model oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Oncorhynchus mykiss*, fitalat esteri, fileto, vakum paketlenme, μ -Raman

Kasım 2024, 77 sayfa

ABSTRACT

D. THESIS

INVESTIGATION OF THE STORAGE TEMPERATURE EFFECT ON PHTHALATE MIGRATION POTENTIAL IN VACUUM-PACKED RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) FILLETS AND POSSIBLE INTAKE LEVEL FOR HUMAN

Rabia Nur YAVAŞ

Supervisor: Prof. Dr. Gonca ALAK

Objective: Information on the microplastic (MP) migration, particularly Phthalate acid esters (FTLs) in packaged seafood, is limited to a few studies. The aim of this study is to follow the possible migration potential and speed of phthalates in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets stored in vacuum packaging depending on the storage temperature, as well as to determine the polyethylene (PE) polymer detection.

Method: For this purpose, 192 fillets were randomly distributed as 4 pieces in each bag, vacuum packed and stored at commonly used temperatures (+4°C, -20°C) for 6 months. On the first day of storage in fillet and packaging materials, in certain periods of storage, the phthalate content in the fillet of each temperature group was determined by GC / MS technique. μ -Raman was used to identify the chemical composition of the MP on the fillets and to confirm the identity of the particles, and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to determine the change in the chemical content of the packaging material before and after packaging. In addition [pH, crude fat, a_w , water holding capacity (WHC), color (lightness (L^*), redness (a^*), and yellowness (b^*), myofibrillar fragmentation index (MFI), TBARS and TVB-N values were determined.

Results: As a result of μ -Raman spectroscopy analysis, microplastics (MP) were determined in only 2 fillets and there was no significant difference between the groups in terms of MP amounts. It has been determined that the chemical composition of the bag used in the vacuum packaging process is affected by the temperature depending on the storage period, and different polymer types are formed in the packaged material. 10 types of FTLs including DIBP, DBP, DPENP, DHEXP, BBP, DEHP, DCHP, DNOP, DINP and DIDP were recorded in the packaging material and stored fillets. It was determined that the dominant phthalate esters in the fillets were DPENP, and DEHP in the package at all temperature applications and storage periods. In the findings obtained: L^* , pH, WHC, % oil and TBARS values were found to be significant in the effect of temperature, while a_w , b^* and TVB-N values were found to be statistically significant in the effect of temperature and time. However, no correlation was found between the phthalate esters DNOP and DEHP and these physico-chemical parameters.

Conclusion: The findings help monitor the presence and migration of FTLs in foods and provide a motivating model for adopting the right technologies.

Keywords: phthalate ester, fillet, vacuum packaging, μ -Raman

November 2024, 77 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	6
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
GİRİŞ	1
Gökkuşığı Alabalığı.....	2
Ambalajlama	3
Kontrollü atmosferik kaplama	4
Modifiye edilmiş atmosferde paketlenme (MAP)	4
Yenilebilir film kaplama	4
Akıllı ambalaj	5
Vakum paketlenme	5
Gıda Ambalajında Kullanılan Polimerler	7
Ambalaj Maddesinde Kullanılan Katkı maddeleri ve Gıda Güvenliği	7
Gıda- Ambalaj Etkileşimleri	12
Migrasyon (Göç)	12
Fitalat ve Esterlerinin Analiz Yöntemleri	15
Moleküler Kütle Spektroskopisi	16
KURAMSAL TEMELLER	19
MATERYAL VE METOD	22
Gökkuşığı Alabalıklarından Fileto Çıkarılması, Vakum Ambalajlama ve Depolama İşlemlerinin Yapılması	22
Soğukta Depolamanın Belirli Zaman Aralıklarında Fiziko-Kimyasal Analizlerin Yapılması	23
Ambalaj ve balık filetolarının polietilen (PE) tespiti	25
Depolanan vakum filetolarda periyodik olarak fitalat varlığının tespiti.....	27

Metot validasyonu	28
İnsan maruziyetinin değerlendirmesi	28
İstatistik Analizler	29
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	30
Plastik Tespiti	30
Soğukta depolama sonucunda elde edilen fiziko-kimyasal kalite değişimleri	37
Tartışma	39
Fiziko-Kimyasal Analizlerin Yorumlanması.....	42
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
EK-1. Korelasyon.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
EK-2. Kalibrasyon Eğrisi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ.....	59

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Gökkuşığı Alabalığı Sistemik Şeması	2
Tablo 2. Validasyon Verileri: LOD ve LOQ, Tekrarlanabilirlik, Ölçüm Belirsizliği Değerleri.....	28
Tablo 3. Farklı Sıcaklık ve Zaman Uygulamalarında Filetolara Ait Fitalat Ester Değişimi....	35
Tablo 4. Depolamada Kullanılan Ambalaj Materyaline Ait Fitalat Ester Değişimi	35
Tablo 5. Farklı Sıcaklık ve Zaman Aralıkları İçin Potansiyel Alım Seviyesi	36
Tablo 6. Sıcaklık ve Zamana Bağlı Fileto Kalite Değişimleri.....	38



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Gıda ambalajının çevre ile etkileşimi	8
Şekil 2. A: DEP (di-etil fitalat), B: DBP (di-n-bütil fitalat), C: DİNP (di-izononil fitalat), D: DMP (di-metil fitalat)	11
Şekil 3. Migrasyon, sorbsiyon ve permasyon	13
Şekil 4. Geçirgen olan, geçirgen olmayan ve gözenekli malzemelerde migrasyon	13
Şekil 5. GC-MS'in şematik gösterimi	16
Şekil 6. Kütle spektrometresi	16
Şekil 7. Filetolarına ayrılıp, vakumlanan gökkuşağı alabalığı	22
Şekil 8. μ -Raman spektrumları (Polyethylene resine: PE, High Density Polyethylene: HDPE. Scale bar: 100 μ m).....	30
Şekil 9. Paketlenmeden önce paket materyalinin kimyasal bileşeni FTIR spektrumları.....	31
Şekil 10. Depolamanın son gününe ait (180. gün) paket materyalinin kimyasal bileşenlerinin FTIR spektrumları.....	31
Şekil 11. Filetolara ait fitalat değişimleri	32
Şekil 11. Filetolara ait fitalat değişimleri (devamı)	33
Şekil 12. <i>O. mykiss</i> filetolarının 180 günlük ambalajlamalarının ardından ambalaj malzemesindeki fitalat miktarı	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	: Santigrat derece
μ	: Mikro
μmol	: Mikromol
dk.	: Dakika
g	: Gram
kg	: Kilogram
mg	: Miligram

Kısaltmalar

AOAC	: Association of Official Agricultural Chemists
A _w	: Su aktivitesi
BBP	: Benzyl Butyl Phthalate
BZBP	: Benzyl butyl phthalate
DBP	: Dibutyl Phthalate
DCHP	: Dicyclohexyl Phthalate
DEHP	: Di-(2-ethylhexyl) Phthalate
DHEXP	: Di-n-hexyl Phthalate
DIBP	: Diisobutyl Phthalat
DIDP	: Diisodecyl Phthalate
DINP	: Diisononyl Phthalate
DMA	: Düşük moleküler ağırlıklı
DNOP	: Di-n-octyl Phthalate
DOP	: Dioctyl phthalate
DPENP	: Di-n-Pentyl Phthalate
FAE	: Fitalat asit esterleri
FAE	: Fitalik asit esterleri
FTIR	: Fourier Transform Infrared
FTL	: Fitalat esteri veya fitalat
GC/MS	: Gaz kromatografisi-Kütle spektroskopisi
GC-MS/MS	: Tandem kütle spektroskopisi

HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
HPLC	: Sıvı kromatografisi-Kütle spektroskopisi
LOQ	: Belirleme sınırı
LQD	: Tespit sınırı
MFI	: Miyofibril parçalanma indeksi
MP	: Mikroplastik
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
PVC	: Polivinil klorür
SEM	: Ortalamanın standart hatası
SIM	: Seçilen iyon izleme
SML	: Spesifik migrasyon
TBA	: Tiyobarbiturik asit
TBARS	: Thiobarbitürik Asit Reaktif Substans
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TVB-N	: Toplam uçucu bazik azot
WHC	: Su tutma kapasitesi

GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli artmasıyla birlikte 2050 yılına kadar 9 milyarı aşabilecek olan nüfus artışına ayak uydurmak ve beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için küresel gıda üretiminin en az %50 oranında artması gerekmektedir (Béné *et al.* 2015). Balık ticari değeri yüksek olmasına rağmen son derece çabuk bozulan bir ürün olduğu için işleme teknolojileri, paketlenme, depolama kontaminasyon ve kalite bozulma sorunlarını en aza indirmede hayati bir rol oynar. Gıda maddelerinin depolanması, taşınması ve uygun şekilde hazırlanması veya servis edilmesi için plastik ambalajların yaygın kullanımı küresel plastik kirliliği krizine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Alak *et al.* 2024a).

Su ürünlerinin besin değerinin araştırılması tarih öncesi döneme kadar gitmektedir. O zamandan beri besin değeri hakkında birçok çalışmalar yapılmıştır. Su ürünleri içerisinde en çok tüketilen balık, yüksek vitamin, protein, aminoasit ve doymamış yağ asit içeriğiyle besin değeri yüksek bir gıda maddesidir (Gülyavuz ve Ünlüsayın 1999). Dünyanın birçok yerinde de balık ve deniz ürünleri sağlıklı, sindirimi kolay ve yüksek besin içeriğine sahip gıda olarak kabul edilmektedir (Atar ve Alçiçek 2009). Besin değerinin yüksek olmasında esansiyel aminoasit (arjinin, fenilalanin, histidin, treonin, valin, lisin, lösin, izolosin, metiyonin ve triptofan), Omega -3 ve Omega- 6 yağ asitleri, mineraller (en fazla iyot, fosfor, çinko), yağda çözünen vitaminler (A, D, E ve K), B1 (tiyamin), B2 (riboflavin), B6 (pridoksin) ve iz miktarda C vitamini (L- askorbik asit) içermesi büyük rol oynamaktadır.

Beslenmede önemli bir rol alan balık etinin içerisindeki protein oranı balığın türüne, beslenme ortamına, cinsiyetine, yaşına ve etteki yağ ve su oranına göre değişkenlik gösterir. Yenilebilir bir balık etinin her 100 g' da ortalama 18-22 g protein bulunmaktadır (Dean 1990). Bu proteinler vücut gelişimi ve korunması için elzem olan tüm aminoasitleri içerir. Bünyesinde bulunan su ve yağ arasında ise ters bağlantı bulunmaktadır (Love 1982).

Balık eti, insan vücudu için gerekli olan vitaminler bakımından da oldukça zengin bir besin kaynağıdır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından insan sağlığı için gerekli olduğu belirtilen 13 vitamin türünün hepsi balık etinde bulunmaktadır. Ancak vitamin oranı balık türüne göre değişkenlik gösterir (Love 1982). Suda eriyen vitamin (B ve C) miktarı diğer et türlerine göre yakın orandayken, yağda eriyen (A, D, E, K) vitaminlerin oranı daha yüksektir (Pigott and Turker 1990).

Mineraller, insan vücut ağırlığının ortalama %4'ünü oluşturur. Sağlıklı büyüme için gerekli olan bu maddeler balık etinde çeşit ve miktar açısından önemli bir ölçüde bulunmaktadır. Balık etinde kalsiyum, fosfor ve magnezyum en fazla bulunan mineraldir. Bunun yanında sodyum, potasyum, selenyum, iyot ve demirde bulunur (Dean 1990).

Balıklarda bulunan yağlar genellikle su miktarı ile ters orantılıdır. İhtiva ettikleri yağ oranına göre balıklar aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır (Gülyavuz ve Ünlüsayın 1999).

Yağsız balıklar (<% 2' den az)

Az yağlı (%2-4)

Orta yağlı balıklar (%4-8)

Yağlı balıklar (>%8)

Balık etinde bulunan yağların büyük bir bölümü trigliseridler olup, trigliserid, 3 molekül yağ asidinin gliserolle yaptığı ester olarak tanımlanır. Yağ asitleri ise farklı karbon uzunluğunda ve doymuşluk derecesi gösteren zincirle oluşan trigliseridlerdir. Doymamış yağ asidi olarak bilinen linolenik (w-3), linoleik (w-6) ve oleik asit (w-9) bütün deniz ürünlerinde bulunur. Bunun yanında EPA (eicosapentaenoic asit) ve DHA (docosahexaenoic asit) olarak bilinen omega-3 yağ asitleri ise sadece su ürünlerinde bulunur. Çoğu bitkisel yağların içerdiği doymamış yağ asitleri (PUFA), 2 çift bağ içerir ancak su ürünlerinde bulunan yağ asitleri uzun zincirlidir ve 5 ya da 6 çift bağa sahiptir (Pigott and Tucker 1990).

Gökkuşığı Alabalığı

Alabalık (Salmonidae familyası) Pasifik kıyılarındaki soğuk ve bol oksijenli tatlı sularda yaşayan balık türüdür (Tablo 1). Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), dünyada ve ülkemizde yetiştiriciliği en fazla yapılan ve en çok tüketilen alabalık türü olmasının yanı sıra üretilen iç su balıklarının yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Aynı zamanda toplam balıkçılığın %8'i kadardır (Ergen 2019).

Tablo 1. Gökkuşığı Alabalığı Sistematik Şeması (Walbaum 1992)

Alem	Animalia
Şube	Chordata
Alt şube	Vertebrata
Üst sınıf	Osteichthyes
Sınıf	Actinopterygii
Alt sınıf	Neopterygii
Üst takım	Ostariophysi
Takım	Salmoniformes
Aile	Salmonidae
Cins	<i>Oncorhynchus</i>
Tür	<i>Oncorhynchus mykiss</i>

Gökkuşluğu alabalığı besin değeri açısından bakıldığında; % 70-77 su, %14-20 protein, %2-10 yağ ve %1,2 – 2,6 inorganik madde içerir ve su ürünleri arasında en fazla tercih edilen balık türlerinden biridir (Kim *et al.*1987; Huss 1988; Özdemir vd 2000; Dönmez ve Tatar 2001; Duman ve Şen 2003).

Taze balıklar yüksek besin içeriğine sahip gıda olmaları yanında diğer et ürünlerine kıyasla da en hızlı bozulan ürünler arasında yer almaktadır. Avlanmadan sonra meydana gelen enzimatik ve kimyasal reaksiyonlar ile ilk tazelik kaybı meydana gelir. İlerleyen zamanlarda ise mikrobiyal bozulmalar olur. Balık ve su ürünleri, asit reaksiyonlarının az olmasından dolayı otoliz, oksidasyon, yağ hidrolizi ve mikrobiyal bozulmaya daha çok açıktır (Şengör vd 2020). Bu yüzden balık ve su ürünleri avlandıktan hemen sonra en iyi şekilde muhafaza edilmelidir. Soğuk ya da dondurma yöntemiyle kısmen bozulmaların önüne geçilebilse de çeşitli ambalajlama teknikleri ile tazeliğin korunması ve raf ömrünün uzaması amaçlanmıştır.

Ambalajlama

Su ürünleri besin değeri açısından önemli bir gıda olmasına karşın avlandığı andan itibaren hızlı bozulmaya eğilim gösterir. Mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal olarak birçok bozulma olayı hızlı seyreder (Varlık ve Üçok 2002). Balıklarda görülen bozulmalar otolitik, oksidatif ve mikrobiyal aktivite ile olur. Bozulmaya neden olan maddeler mikrobiyal aktiveteler sonrası oluşan alkoller, sülfidler, aminler, organik asitler, aldehit ve ketonlardır (Gram and Dalgaard 2002). Mikrobiyolojik özellikler su aktivitesi (aw), besin içeriği, pH ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli gibi özellikler balığın iç faktörlerine bağlıdır. Postmortem esnasında balık etinde pH yüksek olduğunda protein yapıda olmayan azotlu bileşikler ortamda olması ile mikrobiyal aktiviteyle kötü kokuya sebep olurlar. Balığın ortam sıcaklığının yüksek olması ve işlenmesi esnasında çevreden bulaşacak kontaminasyon ise dış faktörler arasında yer alır.

Balığın avlanma ve işlenmesi anındaki tazeliğini korumak ve raf ömrünü artırmak için çeşitli ambalajlama teknikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen farklı ambalajlama teknikleri ile meydana gelebilecek mikroorganizma çoğalmalarını, kimyasal ve fiziksel bozulmaları nispeten azaltılabilmektedir. Ambalaj malzemesinde kullanılan maddelerin nem ve oksijen geçirgenliği düşük, yağ ve su emilimine karşı da dirençli olması istenir (Yılmaz vd 2009).

Su ürünlerinde yaygın olarak kullanılan ambalaj teknikleri Erdem *et al.* (2022) tarafından aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

- 1- Kontrollü atmosferik paketlenme
- 2- Modifiye edilmiş atmosferde paketlenme

- 3- Vakum paketlenme
- 4- Yenilebilir film kaplama
- 5- Akıllı paketlenme
- 6- Aktif paketlenme.

Kontrollü atmosferik paketlenme

Kontrollü atmosferik paketlenme yönteminde ortamdaki O₂ oranının azaltılıp, CO₂ oranının yükseltilmesiyle ortamdaki solunumun yavaşlatılması sağlanmaktadır. Böylece mikrobiyal ve enzimatik bozulma hızları azaltılmış olur. Ortam havasında CO₂ oranının %20, O₂ oranının ise %2 nin altında olması hedeflenir (Arahisar *et al.* 2004). Ancak bu hava kompozisyonunun sabit tutulması gerekir bunun içinde depoda izolasyon sistemleri kullanılır. Ürünlerin paketlenip muhafaza edildiği ortamda belirli aralıklarla nem ve sıcaklık ölçümü yapılır (Örüng vd 2016).

Modifiye edilmiş atmosferde paketlenme (MAP)

Gıdaların raf ömrünü uzatmak, mikrobiyal aktiviteyi azaltmak ve enzimatik bozulmayı önlemek amacıyla ürünün yapısıyla uygun ambalaj içindeki farklı atmosfer gazı ile modifiye edilmiş atmosfer gazlarının yer değiştirilmesi işlemine modifiye edilmiş atmosfer paketlenme (MAP) denilmektedir (Turan and Kocatepe 2013). Bu paketlenme azot, oksijen ve karbondioksit oranlarının değiştirilmesiyle yapılır. Yapılan araştırmalara göre uygun gaz oranları; %60 CO₂; %40 N₂, %75 CO₂; %25 N₂, %40 CO₂, %60 N₂, %40 CO₂; %60 N₂, %40 CO₂; %30 N₂, ve %30 O₂, %30 O₂; %30 CO₂ ve %40 N₂, %60 CO₂; %40 O₂; %5 O₂; %35 CO₂ ve %60 N₂ veya %30 CO₂; %70 N₂ (Erkan vd 2000; Kocatepe vd 2015) olarak belirlenmiştir. Modifiye edilmiş paketlenme ile raf ömrü uzatılıp, ürünün daha parlak gösterilmesiyle tüketiciye daha cazip hale getirilebilir. Ancak paket hacmi büyük olması taşınması ve depolaması esnasında sorun oluşturabilir.

Yenilebilir film paketlenme

Yenilebilir film kaplama ürün etrafını ince bir tabaka halinde sararak ürünün raf ömrü uzamasını sağlar. Bu paketlenme tekniğinin bir diğer avantajı ise doğal kaplama olmasıdır (Sürengil ve Kılıç 2011). Yenilebilir film kaplama mikrobiyal aktivitenin azaltılması, ürün nemini sabit tutma, renk, tat, koku gibi özelliklerinin korunması, çevre dostu olması, oksijen geçirgenliğinin az olması ve uçucu gazlarının oluşumunu önlemesi gibi özelliklerden dolayı tercih edilen paketlenme şeklidir (Korkmaz 2018). Paketlenme materyali olarak kullanılan film kaplar, alginat (kahverengi deniz alginden elde edilen), kitosan, pektin, agar, selüloz ve nişasta gibi ürünlerden elde edilirler. Bu ürünlerden en sık tercih edilen ucuz olması ve kolay

bulunabilmesi açısından nişastadır. Nişastanın antimikrobiyal ve antioksidan özelliği de bulunmaktadır (Dursun ve Erkan 2009).

Akıllı ambalaj

Gıdanın üretilip tüketiciye ulaştığı sürede gıdada meydana gelecek bozulma ya da değişimleri hızlı bir şekilde belirlemek için kullanılan ambalaj teknolojisidir. Akıllı ambalaj indikatörü olarak tazelik durumunu bildiren akıllı etiketler, gaz sensörü, sızıntı sensörü, florasan bazlı sensörler, sıcaklık zaman sensörleri kullanılmaktadır. Bu sensörler aracılığıyla ürünlerin tazeliği, mikrobiyal bozulmalarını, oksidatif acılaşması tespit edilebilir (Erdem *et al.* 2022). Gaz sensörleri, paketlenen ürünün içinde bulunan ya da depolama alanında bulunan gazları ve özelliklerini tespit eden ekipmanlardır. Optokimyasal sensörler, gıdalarda meydana gelen mikrobiyal veya kimyasal bozulma sonucu oluşan hidrojen sülfid, CO₂ ve diğer aminli bileşiklerin varlığını göstererek gıdanın tazeliği hakkında bilgi edinmeyi sağlar (Erdem *et al.* 2022).

Vakum paketlenme

Balık avlandığı andan itibaren fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik olarak birçok bozulmaya maruz kalır. Bu nedenle de balığın avlanmadan tüketimine kadar geçen sürede ilk tazeliğini korumak, bozulmasını geciktirmek amacıyla geçmişten bugüne çeşitli ambalajlama teknikleri geliştirilmiştir. Su ürünlerinin ambalajlamasında tercih edilen metotların başında vakum paketlenme gelmektedir.

Vakum paketlenme; hava ve gaz geçirgenliği en az olan plastik paket içerisinden herhangi bir gaz karışımı eklenmeden vakum cihazları ile boşaltılıp, paket içerisi hava almadan metal cihaz ya da sıcaklık yardımı ile ağzının kapatılması işlemidir. Ambalaj içinde serbest oksijen oranının minimum düzeyde olması aerobik mikroorganizmaların çoğalmasını ve oksidasyon olayının olmasını en az düzeye düşürecektir (Çaklı 2008). Aynı zamanda kullanılan plastik ambalajın hava geçirgenliğinin az olması raf ömrünün uzamasına olanak sağlamaktadır. Vakum paketlenme yapıldığında O₂ miktarı %1 den daha düşük, CO₂ oranı ise %10-20 arasında bulunur (Sürengil ve Kılıç 2011). Bu durumda Clostridium botulinum gibi anaerobik mikroorganizma ve bu mikroorganizmanın toksin üretmesi gibi ortamda oluşur. Bunu engellemek için balığın avlandığı ve paketlenildiği ana kadar ortamın hijyen ve sanitasyon kurallarına çok dikkat edilmesi gerekmektedir (Randall *et al.* 1991; Rajesh *et al.* 2002).

Vakum paketlenme saklama koşulları ile de bağlantılıdır. Ambalaj materyalinin vakumu bırakmaması için soğuk muhafazanın 2°C / 3 °C de, donmuş muhafazanın ise -20°C / -

22 °C arasında olması uygun görülmektedir (Oğuzhan vd 2006; Çaklı 2008; Zengin ve Kayaardı 2011)

Vakum Ambalajın Avantajları;

1. O₂ uzaklaşması ile oksidasyon olayı en az düzeyde olur.
2. Üründe ağırlık kaybı az olur.
3. Anaerobik ortam oluştuğu için aerobik mikroorganizma çoğalması en az seviyede olur.
4. Mikrobiyolojik kontamasyon önlenir.
5. Üründe katkı maddesi kullanılmadan ambalajlama yapılabilir ve raf ömrü artırılabilir.

Vakum Ambalajın Dezavantajları;

1. Ürünle hava teması kesildiği için oksimiyoglobin oluşumu ürün rengini koyulaştırır.
2. Balık içersinde kılçık kalması durumunda ambalajın delinmesi sonucu vakum etkinliğini kaybedebilir.
3. Anaerobik ve fakültatif mikroorganizmanın gelişimi için uygun ortam oluşur (Oğuzhan vd 2006; Çaklı 2008; Zengin ve Kayaardı 2011)

Gıdanın raf ömrünün uzatılması ve besin değerinin kaybetmeden ya da kaybın en aza indirgeyerek tüketiciye ulaştırmak için geliştirilen bu ambalajlama yöntemlerinde kullanılan ambalajlar ve ambalaj için kullanılan çeşitli maddeler insan sağlığını riske edecek kimyasallar içermesi nedeniyle de son dönemin en çok araştırılan konularından biri haline gelmiştir. Kullanılan ambalajların hammaddesi olarak kabul edilen plastik ve türevi kimyasalların geçişi migrasyon olarak tanımlanmaktadır ve uluslararası limitler belirlenmeye çalışılmaktadır.

Plastikler; şeffaf, şekil verme kolaylığı, hafif, esnek, dayanıklılık ve geçirmezlik özelliklerinden dolayı gıda ambalaj sektöründe sıkça tercih edilmektedir. Ancak bu malzemeler yeniden dönüşebilme özelliklerinden dolayı gıdaya istenmeyen kimyasalların geçişine neden olabilmektedir. Plastik maddelerden olan fitalat esterleri yüksek kaynama noktası, düşük erime sıcaklığına sahip olmasından ötürü yaygın tercih edilerek, plastikleştirici, taşıyıcı vb. özellikler için kullanılmaktadır. Ancak fitalat ve esterleri ambalaja bağlanmadığından yağlı ve yağca zengin gıdalara depolama veya ambalajlama esnasında geçişi olabilir. Bu gıdanın insan tüketimi ile vücuda alınması endokrin bozucu gibi birçok çeşitli hastalıklara yol açmaktadır.

Gıda Ambalajında Kullanılan Polimerler

Plastikler, hafifliği, güçlü esnekliği, termal ve elektrik yalıtımı, korozyon direnci ve düşük maliyeti gibi mükemmel özellikleri nedeniyle yaşamın birçok alanında (paketleme, inşaat, tıp, elektronik, ev eşyaları, ulaşım, eğlence vb.) yaygın olarak kullanılan, insan yapımı uzun zincirli polimerik malzemelerdir (Alak *et al.* 2022a; Alak *et al.* 2023). Bazı plastikler oksijen, su buharı ve mikroorganizmalar için iyi bir koruma bariyeri sağlamaları, gıdaları istenen sıcaklıkta korumaları gibi nedenlerden dolayı gıda paketlemesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kedzierski *et al.* 2021).

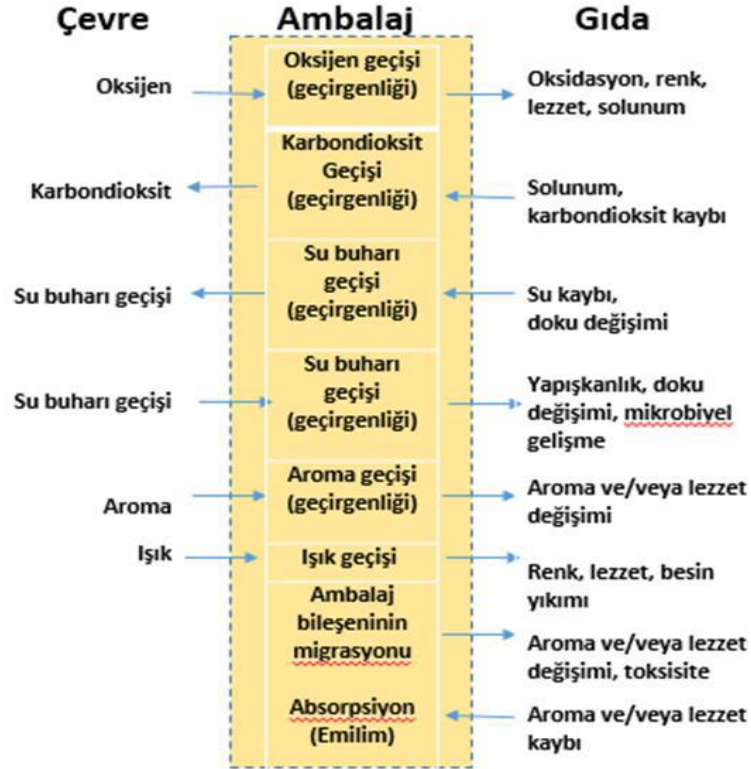
Plastiklerin birçok avantajlı özelliklerinin olması dünyada gıda ile temas eden malzemelerde kullanılmasını yaygınlaştırmıştır. Bu özellikler; hafif, ucuz, dayanıklı, renksiz olmasının yanı sıra tuz ve asit-baz çözeltilerine karşı dayanıklı olmaları, geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilmeleri, kolay işlenip şekillendirilebilmeleridir. Ancak bu kadar avantajları bulunan plastiklerin dezavantajları da çoktur. Sıcaklığa karşı ve nem, ışık, gaz gibi bariyer özelliklerinin dayanımları düşüktür. Bu özelliklerinin dayanımını artırmak için metal ve kağıt gibi malzemeler çok katlı yapıda kullanılarak bariyer sağlanmaya çalışılmaktadır. Ancak yapılan araştırmalar ile kullanılan bu malzemeler ve plastik üretiminde hammadde olarak kullanılan çeşitli maddelerin zamanla temas ettiği gıdaya geçişi gözlenmiştir (Dağdelen 2016).

Ambalaj Maddesinde Kullanılan Katkı maddeleri ve Gıda Güvenliği

Gıda ambalajı, gıdanın duyuşal, mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini korumasının yanı sıra muhafaza, depolama ve sevkiyat sırasında da birçok dış faktörlerden en iyi şekilde koruyabilmelidir. Gıda ambalaj malzemeleri gıdanın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin iyileştirilmesinde veya korunmasında katkı maddeleri kullanılmaktadır. Ancak kullanılan katkı maddelerinden dolayı birtakım riskler meydana gelmektedir (Singh and Heldman 2015).

Gıda ile temas eden ambalaj hammadde olarak kullanılan birçok plastik, polimerdir. Yüksek molekül ağırlıklı bir bileşimi vardır. Bu haliyle ambalajdan gıdaya geçiş riski düşüktür. Ancak ısıya daha dayanıklı ve esnek olmaları için plastiğe eklenen düşük molekül ağırlıklı maddelerin gıdayla teması halinde gıdaya geçme olasılığını artırır. İşlem sırasında uygulanan ısı işlem ve sonrasında ürün depolama ile düşük molekül ağırlıklı bu katkıları gıdaya transfer (migrasyon) olarak insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Altuntaş vd 2014). Plastiklerde kullanılan ve ambalajdan gıdaya geçebilecek maddeler; başlangıç bileşenleri, kayganlaştırıcılar, monomerler, buğulanmayı önleyici maddeler, antioksidanlar katalizörler,

çözücüler, antistatikler ve pigmetlerdir (Poças and Hogg 2007). Bunun yanında, plastikleştirici, bütil hidroksitoluen (BHT), ısıl stabilitörü, yağlama ajanı ile toluen, adipik asit, hekzan, bütanon 2-etil asetat gibi çözücüler de bu ambalajlardan gıdaya geçebilmektedir (Sablani and Rahman 2007) (Şekil 1).



Şekil 1. Gıda ambalajının çevre ile etkileşimi (Singh and Heldman 2015)

Plastiklerde kullanılan bu katkılar; oksidatif bozulma ve fotodegradasyonu önlemenin yanı sıra plastiği kolay işleme, esneklik, sıcaklık direnci, şeffaflık, sertlik, bloklaşmayı önleme, yüzey ve estetik görünüm özelliklerini iyileştirme ve maliyeti düşürme gibi birçok işlevsellik kazandırmak adına kullanılmaktadır (Ackerman *et al.* 2009). Plastik malzemeler yapay veya doğal olduğu gibi genellikle organik polimerik yapılarıdır. Polimer yapılı ambalajlardan gıdaya geçebilen katkılar; teneke ambalajında (iç yüzeyinde) kullanılan laklardan geçen bisfenol ve türevleri, PC malzeme, plastik mutfak ürünlerinden göçen PAA (primer aromatik amin), polimer esaslı malzemelerde kullanılan katalizör ve dolgu maddesi gibi katkıların bileşiminden veya safsızlıklardan geçebilecek metal ve melamin kap üretiminde kullanılan melamin ve formaldehit en çok araştırılan katkılar arasında yer almaktadır (Dağdelen 2016).

Fitalat esteri veya fitalat (FTL); petrolden üretilen, insan yapımı organik maddelerdir (Montevecchi *et al.* 2017). Fitalatların kimyasal özellikleri genellikle benzerdir ancak her fitalat esterinin de kendine ait fiziksel ve kimyasal fonksiyonları bulunmaktadır. Bu durum

FTL'ların biyolojik yapılarını farklı şekillerde etkilemektedir (Kamrin 2009). Katı, sıvı veya viskoz yapıda olabilen kimyasal yapıdaki fitalatlar, düşük buhar basıncına sahiptir. Bu fitalatlar homojen bir yapı kazanmak için polimerler ile fiziksel olarak etkileşim kurmakta ve polimere kimyasal bağ ile bağlanmadığı için kolayca ayrılarak ortama yayılmaktadır. Bunun yanı sıra bulundukları materyale esneklik, şeffalık ve plastikleştirici özellik kazandırmaktadır (Luo *et al.* 2012; Hayasaka 2014).

Fitalatlar, ambalaj malzemesinin yansıra kişisel bakım sektöründe (parfüm), bazı ilaçlarda ve endüstriyel boyada da sıkça tercih edilen kimyasallardır (Khetan 2014).

Fitalatlar moleküler ağırlık durumuna göre 2 gruba ayrılırlar;

1. Düşük molekül ağırlığına sahip fitalatlar (ester yan zincir uzunluğu 1-4 karbonlu);

- ❖ Di-metil fitalat (DMP),
- ❖ Di-etil fitalat (DEP)
- ❖ Di-n-bütül fitalat (DBP).

Bu fitalatlar kozmetik sektöründe (parfüm, şampuan ve oje) renk ve kokuyu ayarlamak amacıyla kullanılırlar.

2. Yüksek molekül ağırlıklı fitalatlar (ester yan zincir uzunluğu 5 veya daha fazla karbonlu);

- ❖ Di- (2-etilheksil) fitalat (DEHP),
- ❖ Di-oktil fitalat (DOP),
- ❖ Di-izononil fitalat (DİNP),

Bu fitalatlar ise gıda ambalaj ve işleme materyallerinde PVC ürünlerde ve plastik borularda kullanılmaktadır (Khetan 2014).

Fitalatlar genellikle lipofilik yapıdadır. Bu yüzden sızma yoluyla çevreye kolaylıkla yayılabilirler (Schettler 2006). Plastikleştirici görevi için kullanılan fitalatlar, polimer bileşiğine kimyasal olarak bağlı değildir. Bu sebeple de polimerden göç ederek ayrılabilir ve çevreyi kirletebilir. Nehir, göl ve denizlere de doğal sular bulaşısı ile ulaşabilir (Ye *et al.* 2014).

Fitalat içerikli ambalajlar yüksek sıcaklığa maruz kaldığında, ambalajdan gıdaya kimyasal geçişi olduğu için gıdayı tüketen insanlar da bu katkılara büyük oranda maruz kalırlar (Cory-Slechta 2008; Khetan 2014).

Gıda ile temasta bulunan madde yönetmeliğinde kullanılmasına izin verilen bazı fitalat esterleri;

1. Di-(2-etilheksil) Fitalat (DEHP)
2. Di-metil Fitalat (DMP)
3. Di-etil Fitalat (DEP)
4. Di-n-Bütil Fitalat (DBP)
5. Di-İzononil Fitalat (DİNP)

Di(2-etilheksil) Fitalat (DEHP): En yaygın kullanılan fitalat esteri olan DEHP, yıllık üretimi 2 milyon tondan fazladır. Üretilen DEHP fitalatının %90'dan fazlası PVC sektöründe plastikleştirici olarak kullanılmaktadır. Gıda üretiminde kullanılan ekipmanlar, gıda ambalajı, yapııştırıcı, medikal ürün ve oyuncak gibi tüm alanlarda bulunmaktadır. DEHP fitalatı polimerlere kimyasal bağlanmaz. Hidrofobik olan bu fitalat, hegzan ve mineral yağda çözölmektedir (Yerlikaya 2017) (Şekil 3).

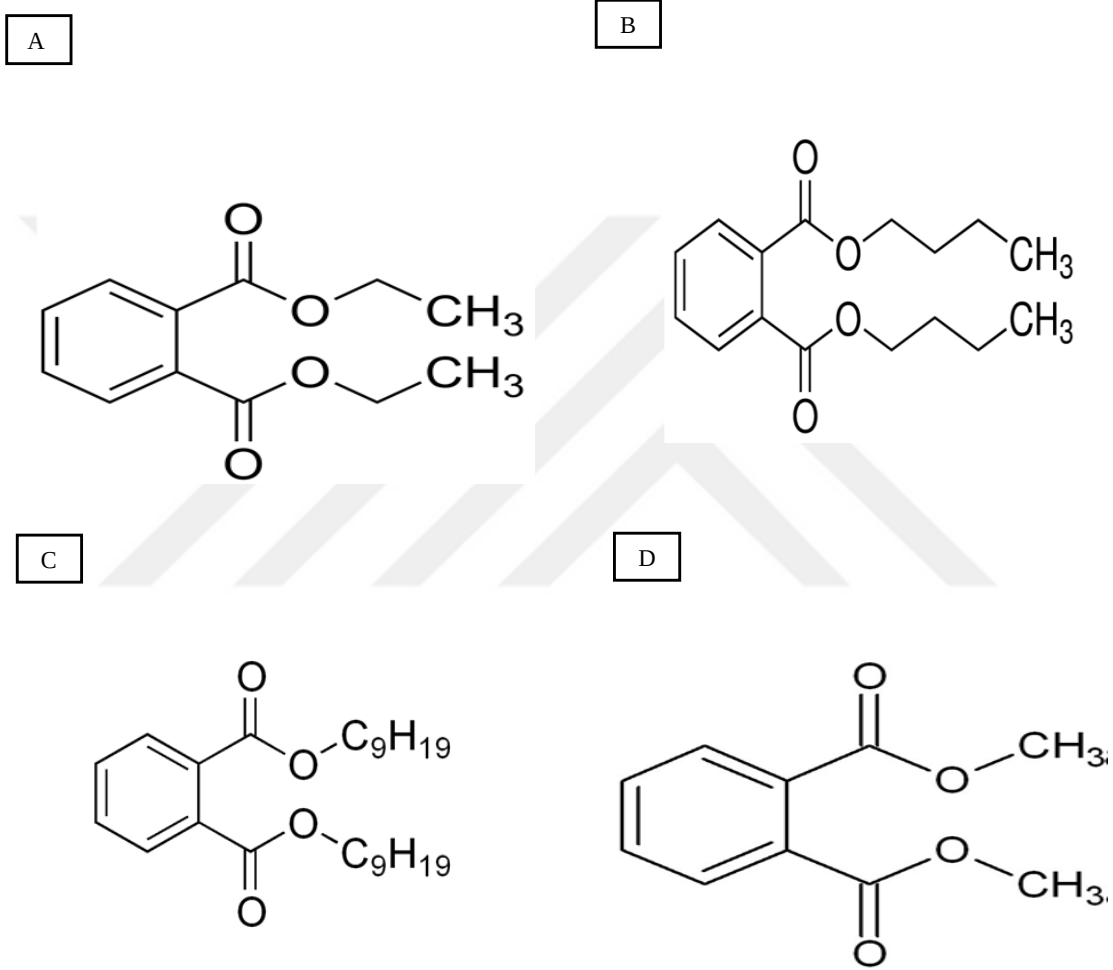
Dimetil Fitalat (DMP): Renksiz ve hafif aromatik kokulu olan DMP, yağlı bir sıvıdır. Kullanım alanı oldukça genişdir. Plastik, böcek ilacı, vernik, kauçuk kaplama ve katı yakıtlı roket motorlarında sıkça tercih edilir. İnsanlar, dimetil fitalata yiyeceklerden, hemodiyaliz tüplerinden ve içme sularından maruz kalabilir. Ayrıca kimyasal madde üretimi yapan fabrikalarda çalışan işçilerde bu fitalat ile temasta bulunabilirler. DMP'ye kısa sürede maruz kalındığında göz, burun ve boğazda tahrişe neden olabilir. Ancak uzun süreli maruziyette DMP'nin insanlardaki kronik etkileri konusunda bilgi bulunmamaktadır (Qureshi 2016) (Şekil 3).

Dietil Fitalat (DEP): Genellikle kokusuz olan dietil fitalat esteri berrak ve renksizdir. Plastikleştirici olarak kullanılan bu fitalat; plastik ambalaj filmleri, tıbbi malzemeler, banyo ve kozmetik sektöründe sıklıkla tercih edilir (Seyhan 2018). Alkol, eter, aseton, benzen içerisinde çözölmektedir (Yerlikaya 2017). Ürünlerin ambalaj malzemesinde kullanılan DEP, ambalajdan yiyeceklerle ve içme sularına göç etmesiyle insanlar bu fitalata maruz kalabilirler. Ayrıca PVC içerikli tıbbi araçların kullanılmasıyla solunum yoluyla maruz kalınabilir (Api 2001) (Şekil 3).

Di-n-Bütil Fitalat (DBP): Yağlı bir sıvı olan DBP, kokusuzdur ve soluk sarı renklidir. Genellikle plastiklerde yumuşatma ve esnekleştirme için kullanılır. Giyim sektöründe yağmurluklarda, gıda ambalajları DBP'nin kullanıldığı alanlardan bazılarıdır. İnsanlar dibütil-fitalata en çok balık ve diğer deniz ürünlerini tüketmesiyle maruz kalır. Sudaki bulaşının balık ve deniz ürünlerine geçmesi sonucu, balıklardaki dibütil fitalat seviyeleri 78-200 ppb arasında değişebilmektedir. Son zamanlarda yapılan araştırmalara göre DBP, üreme sistemine etkisi DEHP ile benzerlik gösterir. Ancak DEHP'e göre etkisi daha düşüktür. İnsanların bu

fitalata solunum ya da ağız yoluyla maruz kalması durumunda meydana gelecek etkileri henüz bilinmemektedir (David 2000) (Şekil 3).

Di-İzononil Fitalat (DİNP): Renksiz ve yağlı bir sıvı olan DİNP, hafif ester kokuludur. Sudan yoğundur ve suda çözünmeyen 8-10 karbondan oluşan bir fitalattır. Gıda ambalaj sektörünün yanında oyuncak, kıyafet, boya vb. alanlarda da aktif olarak kullanılmaktadır. DİNP'e maruziyet genelde solunum, sindirim ve deri teması ile olmaktadır (Qureshi 2016) (Şekil 2).



Şekil 2. A: DEP (di-etil fitalat), B: DBP (di-n-bütül fitalat), C: DİNP (di-izononil fitalat), D: DMP (di-metil fitalat) (Seyhan 2018; Yerlikaya 2017)

Plastik ambalajlarla (gıda ve gıda dışı kullanımlar için) ilişkili kimyasallara genel bir bakış, insan ve/veya çevre sağlığı için öncelikli tehlike özelliklerine sahip en az 148 madde olduğu bildirilmiştir (Groh *et al.* 2019; Muncke 2021; Alak *et al.* 2024a). Bu endişe vericidir, çünkü plastikte bulunan, bilinen veya potansiyel olarak tehlikeli kimyasallar gıdaya geçebilir ve bu nedenle gıdayı korumak için kullanılan ambalaj gıdanın kimyasal kontaminasyonunun kaynağı haline gelebilir. Bu nedenle neredeyse tüm insan nüfusunun plastik gıda ambalajlarından kaynaklanan tanımlanmış tehlikeli kimyasallara maruz kalma olasılığı çok

yüksektir. Aynı zamanda, plastik ambalaj imalatında (muhtemelen) kullanıldığı belirlenen 4.283 kimyasalın çoğu, bir tehlike değerlendirmesini engelleyen toksikolojik verilerden yoksundur. Bu, toksisite özellikleri henüz belirlenmemiş olan plastik ambalajlardan taşınan ek tehlikeli kimyasallar olabileceği anlamına gelmektedir. Artan kamuoyu farkındalığı, sorunu yalnızca başka bir sorun yaratmak için çözen, ileriye dönük sürdürülebilir bir yol olmayan “Köstebek Vurma” yaklaşımı olarak tanımlanan sistemlere sürüklemiş ve sorunun yön değiştirmesinden öteye geçmeyen tehlikeli oldukları bilinen diğer kimyasalların yine eşit seviyede toksik özellik gösteren başka bir kimyasalla değişimi gibi yaklaşımlar benimsenmiştir (Muncke 2021). Bu durum, birçok çalışmaya ilham olsa da bu yaklaşımlar, kimyasal göçün kritik konusunu genellikle ihmal etmektedir.

Gıda- Ambalaj Etkileşimleri

Migrasyon (Göç)

Gıda geliştirilen çeşitli yöntemlerle raf ömrünü uzatmak ve tazeliğini korumak için ambalajlanır. Ancak zaman içinde gıda ve ambalaj arasında birtakım etkileşimler olur ve gıdanın temas ettiği ambalaj malzemesinden ürüne bulaşmalar olur. Bu durum migrasyon olarak adlandırılır. Migrasyon; gıda ambalajında kullanılan malzemeye, depolama sıcaklığı ve süresi, ambalajlama sıcaklığı ve süresi, UV ve ışığa maruziyet süresi gibi faktörelere bağlıdır (Muncke 2009).

Çevre, ambalaj materyali ve ürün arasında meydana gelen etkileşimler;

- 1- Migrasyon
- 2- Sorpsiyon
- 3- Permasyon olarak tanımlanmıştır (Altuntaş 2014) (Şekil 4).

Migrasyon (Göç); Gıda ambalajından ürüne düşük molekül ağırlıklı bileşenlerin bulaşması ve gıdada tutulması olayıdır.

Sorpsiyon; Gıdada bulunan moleküllerden ambalaja geçmesi olarak tanımlanır. Aynı zamanda gıda bileşenlerinin ambalaj materyali tarafından tutulması olarak bilinir.

Permasyon; Dış ortam ile temas halinde olan ambalaj ve içerisindeki ürüne veya üründen direk dış ortama moleküllerin geçmesidir.

- Gıdanın fiziksel özelliği,
- Gıdanın özelliği,
- Gıdanın migranta olan afinitesi,
- Ambalaj malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri,
- Ambalaj materyalinde bulunan migrantın çeşidi ve oranı,
- Gıda ile ambalajın temas alanı,
- Gıda ve ambalaj arasındaki temas süresi ve sıcaklık gibi etkenlerdir (Ormancı 2006).

Migrasyon, toplam ve spesifik migrasyon (SML) olarak ikiye ayrılır.

Toplam migrasyon; gıda ambalajından ürüne geçen tüm kimyasal bileşenlerin toplamı olarak tanımlanırken, spesifik migrasyon (SML) ise; gıda ambalajında bulunan özellikle toksik olarak belirlenen maddelerinin birinin ya da daha fazlasının gıdaya geçmesi olarak tanımlanmaktadır (Tural 2013).

Ambalajlama, gıdaların korunması ve raf ömrünün uzatılmasında önemli olmasına rağmen, bazı ambalaj bileşenleri gıdaya kimyasal bileşikler aktarabilmektedir. Son zamanlarda ambalajın plastik partikülleri serbest bırakabileceği ve yiyeceklerimizi plastik parçalarla kirletebileceği bildirilmiştir (Kedzierski *et al.* 2021; Alak *et al.* 2022b; Alamdari *et al.* 2022). Fitalatlar (FTL)/fitalik asit esterleri (FAE) esnek plastik ürünler yapmak için katkı maddesi veya plastikleştirici olarak kullanılmaktadır. Fitalat esterleri ya da daha bilinen ismi ile fitalatlar (FTL) petrolden imal edilen, polimer karışımlarına esneklik ve işlenebilirlik sağlayan bir tür polimer organik malzeme katkı maddesidir (Montevecchi *et al.* 2017; Zhang *et al.* 2021). Düşük moleküler ağırlıklı (DMA) fitalatlar suda çözünür ve doğada polardır (Tumu *et al.* 2023; Velotto *et al.* 2023). Fitalatlar, gıda ambalajları da dahil olmak üzere çeşitli tüketici ürünleri için esas olarak plastikleştirici ve ürüne şeffaflık kazandırma amacıyla kullanılan organik lipofilik bileşiklerdir. Bu plastikleştiriciler, gıda ambalaj filmlerinde tek başına ağırlıkça %30'a kadar bulunabilmektedir (Luo *et al.* 2012; Hayasaka 2014; Chakraborty *et al.* 2022). Fitalatların avantajlarının yanı sıra çeşitli dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar içerisinde FTL esterlerinin yarı ömürlerinin kısa, polimerlere kovalent bağlarla bağlı olmadıkları için içerisinde bulundukları polimeri terk etme eğilimlerinin yüksek ve özellikle yağ bazlı matrikslere migrasyonu daha fazla olması sayılabilir (Wu *et al.* 2013, Du *et al.* 2015).

Fitalat ve Esterlerinin Analiz Yöntemleri

Fitalat ve esterleri Gaz kromatografisi-Kütle spektroskopisi(GC-MS), Tandem kütle spektroskopisi (GC-MS/MS), Sıvı kromatografisi-Kütle spektroskopisi (HPLC) gibi cihazlarla belirlenebilmektedir (Oruç 2020).

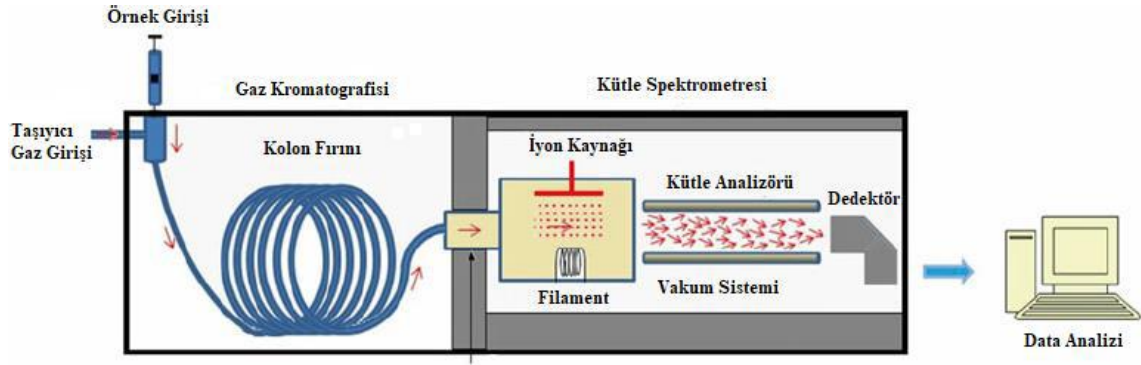
Fitalat esterlerini analiz ederken sıkça kullanılan cihazların başında GC-MS gelir. Yüksek tekrarlanır olması yanında düşük limitte doğru sonuçlar elde edildiği için alanındaki güçlü cihazların başında gelmektedir.

GC'ler, bir kolonda farklı hızlarla ilerleyen ısıya dayanaklı olan organik ve inorganik bileşiklerin bozulmadan uçucu hale geçip ayrılmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde kolondan çıkan bileşikler ayrı bir spektrumda birikir. Daha sonra bu spektrumlardan bilgisayara aktarılır ve okuma yapılır (Tutanç 2009).

GC-MS de ilk adım numune hazırlama, enjeksiyon ve bir GC kolonunda ayırma ile olur (Rao *et al.* 2023). Kolondan ayrılan bileşikler inert taşıyıcı bir gaz ile olmaktadır (Lie *et al.* 2023). Kütle spektrometresinin çalışma sistemi yüksek bir vakum gerektirildiğinden, molekülleri GC'den kütle spektrofotometresine aktarmak için bir ara yüz gerekir. Kolondan çıkan moleküller, iyonizasyon bölümüne geçer ve burada bazı moleküller güçlü elektron akışına maruz kalarak parçalanarak iyonlaşır. Parçalanmayan moleküllerde iyon üreterek iyonlara ek olarak moleküllerin parçalanmasında ya da yeniden düzenlenmesinde rol alabilir. Bir kütle analizöründe iyonlar hızlandırılır ve kütle/yük (m/z) oranına göre uygun hızda sınıflandırılır. Kütle analizörü binlerce farklı iyon kütlelerini (m/z) hızla sıralayabilir. İyonlar her m/z için detektöre çarptığında üretilen elektronların sayısı daha sonra iyonların bolluğunu belirlemek için bir dedektör yardımıyla ölçülür (Rao *et al.* 2023)(Şekil 6).

Kolonda kullanılan taşıyıcı gaz genellikle helyumdur. Ancak argon ve hidrojen gazları da kullanılabilir. MS bölümünde iyonlaştırma genelde elektron-impakt veya kimyasal ile yapılır. Kütle analizörü olarak ise kuadrupol, iyon tuzaklı ve uçuş zamanlı sistemlerinden biri tercih edilir.

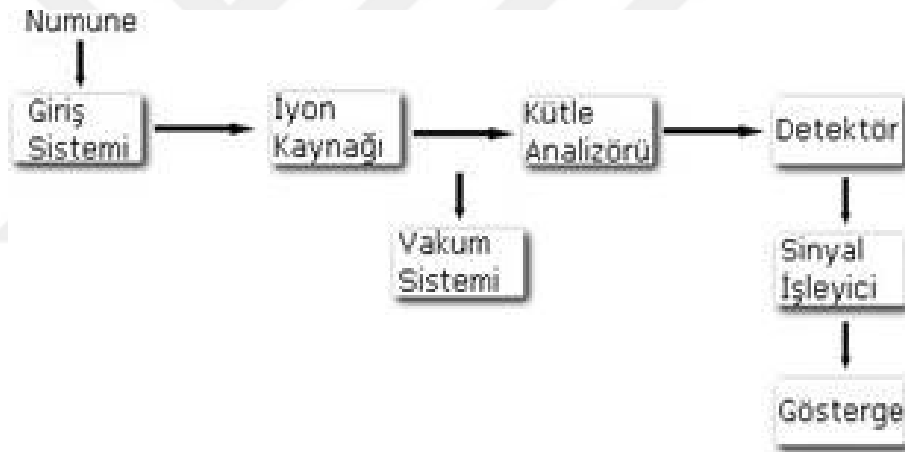
Gaz kromatografisi (GC) ve Kütle spektrometri (MS), bağıl moleküler miktarını belirlemek için birleştirilir. Bu yöntem yüksek hassasiyet gerektirir. Düşük molekül ağırlıklı veya iz maddelerin belirlenmesinde sınırlıdır. Son yıllarda GC-MS gıda aroma analiz gibi birçok alanda da kullanılmaktadır (Lie *et al.* 2023).



Şekil 5. GC-MS'in şematik gösterimi (Oruç 2020).

Moleküler Kütle Spektroskopisi

Kütle spektroskopisi, maddelerin (biyolojik, inorganik ve organik moleküllerin) elemanlarını ve yapılarını belirlemede, bir numunede bulunan izotopik atomlarının oranını bulmada ve karmaşık yapıya sahip malzemelerin nicel ve nitel özelliklerinin analizine kullanılan bir yöntemdir (Tutanç 2009).



Şekil 6. Kütle spektrometresi

Kütle spektrometresinin ilk kısmında numune giriş sistemi bulunmaktadır. Numunenin verildiği giriş bölümü genelde katı ile sıvıları buharlaştırabilen bir bölüm içerir. Giriş sisteminde amaç, az miktardaki numuneyi (mikromol ya da daha az) kütle spektrometreye vermektir. Spektrometre içine verilen numune gaz halinde iyonla dönüşür. İyonlaşma işlemi iyon kaynağı bölümünde olur. Genellikle giriş sistemi ile iyon kaynağı birleştirilir. İki sistemde de pozitif ya da negatif iyonlar (genellikle pozitif olanlar) kütle analizörüne doğru hızlandırılır. Kütle analizörü, optik spektrometrelerde bulunan optik ağı benzer. Ancak burada fotonlar dalga boylarına göre ayrılmaz, kütle/yük (m/z) oranına göre ayrılır. Kütle spektrometresi, bünyesinde bulunan kütle analizörü yapısına göre sınıflandırılır. Optik spektrometrelerde olduğu gibi transduserli kütle spektrometreleride (iyonlar için) iyon demetini elektriksel sinyale dönüştürürler. Ortaya çıkan bu sinyaller, bilgisayar sistemine

değişik şekillerde işlenir, kaydedilir, görünür ve grafiğe çevirilir. Optik spektrometrelerde bulunmayıp (sinyal ve gösterge bölümleri hariç) kütle spektrometrelerinde bulunan özellikleri vakum sistemidir (10^{-4} - 10^{-8} torr) (Skoog *et al.* 1998) (Şekil 6).

Bunun yanı sıra işleme sırasında potansiyel kaynaklarla (işleme teknolojileri, ürünlerde kullanılan katkı maddeleri, işleme prosesinde kullanılan yardımcı ekipmanlar, ambalaj veya dış etkenler) gıdaya bu plastiklerin kontamine olabileceği de düşünülmektedir (Barboza *et al.* 2020; Tunçelli ve Erkan 2021).

Su ürünleri, yüksek besin değerleri ve lezzetleri nedeniyle dünya çapında beğenilen ve tüketilen gıdalardandır. Bu nedenle balıkçılık sektöründe ürün güvenliğinin sağlanması çok önemlidir. Balık ve diğer su ürünleri, temel protein ve temel yağ asitlerinin kaynaklarıdır. Bu nedenle, bu tür ürünler kolayca kontamine olur ve ayrıca kritik patojenik bakteri içerme riski taşır. Su ürünleri, mikrobiyolojik bozulmaya ve hızlı lipid oksidasyonuna kolayca maruz kaldıkları için en çabuk bozulan gıda ürünleri arasındadır (Erkan *et al.* 2015; Tosun *et al.* 2018). Ayrıca diğer et ürünleri ile karşılaştırıldığında uygun olmayan depolama yöntemleri ve yanlış tüketim alışkanlıkları gibi faktörlerden kaynaklanan mikroorganizma sayısındaki artış nedeniyle deniz ürünleri hızla bozulmaktadır (Şevik vd 2022). Mikrobiyal bozulma, balık kaslarında çok miktarda düşük moleküler ağırlıklı bileşikler, yüksek su aktivitesi ve ölüm sonrası yüksek pH (> 6) varlığı nedeniyle hızlı ilerler (Sheikha *et al.* 2022). Bu bozulma faktörleri, genel olarak toplam uçucu bazik nitrojen (TVB-N) olarak adlandırılan organik aminlerin birikmesine neden olan protein ağırlıklı nitrojen (N) içeren bileşiklerin bozulmasına yol açar. Bu bileşikler, farklı derecelerde toksisite sergileyebilir ve ayrıca filetoların rengini ve lezzetini olumsuz yönde etkiler, bu da nihai olarak balık ürünlerinin kabul edilebilirliğini ve güvenliğini etkiler. Malondialdehit gibi ikincil oto-oksidasyon ürünlerinin içeriği, öncelikle lipid oksidasyonunun değerlendirilmesi için önemli bir indeks olarak kabul edilen tiyobarbitürik asit-reaktif maddeler (TBARS) değeri ile gösterilir (Dai *et al.* 2022). Özellikle, bu ikincil oto-oksidasyon ürünleri, hoş olmayan bir tada ve ekşimiş tatlara neden olacaktır. Bu nedenle, TVB-N ve TBARS ile ilgili bileşiklerin seviyeleri, balık ürünlerinin kabul edilebilirliği, yenilebilirliği ve güvenliği ile sıkı bir şekilde bağlantılıdır (Dai vd 2022; Alak *et al.* 2024; Kara *et al.* 2024). İşlenmiş deniz ürünlerinin doku ve renk özellikleri, tüketicilerin kabulü ve satın alma arzusu üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (Liu *et al.* 2020). Literatürler, deniz ürünlerinin dokusunu etkileyen faktörlerin esas olarak türler, yağ içeriği ve dağılımı, kas lifi yoğunluğu ve protein oksidasyonunu içerdiğini bildirmiştir. İşlenmiş deniz ürünlerindeki miyofibriller protein (MP), kolajen ve sarkoplazmik proteinler, depolama sırasında oksidasyon veya bozunmaya uğrayarak zayıf doku özelliklerine neden olabilir.

Ayrıca deniz ürünleri, bol miktarda PUFA'ları nedeniyle lipid oksidasyonuna daha yatkındır. Literatürlere göre, lipid oksidasyonu, depolama sırasında işlenmiş filetoların renk değişiklikleri ile yakından ilişkilidir. Protein oksidasyonu, miyofibril parçalanma indeksi (MFI), su tutma kapasitesi (WHC) ve su aktivitesi (aw) bozulmada dikkate alınan diğer parametrelerdendir (Li vd 2022).

Genel olarak taze balıklar, ölüm sonrası balıkların kalitesini ve tazeliğini korumak için üreticiler ve/veya tüketiciler tarafından düşük sıcaklıklarda saklanmaktadır. Bununla birlikte, dondurma ve soğuk depolama, balık - balık ürünlerinin korunmasında önemli ve sık kullanılan yöntemler olmasına rağmen, su ürünlerinin bozulmasını tamamen engelleyememektedir (Dai *et al.* 2022; Sheikha *et al.* 2022). Bu nedenle, balıkların raf ömrünü uzatmak için soğutma bozulmaya neden olan aerobik mikrofloranın büyümesini önlemek için genellikle vakum ambalajlama ile birleştirilir. Bu nedenle uygun paketlenme ve/veya işleme tekniklerinin uygulanması balık ve balık ürünlerinin raf ömrünü uzatmak için en iyi çözüm olmaktadır (Sheikha *et al.* 2022).

Ambalajlanmış su ürünlerinde plastik migrasyonuna ilişkin bilgi sınırlıdır ve bu konuda sadece birkaç çalışma vardır. Ancak burada, FTL'ların hem ambalajda ve ambalajlanmamış balık etinde hem de ambalajlanarak depolanan balık etinde varlığı ve oluşumuyla depolama süresi-sıcaklığına bağlı migrasyon potansiyeli ve hızı araştırılmaktadır. İkinci olarak, deterministik bir yaklaşımla özellikle vakum ambalajlanarak depolanan alabalık filetolarında fitalatların olası migrasyon potansiyeli ve hızının depolama sıcaklığına bağlı olarak takip edilmesinin yanı sıra polietilen (PE) polimer tespiti ve fileto kalitesi ile ilişkisindeki etkisinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

KURAMSAL TEMELLER

Alp and Yerlikaya (2020), yaptıkları çalışmalarında paketlenmiş gıdalarda, fitalat esterlerine maruziyetin belirlenmesi adına farklı ambalaj materyalleri (polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), teneke kutu ve cam kaplar) ile paketlenmiş deniz ürünlerinde, fitalat esterlerinin (DEHP, DBP, BBP, DINP, DIDP ve DNOP) zamana bağlı (4 ay boyunca) göçünü araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgularında en fazla bulunan fitalat esteri DEHP olarak belirlenmiş ve en yüksek DEHP değerinin 830,30 ng/kg ile 4. ayda PP'ye paketlenmiş salamura ton balığında tespit edildiğini bildirmişlerdir. Diğer bir ambalaj materyali olan PVC'de ise DEHP, DBP ve DINP esterlerine rastlandığı, en düşük fitalat ester seviyelerinin ise teneke kutuda olduğunu rapor etmişlerdir. Üç paketlenme malzemesinin de fitalat esterlerinin gıda maddelerine göçünde aktif bir rolü olduğu ve ambalaj malzemesiyle uzun süreli temasla göçün arttığını kaydetmişlerdir.

Son zamanlarda, MP'lerin tanımlanması ve nicelenmesi için çeşitli analitik yöntemler kullanılmıştır. Bunlar arasında erime testleri, lekeli parçacıkların görüntü analizleri, yakın kızılötesi hiperspektral görüntüleme ile özel mikroskop kullanılarak görsel MP'lerin tanımlanması, yakın kızılötesi hiperspektral görüntüleme Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) ve Raman spektroskopisi sayılabilir (Alak *et al.* 2022a). Özellikle gıda ve/veya ambalaj orjinli plastik içeriğinin belirlenmesinde kütle spektrometrisi (GC-MS), basitliği ve sağlamlığı nedeniyle en yaygın olarak uygulanan analitik tekniktir. Bu teknik, matris etkileri ile ilgili problemler olmaksızın LC-MS/MS'den daha yüksek bir ayırma verimliliği ve daha düşük maliyetler sunar (Martín-Pozo *et al.* 2022).

Alak *et al.* (2022b) yaptıkları çalışmada, gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarında farklı sıcaklık ve zaman aralıklarında uygulanan sous-vide (So-Vc) tekniğinin mikroplastikler (MPs) degregasyon veya migrasyon mekanizmalarına olası etkilerini ve insanlar tarafından alım düzeyini değerlendirmişlerdir. Bu amaçla 7 uygulama sıcaklığı (50, 55, 60, 65, 70, 75 ve 80 °C) ve 3 farklı pişirme zamanı (10, 15 ve 20 dk.) ile gökkuşağı alabalığı filetolarında So-Vc tekniği uygulanmış ve MP varlığı, boyutu, şeklinin yanı sıra polimer türleri ve insanlar tarafından olası MP alım seviyesi belirlenmiştir. Yapılan analizlerde, 1g balık dokusunda $1,27 \pm 0,54$ MP/g bulunmuştur. MP boyutsal olarak değerlendirildiğinde ise % 67 oranında $< 50 \mu\text{m}$ ve % 8 oranında 500-1000 μm MPs tespit edilmiştir. En baskın renk

siyah, şekil ise fragment olarak belirlenmiştir. En düşük alım seviyesi ise 6140 MP adet/yıl olarak bildirilmiştir.

Ambalaj malzemeleri ve tüketici ürünlerinde fitalat varlığı ve migrasyonu özellikle son yıllarda ciddi bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Bu kaygıdan hareketle bazı balık türleri (levrek ve hamsi) ile yapılan bir çalışmada vakum ambalajlanan balıklar -18°C 'de 90 gün boyunca depolanmış ve ambalajın depolama süresine bağlı olarak kimyasal bileşiminin sıcaklıktan etkilendiği ve işlem gören paket materyalinde daha farklı polimer tiplerinin olduğu tespit edilerek, ambalaj materyalinde ve balık etinde BB, DIBP, DBP, DPENP, DHEXP, BBP, DEHP, DCHP, DNOP, DINP ve DIDP olmak üzere 11 çeşit FTL belirlenmiştir. Her iki balık etinde baskın FTL homologunun BB ve DPENP, ambalajda ise DEHP olduğu kaydedilmiştir. Ancak depolama süresince kas dokuda baskın olan PAE homologu BB haricinde balık türüne ve depolama süresine göre farklılık göstererek hamside DBP levrekte ise DPENP'nin dominant hale geçtiği rapor edilmiştir (Alak *et al.* 2024a).

Alak *et al.* (2024b) farklı kimyasal kompozisyondaki barbunya (yağlı) ve mezgit (yağsız) türü bentik balıkları kullandıkları bir çalışmalarında, balıklar vakum ambalajlama yapılarak -18°C 'de depolanmış ve 3 aylık depolamanın belirli periyotlarında (0, 30 ve 90. gün) her balık türüne ait kas dokusunda fitalat içeriği izlenmiştir. Depolanan filetolarda 11 çeşit (BB, DIBP, DBP, DPENP, DHEXP, BBP, DEHP, DCHP, DNOP, DINP ve DIDP) FTL belirlendiğini kaydetmişlerdir. Araştırma bulgularında bu fitalatlar içerisinde en yüksek konsantrasyonun BBP'ye en düşük seviyenin ise DMP'ye ait olduğunu kaydetmişlerdir.

İklim değişikliğinin tarım ürünleri ve gıda değer zinciri üzerine etkisinin modellenmesi olarak kurgulanan bir çalışmada, gökkuşağı alabalığının filetolarında proksimate, renk, tekstür, su aktivitesi, su tutma kapasitesi, protein oksidasyon/denatürasyonu ile yağ asidi ve protein profilinin yanı sıra mikrobiyolojik ve kimyasal değişimleri incelenmiş ve gökkuşağı alabalığı filetolarında sıcaklık stresinin proksimate verilerini etkilediği, miyofibril parçalanmayı engellediği, renk, doku, su tutma kapasitesi, su aktivitesi, pH, laktik asit ve glikojen düzeylerine olumsuz etki yaptığı, bununla birlikte özellikle soğukta muhafaza süresince mikrobiyal bozulmayı geciktirerek olumlu etki yaptığı bildirilmiştir (Alak *et al.* 2024).

Gao *et al.* (2024) yaptıkları çalışmalarında, sazan filetolarının depolanması sırasında protein bozulması ve oksidasyonunu araştırmak amacıyla taze, dondurulmuş ve salamura edilmiş filetoları kullanmışlardır. Dondurulmuş depolamanın, protein bozulmasında ve oksidasyonunda baskın bir rol oynadığını bildirmişlerdir.

Donduruma süresi ve sıcaklığın miyofibril bozulmasına etkisi incelenmiş ve donma süresinin uzaması ve sıcaklığın artmasıyla kas liflerinin kırıldığı; kas hücrelerinin düzensiz bir şekilde dizildiği; örneklerin parçalanma indeksi değeri, iyonik bağ sayısı ve hidrojen bağ sayısının önemli ölçüde azaldığı, bu nedenle dondurarak depolamanın, doku mikro yapısında önemli hasara neden olarak protein bozulmasının hızlanmasına ve protein yapısal bütünlüğünün kaybolmasına neden olduğu bildirilmiştir (Wang *et al.* 2024).

Luzardo *et al.* (2024) farklı soğutma teknikleri ile ambalajladıkları etlerde kalite, oksidatif durum ve mikrobiyal yük üzerine belirlenen depolama koşulu ve paketleme tipinin kombinasyonlarını uygulamışlardır. Depolama süresi arttıkça et renginde L* değerlerinin (açıklık) farklılık göstermediğini ancak a* değerlerinin gruplar arasında değişim gösterdiğini, bununla birlikte Warner-Bratzler kesme kuvveti değerlerinin 28 günlük soğutmadan sonra tüm uygulamalarda azaldığını bildirmişlerdir.

Gökkuşığı alabalığı filetolarında yapılan çalışmada biyofilm ambalajlamanın balık filetolarının kalitesini önemli ölçüde arttırdığını ve raf ömrünü 6 günden 16 güne uzattığını, kimyasal değerlerin (TBARS ve TVB-N) daha düşük seviyelerde kaldığını, daha düşük ağırlık kaybı, zengin renklilik (L*, a* ve b*) sergilediği bildirilmiştir (Khorami *et al.* 2024).

Xu *et al.* (2024), kontrollü donma noktası depolamasında erken postmortem dönemde farklı yoğunluktaki elektrostatik alanların taze etin su tutma kapasitesine (WHC) etkisini araştırmışlar ve miyofibril parçalanma indeksi ve mikro yapı sonuçları, yüksek voltajlı elektrostatik alan uygulamasının altındaki numunenin nispeten sağlam kaldığını, elektrostatik alan tedavisi grupları altında aktomiyosin özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin, aktomiyosin bağlanmasının miyofilament konsantrasyonuna kombinasyonu - ayrışmasından kaynaklandığı, bunun sonucunda kas WHC'sinin etkilendiğini ve ölüm sonrası erken dönemde su moleküllerinin dağılımını ve aktomiyosinin fizyokimyasal özelliklerini etkileyerek taze etin WHC'sini artırabileceğini bildirmişlerdir.

MATERYAL VE METOD

Gökkuşağı Alabalıklarından Fileto Çıkarılması, Vakum Ambalajlama ve Depolama İşlemlerinin Yapılması

Balık materyali: Araştırmada, ticari bir firmadan temin edilen ve steril ortamda hazırlanan gökkuşağı alabalığı (*Onchorynchus mykiss*) filetosu (ortalama ağırlıkları 300 ± 15 g) kullanılmıştır. Elde edilen 192 fileto her ambalaj paketine 4 adet fileto olacak şekilde rastgele dağıtım yapılarak (3 tekerrürlü olarak) deneme kurgulanmıştır. Denemede örneklem büyüklüğü GPower (3.1.9.7 version) testi kullanılarak %95 test gücü ve 0.5 hata payında değerlendirilmiş, toplam 96 adet *O. mykiss* kullanılmıştır.

Vakum ambalajlama: Ambalajlama işleminde 15×25 cm ebatında ve düşük gaz geçirgenliğine (23°C 'de, oksijen geçirgenliği: $5 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{gün atm}$, Nitrojen geçirgenliği: $1 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{gün atm}$, karbondioksit geçirgenliği ise: $23 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{gün atm}$ ve su buharı geçirgenliği $15 \text{ g}/\text{m}^2/\text{gün atm}$ 38°C) sahip film torbalarda paketlenmiştir. Toplam 48 adet vakum torbası kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Filetolarına ayrılıp, vakumlanan gökkuşağı alabalığı

Depolama: Hazırlanan 48 adet vakum ambalajın 24 tanesi -20°C 'de, diğer 24 tanesi ise $+4^\circ\text{C}$ 'de olacak şekilde her uygulama zamanı için, 2 ambalaj x 3 tekerrür olarak depolanmıştır. Vakum ambalajlaması yapılan filetolar rastgele olarak en çok kullanılan ticari sıcaklıkta ($-20^\circ\text{C}/+4^\circ\text{C}$) (Alak et al. 2011; Alak et al. 2021a; Al-Jeddawi and Dawson, 2022;

Tran *et al.* 2023) 6 ay boyunca depolama yapılmış ve depolamanın farklı periyotlarında (0., 1., 3., ve 6. aylarda) (Tran *et al.* 2023) aşağıda belirtilen analizler uygulanmıştır.

Soğukta Depolamanın Belirli Zaman Aralıklarında Fiziko-Kimyasal Analizlerin Yapılması

- a. Ham yağ içeriğinin belirlenmesi: Araştırma materyali yağsız bir balık olsada bu analiz hedef fitatların yağlara olan afinitesinden dolayı periyodik olarak diğer fiziko-kimyasal analizlerle senkronize olarak yapılmıştır. Bligh and Dyer (1959)'in yöntemi kullanılmış, homojenizasyondan sonra, 10 g örnek 0,1 mg duyarlı hassas terazide tartılarak üzerine 1:2 oranında metanol-kloroform karışımından eklenerek ultratorax yardımıyla homojenize edilmiştir. Homojenize edilen örneklerin üzerine kalsiyum klorür (%0,4'lük CaCl_2) solüsyonundan eklenerek bir süzme kağıdından süzülen örnekler, balon jojelere aktararak, ağzı parafilm ile kapatılıp karanlık bir ortamda bekletilmiş (1 gece) ve ertesi gün metanol+su tabakası, bir ayırma hunisi yardımıyla uzaklaştırılmıştır. Balon joje içinde kalan solüsyondaki kloroform+lipit kısmından kloroform, su banyosu (60°C'de) yardımıyla bir rotary evaporatör kullanılarak uçurulmuş, desikatör içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulan örneklerde yağ miktarı hesaplanmıştır (Alak *et al.* 2024c).
- b. Su tutma kapasitesinin (WHC) belirlenmesinde ise 5 g örnek tartılmış ve 4500 g/dk 10 °C 30 dk santrifüj edilmiştir. İşlem sonrası süpernatant uzaklaştırılmış ve pelet kısmı tartılıp aşağıdaki formüle göre su tutma kapasitesi hesaplanmıştır (Wu *et al.* 2013)

$$\text{Su Tutma Kapasitesi (\%)} = [1 - (\text{pelet ağırlığı} / \text{örneğin ilk ağırlığı})] \times 100$$

- c. Su aktivitesi (a_w) ölçümleri Aqualab su aktivitesi ölçüm cihazı (Decagon Devices, model series 3) ile 25°C ($\pm 0.2^\circ\text{C}$)'de yapılmıştır (Mısır and Koral, 2021). Ölçüm öncesinde cihazın kalibrasyonu hazır kalibrasyon çözeltileri (Decagon Devices, Inc. 2365 NE Hopkins Court Pulman WA 99163) ile yapılmıştır. Kalibrasyon için okuma değerlerimize en yakın olan 0.760 ve 0.984 su aktivitesi değerleri referans alınmış ve bu değerlere sahip kalibrasyon çözeltileri kullanılmıştır.
- d. Filetolara ait renk yoğunluklarının ölçümü kolorimetre cihazı (Minolta (CR-200, Minolta Co, Osaka, Japon)) kullanılarak L^* , a^* ve b^* değerleri yönünden tespit edilmiştir. Değerler (L^* , a^* ve b^*) üç boyutlu renk ölçümünü esas alan Uluslararası Aydınlatma Komisyonu CIELAB (Commision Internationale de l'E Clairage) tarafından verilen kriterlere göre yapılmıştır. Buna göre; L^* ; $L^*= 0$, siyah; $L^*=100$,

beyaz (koyuluk/açıklık); a*; +a*= kırmızı, -a*=yeşil ve b*; +b*=sarı, -b*= mavi renk yoğunluklarını göstermektedir (Alak *et al.* 2021b; Atamanalp *et al.* 2021).

- e. Toplam uçucu bazik azot (TVB-N) analizi: TVB-N tespiti Malle and Tao (1987) tarafından belirtilen yöntemle yapılmıştır. Küçük parçalar haline getirilen örneklerden tekrarlı olarak 40'ar g alınıp örneklerin üzerine 80 mL TCA çözeltisi eklenmiş, ultra Turrax'da 5 dk homojenize edilerek karışım filtre kâğıdı ile filtrelenmiştir. Elde edilen çözeltiden 25 mL alınarak üzerine 5 mL sodyum hidroksil (%10'luk NaOH) ilave edilerek, distilasyon ünitesine yerleştirildikten sonra distilasyon işlemi 5 dakikada 50 mL distilat toplanacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen distilat sülfürik asit (H₂SO₄ (0,1 N)) çözeltisi ile pembe renk oluşuncaya kadar titre edilerek ve titrasyonda harcanan sülfürik asit çözeltisi (n) dikkate alınarak aşağıdaki formülle TVB-N değeri olarak hesaplanmıştır (Çarbaş 2008; Alak 2011; Korkmaz 2016). $TVB-N \text{ (mg/100g)} = n \times 16,8 \text{ mg azot}$
- f. Thiobarbiturik asit reaktif substans (TBARS) değerinin belirlenmesi: Lemon (1975) tarafından verilen yöntem takip edilerek küçük parça haline getirilen örneklerden tekrarlı olarak 1'er gram doku alınarak üzerine %7,5 TCA, %0,1 propil gallat, %0,1 EDTA, 1-propil gallat 3 mL etanolde (%96) çözündürülmüş TCA solüsyonundan 6 mL eklenmiştir. Karışım 30 saniye homojenize edildikten sonra filtre kağıdından (Whatman 1) geçirilmiş, elde edilen filtrattan bir tüp içine 1 mL alınarak üzerine 1 mL 0,02 M TBA çözeltisi (2,338 g/L TBA) ilave edilerek su banyosunda inkübe (100 °C'de 40 dakika) edilmiş, inkübasyon sonrası soğutulan karışım 2000 rpm' de 5 dk santrifüj edilerek elde edilen supernatant alınarak 532 nm dalga boyunda (Shimadzu, UV 160) spektrofotometrik okuma yapılmıştır. Köre karşı okunan absorbans değerleri hazırlanan standart eğriden (TEB (1, 1,3,3 tetraetoksipropan) kullanılarak) elde edilen değer aşağıdaki formüle uygulanarak TBARS değeri olarak hesaplanmıştır (Alak 2011).

TBARS: $[(\text{Absorbans}/k(0,06) \times 2/1000) \times 6,8] \times 1000 / \text{Örnek ağırlığı(g)}$

- g. pH ölçümü: Küçük parçalar haline getirilen fileto örneklerinden tekrarlı olarak 10 g alınıp üzerine hacminin 10 katı (100 mL) saf su ilave edilerek karışım homojenize edilmiş (Ultra Turrax'ta 1 dk) sonra pH metre ile pH değeri ölçülmüştür. Ölçümler yapılmadan önce pH metre 4.00 ve 7.00'lik tampon çözeltileri ile kalibre edilmiştir (Alak 2011).

- h. Miyofibril parçalanma indeksinin (MFI) belirlenmesi: Bu indexin belirlenmesi, soğuk MFI tamponla [(100 mM KCl, 1 mM EGTA, 1 mM MgCl₂ ve 1 mM NaN₃

içeren 40 mL 0.02 M potasyum fosfat tamponu (pH 7.0)] homojenize edilen örnekler santrifüjlenerek (4°C'de 1000 x g'de 15 dakika) elde edilen peletin süspanse edilmesi ile 540 nm'de kaydedilen absorbans değerinin seyreltme faktörü (200) ile çarpılması ile ifade edilmiştir (Culler *et al.* 1978; Fantini *et al.* 2020).

Ambalaj ve balık filetolarının polietilen (PE) tespiti

İşlenmiş balık numunelerinde kas dokularında (~3 g, her gruptan 3 tekrar) balık doku sindirimi prosedürü daha önceki çalışmalarda kullanılan yöntemlerden yararlanılmıştır (Karami *et al.* 2017; Clere *et al.* 2022). Kas dokuları cam beher içerisine %10 KOH çözeltisi eklenerek (3:1 çözelti: doku) 60°C de 48 saat süreyle organik madde çözülene kadar etüvde inkübasyona bırakıldı. Sindirim süresinden sonra kalan kısım cam elyaf filtrelerden (Whatman GF/C) vakum pompası kullanılarak süzüldü. Filtreler cam petri içerisine konularak 60 °C de 24 saat süreyle inkübe edildi.

Kurutulmuş filtreler, 40x büyütmede bir stereomikroskop altında renk (siyah, mavi, gri/beyaz, kırmızı/pembe, yeşil ve sarı) ve şekil (lif, parça ve film) ile karakterize edilmiştir. Resimlerdeki mikroplastik boyutlar kaydedilip ImageJ yazılım programı kullanılarak ölçülmüştür. Mikroplastik miktarı kasta mikroplastik/g olarak hesaplanmıştır.

μ-Raman spektroskopisi ile mikroplastiklerin analizi

Filetolardan izole edilen filtrelerin üzerindeki mikroplastiklerin kimyasal bileşiminin tanımlanması ve parçacıkların kimliğini doğrulamak için μ -Raman spektroskopisi (WITech alpha 300R) kullanıldı. Raman analizi Atatürk Üniversitesi Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DAYTAM) Laboratuvarında yapıldı (Erzurum, TURKEY). Tespit edilen MP'ler morfolojik olarak x50 objektif (Olympus MPLAN, 50X, NA/0.55 LWD) ile karakterize edildi ve ardından doğrudan filtre üzerinde Raman Mikrospektroskopisi ile analiz edildi (spektral aralık 160–1800 cm^{-1} , 785 nm lazer). Alet ayarlarını optimize etmek için ilk deneyler yapıldı. Her spektrumun elde edilmesi için gücünün %50'sine ayarlanmış (kaynakta ölçülen 306 mW çıkışlı) 785 nm'lik bir lazer ve 10 saniyelik bir edinim süresi seçildi. Cihaz kalibrasyonu, sisteme dahili bir silikon referans kullanılarak günlük olarak gerçekleştirildi (Caponigro *et al.* 2024).

μ -Raman spektroskopisi boyunca mikroplastiklerin tanımlanması için açık tür kitaplığı (the Open Specy Library)(<https://openanalysis.org/openspecy/>, erişim tarihi Aralık 2023) kullanıldı ve veri tabanındaki referans polimerlerle %70'in üzerinde ilişkilendirildi (Cowger *et al.* 2021; Asensio-Montesinos *et al.* 2022). Ayrıca toplanan Raman spektrumları, SLoPP ve SLoPP-E Raman Spectral Libraries of Mikroplastik spektral kitaplığında bildirilenlerle

karşılaştırıldı ve minimum %70'lik bir kütüphane eşleşmesi ile bilimsel yayınlanmış veriler doğrulama için yeterli kabul edilir (Munno *et al.* 2020). İncelenen filtrelerden (n=3, 18 tane) sadece 2 adet filtrede mikroparçacık bulunmuş ve spektroskopik doğrulamaya tabi tutulmuştur.

Ambalaj materyalinin FTIR spektroskopisi ile analizi

Balıkların paketlenildiği materyalin paketlenme öncesi ve depolama sonrası kimyasal içeriğindeki değişimi belirlemek için 4000 ila 650 cm⁻¹ dalga boyu aralığında, 8 cm⁻¹ spektral çözünürlük ve spektrum başına 32 tarama ile polimerlerin spektral sinyal değişimini ölçen Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) (Agilent Cary 630 FTIR Spectrometer, Agilent, Santa Clara, CA, ABD) kullanıldı. MP'lerin polimer türleri, Agilent MicroLab FTIR yazılım kitaplığından alınmıştır. Örneklerin spektrumları kütüphane verileriyle karşılaştırıldı ve %80'in üzerinde spektral benzerliğe sahip örnekler kabul edildi. ATR elmas kısmı herhangi bir kontaminasyonu önlemek amacıyla etanol ve saf su ile temizlendi. Paket materyali ATR elmas kristalinin üzerine yerleştirildi. Spektrumları çalıştırdıktan sonra, temel düzeltme ile ön işleme gerçekleştirilerek spektrum analizinden önce ortamda bulunan su buharı ve diğer girişimlerden kaynaklanan temel sapma giderilmiştir. Bu işlemle spektrum doğruluğu iyileştirebilir ve polimer bileşenlerinden belirli sinyaller elde edebilir. Ortalama spektrumları ve dalga sayısı alanlarını oluşturmak için spektrumlar vektörle normalleştirildi ve örnek hazırlama ve spektrum analizi sırasında hataları azaltmak için temel çizgi düzeltildi. Tüm örnekler üç kez ölçüldü. MP'lerin polimer türleri, Agilent MicroLab FTIR yazılım kitaplığından alınmıştır. Örneklerin spektrumları kütüphane verileriyle karşılaştırıldı ve %80'in üzerinde spektral benzerliğe sahip örnekler kabul edildi.

Kalite ve kontaminasyon kontrolü

MP kontaminasyonunu önlemek için tüm materyaller, ekipman ve laboratuvarın açık yüzeyleri saf su ve etanol ile silindi. Tüm materyaller kullanılmadıkları zamanlarda alüminyum folyo ile kaplanmış olarak saklandı. Deneyi yaparken pamuklu giysiler giymeye özen gösterildi ve pamuklu laboratuvar önlüğü giyildi. Laboratuvar temizlendikten sonra laboratuvarın pencereleri ve havalandırması, dış havadan bulaşmayı önlemek için sürekli kapalı tutuldu. Numuneler özenle kapatılarak mümkün olan en kısa sürede işlendi. Çalışmada kullanılan KOH solüsyonunun prosedürel boşlukları (100 mL, 4 tekerrür) Whatman filtre kağıdında süzüldü ve mikroskop altında gözlendi. Boşluklarda MP tespit edilmemiştir.

Daha önceki çalışmalarda öngörülen tüm kalite güvencesi ve güvenlik protokolleri MP analizi için numuneler işlenirken takip edildi (Dowarah *et al.* 2020; Rukmangada *et al.* 2023).

Ayrıca, parçacık karakterizasyonu sırasında μ -Raman ve FTIR laboratuvar odasındaki havadan kaynaklanan kontaminasyonu kontrol etmek için 20 laboratuvar körü tutuldu ve çalışmadaki nihai değerlerden düzeltildi.

Depolanan vakum filetolarda periyodik olarak fitalat varlığının tespiti

Başlangıçta işlem görmemiş filetolarda ve kullanılan vakum ambalajlarda fitalat içeriği 1 kez olmak üzere deneme başlangıcında ve depolanan filetolarda ise fitalat içeriği periyodik olarak takip edilmiştir.

Standartlar; Tetrahidrofuran (THF) CAS No:109-99-9, n-Heksan CAS No:110-54-3, Sikloheksan CAS No: 110-82-7, Di-izo-nonilfitalat (DINP) CAS 28553-12-0, Di-n-oktilfitalat (DNOP) CAS 117-84-0, Di-(2-etilheksil)-fitalat (DEHP) CAS: 117-81-7, Di-izodesilfitalat (DIDP) CAS: 26761-40-0 68515- 49-1, Butilbenzilfitalat (BBP) CAS: 85-68-7, Dibutilfitalat (DBP) CAS: 84- 74-2, Benzil Benzoat(BB) (İç Standart) CAS: 120-51-4, Diizobütil fitalat (DIBP) CAS:84-69- 5, Di-n-pentil fitalat (DPENP) CAS: 131-18-0, Di-n-heksil fitalat (DHEXP) CAS: 84-75-3, Disikloheksil fitalat (DCHP) CAS: 84 -61-7, Asetonitril (ACN) CAS: 75-05-08

Numune hazırlama, ekstraksiyon ve fitalat analizi: Fitalat ekstraksiyonu prosedürü literatürden uyarlanmıştır (Wenzl 2009; Chan ans Shuang 2012). Standart olarak 500 mg'lık bir doku numunesi homojenleştirildi ve homojenize edilmiş her numuneye (500 mg) 10 mL asetonitril ilave edilerek karışım oda sıcaklığında 20 dakika sonikasyonla karıştırılmıştır. Ekstraksiyon karışımı daha sonra 3500 rpm'de 15 dakika boyunca santrifüjlendi. Ekstrakt süpernatanın bir kısmı (5 mL) bir şişeye ilave edildi (Savoca *et al.* 2018).

Her 5 mL Asetonitril karşılık 10mL n-Hekzan ilave edilmiş ve eklenen n- Hekzan solventinin çözeltiyle tamamen karışması için hafifçe çalkalandı. Polimer yapının çökmesi için en az 5 dk bekletildi. Berrak çözeltiden 1 mL alınarak üzerine Internal Standart Çözeltisinden (100 mg/L) 10 μ L ilave edilerek vialler kapatıldı ve GC-MS (Agilent HP-5MS 30 m x 250 μ m x 0.25 μ m sütuna 1.0 μ L numune enjekte eden bir GC-MS/MS Shimadzu üzerinde gerçekleştirildi. Fitalat esterleri için görülme süreleri (dak) dikkate alındığında; DIBP: 4,91; DBP: 5,25; DPENP: 5,88; DHEXP: 6,53; BBP: 6,66; DEHP: 7,18; DCHP: 7,33, DNOP: 7,58; DINP: 7,80; DIDP: 8,51 olarak kaydedildi. Tüm analitik prosedür (örnekleme ve analiz), gerçek bir örnekleme durumunun simülasyonu ile doğrulandı ve taşıyıcı gaz olarak 1,0 mL dak⁻¹ akış hızında helyum gazı kullanıldı. Analizde fırın sıcaklık programı şu şekilde ayarlandı: 150 °C'lik başlangıç sıcaklığı önce 1 dakika tutuldu, 150 °C'den 280 °C'ye 30 °C

dk⁻¹'de tutuldu, daha sonra 15 °C /dk'da 280'den 310 °C'ye yükseltildi. Çözücü gecikmesi 3 dakikaya ayarlandı ve okumaları yapıldı.

Metot validasyonu

Nitel analiz, fitalatları tanımlamak için tarama modu kullanılarak gerçekleştirildi. Her fitalat, belirli bir tutulma süresinde bir tepe tarafından elüe edildi. Buna karşılık, kantitatif analizler seçilen iyon izleme (SIM) modu kullanılarak gerçekleştirildi. SIM sonuçlarından, tepe alanı pikten pike entegre edildi (Al-Natsheh *et al.* 2015). Analiz metodunun validasyon çalışmaları için tespit sınırı (LQD)/miktar belirleme sınırı (LOQ), tekrarlanabilirlik, ölçüm belirsizliği parametreleri seçilmiştir. AOAC Uluslararası tarafından açıklanan protokole göre değerlendirildi ve doğrulandı (AOAC 2016; Ramli *et al.* 2023). Her analitik dizi, iki prosedürel boşluk, birkaç çözücü boşluğu, kalibrasyon standardı, bir referans örneği ve kontaminasyon riskini azaltmak için sınırlı miktarda örnekten oluşuyordu. Yapılan çalışmalar sonucunda bu analiz için elde edilen LOD ve LOQ, tekrarlanabilirlik, ölçüm belirsizliği değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Validasyon Verileri: LOD ve LOQ, Tekrarlanabilirlik, Ölçüm Belirsizliği Değerleri

Etken Madde	LOD (µg/kg)	LOQ (µg/kg)	Raporlam aLimiti (µg/kg)	Geri Kazanım (%)	Genişletilmiş Belirsizlik (%)
DIBP	0.056	0.186	0.2	90.033	3.3
DBP	0.047	0.155	0.2	89.686	2.7
DPENP	0.044	0.145	0.2	87.100	3.8
DHEXP	0.056	0.188	0.2	92.295	6.5
BBP	0.041	0.135	0.2	90.055	4.6
DEHP	0.293	0.976	0.2	93.031	10.2
DCHP	0.100	0.334	0.2	91.183	6.6
DNOP	0.083	0.277	0.2	85.083	5.1
DINP	0.085	0.285	0.2	94.688	10.8
DIDP	0.109	0.364	0.2	87.300	8.8

İnsan maruziyetinin değerlendirilmesi

- a. Günlük diyet maruziyeti; Her bir fitalat esterinin günlük diyet alımı aşağıdaki denkleme göre belirlenmiştir (Chakraborty *et al.* 2022).

$EDI = \sum CiQi / BW \times ri$ EDI (ng/kg-v/g) diyetten tahmini günlük alım olup, Ci (ng/g) gıda ürünlerindeki fitalat konsantrasyonudur, Qi (g/d) i gıdasının günlük ortalama alımı miktarıdır, ri gıda için gastrointestinal alım faktörüdür ve BW (kg) vücut ağırlığıdır. BW

değeri için FAO tarafından verilen 70 kg kabul edilerek; ri için %100'lük bir değer varsayılır ve Qi için Türkiye İstatistik Kurumu tarafından yayınlanan 2023 yıllık kişi başına rapor edilen su ürünleri tüketim miktarı (7,1 kg/yıl) kullanılmıştır.

- b. Kanseri dışı ve kanser risk değerlendirmesi gıda numunelerinde tespit edilen plastik katkı maddelerinin kontaminasyonu, uzun süreli maruz kalma nedeniyle kanserojen ve kanserojen olmayan riskler oluşturabilir. DMP, DEP, DnBP ve DnOP gibi ftalatlar, insan sağlığı için kanser dışı bileşikler olarak kabul edildiğinden, gıda örneklerinde DEHP için kanserojen risk $CR = ADD \times CSF$ formülü ile hesaplanmıştır.

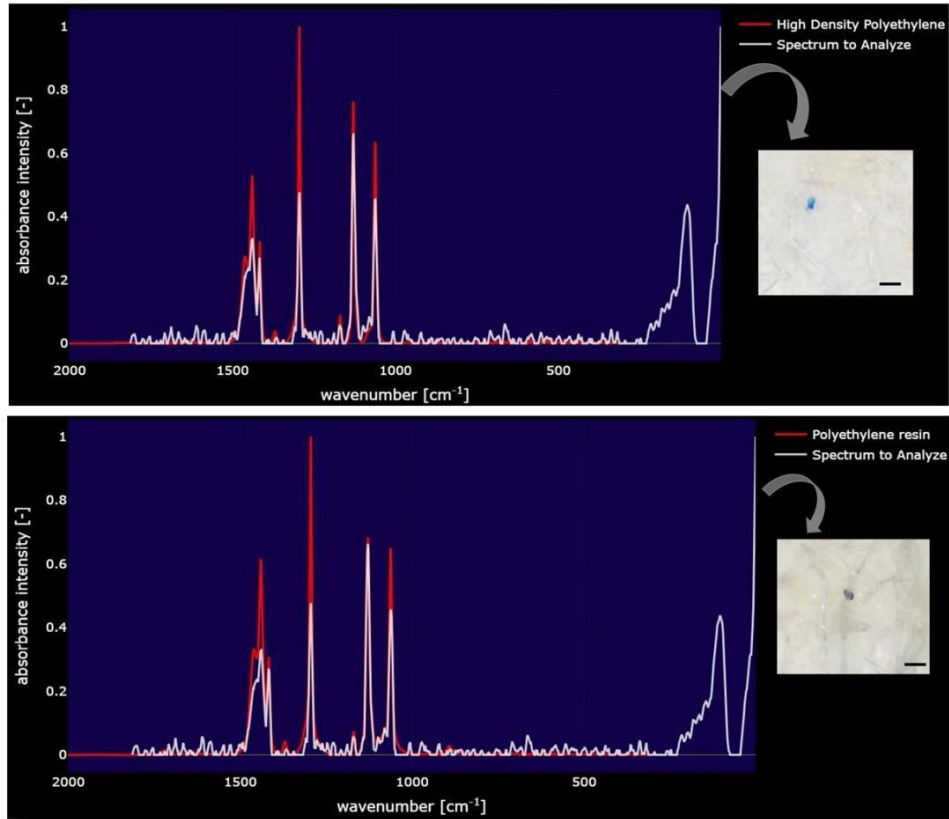
İstatistik Analizler

Kalite parametreleri ve ftalat esterleri ile ilgili veriler SPSS istatistik paketi kullanılarak analiz edildi. Ftalat verilerinde 2 yönlü ANOVA ve Bonferroni's multiple test kullanılarak gruplar arasındaki farklılıklar *p 0.05 ** p 0.01 *** p 0.001 **** p 0.0001 seviyelerinde değerlendirilmiştir. Veriler ortalama± ortalamanın standart hatası (SEM) olarak verilmiş olup GraphPad Prism 8 program ile istatistik analizler yapılmıştır. Sıcaklık, zaman ve bu faktörler arasındaki 2 yönlü etkileşimlerin ana etkilerini GLM prosedürü ile belirlendi. Anlamlı ortalamalar arasındaki istatistiksel farkları bulmak için Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi uygulandı ve veriler ortalama± SEM olarak verilmiştir (p<0.05). Parametreler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde iki değişkenli korelasyon prosedürü kullanıldı (SPSS 20.0).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

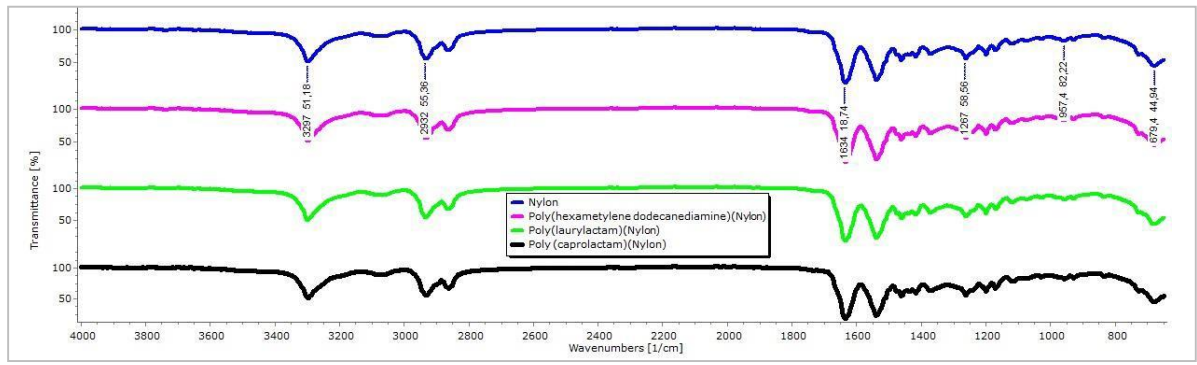
Plastik Tespiti

μ -Raman spektroskopisinde yapılan analiz sonucunda sadece 2 fileto örneğinde mikroplastik (MP) belirlenmiş ve MP miktarları açısından gruplar arasında anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$) (Şekil 1). Depolamanın 30. gününde her iki depolama sıcaklığındaki filetolarda toplam 2 adet fragment tespit edilmiştir. Bu fragmentlerden 1'i $+4^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan filetolarda siyah renkte ($23\ \mu\text{m}$) diğeri ise 20°C ' de depolanan filetolarda mavi ($11\ \mu\text{m}$) renkte tespit edilmiştir. Belirlenen fragmentlerden en küçük boyutlunun düşük sıcaklık uygulanan grupta ($11\ \mu\text{m}$) olduğu gözlenmiştir. İzolasyonu yapılan her iki mikroplastığın karakterizasyonu μ -Raman ile yapılmış ve polimer tipinin polietilen (PE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8).

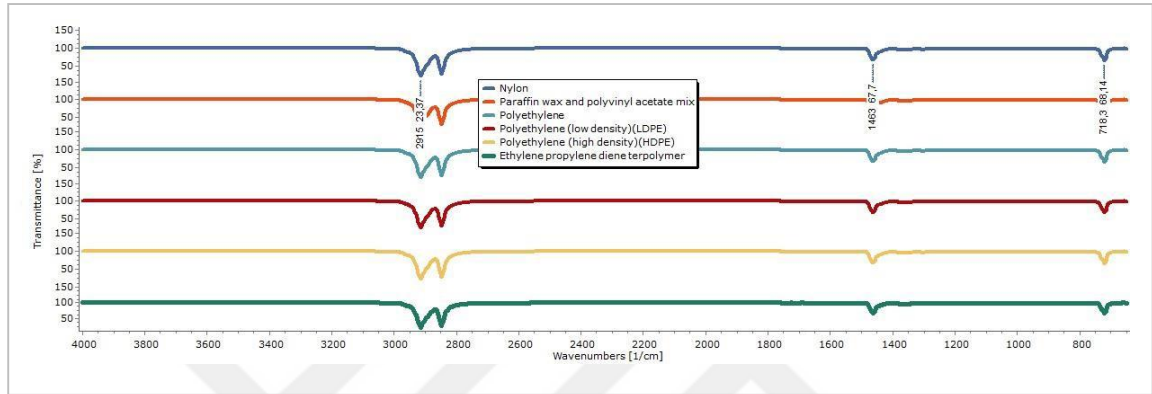


Şekil 8. μ -Raman spektrumları (Polyethylene resine: PE, High Density Polyethylene: HDPE. Scale bar: $100\ \mu\text{m}$)

Çalışmamızda vakum paketlenme işleminde kullanılan ambalajın depolama süresine bağlı olarak, kimyasal bileşiminin sıcaklıktan etkilendiği ve işlem gören paket materyalinde daha farklı polimer tiplerinin oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 9 ve 10).

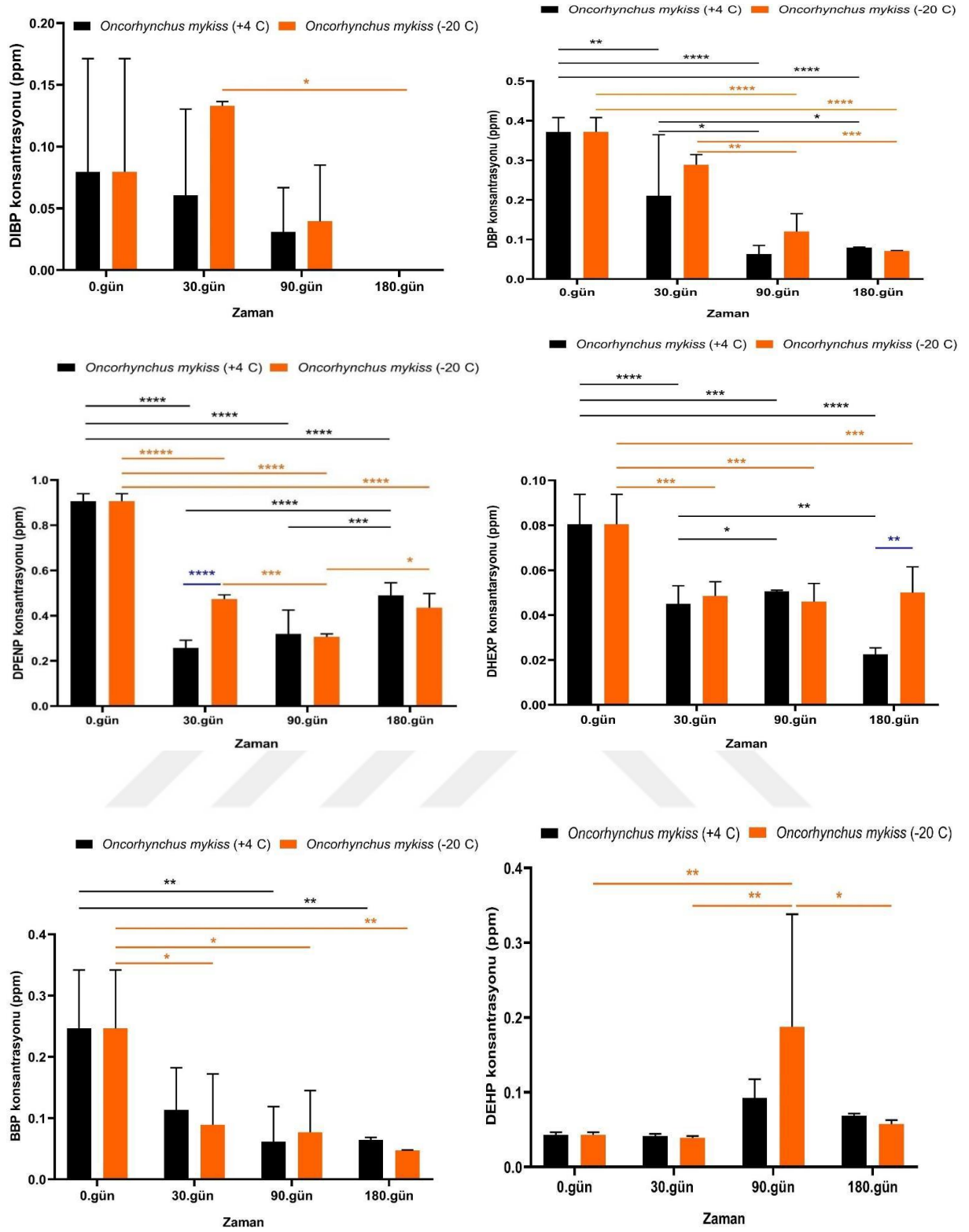


Şekil 9. Paketlenmeden önce paket materyalinin kimyasal bileşeni FTIR spektrumları

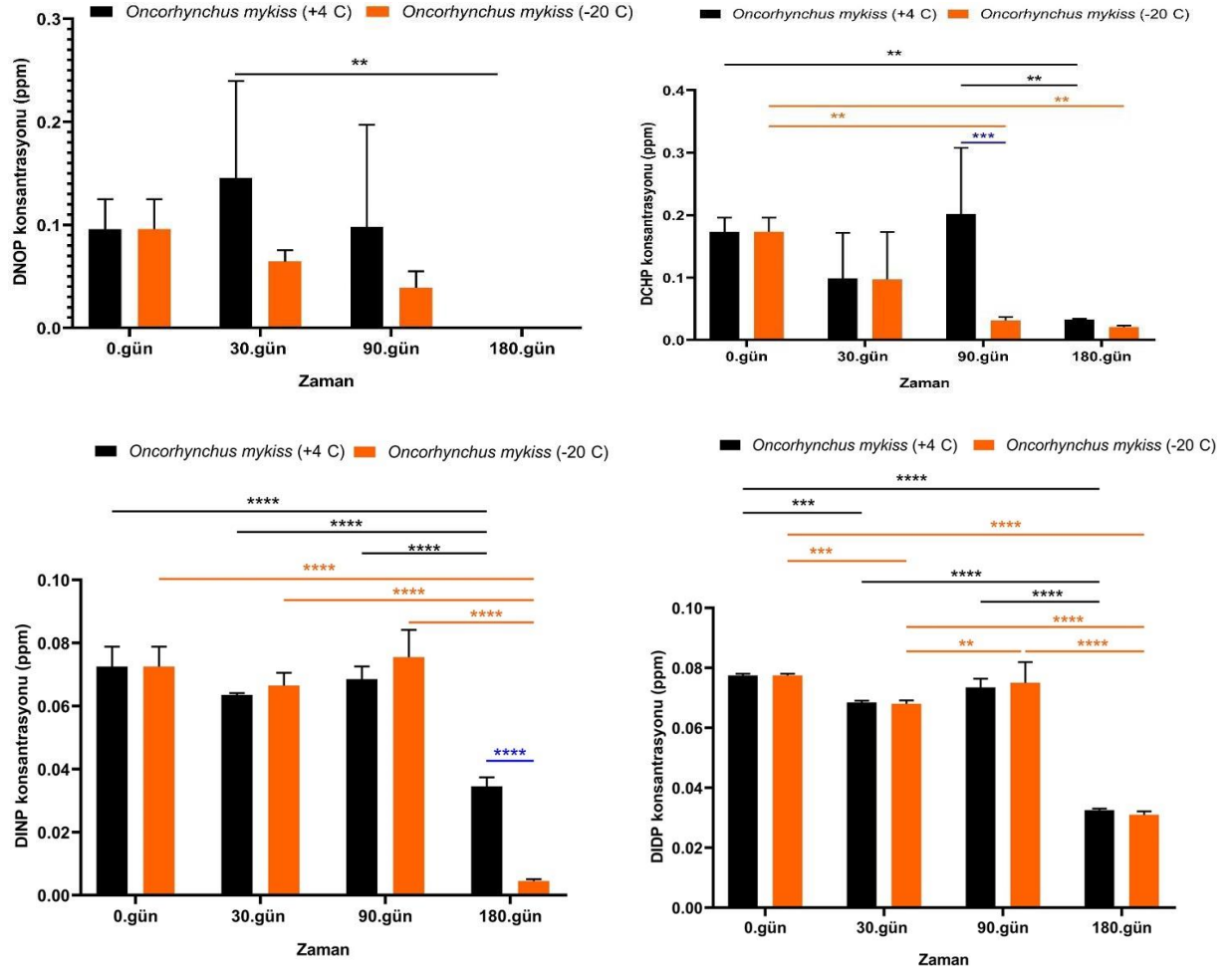


Şekil 10. Depolamanın son gününe ait (180. gün) paket materyalinin kimyasal bileşenlerinin FTIR spektrumları

Elde edilen GC/MS sonuçlarında fitalat içeriği miktar olarak değerlendirildiğinde değişken bir profilin gözlemlendiğini 0. gün uygulamada fitalat esterlerinin miktarsal oranlarında en yüksek DPENP>DBP>BBP iken en düşük seviyeler ise DEHP<DINP<DIDP<DIBP olarak belirlenmiştir (Şekil 11, Tablo 3). Depolamanın 30. gününde iki farklı sıcaklıktaki filetoların fitalat ester içeriklerinin iki grupta değiştiği, her iki sıcaklıkta ortak olan bir ester olmadığı dikkat çekmiştir. Buzdolabı şartlarında (+4 °C) fitalat esterleri varlığında en yüksek seviyede olan esterler DPENP>DNOP iken bu durum -20°C’de DPENP>DBP olarak belirlenmiştir. En düşük konsantrasyonlar ise DEHP<DHEXP<DIBP ve DHEP<DPENP<DHEXP olarak sırasıyla +4 °C ve -20°C için saptanmıştır (Şekil 11,12,13).



Şekil 11. Filetolara ait fitalat değişimleri

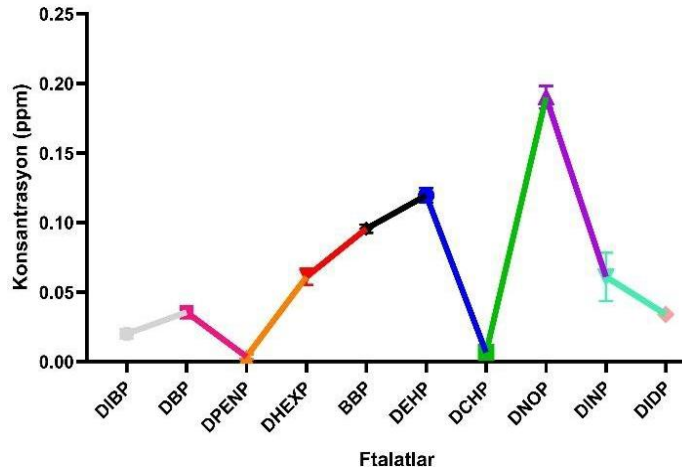


Şekil 11. Filetolara ait fitalat değişimleri (devamı)

Depolamanın 90. gününde iki farklı sıcaklıktaki filetoların fitalat ester içeriklerinin iki grupta değişmesi ve her iki sıcaklıkta ortak olan ester gruplarına rastlanması dikkat çekmiştir. Buzdolabı şartlarında (+4°C) fitalat esterleri varlığında en yüksek seviyede olan esterler DPENP>DCHP iken en düşük konsantrasyonlar DIBP<DHEXP<BBP olarak belirlenmiştir. Bu durum -20°C’de en yüksek DPENP>DHEP ve en düşük DCHP<DNOP<DIBP olarak belirlenmiştir (Tablo 3).

Depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak fitalat ester içeriklerinin miktarlarında azalış/artışlar belirlenmiş olsa da tüm uygulamalarda en yüksek konsantrasyonu DPENP temsil etmiştir. En düşük konsantrasyonlarda ise zamana ve sıcaklığa bağlı olarak FTL değişim göstermiştir. Örneğin, depolamanın 30. gününde DEHP miktarı +4 °C’ de 0,042 ppm iken bu değer -20°C’de 0,039 ppm olarak tespit edilmiştir. Ancak depolama süresine bakılınca aynı ester depolamanın 90. gününde +4 °C’ de 0,092 ppm iken bu değer -20°C’de 0,188 ppm olarak tespit edilmiştir. Ambalaj materyali FTL’lar varlığında en yüksek seviyede olan

esterler DNOP>DEHP>BBP iken en düşük konsantrasyonlar DIBP<DCHP<DPENP olarak belirlenmiştir (Tablo 4, Şekil 12).



Şekil 12. *O. mykiss* filetolarının 180 günlük ambalajlamalarının ardından ambalaj malzemesindeki ftalat miktarı

Filetolarda belirlenen ftalatlardan DNOP ve DEHP hariç diğerleri ile fileto kalite parametreleri arasında korelasyonlar belirlenmiştir (Ek 1). DIBP ile TBA, pH arasında negatif yağ miktarında pozitif korelasyon belirlenmiş ve bu korelasyon katsayıları sırasıyla 0,548, 0,533 ve 0,493 olarak tespit edilmiştir. BBP WHC, b* ve aw değerlerine etki ederken, DHEXP; TVB-N, WHC, b*, DBP; a* değeri hariç tüm kalite parametrelerine, DCHP; tvb-n, DPENP; TBARS, WHC,TVB-N ve pH, DINP; aw, b* ve L* , DIDP ise aw, L* ve b* değerlerine etki etmiştir.

Tablo 3. Farklı Sıcaklık ve Zaman Uygulamalarında Filetolara Ait Fitalat Ester Değişimi

	DIBP	DBP	DPENP	DHEXP	BBP	DEHP	DCHP	DNOP	DINP	DIDP
P	0.273	0.112	0.013	0.948	0.922	0.211	0.030	0.059	0.362	0.785
Sıcaklık (°C)										
4	0.057 ^a	0.215 ^a	0.494 ^b	0.059 ^a	0.141 ^a	0.059 ^a	0.158 ^a	0.113 ^a	0.068 ^a	0.073 ^a
20	0.087 ^a	0.213 ^a	0.539 ^a	0.054 ^a	0.116 ^a	0.082 ^a	0.082 ^b	0.083 ^a	0.057 ^a	0.063 ^a
SEM	0.015	0.019	0.015	0.003	0.018	0.014	0.015	0.014	0.002	0.001
P	0.243	0.0001	0.0001	0.0001	0.001	0.011	0.026	0.147	0.0001	0.0001
Depolama zamanı (gün)										
0	0.080 ^a	0.372 ^a	0.907 ^a	0.081 ^a	0.247 ^a	0.043 ^b	0.174 ^a	0.096 ^a	0.073 ^a	0.078 ^a
30	0.098 ^a	0.249 ^b	0.366 ^c	0.047 ^b	0.101 ^b	0.040 ^b	0.098 ^b	0.105 ^a	0.065 ^a	0.068 ^b
90	0.035 ^a	0.092 ^c	0.313 ^c	0.048 ^b	0.069 ^b	0.140 ^a	0.117 ^{ab}	0.068 ^a	0.072 ^a	0.074 ^a
180	0.093 ^a	0.073 ^c	0.469 ^b	0.040 ^b	0.052 ^b	0.060 ^b	0.024 ^c	0.134 ^a	0.014 ^b	0.031 ^c
SEM	0.021	0.023	0.021	0.004	0.026	0.020	0.021	0.020	0.003	0.001
SıcaklıkxZaman	0.412	0.481	0.002	0.811	0.861	0.192	0.015	0.350	0.725	0.782

Üst simgeler (a, b,c) sıcaklık ve zaman gruplarında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar gösterir. SEM: Ortalamanın standart hatası, p: önem seviyesi

Tablo 4. Depolamada Kullanılan Ambalaj Materyaline Ait Fitalat Ester Değişimi

	DIBP	DBP	DPENP	DHEXP	BBP	DEHP	DCHP	DNOP	DINP	DIDP
Depolama zamanı (gün)										
0	0.058	0.056	0.043	0.032	0.027	0.313	0.139	0.002	0.075	0.074
180	0.020	0.036	0.004	0.061	0.096	0.119	0.007	0.190	0.061	0.034
P	0.144	0.144	0.789	0.305	0.580	0.291	0.131	0.116	0.821	0.192

Üst simgeler (a, b), zaman gruplarında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar gösterir. p: önem seviyesi

Tablo 5. Farklı Sıcaklık ve Zaman Aralıkları İçin Potansiyel Alım Seviyesi

Fitalat esterleri	Depolama zamanı (gün)	Potansiyel alım seviyesi		Kanserojen risk seviyesi	
		4 °C	-20 °C	4 °C	-20 °C
DIBP	0	0,08	0,08		
	30	0,061	0,133		
	90	0,031	0,04		
	180	0,108	0,088		
DBP	0	0,372	0,372		
	30	0,2105	0,2885		
	90	0,063	0,12		
	180	0,0795	0,071		
DPENP	0	0,9065	0,9065		
	30	0,2575	0,474		
	90	0,3195	0,3065		
	180	0,4895	0,435		
DHEXP	0	0,0805	0,0805		
	30	0,045	0,0485		
	90	0,051	0,046		
	180	0,023	0,05		
BBP	0	0,2465	0,2465		
	30	0,1135	0,089		
	90	0,0615	0,077		
	180	0,0645	0,047		
DEHP	0	0,043	0,043	0,00000012	0,00000012
	30	0,042	0,039	0,00000011	0,00000011
	90	0,092	0,188	0,00000025	0,00000051
	180	0,069	0,058	0,00000019	0,00000016
DCHP	0	0,174	0,174		
	30	0,099	0,097		
	90	0,202	0,032		
	180	0,033	0,021		
DNOP	0	0,096	0,096		
	30	0,146	0,065		
	90	0,098	0,039		
	180	0,161	0,12		
DINP	0	0,0725	0,0725		
	30	0,0635	0,0665		
	90	0,0685	0,0755		
	180	0,0345	0,0045		
DIDP	0	0,078	0,078		
	30	0,069	0,068		
	90	0,074	0,075		
	180	0,033	0,031		

Soğukta depolama sonucunda elde edilen fiziko-kimyasal kalite değişimleri

Sıcaklık ve zaman değişiminde incelenen fiziko-kimyasal parametrelerde nispi değişimler belirlenmiş olsa da bu değişimlerde L^* , pH, WHC, % yağ ve TBARS değerleri sıcaklık etkisinde önemli bulunmuşken, zaman bağlı değişimde bu parametrelerin yanı sıra a_w , b^* ve TVB-N değerleri de eklenmiştir (Tablo 6).



Tablo 6. Sıcaklık ve Zamana Bağlı Fileto Kalite Değişimleri

	aw	WHC	MFI	L*	a*	b*	pH	TVB-N (mg/100g)	TBARS (mgMDA/kg)	% yağ
Sıcaklık (°C)										
4	0.992 ^a	137.67 ^b	1.64 ^a	57.67 ^a	1.03 ^a	19.92 ^a	6.86 ^a	26.09 ^a	2.03 ^a	3.59 ^b
20	0.991 ^a	141.17 ^a	1.35 ^a	56.32 ^b	0.48 ^a	17.62 ^a	6.52 ^b	28.14 ^a	0.70 ^b	3.89 ^a
P	0.813	0.016	0.068	0.007	0.243	0.429	0.0001	0.447	0.0001	0.0001
SS	0.0001	0.464	0.082	0.429	0.23	0.729	0.007	2.558	0.028	0.034
Zaman (Gün)										
0	0.993 ^a	200.33 ^a	1.60 ^a	60.51 ^a	0.43 ^a	25.52 ^a	6.28 ^d	12.35 ^c	0.31 ^d	4.04 ^b
30	0.993 ^a	107.33 ^c	1.27 ^a	62.07 ^a	0.58 ^a	16.86 ^b	6.63 ^c	26.65 ^b	1.01 ^c	4.30 ^a
90	0.990 ^b	108.67 ^c	1.62 ^a	53.97 ^b	1.36 ^a	18.95 ^b	6.73 ^b	34.05 ^{ab}	1.32 ^b	2.93 ^d
180	0.986 ^c	145.00 ^b	1.35 ^a	45.19 ^c	0.28 ^a	7.61 ^c	7.07 ^a	44.75 ^a	2.30 ^a	3.80 ^c
P	0.0001	0.0001	0.215	0.0001	0.260	0.0001	0.0001	0.001	0.0001	0.0001
SS	0.0001	0.701	0.125	0.648	0.340	1.103	0.010	3.867	0.043	0.051
Sıcaklık x Zaman	0.944	0.006	0.342	0.0001	0.401	0.007	0.0001	0.314	0.0001	0.0001

Üst simgeler (a, b,c,d), sıcaklık ve zaman gruplarında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar gösterir. SS: Standart sapma, p: önem seviyesi

Tartışma

Yapılan çalışmalar hemen hemen tüm gıda ürünlerinde mikroplastik (MP) kirliliğinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Cox *et al* (2019) tarafından yapılan çalışmada şeker, tuz, alkol ve içme sularında MP'ler belirlenmiştir. Gıda sektöründe çoğu zaman polietilen (PE), polistiren (PS), polipropilen (PP) ve polietilen tereftalattan (PET) yapılmış paketler ve yiyecek kaplarının kullanılması mikroplastiklerin migrasyonu için önemli bir tehdit olarak bilinmektedir. Yapılan farklı çalışmalarda, ambalajlanmış olan içme sularında (Zuccarello *et al.* 2019) ve sebze-meyvelerde (Conti *et al* 2020) MP'lerin varlığını rapor etmişlerdir. Depolamanın 30. gününde her iki depolama sıcaklığındaki filetolarda belirlenen fragmentlerin boyutları +4°C' de ve -20°C 'de sırasıyla 23 µm ve 11 µm olarak tespit edilmiştir. Filetoda belirlediğimiz fragment boyutuna yönelik bulguyla uyumlu olarak Mason *et al* (2018) bu durumu 100 µm'den küçük olan MP'lerin, paketleme ve / veya şişeleme gibi işlemlerden gıdaya geçebileceği yönünde açıklamıştır. Yapılan bir çalışmada, bardak içerisine konan sıcak suya 15 dakika içerisinde yaklaşık 25.000 mikron boyutunda, 10,2 milyar ise mikronun altında MP migrasyonu tespit edilmiştir (Sewwandi *et al.* 2023).

Bilindiği üzere balık ve deniz ürünlerinde insan tüketimi için plastik partiküllerin (makro, mezo, nano ve mikro plastik) varlığını bildiren farklı çalışmalar bulunmaktadır (Karami *et al.* 2018; Cox *et al.* 2019; Barboza *et al.* 2020; Alak *et al.* 2021a). Bununla birlikte, gıdalarda ambalaj aracılı fitalat migrasyonu ve bunun depolama sıcaklığı ve/veya süresiyle interaksiyonuna yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle, araştırma bulgularımız vakum ambalaj ve depolama sıcaklığının zamansal olarak FTL'ların oluşumu ve migrasyonunun izlenmesi yönünde model bir çalışma olarak fikir vermektedir.

Son zamanlarda, MP'lerin tanımlanması ve incelenmesi için çeşitli analitik yöntemler kullanılmıştır. Bunlar arasında erime testleri, lekeli parçacıkların görüntü analizleri, yakın kızılötesi hiperspektral görüntüleme ile özel mikroskop kullanılarak görsel MP'lerin tanımlanması, yakın kızılötesi hiperspektral görüntüleme Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) ve Raman spektroskopisi sayılabilir (Alak *et al.* 2022a,b). Fitalat analizindeki en büyük zorluk, potansiyel gıda kontaminasyonu ile ilgili olarak bu bileşik sınıfının en önemli üyelerinin her yerde bulunması olarak tanımlanmaktadır (Xu *et al.* 2014). Özellikle gıda ve/veya ambalaj orjinli plastik içeriğinin belirlenmesinde kütle spektrometrisi (GC-MS), basitliği ve sağlamlığı nedeniyle en yaygın olarak uygulanan analitik tekniktir. Bu teknik, LC-

MS/MS'den matris etkileri ile ilgili problemler olmaksızın daha yüksek bir ayırma verimliliği ve daha düşük maliyetler sunmaktadır (Martín-Pozo *et al.* 2022). Araştırma bulgularımızda, kas dokuda baskın FTL grupları DEHP ve DBP olarak belirlenmiştir. Referans seçilen kas dokunun bu tarz esterler için uygun bir gösterge olduğu bilinmektedir. Ambalaj materyalinde belirlenen esterlerde ise en yüksek DEHP tespit edilmiştir. Bununla birlikte ambalaj materyalinde bulunan fitalat esterlerinin içerikleri, ambalajın gıdalar için uygun olmadığının bir göstergesi değildir. Bazı ambalajlar, FTL geçişini önleyen veya azaltan bariyer katmanları içermektedir (Jarošová 2006).

Polimer özellikleri, polimer zincir dinamikleri ve fiziksel özellikler ile farklı plastikleştirici sınıfları tarafından etkilenebilir ve bu gıdaya temas eden materyallerde FTL'ların migrasyon potansiyelini anlamada önemli bir parametredir. Gıda paketlerinde özellikle film yapıdaki paketlerin düşük yoğunluklu polietilen polimer tipinde plastikleri içerdiği bilinmektedir (PlasticsEurope, 2020). Bu açıdan bakıldığında moleküler ağırlık önemli bir parametredir ve fitalatların kullanımlarında [kısa alkil zincirli BZBP, DBP, DEHP FTL çözücü ve yapıştırıcı olarak kullanılırken, yüksek moleküler ağırlıklı (HMW) DIDP, DNP plastikleştirici olarak kullanılır] karar mekanizması olarak düşünülür (Tumu *et al.* 2023). Yeniden kullanılabilir torbalarda ve gıda ambalajlarında polietilen (PE), yaygın olarak kullanılmaktadır (Djouina *et al.* 2022). Mevcut çalışmamızda, vakum paketlenme işlemi ve sonrasındaki depolama süresinin paket materyalinin kimyasal bileşimini etkilediği belirlenmiş olup depolama süresinin sonunda (180. gün) incelenen paket materyalinde daha farklı polimer tipleri tespit edilmiştir. Araştırmaların çoğu, yüksek veya artan sıcaklığın plastik ambalaj malzemelerinden MP salınımını etkilediğini rapor etmektedir (Hernandez *et al.* 2019; Li *et al.* 2022; Ranjan *et al.* 2021). Önceki çalışmalarla (Jeddi *et al.* 2016) uyumlu olarak araştırma bulgularımızda FTL'ların salınımının depolama süresi ile pozitif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Benzer olarak filetolarda artan DEHP esterlerinin seviyelerinde depolama süresinin etkili olduğu düşünülmektedir. Cheshmazar *et al.* (2021) çalışmalarında gıdalarda daha yüksek düzeyde taşınan bileşiklerin (örn. DEHP) oluşumunda artan depolama süresinin etkili olduğunu, ambalaj materyallerinden gıdalara FTL'ların salınımında depolama süresi, sıcaklık, güneş ışığı vb. faktörlerin rol aldığını bildirmiştir.

Çalışmamızda, elde ettiğimiz sonuçlar depolama süresine bağlı olarak FTL'ların miktarlarında değişimler göstermiştir ki bu durum yapılan farklı çalışma bulguları ile uyumludur (Jeddi *et al.* 2016). Artan depolama süresinin gıdalarda daha yüksek düzeyde taşınan bileşiklerin (örn. DEHP) oluşumuna neden olduğu bildirilmiştir (Cheshmazar *et al.* 2021). Bir elektron alıcısı olarak işlev gören FTL'lar ve oluşan bu aktivite sayesinde

sorpsiyonun hızlandırıldığı hidrojen bağı oluşumunun teşvik edildiği bildirilmiştir (Sahoo and Kumar 2023). Farklı plastikleştirici sınıfları polimer özellikleri, fiziksel özellikler ve polimer zincir dinamikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu durum paketleme uygulamaları kullanımlarında gıdaya temas eden materyallerde fitalatların migrasyon potansiyelini anlamak için önemlidir (Tumu *et al.* 2023). Araştırmamızda her iki sıcaklık uygulamasında belirlenen zamansal analizlerde orta veya yüksek seviyelerde rastladığımız FTL homologları bulunmaktadır. Bu durumda etkili olan mekanizmada DEHP'nin en uzun yarı ömre sahip oluşu ile açıklanabilir. Bununla birlikte araştırmamızda rastladığımız ancak DPEH 'ye göre düşük miktarlarda olan diğer FTL homologlarının (BBP, DBP, DIBP ve DAP) DEHP'den sonra yarılanma süresi en uzun olan FTL'lar oldukları bilinmektedir. Bununla birlikte DEHP ve BBP gibi yüksek logKow değerine sahip FTL'lar, minerallere ve organik maddelere tutunma eğilimindedir (Zhang *et al.* 2022). Yüksek jelleşme özellikleriyle daha yüksek polariteye sahip olan alifatik asit bazlı esterlerin bir çalışmada, yüksek jelleşmeden düşüğe doğru fitalat ester homolog sıralaması sırasıyla BZBP> DBP> DIHP> DOP> DINP> DIDP> DTDP (ditrisesil fitalat) olarak yapılmış ve bu homologların kalıcılıklarının ise birçok faktörün (depolama süresi ve şartları, ambalajdaki gıda matriksi, ambalaj bileşimi gibi) etkisi altında değişim gösterdiği ifade edilmiştir (Tumu *et al.* 2023).

Arrhenius denklemine göre bu kimyasalların göçünde, sıcaklık ve maruz kalma süresi önemli olup aralarında pozitif bir ilişki (sıcaklık↑ migrasyon↑) bulunmaktadır. Küçük moleküller olan fitalat, mevcut serbest enerji polimerden göçü artırmak için yeterli hale gelir ve bu moleküller tarafından elde edilen bu serbest enerji, sıcaklıkla artarak polimer-küçük molekül etkileşim kuvvetlerinin parçalanmasını kolaylaştırır (Tumu *et al.* 2023). Çevresel şartların fitaların göçünde etkili olduğu bilinmekle birlikte özellikle sıcaklık artışlarında bu kimyasalların daha fazla migrasyonu olduğu yine Arrhenius denklemi ile ortaya konulmuştur. Bu FTL'ların küçük moleküllü olmaları bu maddelerin polimerden göçü artırmak için sahip oldukları serbest enerji potansiyeli, sıcaklıkla artarak polimer- molekül etkileşim kuvvetlerinin parçalanmasını kolaylaştırır (Tumu *et al.* 2023). Yüksek sıcaklıklar polimerik malzemenin şişmesine sebep olur, bu durum ambalaj içerisindeki toksik maddelerin salınımına ve kütle transferini kolaylaştırdığı için gıdaya migrasyona neden olur (Poças 2018; Marazuela *et al.* 2022). Ancak bu transfer daha çok ambalaj bileşimleri, ambalajın istiflenmesi ve depolanması sırasında ambalajın dış yüzeyi orjinli ve buharlaşma yoluyla da gerçekleşebilir ve ardından gaz fazı yoluyla gıdaya geçebilir. Ayrıca, bu bileşenler ve geri dönüştürülmüş lifler gibi kimyasallar, geri dönüştürülmüş ambalaj malzemelerinde kalabilir ve nihayetinde gıdaya geçebilir (Ardic *et al.* 2015) ve böylece farkında olmadan insan beslenmesinin bir parçası haline gelebilmektedir (Muncke 2021).

Polimerik malzeme içindeki bazı toksik maddelerin aktarımında ambalajdaki bazı kimyasal bileşenler 'set-off' işlemi yoluyla gıda ile temas eden yüzeylere geçebilmektedir. Bu, ambalajın istiflenmesi ve depolanması sırasında ambalajın dış yüzeyinden gıda ile temas eden yüzeye doğrudan gıdaya geçebilir. Aktarım ayrıca buharlaşma yoluyla da gerçekleşebilir ve ardından gaz fazı yoluyla gıdaya geçebilir (Ardic *et al.* 2015).

Araştırma bulgularımızda her iki sıcaklıkta ve tüm depolama zamanlarında en baskın ikinci ester türü olarak DPENP belirlenmiştir. Genel olarak, test edilen ambalaj malzemelerinde DBP konsantrasyonlarına kıyasla daha yüksek DEHP konsantrasyonları bulunduğu, gıda ile doğrudan temas halinde olan gıda paketleme malzemelerinde DEHP ve DBP'nin değişken oluşumu ve konsantrasyonlar gösterdiği bildirilmiştir (Jarošová 2006). Araştırma bulgularımız depolama sıcaklığının migrasyonda etkili olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, yüksek depolama sıcaklığının FTL'ların yüzeyden içeriğe geçişini hızlandığını gösteren önceki çalışmalarla uyumludur (Cheshmazar *et al.* 2021). Yapılan bir çalışmada, gıdalarda sıklıkla (%82'ye varan) tespit edilen fitalat esterinin DEHP olduğu ve diyetle birlikte alındığı bildirilmiştir (Gao *et al.* 2023; Yesildagli *et al.* 2024). Diyetle alınan DEHP maruziyet konsantrasyonlarının geniş aralıkta (0,61 µg/kg ile 173 mg/kg) olabileceği ve tahıllarda, sebzelerde, yağda, süt- süt ürünlerinde ve su ürünlerinde bu oranın sırasıyla 150 µg/kg, 310 µg/kg, 602 µg/kg, 82 µg/kg ve 65 µg/kg olarak bildirildiği, gıdalardaki DEHP maruziyetinin çoğunlukla tahıllardan, yağdan ve sebzelerden kaynaklandığı kaydedilmiştir (Gao *et al.* 2023). Söz konusu fitalat esterinin maruziyet seviyesi, özellikle çocuklar ve gençler için oldukça hassas olup, potansiyel etkileri ve riski nedeniyle yaygın bir ilgi görmüştür (Wei *et al.* 2020; Gao *et al.* 2023). İnsan sağlığı açısından kabul edilebilir DEHP maruziyet seviyesi otoritelerce belirlenmiştir. DEHP için belirlenen bu değer, ABD EPA tarafından RfD 20 µg/kg/gün iken, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) için toplam günlük alım miktarı (TDI) 50 µg/kg/gün olarak belirlemiştir. Güçlü bir biyoyararlanıma sahip olan ve kolayca eriyebilen DEHP sebzelerin yenilebilir kısımlarında bol miktarda bulunabilir. Sebzeler için verilerin %18'i, AB'nin gıda konsantrasyon sınırlaması olan 1500 µg/kg'ı aşmıştır. Diğer ülkelerde bildirilen DEHP'nin diyet maruziyet verileriyle karşılaştırıldığında, Çin'deki medyan seviye Hindistan, Norveç ve Fransa'dakinden çok daha yüksek olarak bildirilirken Türkiye'nin medyan düzeylerinin ise Çin ile benzer seviyelerde seyrettiği bildirilmiştir (Gao *et al.* 2023).

Fiziko-Kimyasal Analizlerin Yorumlanması

pH değişimleri balık ürünleri için bozulma göstergesi olarak kullanılmaktadır. Araştırmamızda gruplar arasındaki pH değeri $p < 0.05$ seviyesinde anlamlı bulunmuştur.

Soğukta muhafaza edilen (+4 °C) filetolarda pH değeri 6.86±0.007, dondurulan filetolarda (-20 °C) ise 6.52±0.007 olarak belirlenmiştir (Tablo 5). Kabul edilen bir süreç olarak nihai pH değeri, et kalitesini ölçmek için önemli bir göstergedir. Yüksek pH değeri, kas lifi tiplerindeki farklılıklardan veya mikrobiyal aktivite kaynaklı da olabilir (Song *et al.* 2022). Bilinen bir durum olarak, pH değeri et kalitesinde önemli bir etkiye sahiptir. Bunun yanında yüksek pH değeri ile yoğunlaşma tipi polimerler asidik ortamın etkisi ile monomer ve diğer katkı maddelerini parçalayabilir. Bu yüzden ambalajda bulunan polimerler kritik öneme sahiptir (Krauskopf 1993).

Etin işlevselliğinin ölçümü için etin kimyasal bileşimi önemli bir gösterge olarak kabul edilir. Yağ, protein ve mineraller et kalitesini yansıtan temel bileşenlerdendir ve nem içeriği de su ürünlerinin işleme potansiyeli, kalitesinin korunması ve raf ömrü üzerinde oldukça önemli bir rol oynar. Mevcut çalışmada fitatların yağa olan afiniteleri dolayısıyla % yağ miktarında çalışılmış ve bu değerlerin depolama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Gıda stabilitesi, mikrobiyal tepkinin ayarlanması ve gıdalardaki mikroorganizma türlerinin profilinden sorumlu temel argümanlardan biri su aktivitesidir (a_w). Bu aktivite, balıkların depolama süresi üzerinde etkili bir parametre olup çeşitli mikroorganizmalar ve sporların gelişimi üzerinde önemli bir indükleyici etkiye sahiptir (Çorapçı 2022). Su ürünleri endüstrisi için oldukça önemli parametrelerden biri de su tutma kapasitesidir (WHC). Kastaki daha yüksek su içeriği, mekanik gücü azaltır ve aşırı yumuşak veya hassas filetoların oluşumuna neden olarak tüketici talebinde olumsuz bir etkiye sebep olur (Martelli *et al.* 2014). Ayrıca pH'nın etkisiyle etin düşük su tutma ve su bağlama kapasitesi yüksek olmasıyla sızıntı suyu oluşabilir (Alak vd 2024). Fileto WHC değerlerinde miyofibriller proteinlerin net yükünün, kas hücresi ve bileşenlerinin, yani miyofibrillerin, hücre iskeleti bağlantılarının zar geçirgenliği ile kas içindeki hücre dışı boşluk miktarının etkili olduğu bilinmektedir (Kheirabadi *et al.* 2022). WHC'deki düşüş, esas olarak katepsinlerin birikmesinden ve miyofibriller proteinlerin denatürasyonundan ve toplanmasından kaynaklanmıştır (Zhao *et al.* 2022). Bununla birlikte karbonildeki artışlar ve sülfidril içeriğindeki azalmalar, miyofibril proteinlerin yapısını ve uzaysal düzenlemesini etkileyen ve WHC'sini azaltan protein çapraz bağları oluşturabilir (Liu *et al.* 2022).

Su ürünlerinin kalitesi, balıkların satışını ve son tüketici satın alımlarını etkileyen en önemli değişkenlerden biridir. Bu sebeple et kalitesini ve tazeliğini değerlendirmek için et rengi oldukça önemli bir özelliktir. Et rengi, parlaklık (L^*), kırmızılık (a^*) ve sarılık (b^*) skorları ile değerlendirilerek belirlenir. Bu değerler ırk, yaş, beslenme ve saklama

koşullarından etkilenen miyoglobin konsantrasyonuna ve oksidasyon durumuna bağlıdır (Ebeid *et al.* 2022). Depolama sıcaklığı ve süresinin filetolarda renk kalitesi üzerine etkisi incelendiğinde a^* değeri haricinde L^* ve b^* değerlerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Tablo 5’de görüldüğü üzere dondurulan grup filetolar diğer depolama sıcaklığına göre daha koyu (daha düşük L^*) skorlar ile tanımlanmıştır. Daha koyu bir renk, muhtemelen miyoglobin içeriği ve kas lifi tipi etkisinden kaynaklanıyor olabilir. Kas tipi ile ilgili olarak bazı kasların ışık saçılma özelliklerinin ölüm sonrası protein bozunması ile arttığı ve bu durum L^* değerinin artmasını teşvik ettiği yönünde raporlar bulunmaktadır (Si *et al.* 2022). Renkli bileşenler genellikle protein oksidasyonu ve/veya bozunması ile oluşur ve yüksek derecede oluşan bu oksidasyon, et renginin bozulmasına neden olur (Wang *et al.* 2022).

Yine bu süreçte filetolarda endojen enzimlerin etkisi sonucu tekstür ve renk parametrelerinde değişimler gözlenebilmektedir (Caggiano 2000). Genel olarak bu durum yüksek su tutma kapasitesine atfedilir. Benzer bir fenomen, sazan filetolarında Liu *et al.* (2013) tarafından ileri sürülmüştür.

Protein bozunması ve et yumuşamasının bir indeksi olarak miyofibril protein parçalanma indeksi (MFI) dikkate alınmaktadır (Lan *et al.* 2022). Yapılan bir çalışmada, MFI değerinin, miyofibrillerin içyapı bütünlüğü hakkında bilgi verebileceği ve bu değer yüksek olmasının içyapı bütünlüğünü olumsuz etkilediği ifade edilmiştir (Li *et al.* 2022). Çalışmamızda kas hücreesindeki miyofibrillerin ve iskelet proteinlerinin bütünlüğünü değerlendirmek için MFI değeri takip edilmiş ve elde edilen sonuçlar, sıcaklık artışı ile birlikte miyofibrillerin ve proteinlerin bütünlüğünün açıkça bozulduğunu, miyofibriller arasındaki boşlukların büyüyerek ciddi parçalanmaya yol açtığını göstermiştir. Miyofibriller protein sarkomerinin I bandında yer alan miyonektinin ve eşlik eden aktin yıkımında MFI değerindeki artış etkili olmaktadır. Bu bozulma, miyofibrillerin Z çizgisi yakınında kırılmasına ve miyofibrillerin daha küçük parçalara ayrılmasına neden olmaktadır (Lan *et al.* 2022a).

Tüm sıcaklık gruplarında TVB-N değerlerinin artan bir eğilim gösterdiği, bunun bazı azot içeren maddelerin oksidasyonu ve mikrobiyal bozulma ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Benzer olarak tüm sıcaklık grupları için gözlenen pH artışının da, mikroorganizmaların ve endojenlerin etkisiyle üretilen alkali bileşiklerin (biyojenik aminler ve amonyak gibi) birikmesinden kaynaklandığı söylenebilir (Atamanalp *et al.* 2021). Ayrıca mevcut çalışmamızda pH artışı sonucunda üretilen uçucu bazlardaki (amonyak ve trimetilamin gibi) artış da etkili olmuştur (Alak *et al.* 2021).

Araştırmamızda sıcaklık artışı ile belirlenen yüksek TBARS değerleri de protein oksidasyonunun indüklediğini düşündürmektedir. Lipidler ve proteinler arasındaki serbest radikalleri dönüştürmek yoluyla oksitlenmiş lipidlerin, protein oksidasyonunu destekleyebileceği bildirilmiştir (Nawaz *et al.* 2022). Farklı sıcaklıklarda depolanan filetolarda TBARS değerinin zamana bağlı artma eğilimi, ikincil ürünlerden aldehitler gibi hidroperoksitlerin üretilmesi sonucu kaslarda serbest demir ve diğer peroksitlerin artmasından kaynaklanmaktadır (Mahdavi *et al.* 2018). Balık eti lipitlerinde ölüm sonrası en önemli değişiklik, gliserol ve yağ asitleri esterlerinin hidrolizidir (Isık vd 2020). Bu reaksiyon, hidrolitik ekşimeyi karakterize eden yağ asitlerinin salınmasını sağlamak için fosfolipazları ve endojen lipazları katalize eder. Su ürünlerinde bulunan yağ asitleri, yağ asidi esterlerine göre oksidasyona daha duyarlı olduğundan lipit hidrolizi, lipit oksidasyonunda daha etkilidir (Alak vd 2021).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Depolama süresi boyunca ambalaj materyalinden kaynaklı az miktarlarda da olsa FTL'ların varlığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, gökkuşağı alabalığı için vakum ambalaj uygulaması eşliğinde sıcaklık ve depolama zamanının fileto kalite parametrelerine etki ettiği ve oldukça reaktif olan fitalat türlerinin ortamdaki pH, yağ ve su kriterlerine bağlı olarak ortamdan uzaklaştığından filetoya migrasyonunun eşik değerlerin (1 mg/kg; Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Plastik Madde ve Malzemeler Tebliği (Tebliğ No: 2023/33)) altında olduğu ve kalite parametrelerinde özellikle a_w , pH ve b^* değerleri ile farklı fitalat esterleri arasında korelasyonlarının olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra DNOP ve DEHP'nin fileto kalite parametreleri üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Farklı FTL'ların dağılımının filetolarda değişim gösterdiği ve dağılma oranlarında depolama süresinin pozitif etkisi olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu esterler farklı miktarlarda belirlenmiş olsa da filetolarda bireysel LOQ'dan daha düşük değerler izlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlara dayanarak ambalaj içeriğinde bulunan fitalat esterleri ve miktarlarının gıdalar için uygun olduğunu söyleyebiliriz. Elde edilen veriler dikkate alınarak fitalat migrasyonuna yönelik bütüncül yaklaşım modellemesi ile uygun sıcaklık ve zaman aralıkları değerlendirilmiştir. Ambalaj materyali için yapılan analizlerde ambalaj içeriğinde bulunan FTL ve miktarlarının gıdalar için uygun olduğunu göstermiştir. Parametreler arasındaki interaksiyonların ortaya konulması kadar elde edilen bulgularda gıda güvenliği verilerine bir katkı sağlayarak bu konuda oluşturulan veri kütüphanelerinde önemli bir eksikliği dolduracaktır.

Bununla birlikte FTL'ların su ürünlerinde izlenmesinin besin zinciri ve işleme prosedürleri süresince kapsamlı araştırılması, mikrobiyolojik ve duyuşsal verilerle ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu anlamda özellikle hammaddeden depolamaya, ambalaj malzemesinden gıdalarla temasta olan diğer unsurların izlenmesine kadar yarı işlenmiş, işlenmiş ve/veya işlenmemiş tüm ürünler için geniş bir veri havuzu oluşturmak oldukça önemlidir. Buna ilaveten FTL'ların migrasyonunun etkilendiği mekanizmaların özellikle de besin kompozisyon ve kalitesinin multibiyobelirteç yaklaşımıyla açıklığa kavuşturulması adına farklı yağlı balık türleri, farklı sıcaklıklar ve farklı depolama zamanları gibi kontrollü ortamlarda takibi yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ackerman, L.K., Noonan, G.O., Begley, T.H., 2009. Assessing Direct Analysis in Realtime-Mass Spectrometry (DART-MS) for The Rapid İdentification of Additives in Food Packaging. Food Additives and Contaminants, 26 (12), 1611–1618.
- Adam, V. von Wyl, A., Nowack, B. 2021. Probabilistic environmental risk assessment of microplastics in marine habitats. Aquatic Toxicology, 230, 105689.
- Alak, G., 2011. Probiyotik ve Prebiyotiklerin Gökkuşığı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Bağırsak Florası ile Filetolarının Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özelliklerine Etkileri. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Alak, G., Ucar, A., Çilingir Yeltekin, A., Parlak, V., Nardemir, G., Kızılkaya, M., Yanık, T., 2019. Neurophysiological responses in the brain tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) treated with bio-pesticide. Drug and Chemical Toxicology, 42(2), 203-209.
- Alak, G., Köktürk, M., Atamanalp, M., 2021a. Evaluation of different packaging methods and storage temperature on MPs abundance and fillet quality of rainbow trout. Journal of Hazardous Materials, 420,126573.
- Alak, G., Kaynar, Ö., Atamanalp, M., 2021b. The impact of salt concentrations on the physicochemical and microbiological changes of rainbow trout caviar. Food Bioscience, 41,100976.
- Alak, G., Köktürk, M., Ucar, A., Parlak, V., Kocaman, E. M., Atamanalp, M., 2022a. Thermal processing implications on microplastics in rainbow trout fillet. Journal of Food Science, 87, 5455-5466.
- Alak, G., Uçar, A., Parlak, V., Atamanalp, M., 2022b. Identification, characterisation of microplastic and their effects on aquatic organisms. Chemistry and Ecology, 38(10), 967-987.
- Alak G., Köktürk, M., Atamanalp, M., Kocaman, E.M., Uçar, A., Esenbuğa, N., 2023. Microplastic abundance in rainbow trout life cycle: step by step. Sustainability, 15 (19),14255.
- Alak, G., Köktürk, M., Atamanalp, M., 2024a. Phthalate migration potential in vacuum-packed fish. Environmental Science and Pollution Research, 31(38), 50942-50951.
- Alak, G., Köktürk, M., Atamanalp, M., 2024b. Evaluation of phthalate migration potential in vacuum-packed. Scientific Reports, 14(1), 7944.
- Alak, G., Kara, A., Akköse, A., Gelen, S. U., Tanas, Ş. T., Uçar, A., Atamanalp, M., 2024c. Effect of climate change on fillet quality and shelf- life of *Oncorhynchus mykiss* under controlled conditions. Journal of the Science of Food and Agriculture, 104(3), 1511-1520.
- Alamdari, S., Mirzaee, O., Nasiri, F., Tafreshi, M. J., Ghamsari, M. S., Shik, S. S., Ara, M. H. M., Lee K. Y., Park, H. H., 2022. Green synthesis of multifunctional ZnO/chitosan nanocomposite film using wild Mentha pulegium extract for packaging applications. Surfaces and Interfaces, 34, 102349.
- Al-Jeddawi, W. Dawson, P., 2022. The Effect of Frozen Storage on the Quality of Atlantic Salmon. Journal of Food Science and Nutrition Research, 5(2), 552-569.

- Al-Natsheh, M., Alawi, M., Fayyad, M., Tarawneh, I., 2015. Simultaneous GC–MS determination of eight phthalates in total and migrated portions of plasticized polymeric toys and childcare articles. *Journal of Chromatography B*, 985, 103-109.
- Altuntaş, Ü., 2014. Türkiye’de satışa sunulan bazı gıdalarda ambalaj materyallerinden migrasyonun ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altuntaş, Ü., Yavuz, M., Yüce-tepe, A., Özçelik, B., 2014. Gıda Ambalajlarının Güvenilirliği ve Gıdaya Toksik Madde Migrasyonu. *Gıda Dergisi*, 89-97.
- Alp, A. C., Yerlikaya, P., 2020. Phthalate ester migration into food: effect of packaging material and time. *European Food Research and Technology*, 246(3), 425-435.
- AOAC., 2016. Association of official agricultural Chemists. Appendix F: Guidelines for standard method performance requirements, Official methods of analysis of AOAC international (20th ed.). USA AOAC International, Gaithersburg, MD, 1-18.
- Arahisar, Ş., Hisar, O., Kaya M., Yanik, T., 2004. Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *International Journal of Food Microbiology*, 97, 209-214.
- Ardic, M., Kahve, H. I., Duran, A., 2015. Chemical migration in food technology. *Academic Journal of Science*, 4(02), 163-168.
- Api, A.M., 2001. Toxicological profile of diethyl phthalate: a vehicle for fragrance and cosmetic ingredients. *Food and Chemical Toxicology*, 39(2), 97-108.
- Asensio-Montesinos, F., Blaya-Valencia, G., Corbí, H., Beltrán-Sanahuja, A., Sanz-Lázaro, C., 2022. Microplastic accumulation dynamics in two Mediterranean beaches with contrasting inputs. *Journal of Sea Research*, 188, 102269.
- Atamanalp, M., Köktürk, M., Uçar, A., Duyar, H. A., Özdemir, S., Parlak, V., Alak, G., 2021. Microplastics in tissues (brain, gill, muscle and gastrointestinal) of *Mullus barbatus* and *Alosa immaculata*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 81(3), 460-469.
- Atar H.H., Alçiçek Z., 2009. Su ürünleri ve sağlık. *TAF Prev Med Bull*, 8 (2), 173-176.
- Bakşı, M. A., 2015. Polistiren tabaklardan gıdaya geçen toplam migrasyon değerlerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Barboza, L.G.A., Lopes, C., Oliveira, P., Bessa, F., Otero, V., Henriques, B., Guilhermino, L., 2020. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of the Total Environment*, 717, 134625.
- Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Pinstrip-Andersen, P., Merino, G., Hemre, G. I., Williams, M., 2015. Feeding 9 billion by 2050—Putting fish back on the menu. *Food Security*, 7, 261-274.
- Bligh, E. G., Dyer, W. J., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8), 911-917.
- Caggiano, M., 2000. Quality in harvesting and post-harvesting procedures influence on quality. Fish freshness and quality assessment for sea bass and sea bream. *Cahiers Options Mediterranee*, 51, 55-61.
- Carlos de Sá, L., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T. L., Futter, M. N., 2018. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: what do we know and where should we focus our efforts in the future?. *Science of the Total Environment*, 645, 1029-1039

- Caponigro, V., Di Fiore, C., Carriera, F., Iannone, A., Malinconico, A., Campiglia, P., Avino, P., 2024. Evaluating microplastic emission from takeaway containers: A Micro-Raman approach across diverse exposure scenarios. *Food Chemistry*, 141716,464.
- Castle, L., 2007. Chemical Migration and Food Contact Materials. *Chemical Migration Into Food*, 1-19.
- Chakraborty, P., Bharat, G. K., Gaonkar, O., Mukhopadhyay, M., Chandra, S., Steindal, E. H., Nizzetto, L., 2022. Endocrine-disrupting chemicals used as common plastic additives: Levels, profiles, and human dietary exposure from the Indian food basket. *Science of The Total Environment*, 810,152200.
- Chan, J., Shuang, F., 2012. Rapid, sensitive, and robust detection of phthalates in food using GC/MS or LC/MS. *Agilent technologies. USA*.
- Cheshmazar, E., Arfaeinia, L., Vasseghian, Y., Ramavandi, B., Moradi, M., Hashemi, S. E., Khaneghah, A.M., 2021. Phthalate acid esters in pickled vegetables packaged in polyethylene terephthalate container: occurrence, migration, and estrogenic activity-associated risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99,103880.
- Clere, I. K., Ahmmed, F., Peter III, J. G., Fraser-Miller, S. J., Gordon, K. C., Komyakova, V., Allan, B. J., 2022. Quantification and characterization of microplastics in commercial fish from southern New Zealand. *Marine Pollution Bulletin*, 184,114121.
- Conti, G. O., Ferrante, M., Banni, M., Favara, C., Nicolosi, I., Cristaldi, A., Zuccarello, P., 2020. Micro-and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environmental Research*, 187,109677.
- Cory-Slechta D., 2008. *Phthalates Cumulative Risk Assessment*. Washington.
- Cowger, W., Steinmetz, Z., Gray, A., Munno, K., Lynch, J., Hapich, H., Herodotou, O., 2021. Microplastic spectral classification needs an open source community: open specy to the rescue. *Analytical Chemistry*, 93(21), 7543-7548.
- Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., Dudas, S. E., 2019. Human consumption of microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 7068-7074.
- Culler, R. D., Smith, G. C., Cross, H. R., 1978. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. *Journal of Food Science*, 43(4), 1177-1180.
- Curren, E., Leaw, C. P., Lim, P. T., Leong, S. C. Y., 2020. Evidence of marine microplastics in commercially harvested seafood. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8 , 1390.
- Çaklı , Ş., 2008. *Su Ürünleri İşleme Teknolojisi 2 (Alternatif Su Ürünleri İşleme Teknolojisi)*. Ege Üniversitesi. İzmir.
- Çarbaş, A., 2008. Potasyum sorbat uygulamasının vakum ve modifiye atmosferde ambalajlanmış Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarının raf ömrü üzerine etkisi. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çinibulak P., 2010. Gıda ambalajlarında migrasyon. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Çorapçı, B., 2022. The effect of rosehip seed oil nanoemulsion on some physical, chemical, and microbiological properties of sea bass fillets stored at 4±1 C. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 31(7), 672-685.

- Dai, W., Yan, C., Ding, Y., Wang, W., Gu, S., Xu, Z., Zhou, X., Ding, Y., 2022. Effect of a chitosan coating incorporating epigallocatechin gallate on the quality and shelf life of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fillets during chilled storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 219, 1272-1283.
- Dağdelen, A.F., 2016. Silikon Ve Plastik Esaslı Mutfak Gereçlerinden Gıdaya Geçen Toplam Kalıntı ve Metal Konsantrasyonlarının Araştırılması. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- David, R.M., 2000. Exposure to phthalate esters. *Environmental Health Perspectives*, 108(10), A440-A440
- Dean, L.M., 1990. The seafood industry. *Nutrition and Preparation*, 255-267.
- Djouina, M., Vignal, C., Dehaut, A., Caboche, S., Hirt, N., Waxin, C., Body-Malapel, M., 2022. Oral exposure to polyethylene microplastics alters gut morphology, immune response, and microbiota composition in mice. *Environmental Research*, 212, 113230.
- Dowarah, K., Patchaiyappan, A., Thirunavukkarasu, C., Jayakumar, S., Devipriya, S.P., 2020. Quantification of microplastics using Nile Red in two bivalve species *Perna Viridis* and *Meretrix meretrix* from three estuaries in Pondicherry, India and microplastic uptake by local communities through bivalve diet. *Science Direct*, 153, 110982.
- Dönmez, M., Tatar, O., 2001. Filteo ve bütün olarak dondurulmuş gökkuşağı alabalığının (*Oncorhynchus mykiss* W.) muhafazası süresince yağ asitleri bileşimindeki değişimlerin araştırılması. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 18(1/2), 125-134.
- Du, T., Yu, X., Zhang, J., Sun, X., 2015. Lipid accumulation product and visceral adiposity index are effective markers for identifying the metabolically obese normal-weight phenotype. *Acta Diabetologica*, 52(5), 855-863.
- Duman, M., Şen, D., 2003. Gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss* W.)'nın kimyasal bileşimi ve et verimindeki değişimlerin mevsimsel olarak incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(4), 635-644.
- Dursun, S., Erkan N., 2009. Yenilebilir protein filmler ve su ürünlerinde kullanımı. *Journal of Fishers Sciences*, 23(4), 352-373.
- Ebeid, T. A., Tůmová, E., Ketta, M., Chodová, D., 2022. Recent advances in the role of feed restriction in poultry productivity: part II-carcass characteristics, meat quality, muscle fibre properties, and breast meat myopathies. *World's Poultry Science Journal*, 78(4), 989-1005.
- EDQM, 2013. Metals and alloys used in food contact materials and articles, a practical guide for manufactures and regulators, European Directorate for the Quality of Medicines and HealthCare-Committee of Experts on Packaging Materials for Food and Pharmaceutical Products (EDQM-P-SC-EMB), Strasbourg.
- Erdem, M.E., Koral, S., Işıdan, S., 2022. The effect of different packaging methods on microbiological quality criteria and changes in biogenic amines of marinated shad (*Alosa immaculata* Bennett, 1838). *Journal of Agricultural Sciences*, 23, 404-414.
- Ergen S., 2019. Enkapsüle Edilmiş Kurkuminin Gökkuşağı Alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) Filetolarının Raf Ömrü ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi.
- Erkan, N., Metin, S., Varlık, C., Baygar, T., Özden, Ö., 2000. Modifiye atmosferle paketlenmenin (MAP) paneli alabalık marinatlarının raf ömrü üzerine etkisi. *Turk J Vet Anim Sci.*, 24, 404-414.

- Erkan, N., Doğruyol, H., Günlü, A., Genç, İ. Y., 2015. Use of natural preservatives in seafood: Plant extracts, edible film and coating. *Food and Health*, 1(1), 33-49.
- Esmer, Ö. K., 2005. Karbondioksitli İçeceklerin Konulduğu Pet polietilen Tereftalat Şişelerin Bazı Migrasyon Özelliklerinin Belirlenmesi: Etilen Glikol Migrasyonu ve Toplam Migrasyon. *Akademik Gıda*, 3, 29-31.
- Fantini, L. E., Rodrigues, R. A., Honorato, C. A., dos Reis Goes, E. S., Julien Ferraz, A. L., de Lara, J. A. F., Campos, C. M., 2020. Resting time before slaughter restores homeostasis, increases rigor mortis time and fillet quality of surubim *Pseudoplatystoma* spp.. *Plos one*, 15(5), e0233636.
- Fossi, M. C., Pedà, C., Compa, M., Tsangaris, C., Alomar, C., Claro, F., Baini, M., 2018. Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity. *Environmental Pollution*, 237, 1023-1040.
- Gao, X., Cui, L., Mu, Y., Li, J., Zhang, Z., Zhang, H., Yang, J., 2023. Cumulative health risk in children and adolescents exposed to bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP). *Environmental Research*, 237, 116865.
- Gao, S., Zhuang, S., Zhang, L., Lametsch, R., Tan, Y., Li, B., Luo, Y., 2024. Proteomic evidence of protein degradation and oxidation in brined bighead carp fillets during long- term frozen storage. *Food Chemistry*, 43,137312.
- Gülyavuz H. Ve Ünlüsayın M., 1999. Su ürünleri İşleme Teknolojisi. 250 p. 20-30.
- Gram, L., Dalgaard, P., 2002. Fish spoilage bacteria: problems and solution. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 13,262-266.
- Groh, K. J., Backhaus, T., Carney-Almroth, B., Geueke, B., Inostroza, P. A., Lennquist, A., Muncke, J., 2019. Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. *Science of the Total Environment*, 651, 3253-3268.
- Hanachi, P., Karbalaeei, S., Walker, T. R., Cole, M., Hosseini, S. V., 2019. Abundance and properties of microplastics found in commercial fish meal and cultured common carp (*Cyprinus carpio*). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(23), 23777-23787.
- Hayasaka, Y., 2014. Analysis of phthalates in wine using liquid chromatography tandem mass spectrometry combined with a hold-back column: chromatographic strategy to avoid the influence of pre-existing phthalate contamination in a liquid chromatography system. *Journal of Chromatography A*, 1372, 120-127.
- Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C., Tahara, R., Maisuria, V. B., Tufenkji, N., 2019. Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12300-12310.
- Huss, H.H., 1988. Fresh Fish Quality and Quality Changes. *FAO Fishers Series*. Rome.
- Isık, A., Atamanalp, M., Alak, G., 2020. Evaluation of antioxidant level and protein oxidation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during rigor and post- rigor. *Journal of Food Safety*, 40(1), e12746.
- Jarošová, A., 2006. Phthalic acid esters (PAEs) in the food chain. *Czech J Food Sci.*, 24(5), 223-31.
- Jeddi, M. Z., Rastkari, N., Ahmadkhaniha, R., Yunesian, M., 2016. Endocrine disruptor phthalates in bottled water: daily exposure and health risk assessment in pregnant and lactating women. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 1-16.

- Kamrin, M.A., 2009. Phthalate risks, phthalate regulation, and public health: a review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 12,157-174.
- Kara, A., Akkose, A., Gelen, S. U., Uçar, A., Parlak, V., Kocaman, E. M., Alak, G., 2024. A solution for fillet quality: Slaughter age's effect on protein mechanism and oxidation. *Heliyon*, 10(10).
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., Karbalaee, S., Salamatnia, B., 2018. Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Science of the Total Environment*, 612, 1380-1386.
- Kedzierski, M., Geslain, E., Pedrotti, M. L., Ghiglione, J. F., Bruzard, S., 2021. Pre-detection of microplastics using active thermography. *Chemosphere*, 262, 127648.
- Kheirabadi, E.P., Shekarabi, P.H., Yadollahi, F., Soltani, M., Najafi, E., Von Hellens, J., Flores, C.L., Salehi, K., Faggio, C., 2022. Red yeast (*Phaffia rhodozyma*) and its effect (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquacult*, 23,101082.
- Khetan, S.K., 2014. Anti-Androgenic Chemicals. *Endocrine Disruptors in the Environment*, First Edition, 92,3.
- Khorami, F., Babaei, S., Valizadeh, S., Naseri, M., Golmakani, M. T., 2024. Bilayer coatings for extension of the shelf life of fish fillets: Incorporating seaweed sulfated polysaccharides in chitosan- alginate LbL structures. *Food Science & Nutrition*, 12, 2511-2522.
- Kim K.I., Kayes, T.B. and Amundson, C.H., 1987. Effect of dietary tryptophane levels on growth, feed/gain carcass composition and liver glutamate dehydrogenase activity in rainbow trout (*Salmo Gairdneri*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 88(3), 737-741.
- Korkmaz, F., 2016. Yenilebilir biyofilm olarak kinoa (*Chenopodium quinoa*)'nın gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarının raf ömrü üzerine etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Korkmaz E., 2018. Gıda ile Temas Eden PET Ambalajların Migrasyon Durumlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Krauskopf, L.G., 1993. Plasticizer structure/performance relationships. *Journal of Vinyl Technology*, 15(3), 140-147.
- Lan, W., Yang, X., Liu, J., Xie, J., 2022. Effects of phenolic acid grafted chitosan on moisture state and protein properties of vacuum packaged sea bass (*Lateolabrax japonicus*) during refrigerated storage. *Lwt*, 159, 113208.
- Lan, W., Du, J., Liu, L., Pu, T., Zhou, Y., Xie, J., 2022a. SA-SI treatment: A potential method to maintain the quality and protein properties on mackerel (*Pneumatophorus japonicus*) during chilling storage. *Food and Bioprocess Technology*. 15(7), 1603-1614.
- Lemon, D. W., 1975. An improved TBA test for rancidity. *Fisheries and Marine Service*, 8 p, Canada.
- Li, D. Y., Li, N., Dong, X. H., Tan, Z. F., Na, X. K., Liu, X. Y., Zhou, D. Y., 2022. Effect of phytic acid combined with lactic acid on color and texture deterioration of ready-to-eat shrimps during storage. *Food Chemistry*, 396,133702.
- Lie Y., Yuan Li., Liu H., Liu. H., Zhou Y., Li M. And Gao R.,2023. Analysis of the changes of volatile flavor compounds in a traditional Chinese shrimp paste during fermentation based on electronic nose, SPME- GC-MS and HS-GC-IMS. *Food Science and Human Wellness*, 12 (2023),173-182.

- Liu, C., Wolter, C., Xian, W., Jeschke, J.M., 2020. Most invasive species largely conserve their climatic niche. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 117 (38), 23643-23651.
- Liu, L., Xiu, J., Du, R., Ping, W., Ge, J., Zhao, D., 2022. The response surface optimization of exopolysaccharide produced by *Saccharomyces cerevisiae* Y3 and its partial characterization. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 52 (5), 566-577.
- Love R.M.,1982. Basic facts about fish. Fishers & Food Torrey Research Station, 2-19. Edinburg.
- Luo, Y., Teng, Z., Wang, Q., 2012. Development of zein nanoparticles coated with carboxymethyl chitosan for encapsulation and controlled release of vitamin D3. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(3), 836-843.
- Luzardo, S., Saadoun, A., Cabrera, M. C., Terevinto, A., Brugnini, G., Rodriguez, J., Rufo, C., 2024. Effect of beef long- storage under different temperatures and vacuum-packaging conditions on meat quality, oxidation processes and microbial growth. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104, 1143-1153.
- Mahdavi, M., Asghari, S., Rahnamay, M., Dehghan, G., Feizi, M. A. H., Balalaie, S., 2018. Cytotoxicity, oxidative stress, and apoptosis in K562 leukemia cells induced by an active compound from pyrano-pyridine derivatives. *Human & Experimental Toxicology*, 37(10), 1105-1116.
- Malle, P., Tao, S. H., 1987. Rapid quantitative determination of trimethylamine using steam distillation. *Journal of Food Protection*, 50(9), 756-760.
- Martelli, D., McKinley, M. J., McAllen R.M., 2014. The cholinergic anti-inflammatory pathway: A critical review. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, 182, 65-69.
- Martín-Pozo, L., Martín-Bueno, J., Moscoso-Ruiz, I., Zafra-Gómez, A., 2022. Methods of bisphenol A detection by gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS) in human breast milk and foodstuff. In *Emerging Contaminants in the Environment*. Elsevier, 18, 465-493.
- Marazuela, M.D., Klaiber, M., Moreno-Gordaliza, E., Barata, A., Gómez-Gómez, M.M., 2022. Safety assessment of commercial antimicrobial food packaging: Triclosan and microplastics, a closer look. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100780.
- Mason, S. A., Welch, V. G., Neratko, J., 2018. Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in chemistry*, 6, 407.
- Mercogliano, R., Avio, C. G., Regoli, F., Anastasio, A., Colavita, G., Santonicola, S., 2020. Occurrence of microplastics in commercial seafood under the perspective of the human food chain. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(19), 5296-5301.
- Mısıır, G. B., Koral, S., 2021. The impacts of ultrasound-assisted protein hydrolysate coating on the quality parameters and shelf life of smoked bonito fillets stored at 4±1°C. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(4), 427-435.
- Montevecchi, G., Masino, F., Di Pascale, N., Simone, G. V., Antonelli, A., 2017. Study of the repartition of phthalate esters during distillation of wine for spirit production. *Food Chemistry*, 237, 46-52.
- Muncke J., 2009. Exposure to Endocrine Disrupting Compounds Via The Food Chain: Is Packaging Relevant Source?. *Science of the Total Environment*, 407 (16), 4549-4559.
- Muncke, J., 2021. Tackling the toxics in plastics packaging. *PloS Biology*, 19(3), e3000961.

- Munno, K., De Frond, H., O'Donnell, B., Rochman, C. M., 2020. Increasing the accessibility for characterizing microplastics: introducing new application-based and spectral libraries of plastic particles (SLoPP and SLoPP-E). *Analytical Chemistry*, 92(3), 2443-2451.
- Nawaz, M., Maulud, A.S., Zabiri, H., 2022. Analysis of multiscale process monitoring in industrial processes from a bibliometric perspective. *Science Direct*, 168,108055.
- Niu, L., Xu, Y., Xu, C., Yun, L., Liu, W., 2014. Status of phthalate esters contamination in agricultural soils across China and associated health risks. *Environmental Pollution*, 195, 16-23.
- Oğuzhan, P., Angiş, S., haliloğlu H.İ., Atamanalp, M., 2006. Gökkuşığı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolerında sıcak tütsüleme sonrası kimyasal kompozisyon değişimleri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 23(1/3), 465-466.
- Orhun, F., 1968. Gaz kromatografisi, taşıyıcı gazın akış hızının tesirleri üzerinde tecrübi araştırmalar ve metodun Türkiye'deki bazı tabii gazların hidrokarbon analizlerine tatbiki. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 70(70): 106-141.
- Ormancı, F.S., 2006. Süt ürünlerinin ambalajlanmasında PVC malzemenin kullanımı ve migrasyon. *Gıda*, 32(4): 187-193.
- Oruç Y., 2020. Bazı paketlenmiş içecek türlerinde ve doğal kaynak suyunda raf ömrü boyunca olası ftalat esteri migrasyonu tespitinde lc-ms/ms kullanımı. Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Örüng, İ., Karaman, S., Şirin, Ü., 2016. Nevşehir yöresindeki doğal depoların modern depolarla karşılaştırılması. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9-18.
- Özdemir Y., Köprücü K., Engin Ş., 2000. An investigation on the vitamin A2, c and E contents of freshwater mussel *unio elongatulus eucirrus* Bourguignat. *Su Ürünleri Dergisi*, 17,1-5.
- Plastics Europe, 2020. *Plastics-the facts 2020. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data*. URL: https://www.plasticseurope.org/application/files/5716/0752/4286/AF_Plastics_the_facts-WEB-2020-ING_FINAL.pdf.
- Qureshi, M.S., Yusoff, A.R.B.M., Wirzal, M.D.H., Sirajuddin, barek, J., Afridi, H.I., Üstündağ, Z., 2016. Methods for determination of endocrine-disrupting phthalate esters. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(2), 146-159.
- Ramli, N. A. S., Roslan, N. A., Abdullah, F., Ghazali, R., Abd Razak, R. A., Tarmizi, A. H. A., Bilal, B., 2023. Analytical method for the determination of 2-and 3-monochloropropanediol esters and glycidyl ester in palm-based fatty acids by GC-MS. *Food Control*, 151,109824.
- Ranjan, V.P., Joseph, A., Goel, S., 2021. Microplastics and other harmful substances released from disposable paper cups into hot water. *Journal of Hazardous Materials*, 404, 124118.
- Randall, C.F., Bromage, N.R., Trush, M.A., Davies, B., 1991. Photoperiodism and melatonin rhythms in salmonids fish. *Proceedings from 4th International Symposium on Reproductive Physiology in Fish, Fish Symp.*, 91, 136-138.
- Ranjesh, R., Ravishankar, C.N. Srinivasa Gopal, T.K., Varma P.R.G., 2002. Effect of vacuum packaging and sodium acetate on the shelf life of seer fish during iced storage. *Packaging Technology and Science*, 15(2), 241-245.

- Rao T.R., Harshitha S., Lahari K.L., 2023. Gas chromatography- Mass spectroscopy: An Overview. *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 10(5), 83-89.
- Rukmangada, R., Naidu, B.C., Nayak, B.B., Balange, A., Chouksey, M.K., Xavier, K.A.M., 2023. Microplastic contamination in salted and sun dried fish and implications for food security- A study on the effect of location, style and constituents of dried fish on microplastics load. *Science Direct*, 191, 114909.
- Pigott, G.M., Tucker, B.W., 1990. *Effectsof Technology on Nutrition*. New York.
- Poças M.F., Hogg T., 2007. Exposure Assessment of Chemicals from Packaging Materials in Foods: A Review. *Trends in Food Science&Technology*, 18 (4), 219-230.
- Poças, F., 2018. *Migration from packaging and food contact materials into foods*. Elsevier, 28737.
- Sablani S.S., Rahman M.S., 2007. Food Packaging Interaction. *Handbook Of Food Preservation*, 939-950.
- Sahoo, T. P., Kumar, M.A., 2023. Remediation of phthalate acid esters from contaminated environment—Insights on the bioremedial approaches and future perspectives. *Heliyo*, 9(4).
- Savoca, D., Arculeo, M., Barreca, S., Buscemi, S., Caracappa, S., Gentile, A., Pace, A., 2018. Chasing phthalates in tissues of marine turtles from the Mediterranean sea. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 165-169.
- Schettler T., 2006. Human exposure to phthalates via consumer products. *International Journal of Androlgy*, 2006,29:134-139.
- Sewwandi, M., Wijesekara, H., Rajapaksha, A. U., Soysa, S., Vithanage, M., 2023. Microplastics and plastics-associated contaminants in food and beverages; Global trends, concentrations, and human exposure. *Environmental Pollution*, 317,120747.
- Seyhan, G., 2018. Farklı Depolama Şartlarının Polietilen Tereftalat (PET) ve Polikarbonat (Pc) Şişelerden Suya Kimyasal Madde Göçü Üzerine Etkisi. *Doktora tezi, Adli Tıp Enstitüsü, İstanbul*.
- Sheikha, A. F. E., Allam, A. Y., Oz, E., Khan, M. R., Proestos, C., Oz, F., 2022. Edible Xanthan/Propolis Coating and Its Effect on Physicochemical, Microbial, and Sensory Quality Indices in Mackerel Tuna (*Euthynnus affinis*) Fillets during Chilled Storage. *Gels*, 8(7), 405.
- Si, J., Vazquez- Castellanos, J.F., Gregory, A.C., Decommer L., Rynmenans, L., Proost, S., Lodeiro, J.C., Weger, M., Notdurfter M., Leitner C., Santer, P., Rungger, G., Willeit, J., Willeit, P., Pechlaner, R., Grabherr, F., Kiechl, S., Tilg, H., Raes, J., 2022. *Nature Aging*, 2,885-895.
- Singh, R.P., Heldman, D.R., 2015. *Gıda Mühendisliğine Giriş*. Nobel Akademik Yayınları. Ankara.
- Skoog D.,Holler J., Nieman T. A.,1998. *Enstrimental Analiz İlkeleri*. 820 p, 498-535, 673-725.
- Song, B., Zheng, C., Zheng, J., Zhang, S., Zhong, Y., Guo, Q., Yin, Y., 2022. Comparisons of carcass traits, meat quality, and serum metabolome between Shaziling and Yorkshire pigs. *Animal nutrition*, 8, 125-134.

- Sürengil, G., Kılınç B., 2011. Gıda ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi. *Journal Fisheries Sciences*, 5(4), 317-325.
- Şengör G.F., Çelik U., Akkuş S., 2020. Buzdolabı Koşullarında Depolanan İstavrit Balığı (*trachurus trachurus* (L. 1758)'nın Tazeliğinin ve Kimyasal Bileşiminin Belirlenmesi. *Turkish Journal of Vet. And Animal Science*, 24, 187-193.
- Şevik, R., Denizkara, A. J., Akarca, G., Atik, A., Atik, İ., 2022. Physicochemical and Microbiological Properties of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Fillets Marinated with Rosemary and Laurel Essential Oils". *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 31(9), 977-988.
- Tosun, Ş. Y., Üçok Alakavuk, D., Ulusoy, Ş., Erkan, N., 2018. Effects of essential oils on the survival of *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* on fresh atlantic salmon (*Salmo salar*) during storage at 2±1 C. *Journal of Food Safety*, 38(1), e12408.
- Tran, M. P., Huynh, T. K. D., Nguyen, L. A. D., Nguyen, Q. T., Nguyen, T. N. H., Phong Ho, Q., Douny, C., 2023. *Camellia sinensis* extract delays microbiological and oxidative changes in striped catfish fillets during frozen storage. *Ciência Rural*, 53(4), e20210755.
- Tumu, K., Vorst, K., Curtzwiler, G., 2023. Endocrine modulating chemicals in food packaging: A review of phthalates and bisphenols. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(2), 1337-1359.
- Tunçelli, İ. C., Erkan, N. 2021. Gıda güvenliği açısından su ürünlerinde mikroplastik riski ve araştırma yöntemler. *Aquatic Research*, 4(1), 73-87.
- Tural S., 2013. Gıda ambalajları ve migrasyon. <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/%C4%B0DAR%C4%B0%20%C4%B0%C5%9ELER/temmuz/5.pdf> (Erişim tarihi: 02.02.2020).
- Turan, H., Kocatepe, D., 2013. Different MAP conditions to improve the shelf of Sea bass. *Food Science Biotechnol*, 22(6), 1589-1599.
- Tutanç, L., 2009. Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi (GC-MS) ile Eroin, Kokain ve Amfetaman Grubu Maddelerin Birlikte Analizi için Yöntem Geliştirilmesi. Doktora tezi, Adli Tıp Enstitüsü, İstanbul.
- Üçüncü, M., 2007. Gıda Ambalajlama Teknolojisi. Akademi Yayıncılık. İzmir.
- Varlık C., Üçok Alakavuk D., 2002. Su ürünlerinin beslenmedeki yeri ve önemi. *Tarım İstanbul Dergisi*. 80 p, 13-15.
- Velotto, S., Squillante, J., Nolasco, A., Romano, R., Cirillo, T., Esposito, F., 2023. Occurrence of phthalate esters in coffee and risk assessment. *Foods*, 12, 264.
- Wang, S., Zhong, Z., Wan, J., Tan, W., Wu, G., Chen, M., Wang, Y., 2013. Oridonin induces apoptosis, inhibits migration and invasion on highly-metastatic human breast cancer cells. *The American Journal of Chinese Medicine*, 41(01), 177-196.
- Wang, J., Wang, M., Ru, S., Liu, X., 2019. High levels of microplastic pollution in the sediments and benthic organisms of the South Yellow Sea, China. *Science of the Total Environment*, 651, 1661-1669.
- Wang, R., Guo, F., Zhao, J., Feng, C., 2024. Myofibril degradation and structural changes in myofibrillar proteins of porcine longissimus muscles during frozen storage. *Food Chemistry*, 435, 137671.
- Wei, L., Li, Z., Sun, J., Zhu, L., 2020. Pollution characteristics and health risk assessment of phthalate esters in agricultural soil and vegetables in the Yangtze River Delta of China. *Science of the Total Environment*, 726, 137978.

- Wenzl, T., 2009. Methods for the determination of phthalates in food. Joint Research Centre, 50 p, Luxembourg.
- Wu, Y., Štefl, M., Olżyńska, A., Hof, M., Yahioğlu, G., Yip, P., Kuimova, M. K., 2013. Molecular rheometry: direct determination of viscosity in L_o and L_d lipid phases via fluorescence lifetime imaging. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 15(36), 14986-14993.
- Xu, Y., Leng, D., Li, X., Wang, D., Chai, X., Schroyen, M., Hou, C., 2024. Effects of different electrostatic field intensities assisted controlled freezing point storage on water holding capacity of fresh meat during the early postmortem period. *Food Chemistry*, 439, 138096.
- Xu, D., Deng, X., Fang, E., Zheng, X., Zhou, Y., Lin, L., Huang, Z., 2014. Determination of 23 phthalic acid esters in food by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1324, 49-56.
- Yavuz, H. T. 2014. Ambalajlardan dipropilen glikol diakrilat ve tripropilen glikol diakrilat migrasyonunun belirlenmesi ve kağıt ambalajlarda potansiyel risklerin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ye, Q., Liu, L., Chen, Z., Hong, L., 2014. Analysis of phthalate acid esters in environmental water by magnetic graphene solid phase extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1329, 24-29.
- Yesildagli, B., Göktaş, R. K., Ayaz, T., Olgun, B., Dokumacı, E. N., Özkaleli, M., Civan, M. Y., 2024. Phthalate ester levels in agricultural soils of greenhouses, their potential sources, the role of plastic cover material, and dietary exposure calculated from modeled concentrations in tomato. *Journal of Hazardous Materials*, 468, 133710.
- Yerlikaya P., 2017. Fitalat Esterleri ve Su Ürünleri Tüketimindeki Yeri. *Journal Of Food and Healthy Science*, 3 (2),59-66.
- Yılmaz, M., Ceylan, Z.G., Kocaman, M., Kaya, M., Yılmaz, H., 2009. The effect of vacuum and modified atmosphere packaging on growth of *Listeria* in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Journal Of Muscle Foods*. 20,1539-1544.
- Yin, L., Wen, X., Du, C., Jiang, J., Wu, L., Zhang, Y., Gu, Q., 2020. Comparison of the abundance of microplastics between rural and urban areas: a case study from East Dongting Lake. *Chemosphere*, 244, 125486.
- Zakeri, M., Naji, A., Akbarzadeh, A., Uddin, S., 2020. Microplastic ingestion in important commercial fish in the southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111598.
- Zhao, N., Wang, X., Wang, T., Xu, X., Liu, Q., Li, J., 2022. Genome-wide identification of *Laminin* family related to follicular pseudoplacenta development in Black Rockfish (*Sebastes schlegelii*). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10523.
- Zengin C., Kayaardı S., 2011. Yeşil çay ve kekik ekstraktlarının tavuk eti kalitesine etkisi. Yüksek lisans tezi, Fen bilimleri enstitüsü, Manisa.
- Zhang, Z., Muhammad, Y., Chen, Y., Shah, S. J., Peng, Y., Shao, S., Zhao, Z., 2021. Construction of ultra-stable and Z-scheme Fe-Graphdiyne/MIL-100 (Fe) photo-Fenton catalyst with C= C-Fe| O interface for the highly enhanced catalytic degradation of Dinotefuran. *Chemical Engineering Journal*, 426, 131621.
- Zhang, H., Ben, Y., Han, Y., Zhang, Y., Li, Y., Chen, X., 2022. Phthalate exposure and risk of diabetes mellitus: Implications from a systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 204, 112109.

Zuccarello, P., Ferrante, M., Cristaldi, A., Copat, C., Grasso, A., Sangregorio, D., Conti, G. O, 2019. Exposure to microplastics (< 10 µm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study. Water Research, 157, 365-371.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Rabia Nur YAVAŞ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	
Lisans:	
Yüksek lisans:	
Doktora:	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
Alak, G., & Yavaş, R.N., (2024). Investigation of the Storage Temperature Effect on Phthalate Migration Potential in Vacuum- Packed Fish Fillets. <i>Journal of Food Safety</i> , 44(6), e13173.	