

İYONİZE RADYASYON İŞLEMİ UYGULANARAK
DONDURULAN PALAMUT BALIĞININ
(*Sarda sarda* Bloch, 1793) SAKLAMA SÜRESİNİN
ARAŞTIRILMASI
CAN OKAN ALTAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
SU ÜRÜNLERİ AVLAMA VE
İŞLEME TEKNOLOJİSİ
ANABİLİM DALI

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İYONİZE RADYASYON İŞLEMİ UYGULANARAK DONDURULAN
PALAMUT BALIĞININ (*Sarda sarda* Bloch, 1793) SAKLAMA SÜRESİNİN
ARAŞTIRILMASI

CAN OKAN ALTAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

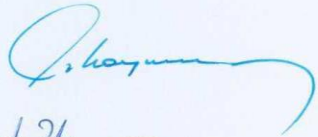
SU ÜRÜNLERİ AVLAMA VE İŞLEME TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hülya TURAN

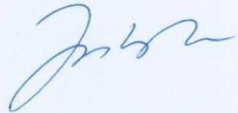
SİNOP – 2014

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışma, jürimiz tarafından 13/08/2014 tarihinde yapılan sınav ile Su
Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS tezi
olarak kabul edilmiştir.

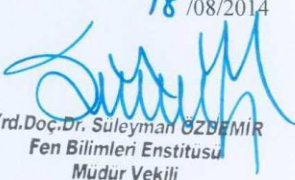
Başkan : Prof. Dr. İbrahim ERKOYUNCU 

Üye : Prof. Dr. Hülya TURAN 

Üye : Doç. Dr. Serap USTAOĞLU TIRIL 

ONAY :

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu
onaylarım.

18 /08/2014

Yrd.Doç.Dr. Suleyman ÖZDEMİR
Fen Bilimleri Enstitüsü
Müdür Vekili

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**İYONİZE RADYASYON İŞLEMİ UYGULANARAK DONDURULAN
PALAMUT BALIĞININ (*Sarda sarda* Bloch, 1793) SAKLAMA SÜRESİNİN
ARAŞTIRILMASI**

ÖZET

Bu çalışmada, palamut balıkları (*Sarda sarda* Bloch, 1793) farklı dozlarda ışınlanıp (3 ve 5 kGy) paketlenerek dondurulmuş ve 12 ay süre ile $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de depolanmıştır.

Depolama süresince ışınlama işleminin balık eti mikrobiyal faunası, fiziksel ve kimyasal değişiklikleri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Artan ışınlama dozunun (5 kGy) mikrobiyal yüke (mezofil ve psikrofil aerobik bakteri) ve duyusal parametrelere (tekstür ve genel) daha yüksek derecede olumlu etki gösterdiği belirlenmiştir ($p<0.05$). a_w , TMA-N, TVB-N, TBARs ve koku parametrelerinin ışınlanan gruplarda (3 ve 5 kGy) kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bununla birlikte, farklı dozda ışınlama yapılan gruplar (3 ve 5 kGy) arasında önemli bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). pH ve lezzet parametreleri bakımından ise tüm gruplar benzer sonuçlar vermiştir ($p>0.05$).

Çalışma sonunda, ışınlama işlemi yapılarak (3 ve 5 kGy) dondurulan palamut balıklarının raf ömrünün uzadığı, kontrol grubunun 9. ay sonunda bozulduğu, uygulanan her iki dozun ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerinde benzer etki gösterdiği, duyusal ve mikrobiyal açıdan ise balık üzerinde pek çok yönde daha fazla olumlu etki göstermesi bakımından 5 kGy dozun kullanılmasının daha uygun olacağı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Palamut balığı (*Sarda sarda* Bloch, 1793), iyonize radyasyon, ışınlama, dondurma, raf ömrü, kalite.

THE INVESTIGATION OF STORAGE PERIOD OF BONITO (*Sarda sarda* Bloch, 1793) FROZEN AND IRRADIATED

ABSTRACT

In this study, the bonito (*Sarda sarda* Bloch, 1793) irradiated in different doses (3 and 5 kGy), packaged, frozen and stored at $-20^{\circ}\text{C}\pm 2$ for 12 months.

During the storage period, the analyses showed that the irradiation process was effective on the microbial fauna, physical and chemical changes of fish flesh ($p<0.05$). The analyses also determined that increasing the irradiation dose (5 kGy) provided the higher degree of positive effect on microbial load (mesophilic and psychrotrophic aerobic bacteria) and sensory parameters (texture and general) ($p<0.05$). The irradiated groups (3 and 5 kGy) had better results of a_w , TVB-N, TBARs, TMA-N and odor parameters than the control group. However, a significant difference was not determined between the irradiated groups (3 and 5 kGy) ($p>0.05$). In terms of pH and flavor parameters, similar results had been found for all groups ($p>0.05$).

According to results of study, the irradiation procedure (3 and 5 kGy) extended the shelf life of frozen bonito while the control group was spoiled at the end of the 9th month. Both irradiation doses (3 and 5 kGy) showed the similar effect on the physical and chemical properties ($p>0.05$). In addition, the 5 kGy dose has been found to be more appropriate to use since it provided more positive effects on sensory and microbiological properties.

Key Words: Bonito (*Sarda sarda* Bloch, 1793), ionised radiation, irradiation, freezing, shelf life, quality.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın planlanmasında, yürütülmesinde ve değerlendirilmesinde bana destek olan, her aşamada bilgi ve tecrübelerini tüm samimiyetiyle benden esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Hülya TURAN’a,

Yüksek lisans çalışmamda başından sonuna kadar her koşulda güvenini, engin bilgi ve deneyimini yanımda hissettiğim değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Demet ÖZTÜRK KOCATEPE’ye,

Tezimin her aşamasında desteğini sürekli yanımda hissettiğim sevgili nişanlım Arş. Gör. Dr. Esra BOZKURT’a,

Denemede kullanılan balıkların temin edilmesinde sağladığı yardımlardan dolayı Arş. Gör. Uğur ÖZSANDIKÇI’ya ve Aziz KAYAALP’e,

Çalışmanın çeşitli aşamalarında fikir ve görüşlerinden yararlandığım değerli arkadaşım Arş. Gör. Merve SARIİPEK’e,

Analizlerim boyunca değerli yardımlarından dolayı Ali YEŞİL’e, Melek SAMUR’a, Aysun GARGACI’ya, Zafer H. KALAYCI’ya, Hicret DÖNMEZ’e, Gizem GÖKNAR’a ve Asuman CEYLAN’a,

Çalışmam boyunca manevi desteğiyle yanımda olan sevgili arkadaşım Arş. Gör. Orçin UYGUN’a,

Öğrencilik hayatımı özverili bir şekilde sabır ve sevgiyle destekleyen annem ve babama teşekkür ederim.

Can Okan ALTAN

Sinop, 2014

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
SEMBOLLER	x
KISALTMALAR	xi
ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLER	xiii
ÇİZELGELER	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ	6
2.1. Genel Bilgiler	6
2.1.1. Palamut Balığının (<i>Sarda sarda</i> Bloch, 1793) Genel Özellikleri	6
2.1.1.1. Palamut Balığının Sistematikteki Yeri	7
2.1.2. Balıkta Meydana Gelen Bozulmalar	7
2.1.2.1. Kimyasal Bozulmalar	7
2.1.2.2. Yağlarda Görülen Değişimler	9
2.1.2.3. Mikrobiyolojik Bozulmalar	11
2.1.2.4. Duyusal Bozulmalar	12
2.1.3. Tazelik ve Bozulma İndikatörleri	13
2.1.3.1. Hipoksantin (Hx)	13
2.1.3.2. K Değeri	14
2.1.3.3. Trimetilamin (TMA)	14
2.1.3.4. Toplam Uçucu Bazlar (TVB)	15
2.1.3.5. Diaminler ve Histamin	15
2.1.3.6. Uçucu Sülfürlü Bileşikler ve İndirgenen Maddeler	15
2.1.3.7. Ransidite	16
2.1.3.8. Su Aktivitesi (a_w)	16
2.1.3.9. Fiziksel Yöntemler	18
2.1.4. Işınlama Teknolojisi	19

2.1.4.1.	Işınlama Teknolojisinde Kullanılan Terimler	19
2.1.4.2.	Işınlama İşleminin Tarihçesi	20
2.1.4.3.	Türkiye’de Faaliyette Olan Işınlama Tesisleri	21
2.1.4.4.	Işınlama Teknolojisinde Kullanılmakta Olan İyonize Radyasyon Kaynakları	21
2.1.4.5.	Teknik Amacına ve Uygulanan Dozlara Göre Işınlama İşlemi	22
2.1.4.6.	Işınlamanın Gıda Bileşenleri Üzerine Etkisi	23
2.1.4.7.	Işınlamanın Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkisi	26
2.1.4.8.	Işınlanmış Su Ürünleri	28
2.1.5.	Dondurma Teknolojisi	32
2.1.5.1.	Dondurmanın Koruyucu Etkisi	32
2.1.5.2.	Dondurma Yöntemleri	34
2.1.5.3.	Dondurma Teknolojisinde Kaliteyi Etkileyen Faktörler	35
2.1.5.4.	Dondurularak Depolanan Su Ürünlerinde Meydana Gelen Kalite Kayıpları	36
2.2.	Literatür Özeti	39
2.2.1.	Işınlama Teknolojisinde Yapılan Bazı Çalışmalar	39
2.2.2.	Dondurma Teknolojisinde Yapılan Bazı Çalışmalar	46
3.	MATERYAL VE YÖNTEM	50
3.1.	MATERYAL	50
3.1.1.	Denemede Kullanılan Balıklar	50
3.1.2.	Denemede Kullanılan Buz	50
3.1.3.	Paketlemede ve Örneklemede Kullanılan Materyaller	51
3.1.4.	Işınlama Tesisi	52
3.1.5.	Kullanılan Dozimetre	53
3.1.6.	Dondurma Esnasında ve Depolama Süresince Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	54
3.1.6.1.	Dijital Termometre	54
3.1.6.2.	Şok Dondurma Ünitesi	54
3.1.6.3.	Muhafaza Ünitesi	55
3.1.7.	Analizler için Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	55
3.1.7.1.	Saf Su Cihazları	55
3.1.7.2.	Blender ve Homojenizatör	56
3.1.7.3.	TVB-N Destilasyon Ünitesi	56

3.1.7.4.	pH Metre	57
3.1.7.5.	Sterilizatörler	57
3.1.7.6.	Hassas Terazı	58
3.1.7.7.	Rotary Evaporatör	58
3.1.7.8.	Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı	59
3.1.7.9.	Laminair Flow Kabini	59
3.1.7.10.	Koloni Sayıcı	60
3.1.7.11.	Piştirici Fırın	60
3.1.7.12.	İnkübatör	60
3.1.7.13.	Su Aktivitesi (a_w) Cihazı	60
3.1.7.14.	Etüv	61
3.1.7.15.	Spektrofotometre	61
3.1.7.16.	Protein Yakma Ünitesi	62
3.1.7.17.	Protein Destilasyon Ünitesi	62
3.1.7.18.	Kül Fırını	63
3.1.7.19.	Ham Yağ Ekstraksiyon Ünitesi	64
3.1.8.	Araştırmada Kullanılan Kimyasal Malzemeler	64
3.1.9.	Araştırmada Kullanılan Laboratuvarlar	65
3.2.	YÖNTEM	65
3.2.1.	Deneme Planı	65
3.2.2.	Işınlama, Dondurma ve Depolama İşleminin Uygulanması	66
3.2.3.	Balığın Temin Edilmesi ve Ön İşlemler	67
3.2.4.	Işınlama İşlemi	67
3.2.5.	Dondurma İşlemi	67
3.2.6.	Depolama	67
3.2.7.	Analizler	67
3.2.7.1.	Mikrobiyolojik Analizler	68
3.2.7.2.	Besin Kompozisyonu Analizleri	68
3.2.7.3.	Fiziksel Analizler	70
3.2.7.4.	Kimyasal Analizler	71
3.2.7.5.	Duyusal Analizler	74
3.2.7.6.	İstatistiksel Analiz	76
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	77
4.1.	Besin Kompozisyonu	77

4.2.	Fiziksel Analizler	78
4.2.1.	Ph	78
4.2.2.	Su Aktivitesi (a_w)	80
4.3.	Kimyasal Analizler	81
4.3.1.	Trimetilamin (TMA-N)	81
4.3.2.	Toplam Uçucu Bazik Azot (TVB-N)	84
4.3.3.	Tiyobarbütirik Asit Reaktif Maddeleri (TBARs)	86
4.4.	Mikrobiyolojik Analizler	89
4.4.1.	Toplam Mezofil Aerob Bakteri (TMAB)	89
4.4.2.	Toplam Psikrofil Aerobik Bakteri	91
4.5.	Duyusal Analizler	93
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	97
	KAYNAKLAR	101
	ÖZGEÇMİŞ	113

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

SEMBOLLER

%	Yüzde
±	Artı eksi
°	Derece
a _w	Su aktivitesi
C	Santigrat
Ci	Curie
cm	Santimetre
Co ₆₀	Kobalt-60
Cs ₁₃₇	Sezyum-137
gr	Gram
H ₂ O	Su
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
HCl	Hidroklorik asit
K	Tazelik indikatörü
Kcal	Kilo kalori
kg	Kilogram
Kob	Koloni oluşturan birim
log	Logaritma
mg	Miligram
ml	Mililitre
mt	Metre
NaOH	Sodyum hidroksit
nm	Nanometre
sn	Saniye

KISALTMALAR

ADP	Adenozin difosfat
AMP	Adenozin monofosfat
ANZFA	Avustralya Yeni Zelenda Gıda Kurumu
AOAC	Amerikan Resmi Analitik Kimyacıları Birliği
ATP	Adenozin trifosfat
BAKA	Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı
BHT	Butil Hidroksi Toluen
DFG	Alman Araştırma Birliği
DMA	Dimetilamin
DNA	Deoksiribo Nükleik Asit
EC	Avrupa Komisyonu
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi
Hx	Hipoksantin
HxR	İnozin
IAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
IMP	İnozin monofosfat
MA	Malondialdehit
MIT	Massachusetts Teknoloji Enstitüsü
PE	Polietilen
pH	Power hidrojen
PUFA	Polyunsaturated Fatty Acid
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TBA	Tiyobarbitürik Asit
TBARs	Thiobarbituric Acid Reactive Substances
TCA	Triklor Asetik Asit
TMA	Trimetilamin
TMAB	Toplam Mezofil Aerobik Bakteri
TMA-N	Trimetilamin Azot
TMAO	Trimetilamin Oksit
TPAB	Toplam Psikrofil Aerobik Bakteri
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TVB	Toplam Volatil Bazlar

TVB-N	Toplam Volatil Bazik Azot
US NAVY	Amerikan Deniz Kuvvetleri
VRs	Volatil İndirgen Maddeler
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ

ŞEKİLLER

Sayfa No

Şekil 1.1. 2013 yılına ait su ürünleri üretim miktarı (TÜİK, 2013)	3
Şekil 2.1. Palamut balığının genel görünüşü (Anonim, 2014c)	7
Şekil 2.2. Gıdaların depo kararlılıklarının su aktivitesine bağımlılığı (Telefoncu, 1993)	17
Şekil 2.3. Işınlanmış gıdalarda kullanımı zorunlu olan ‘‘Radura’’ simgesi (TAEK, 2007)	31
Şekil 3.1. Deneme materyali olarak kullanılan palamut (<i>Sarda sarda</i> Bloch, 1793) (Orijinal)	50
Şekil 3.2. Denemede kullanılan buz (Orijinal)	51
Şekil 3.3. Paketlenmiş deneme materyali (Orijinal)	51
Şekil 3.4. Balık örneği için kullanılan kavanozlar (Orijinal)	52
Şekil 3.5. Işınlamanın yapıldığı Gamma-Pak Sterilizasyon Anonim Şirketi’ne ait olan ışınlama tesisi (Orijinal)	52
Şekil 3.6. Araştırmada kullanılan Co ₆₀ radyoaktif izotop kaynağı (Orijinal)	53
Şekil 3.7. Araştırmada kullanılan dozimetre (Anonim, 2014g)	53
Şekil 3.8. Araştırmada kullanılan dijital termometre (Orijinal)	54
Şekil 3.9. Araştırmada kullanılan süper dondurucu (Orijinal)	54
Şekil 3.10. Donmuş muhafazada kullanılan dondurucu (Orijinal)	55
Şekil 3.11. Araştırmada kullanılan saf su cihazları (Orijinal)	55
Şekil 3.12. Araştırmada kullanılan homojenizatör (Orijinal)	56
Şekil 3.13. Araştırmada kullanılan TVB-N destilasyon ünitesi (Orijinal)	56
Şekil 3.14. Araştırmada kullanılan pH metre (Orijinal)	57
Şekil 3.15. Araştırmada kullanılan sterilizatörler (Orijinal)	57
Şekil 3.16. Araştırmada kullanılan hassas terazi (Orijinal)	58
Şekil 3.17. Araştırmada kullanılan rotary evaporatör (Orijinal)	58
Şekil 3.18. Araştırmada kullanılan ısıtıcı manyetik karıştırıcı (Orijinal)	59
Şekil 3.19. Araştırmada kullanılan laminair flow kabin (Orijinal)	59
Şekil 3.20. Araştırmada kullanılan inkübatör (Orijinal)	60
Şekil 3.21. Araştırmada kullanılan su aktivitesi cihazı (Orijinal)	61
Şekil 3.22. Araştırmada kullanılan etüv (Orijinal)	61

Şekil 3.23. Araştırmada kullanılan spektrofotometre (Orijinal)	62
Şekil 3.24. Araştırmada kullanılan protein yakma ünitesi (Orijinal)	62
Şekil 3.25. Araştırmada kullanılan protein destilasyon cihazı (Orijinal)	63
Şekil 3.26. Araştırmada kullanılan kül fırını (Orijinal)	63
Şekil 3.27. Araştırmada kullanılan ham yağ ekstraksiyon cihazı (Orijinal)	64
Şekil 3.28. Araştırmanın akış şeması	66
Şekil 3.29. Hazırlanan standartların regresyon eğrisi	72
Şekil 3.30. Hazırlanan standartların regresyon grafiği	74
Şekil 4.1. Palamut balığının besin kompozisyonu dağılımı	77
Şekil 4.2. Farklı dozlarda ısıtılan palamut balıklarının aylara göre pH değişimi	79
Şekil 4.3. Farklı dozlarda ısıtılan palamut balıklarının aylara göre a_w değişimi	80
Şekil 4.4. Depolama süresine göre farklı gruplardaki TMA-N değişimi	82
Şekil 4.5. Depolama süresine göre farklı gruplardaki TVB-N değişimi	85
Şekil 4.6. Depolama süresine göre farklı gruplardaki TBARs Değişimi	87
Şekil 4.7. Işıtılıp dondurulan palamut balıklarında depolama süresince TMAB değişimi	90
Şekil 4.8. Işıtılıp dondurulan palamut balıklarında depolama süresince TPAB değişimi	92

ÇİZELGELER

Sayfa No

Çizelge 1.1. 2008-2013 yılları toplam su ürünleri üretim ve tüketimi (TÜİK, 2013)	2
Çizelge 1.2. Ülkemizde önemli deniz balıkları türlerine ait üretim değerleri (ton/yıl) (TÜİK, 2013)	4
Çizelge 2.1. Bazı mikroorganizmaların gelişebildiği su aktivitesi değerleri (Ayhan, 2000; Gökoğlu, 2002).	18
Çizelge 2.2. Gıda ışınlamada kullanılabilen radyasyon kaynakları (TAEK, 2007)	22
Çizelge 2.3. Taze ve dondurulmuş balık ile kurbağa bacağına düşük ve orta ışınlama dozu kullanılarak bazı potansiyel patojenlerin inaktivasyonu (in vitro koşullarda) (TAEK, 2007)	27
Çizelge 2.4. Farklı dozlarda ışınlama uygulanmış balıkların farklı sıcaklık derecelerinde depolanması sırasında tespit edilen raf ömürleri (gün olarak) (Varlık ve ark., 2004)	29
Çizelge 2.5. Bazı tatlı su balıklarının raf ömrünün düşük-orta ışınlama dozu kullanılarak uzatılması (TAEK, 2007)	30
Çizelge 2.6. Bazı deniz balıklarının raf ömrünün düşük-orta ışınlama dozu kullanılarak uzatılması (TAEK, 2007)	30
Çizelge 2.7. Ülkemiz mevzuatlarına göre su ürünlerinde yasal ışınlama limitleri (Anonim, 1999)	31
Çizelge 2.8. Çeşitli su ürünlerinin raf ömürleri (Çaklı, 2007).	36
Çizelge 3.1. Araştırmada kullanılan kimyasal malzemeler	64
Çizelge 3.2. Deneme planı ve denemede kullanılan balık sayısı	65
Çizelge 4.1. Palamut balığının besin bileşimi	77
Çizelge 4.2. Farklı dozlarda ışınlanan palamut balıklarının aylara göre pH değişimi	78
Çizelge 4.3. Farklı dozlarda ışınlanan palamut balıklarının aylara göre a_w değişimi	80
Çizelge 4.4. Depolama süresine göre farklı gruptaki TMA-N değişimi (mg/100gr)	82
Çizelge 4.5. Depolama süresine göre farklı gruptaki TVB-N değişimi (mgN/100gr)	84
Çizelge 4.6. Depolama süresine göre farklı gruptaki TBARs (mg MA/kg) miktarları	87
Çizelge 4.7. Dondurma öncesi taze balıklarda ışınlama dozuna göre bakteri sayısı (logkob/100gr)	89

Çizelge 4.8. Işınlanarak dondurulan palamut balıklarında depolama süresince TMAB miktarı (logkob/100gr)	89
Çizelge 4.9. Dondurma öncesi taze balıklarda ışın dozuna göre TPAB sayısı (logkob/100gr)	91
Çizelge 4.10. Işınlanarak dondurulan palamut balıklarında depolama süresince TPAB miktarı (logkob/100gr)	91
Çizelge 4.11. Farklı ışınlama dozları ve donmuş muhafaza süresine göre tekstür değerlerindeki değişim	93
Çizelge 4.12. Farklı ışınlama dozları ve donmuş muhafaza süresine göre koku değerlerindeki değişim	94
Çizelge 4.13. Farklı ışınlama dozları ve donmuş muhafaza süresine göre lezzet değerlerindeki değişim	95
Çizelge 4.14. Farklı ışınlama dozları ve donmuş muhafaza süresine göre genel değerlendirme puanları	95

1. GİRİŞ

Üç tarafı denizler ile çevrili ve çeşitli iç sulara sahip olan ülkemizde, su ürünlerinin içerdiği besin bileşenleri yönünden en değerli gıda maddeleri arasında yer aldığını özetleyen çok güzel bir söz vardır: “*Denizden Babam Çıksa Yerim...*”.

Bilinçli ya da bilinçsiz olarak ortaya konan bu söz aslında Atar ve Alçiçek (2009)’ın belirttiği gibi su ürünlerinin dünyanın pek çok yerindeki kuruluşlar tarafından sağlıklı yiyecek olarak gösterilmesi, su ürünlerinde bulunan Omega-3 ve Omega-6 yağ asitlerinin koroner kalp hastalıkları ve kanser gibi bazı önemli hastalıklardan koruması gibi oldukça önemli verilere dayanmaktadır. Gülyavuz ve Ünlüsayın (1999)’ın da su ürünlerinin içerdiği besin bileşenleri yönünden en değerli gıda maddeleri arasında yer aldığı, protein oranının yüksek olması, doğada bulunan tüm aminoasitleri bünyesinde bulundurması, yağda eriyen vitaminler yönünden zengin olmasının, biyolojik değeri yüksek gıda olarak su ürünlerini kıymetli kıldığı yönündeki vurgusu yine bu sözü destekleyici veri olarak değerlendirilebilir. Benzer şekilde, Turan (2002) hayvansal protein kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmalarda yüksek miktarda protein içeren su ürünlerinin giderek artan bir önem kazandığını belirtirken, Kocatepe (2010) de dengeli ve kaliteli beslenme için su ürünlerine verilen önemin arttığını vurgulamaktadır. Ülkemiz, gerek deniz gerekse iç su ürünleri yönünden mevcut su ürünleri üretim miktarı ile dünyada önemli bir konumda bulunmaktadır (Altun ve Kubilay, 2009). Nitekim ülkemiz, su ürünleri yetiştiriciliği bakımından da ideal ortama sahip ülkelerden biridir (TÜİK, 2013).

Çeşitli araştırmacıların sözü edilen çıkarımlarını destekler şekilde Çizelge 1.1’de sunulan ve TÜİK’den elde edilen veriler incelendiğinde kişi başına su ürünleri tüketiminin 2010 ve 2011 yıllarında önceki yıllara göre düşüş gösterdiği 2012 yılında ise artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca, son beş yılda dalgalanma gösteren iç tüketim miktarı da 2012 yılı itibariyle son dört yılın en yüksek miktarını göstermektedir. Ancak 2013 yılı verilerine baktığımızda kişi başına balık tüketim miktarındaki düşüş ülkemizde su ürünleri tüketimini artırmaya yönelik çalışmalar yapılması gerektiğini düşündürmektedir.

Çizelge 1.1. 2008-2013 yılları toplam su ürünleri üretim ve tüketimi (TÜİK, 2013)

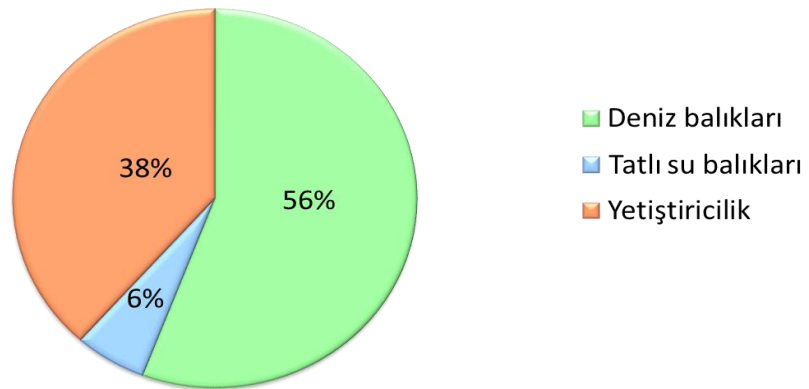
Yıllar	Üretim (Ton/yıl)	İhracat (Ton/yıl)	İthalat (Ton/yıl)	İç Tüketim (Ton/yıl)	Balık Unu- Yağı (Ton/yıl)	Değerlendi -rilemeyen (Ton/yıl)	Kişi Başına Tüketim (kg/yıl)
2002	627.847	26.860	22.532	466.289	156.000	1.230	6,70
2003	587.715	29.937	45.606	470.131	120.000	13.253	6,65
2004	644.492	32.804	57.694	555.859	105.000	8.523	7,81
2005	544.773	37.655	47.676	520.985	30.000	3.809	7,23
2006	661.991	41.973	53.563	597.738	60.000	15.843	8,19
2007	772.323	47.214	58.022	604.695	170.000	8.436	8,57
2008	646.310	54.526	63.222	555.275	95.742	3.989	7,81
2009	622.962	54.354	72.686	545.368	90.211	5.715	7,57
2010	653.080	55.109	80.726	505.059	168.073	5.565	6,92
2011	703.545	66.738	65.698	468.041	228.709	5.756	6,33
2012	644.852	74.006	65.384	532.346	94.200	9.682	7,10
2013	607.515	101.063	67.530	479.708	87.896	6.378	6.30

Dünyada kişi başı su ürünleri tüketimi 16,3 kg/yıl olarak gerçekleşmekte olup, bu oran gelişmiş ülkelerde 23,8 kg/yıl, gelişmekte olan ülkelerde 14,3 kg/yıl, Avrupa’da ise 22 kg/yıldır (BAKA, 2012). Ülkemizde ise kişi başı su ürünleri tüketimi son 12 yılda 6.3-8.6 kg arasında değişirken (Çizelge 1.1), en düşük tüketim 2013 yılında gerçekleşmiştir (TÜİK, 2013). Dünya ve Avrupa su ürünleri tüketim ortalamalarına nazaran bu miktarların çok düşük olduğu görülmektedir. Köse ve ark. (2010), ülkemizin üç tarafının denizlerle çevrili ve çok uzun bir kıyı şeridinde sahip olmasını her fırsatta dile getirerek övünmemize karşın denizden ve deniz ürünlerinden çok kısıtlı yararlandığımızdan hiç söz etmediğimize vurgu yapmaktadır. Bununla birlikte, bugün bile yalnızca belli başlı balık türlerini değerlendirmekte ve genellikle de taze olarak tüketmekte olduğumuza dikkat çekmektedir. Dünyadaki su ürünleri tüketiminin ise %48’i taze, %26’sı dondurulmuş, % 15’i ise konserve olarak gerçekleşmektedir (BAKA, 2012).

Çeşitli araştırmacılar, ülkemizde su ürünleri tüketiminin artırılması için tüketiciye ulaşan ürünün iyi kalitede olması, her zaman bütün bölgelere ulaştırılması yönünde pazar ağı kurulması, av sezonunda bol olan türlerin av sezonu dışında da bulunabilmesi için soğuk zincirin tam olarak kurulması, su ürünleri tüketim alışkanlıklarının çeşitlendirilmesiyle taze tüketimden işlenmiş ürünlere geçiş sağlanması gibi işleme ve muhafaza yöntemlerinin önemine dikkat çekmektedir (Metin, 1995; Çolakoğlu ve ark., 2006; Ergün, 2009; Köse ve ark., 2010; Aydın ve Karadurmuş, 2013). Alkan (2002), dünyada gıda ürünlerine olan ihtiyacın günden güne artmasına karşılık, gıda üretiminin aynı oranda artmamasını yetersiz muhafaza ve işleme

yöntemleri ile ilişkilendirmektedir. Aydın ve Karadurmuş (2013) da ülkemiz kişi başına düşen tüketim oranlarının arttırılması için taze günlük tüketimin yanı sıra, ürün çeşitliliğinin arttırılarak, işlenmiş balık tüketim alışkanlığının mutlak surette arttırılması gerektiğine dikkat çekmektedir. Dünyada son on yıldır balık ve balık ürünlerine olan ilginin artış göstermesinin güvenli muhafaza yöntemlerine duyulan ihtiyacı artırdığını ifade eden Chouliara ve ark. (2005) da tüketimin artması ile güvenli muhafaza yöntemleri arasındaki ilişkiye vurgu yapmaktadır. Jeevanandam ve ark. (2001), su ürünlerinin dağıtım ve pazarlanmasında iki büyük problemin, çabuk bozulmaları ve eksik hijyen uygulamaları olduğunu bildirmektedir. Zira, balık ve diğer su ürünleri, değerli gıdalar olmalarının yanında pH değerinin nötre yakın olması, gıdaların bozulmasında rol oynayan mikroorganizmaları doğal flora olarak içermeleri ve bu mikroorganizmaların ölüm sonrası ete geçişinin süratli olması nedeniyle çabuk bozulan gıdalar olarak sınıflandırılmaktadır (İnuğur, 2006). Başka bir ifadeyle balık etindeki bozulmanın sebepleri, su ürünlerinin bağ doku yönünden fakir olmaları, doymamış yağ asitleri ve serbest aminoasitler bakımından zengin olmaları, yüksek pH ve su içeriğine sahip olmaları ve diğer etlerdeki gibi bir olgunlaşma evresi geçirmemeleridir (Metin, 1995). Su ürünlerinin bozulma sürecini yavaşlatıp tüketimini devamlı kılmak amacı ile soğutma teknolojisi, dondurarak muhafaza teknolojisi, tuzlama teknolojisi, kurutma teknolojisi, tütsüleme (dumanlama) teknolojisi, konserve teknolojisi, ışınlama teknolojisi, marinat teknolojisi ve surimi gibi muhafaza yöntemleri kullanılmaktadır.

Ülkemizde 2013 yılına ait su ürünleri üretim dağılımına (Şekil 1.1) baktığımızda deniz balıkları avcılığının %56 ile ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Her geçen gün payı artmakta olan su ürünleri yetiştiriciliği de %38 gibi yüksek oranlardadır (TÜİK, 2013).



Şekil 1.1. 2013 yılına ait su ürünleri üretim miktarı (TÜİK, 2013)

TÜİK (2013) verilerine göre Çizelge 1.2’de diğer balıklara göre daha kısa av süresine sahip olan ve 2012 yılında üretim miktarında önemli bir artış görülen palamutun üretim miktarı 2013 yılında oldukça azalma göstermiştir. Av süresinin kısa olması ve üretim miktarındaki azalma palamutun mevsim boyunca tüketilmesi için muhafaza edilmesini gerekli kıldığını gösterir niteliktedir.

Çizelge 1.2. Ülkemizde önemli deniz balıkları türlerine ait üretim değerleri (ton/yıl) (TÜİK, 2013)

Yıl / Tür	Hamsi	Sardalya	İstavrit (Kraça)	İstavrit (Karagöz)	Palamut-Torik	Mezgit	Çaça
2003	295.000	12.000	16.400	11.600	6.000	8.000	6.025
2004	340.000	12.883	18.068	9.337	5.701	8.205	5.411
2005	138.569	20.656	13.540	13.978	70.797	8.309	5.500
2006	270.000	15.586	14.127	11.800	29.690	9.112	7.311
2007	385.000	20.941	22.991	9.030	5.965	12.940	11.921
2008	251.675	17.531	22.134	10.043	6.448	12.231	39.303
2009	204.699	30.091	20.373	7.895	7.036	11.146	53.385
2010	229.023	27.639	14.392	6.055	9.401	13.558	57.023
2011	228.491	34.709	18.073	6.937	10.019	9.455	87.141
2012	163.982	28.248	24.625	6.320	35.764	7.367	12.091
2013	179.615	23.919	21.818	6.606	13.158	9.397	9.764

Başka bir yönüyle palamut balığının yağ oranının ve et verimliliğinin yüksek olması, yıl boyunca tüketiminin önemli olduğunun dikkate değer bir göstergesidir. Bu durum palamut balığının, besin değerlerine ve lezzetine minimum düzeyde etki edecek muhafaza ve saklama işlemlerine yönelik arayışlara sebep olmaktadır.

Uzun bir geçmişe sahip olan ve halen en pratik ve yaygın saklama yöntemi olan dondurma teknolojisi, pek çok ürün için saklama süresini önemli ölçüde arttırmasına ve ürünün kalitesinde çok az olumsuz değişime neden olmasına rağmen, gerek dondurma ve soğuk zincir sırasında karşılaşılabilen problemlerden gerekse uygulamada yapılabilen hatalardan ötürü istenilen koruyuculuğu sağlayamayabilmektedir (Mol ve ark., 2004; Turan, 2013).

Diğer muhafaza yöntemleri ile karşılaştırıldığında nispeten daha yeni bir teknoloji olan ışınlama teknolojisi, dünyada gelişmiş ve gelişmekte olan pek çok ülkede gıdaların korunması, kalite artırımı ve gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak kabul görmüştür (Varlık ve ark., 2004). Işınlama işlemi esnasında önemli derecede sıcaklık değişimi olmaması ve “soğuk pastörizasyon” olarak da anılması bu yöntemin tercih edilmesindeki en büyük etkenlerden birisidir

(Tomar ve Ertugay, 2005). Bu gibi durumlarda ise birden fazla muhafaza yönteminin kombine olarak uygulanması hem muhafaza süresi bakımından hem de kalite değişiminin en aza indirgenmesi bakımından daha uygun olabilmektedir.

Bu çalışmada ülkemiz su ürünleri açısından önemli bir yere sahip olan palamut balığının yıl boyunca tüketiminin sağlanabilmesi için uygulanan farklı dozlardaki ıslama ile dondurma teknolojisi kombinasyonunun, ürünün fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Genel Bilgiler

Balık eti içerdiği yüksek protein, vitamin, mineral ve çoklu doymamış yağ asitleri ile dünyada tüketilen pek çok gıda arasından besleyiciliği, lezzeti ve insan sağlığına olumlu katkısı ile öne çıkmaktadır (Varlık ve ark., 2004; Gökoğlu, 2002).

Protein oranı ve içerdiği çoklu doymamış yağ asitleri bakımından, kırmızı etten ve kanatlılardan çok daha zengin olması sebebiyle tercih edilen su ürünleri genellikle taze olarak tüketilmektedir; Ancak su ürünlerinin kolay bozulabilir olması ve patojen mikroorganizmaların kolaylıkla çoğalabilmesi önemli bir sorundur (Sikorski, 1990; TAEK, 2007).

Su ürünlerinin temiz bir çevreden alınması, avlanmadan ya da hasattan sonra hemen soğutulması ve çeşitli işlem basamaklarından geçirilerek tüketiciye ulaşması, raf ömrü oldukça kısa olan bu ürünler için çok önemlidir (Huss, 1995).

Taze balığın raf ömrü, büyük ölçüde balığın ön soğutma yapılmasına bağlıdır. Buz içine koyulmayan ya da -1/-2°C’de soğutulmayan taze balıklar 2-6 saat gibi kısa bir sürede bozulurlar (FAO, 1998).

2.1.1. Palamut Balığının (*Sarda sarda* Bloch, 1793) Genel Özellikleri

Sarda ailesine mensup olan palamut (*Sarda sarda* Bloch, 1793), Atlantik Okyanusu, Akdeniz ve Karadeniz’in sıcak ve ılık kıyı bölgelerinde yaşayan bir tür kemikli balıktır (Collette ve Chao, 1975). Pelajik neritik denizlerin yaklaşık 200 m. derinliklerinde yaşar (Yoshida, 1980).

Oldukça büyük ve keskin dişlerle kaplı olan ağzı ve torpil biçimindeki vücudu ile daha çok ton balığına benzeyen palamut, kalın ve tıknaz bir gövdeye sahiptir. İki dorsal yüzgeci ton balıklarında olduğu gibi birbirlerine çok yakın konumda bulunur. Çene dişleri belirgin ve içbükey konumludur (Anonim, 2014a). Sırtının genellikle mavimsi rengi, yanlara doğru gidildikçe karında gümüşü beyaza dönüşür. Sırtndan başına kadar siyaha yakın koyu renkte birçok şerit bulunur. Büyük sürüler oluşturarak mevsimlik uzun göçler yapar (Anonim, 2014b).

Boyuna göre çeşitli isimler ile anılır: Palamut vonozu (12-16 cm), kestane palamudu (16-22 cm), çingene palamudu (22-28 cm), palamut (28-35 cm), zindandelen (35-40 cm), torik (40-45 cm), sivri (45-55 cm), altıparmak (55-65 cm) ve piçuta (65 cm ve üzeri) (Anonim, 2014b).

2.1.1.1. Palamut Balığının Sistematikteki Yeri

Alem: Animalia

Şube: Chordata

Alt Şube: Vertebrata

Sınıf: Osteichthyes

Alt Sınıf: Actinopterygii

Alt Bölüm: Teleostei

Üst Takım: Acanthopterygii

Takım: Perciformes

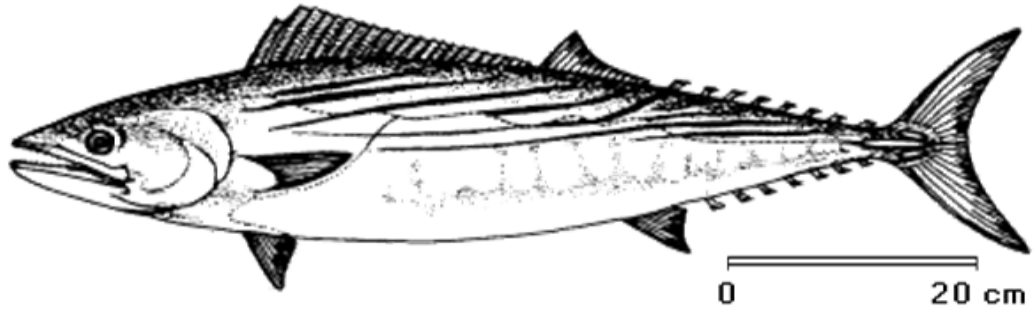
Alt Takım: Percoidei

Familya: Scombridae

Cins: *Sarda*

Tür: *Sarda sarda*

Palamut balığının genel görünüşü Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Palamut balığının genel görünüşü (Anonim, 2014c)

2.1.2. Balıkta Meydana Gelen Bozulmalar

Balık eti, su miktarının yüksek, bağ doku miktarının ise düşük olması nedeniyle çok hızlı bozulmaktadır. Bozulma, ürünün kalitesini kaybetmesi, koku, aroma ve lezzette istenmeyen kayıpların ortaya çıkması olarak tanımlanabilir (Kocatepe, 2010).

2.1.2.1. Kimyasal Bozulmalar

Balıklarda kimyasal bozulmaya çeşitli etmenler neden olmaktadır. Bunlar, balık etinde bulunan otolitik enzimler, otooksidasyon, çeşitli kimyasal reaksiyonlar ve zaman içerisinde artan bakterilerin neden olduğu metabolitlerdir (Kocatepe, 2010). Kimyasal bozulmalar azotlu bileşiklerde meydana gelen değişimler ve enzimatik değişimler olmak üzere iki başlıkta şöyle açıklanabilir.

Azotlu Bileşiklerde Meydana Gelen Değişimler:

Bu değişimler ölüm sonrasında genellikle protein olmayan azotlu bileşiklerin dekompozisyonu nedeni ile gerçekleşmektedir. İlk değişimler otolitik enzimler aracılığı ile proteinlerin yıkımıdır (Gökoğlu, 2002).

Balık, yakalandıktan hemen sonra rigor mortis döngüsü başlar. Bu döngünün meydana getirdiği ilk değişim pH'da görülür. Asidik ortamda otolitik enzimler daha aktif bir hal alır ve pH nötr oluncaya kadar devam eder. Ayrıca balık canlıyken kas dokunun özünde tamponladığı pek çok bileşik açığa çıkar. pH'ın 1 birim azalması 1 gr balık etinde 60 ila 120 µg laktik asit tamponlanmasını sağlar. Balığın ölüm esnasındaki çarpınma hareketleri ve boğulması, özellikle 25°C ve üzeri sıcaklıklarda pH'nın düşmesiyle dokuda asidik ortam meydana getirirken, oluşan laktik asit de myoglobini metmyoglobine oksitleyerek protein denatürasyonuna neden olur. Rigor sonrası pH değişimleri ise doğrudan saklama yöntemine (iç organları temizlenmiş, buzlanmış, katkı maddeleri kullanılmış vb.) ve sıcaklığa bağlıdır (Sikorski, 1990; Gökoğlu, 2002).

Post rigorun hemen ardından protein olmayan azotlu bileşikler otolizle birlikte indirgenmeye başlar. Bakteriler bu bileşikleri trimetilamin (TMA), amonyak, aldehitlere ve aminlere dönüştürür. Su ürünlerinde temel bir bileşen olan TMA karakteristik balıksı ve amonyak kokusunu verir (Gram ve Dalgaard, 2002). Son ürünler olarak da hidrojen sülfür ve diğer sülfürlü bileşikler meydana gelir. TMAO deniz balıklarında bulunan normal bir bileşendir ve taze yakalanan balıkta TMA iz miktarda bulunur ya da hiç bulunmaz (Jay, 2000). Pek çok deniz balığında bulunan ve kokusuz bir bileşik olan trimetilaminoksit (TMAO), otoliz basamağının sonuna gelindikçe indirgenerek TMA formuna dönüşmektedir. Balık eti tazeliğini kaybettiğinde dokuda bulunan TMAO azalırken TMA seviyesinde artış gözlenir (2.1).



Aynı zamanda bir miktar TMA de dimetilamine (DMA) dönüşerek laktik asitle birlikte karbondioksit, formaldehit ve asetik asit gibi uçucu bileşiklere parçalanır (2.2).



Tazelik azaldıkça dokuda bulunan uçucu bileşikler de artar. Kokuşma sonuna yaklaşıldığında bakterilerin salgıladıkları çeşitli enzimlerle uçucu bazik azotlu bileşikler meydana gelmeye başlar. Bu bakterilerin artış düzeyi belli bir noktaya ulaştıktan sonra protein dekompozisyonu başlar. Proteinler öncelikle polipeptitlere yıkılırlar, daha sonra da dipeptit ve aminoasitlere parçalanırlar. Meydana gelen aminoasitler ise yine

bakterilerin salgıladıkları enzimler neticesinde amonyak, aminler, karbondioksit, kısa zincirli yağ asitleri, hidrojen, metan, etan, krezol, fenol, merkaptanlar ve hidrojen sülfür gibi kötü koku ve tat oluşturan bileşiklere dönüştürler (Sikorski, 1990).

Aminoasitlerden karbondioksitin ayrılması ile bu aminoasidin amini meydana gelmektedir. Bu olay hem mikrobiyal yüke göre hem de tepkimenin gerçekleştiği organdaki enzimatik faaliyetlerin durumuna göre değişkenlik gösterir. Aminoasitlerden karbondioksitin ayrılmasına dekarboksilasyon, oluşan amine de biyojen amin denir. En fazla biyojen amin oluşumu ise bağırsakta bulunan doğal bakteri florasından dolayı bağırsakta görülür. Bu aşamadan sonra meydana gelen tüm tepkimeler ise ortam pH'ını yükseltir (Pigott ve Tucker, 1990; Sikorski, 1990).

Enzimatik Değişimler:

Her ne kadar su ürünlerinde bozulmanın büyük bölümünü mikrobiyal faaliyetler oluştursa da mikrobiyal bozulmaya zemin hazırlayan ve kaslarda bulunan endojen enzimlerce kontrol edilen otolitik reaksiyonlar neden olmaktadır (Sikorski, 1990; Huss, 1995).

Adenozin trifosfat (ATP), metabolik faaliyetler için esas enerji kaynağını oluşturmaktadır ve adenozin difosfat (ADP) ve kreatin-fosfat reaksiyonu esnasında oluşur. ATP'nin yokluğunda hücreler bütünlüğünü koruyamaz ve tüm biyosentetik aktiviteler de durur (Varlık ve ark., 2004).

Balıklarda ölüm sonrası ATP'nin yıkılmasında çeşitli enzimatik faaliyetler rol almaktadır. Bunlardan ilki, ATP'nin ATP-az enzimi ile ADP'ye yıkımıdır. ADP ise myokinaz enzimi ile adenozin monofosfata (AMP) yıkılır. AMP'nin yıkımı ile inozin monofosfat (IMP) meydana gelir. IMP de fosfataz enziminin etkisi ile inozine (HxR) yıkılır. İnozin ise nükleotit hidrolizi ile hipoksantine (Hx) yıkımlanır (2.3) (Sikorski, 1990).



2.1.2.2. Yağlarda Görülen Değişimler

Yağlarda görülen lipoliz ve lipid oksidasyonu şöyle açıklanabilir.

Lipoliz:

Ölüm sonrası yağ yıkımı öncelikle enzimatik hidroliz ile gerçekleşir. Balığın buzlanmış muhafazası esnasındaki hidroliz miktarı en az düzeyde gerçekleşir ve yaklaşık %20 düzeyindedir. Sıcaklık arttıkça ve muhafaza koşulları bozuldukça hidroliz hızı artar (Pigott ve Tucker, 1990).

Fosfolipidler çok hızlı hidrolize uğrarlar ve fosfolipidleri sırasıyla triasilgliserollar, parafin ve kolesterol esterleri takip eder. n-3 çoklu doymamış yağ asitleri (PUFAs) de dahil olmak üzere hemen tüm yağ asitlerindeki en az kayıp dondurma ile muhafazada görülür ve bu kayıp %10'u geçmez. Buzlanarak saklanmış balıkta ise birkaç gün içerisinde hidroliz giderek hızlanır ve 7 gün içerisinde lizozomlardan salgılanan lipaz enziminden eser kalmaz (Sikorski, 1990).

Lipid Oksidasyonu:

Lipid oksidasyonu özellikle yağ oranı yüksek balıklarda daha fazla görülür. Bunun nedeni ise yağlı balıkların dokusunda serbest halde yağın daha fazla bulunması ve kas dokusunun diğer balıklara göre daha fazla koyu renkli kas dokusuna sahip olmasıdır. Bu tip koyu renkli dokularda ise lipid oksidasyonu beyaz kas dokusuna göre birkaç kat daha fazla gerçekleşir. Ayrıca bu koyu renkli kas dokuları oksidasyona daha yatkındır, çünkü deriye yakın olan koyu renkli dokuda lipoksigenaz enzimi daha fazla bulunur ve derinin gözenekli yapısından dolayı hem su içerisinde yüzerken osmoregülasyona bağlı olarak çözünmüş oksijen geçişinden dolayı hem de balık yakalandıktan sonra muhafaza işleminde havadan oksijen teması neticesinde oksidasyon miktarı iç bölümlere göre çok daha fazla gerçekleşir (Sikorski, 1990; Pigott ve Tucker, 1990).

Havadaki oksijen ile oksidasyonda doymamış tek karbonlu zincire hidrojenin katılması hidroperoksit ara ürününden geçer. Yüksek doymamış karbon zincirindeki oksidasyonda çift bağlar ikiden fazla metilen grubu bağlayacak şekilde ayrılmakta ve daha kolay okside olmaktadır. Doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu sırasında çok yavaş bir gelişme olsa dahi saptanabilecek ilk değişiklik redoks potansiyelinde olmakta ve sonra peroksit değerlerinde yükselme görülmektedir. Oksidasyon olayının daha da ileri safhalarında peroksitler bozularak aldehit ve ketonlara dönüşürler. Yağ molekülündeki çift bağ yerinden koparak bir yağ molekülü ve iki aldehite yıklılır. Yağlardaki esas ransidite nedeni budur (Pigott ve Tucker, 1990; Sikorski, 1990).

Bakteriyel bozulma da lipid oksidasyonunun en önemli sebeplerinden birisidir. Bakteriyel bozulmanın gerçekleşmemesi gibi bir durum oluştursa idi, yağlarda görülen değişimlerin lipolizden ve otooksidasyon safhasından öteye geçmesi kısmen çok daha az gerçekleşmiş olurdu; zira lipid oksidasyonunun çok büyük bir kısmı bakterilerden kaynaklanmaktadır (Sikorski, 1990; Çaklı, 2007).

Mikroorganizmaların neden olduğu bozulmanın varlığı nedeniyle otooksidasyona ve diğer kimyasal reaksiyonlara bağlı oluşan ransidite miktarı ayrı

olarak tespit edilememektedir. Bundan dolayı ransidite bir bütün olarak değerlendirilir (Sikorski, 1990).

2.1.2.3. Mikrobiyolojik Bozulmalar

Çoğu balık türlerinin eti, kırmızı ete göre mikrobiyal bozulmalara daha duyarlıdır. Çünkü balık etinde enzimler (hem et dokusunda bulunan hem de mikroorganizmaların ürettiği) tarafından hızlı parçalanma reaksiyonları gerçekleştirilir. Ancak balıklarda mikrobiyal bozulmalar ölüm sertliğinin (ölümden hemen sonra ATP parçalanması, glikoliz olayının başlaması ve sıcak et fazının sona ermesi) oluşumundan sonra başlar. Balıkta ölüm sertliği, pH'nın düşürülmesi ve soğutma işlemleri ile uzatılarak ürün daha uzun süre saklanabilir (Pigott ve Tucker, 1990).

Balık dokusu, yüksek düzeyde protein olmayan nitrojenli bileşikler (aminoasitler, trimetilamin oksit, kreatin gibi), peptitler, proteinler ve glikojen içeriği ve yüksek pH değeri ($\geq$ pH 6.0) nedenleriyle bakterilerin gelişimi için uygun ortam oluşturur. Balığın bozulmasında etkili olan bakteri türlerini balığın yaşam çevresi, balık çeşidi, avlanma yöntemi ve elle temas gibi etkenler belirler. Ayrıca bağırsaklarından da balık etine bakteri geçişi olur. Bakteriler önce yüzeyde gelişir, ardından balık etinin iç kısımlarına yayılır. Genel olarak gram-negatif aerobik çubuklar (*Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Moraxella* ve *Flavobacterium*) ve fakültatif anaerobik bakteriler (*Shewanella*, *Alcaligenes*, *Vibrio* ve koliform) bozulmaya neden olurlar. Balıklar düşük sıcaklıkta muhafaza edildiği zaman bu koşullarda *Pseudomonas*'lar mikroflorada baskın türleri oluşturur. Ayrıca *Acinetobacter*, *Moraxella* ve *Flavobacterium* türleri de görülebilir. Oda koşullarında ya da çok iyi soğutulmamış ortamlarda balığın muhafazası esnasında *Micrococcus*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Proteus*, *Serratia*, *Sarcina*, *Clostridium* gibi bakteriler bozulmada etkili olabilirler (Sikorski, 1990; Gökoğlu, 2002; Varlık ve ark., 2004).

Balıkların bozulmaya en duyarlı bölgesi olan solungaçlar, bozulmayı kötü koku oluşumu belirtisiyle ortaya koymaya başlar (Gökoğlu, 2002). Bakteriler tarafından başlangıçta azotlu olmayan bileşikler metabolize edilerek kokuşmaya neden olan uçucu bileşikler oluşur. Kokuşmanın son aşamasında ise NH_3 , trimetilamin, histamin, putresin, kadaverin, indol, H_2S , merkaptan, dimetilsülfid ve uçucu yağ asitleri (asetik, izobütirik ve izovalerik asit) görülür. Küflü ve çamurlu koku ve tat *Streptomyces* türlerinin gelişimi sonunda oluşur. (Huss, 1995; Gökoğlu, 2002; Sikorski, 1990). Ayrıca balık gövdesinde mikrobiyolojik bozulmalar nedeniyle renk bozulmaları da görülür. *P. fluorescens* ve sarı renk maddesi oluşturan mikrokokların gelişimi sonucu sarıdan yeşile

kadar değişen renkler oluşur. Sarcina, Bacillus, bazı maya ve küflerin gelişimi ile pembe ya da kırmızı renk meydana gelir. Ayrıca yağ oranı yüksek balıklarda mikrobiyal enzimlerin neden olduğu ransidite oluşabilir. Bunların yanı sıra yapışkanlık, solungaç ve gözlerin renksizleşmesi, kas dokusu kaybı (proteoliz nedeniyle yumuşama) gibi mikrobiyal bozulmalar görülür (Sikorski, 1990; Varlık ve ark., 2004).

2.1.2.4. Duyusal Bozulmalar

Renkte ve tekstürde görülen duyusal bozulmalar ile kötü koku oluşumu şöyle açıklanabilir:

Renkte Görülen Bozulmalar:

Balık dokusunda renk değişimlerinin temel nedeni, enzimatik veya enzimatik olmayan oksidasyondur. Dokunun ve derinin kırmızı, sarı, turuncu ve renksiz bir görünüm almasının temel etkeni de balığın doğal olarak içerdęi karatenoidli bileşiklerin oksidasyonudur (Varlık ve ark., 2004).

Renkte bozulma olayı özellikle ton balıklarında yeşillenme, kefal türlerinde sararma, yağsız ve beyaz etli balıklarda ise beyazlıktan çıkıp krem-gri renge dönme gibi değişimler gözlenir. Kırmızı kas dokulu balıkların kasları kahverengine, beyaz etli balıkların dokuları ise bej rengine dönüşmeye başlar. Taze balık etinin görünüşü şeffaftır fakat balık bayatladıkça mat ve donuk bir renge bürünür (Gökoğlu, 2002).

Tekstürde Görülen Bozulmalar:

Balıklarda genellikle rigor mortis süreleri karasal hayvanlara göre daha kısadır. Balık tekstürünün sertliği en önemli kalite belirleyici parametrelerinden biridir. Balıklarda ve diğer su ürünlerinde bağ dokusu karasal canlılara göre daha gevşek bir yapıya sahiptir. Bu nedenden dolayı yumuşama oranı daha yüksektir. Rigor sonrası tekstürdeki yumuşamanın en büyük etkeni endojen proteazların myofibrillar proteinler üzerindeki aktivitesidir. Ayrıca lipid hidrolizi sırasında serbest yağ asitleri miktarındaki artışın protein denatürasyonuna neden olduğu ve tekstürün su tutma kapasitesini azaltma eğilimi göstermesine neden olduğu söylenmektedir (Pigott ve Tucker, 1990; Gökoğlu, 2002).

Kötü Koku Oluşumu:

Balıklarda ilk meydana gelen koku değişimleri otolitik faaliyetlerle başlar. Balığın soğukta depolanması esnasında adenosin nükleotitler, endojen enzimlerin faaliyetleri neticesinde yıkıma uğrarlar (TAEK, 2007).

Arzu edilen balık kokusu nükleotitlerin yıkımı esnasında inozin monofosfat (IMP) basamağında oluşur. IMP, ATP'nin yıkımı esnasında ortaya çıkan bir ara üründür

ve konsantrasyonu ise balık ölümünden sonraki ilk 2 gün içerisinde en yüksek haldedir (Gökoğlu, 2002).

Balık etindeki tatlılık ve tuzluluk IMP sayesinde oluşurken, ekşi ve acı tatlardan hipoksantin (Hx) sorumludur (Sikorski, 1990).

Özellikle deniz balıklarında bulunan trimetilamin (TMA) de bozuk kokudan sorumlu bileşiklerden birisidir. Soğukta depolamanın ilk evrelerinde TMA oluşumu düşük seviyelerde iken zaman içerisinde yüksek konsantrasyona ulaşması ile acı tat ve kötü koku oluşmaya başlar. Ayrıca balık lipidlerinin otooksidasyonu da kötü kokuya neden olabilmektedir (Gökoğlu, 2002; Varlık ve ark., 2004).

2.1.3. Tazelik ve Bozulma İndikatörleri

Su ürünlerinde tazelik indikatörleri kullanım kolaylığı ve güvenilirlik açısından hızlı, güvenilir ve tüm su ürünlerinde uygulanabilir olmalıdır. Tüm su ürünlerinin kimyasal kompozisyonu ve diğer bileşenleri birbirinden farklı olduğundan dolayı tüm kitleyi kapsamalıdır (Pigott ve Tucker, 1990).

Mikrobiyolojik açıdan tazelik belirteci olarak birim kütledeki toplam bakteri sayısı gösterilebilir. Öncelikle mikroflora türü (ör: gram negatif, H₂S üreten, mezofilik vb.) bulunur ve ürünün içerdiği toplam bakteri sayısı ve limitleri belirlenir (Pigott ve Tucker, 1990).

Kimyasal indikatörler genellikle bakteriyel aktiviteyle doğrudan ilişki içerisinde ve tazelik durumunda önemli bir yere sahiptir. Amonyak (NH₃), trimetilamin (TMA), toplam uçucu bazlar (TVB), uçucu asitler, pH, tamponlama kapasitesi, sülfidler, nükleotid yıkım ürünleri gibi pek çok indikatörün miktarı bize tazelikle ilgili önemli bilgiler verir. Tek bir indikatör kullanmak yerine birkaç indikatör desteği ile tazelik durumunu belirlemek çok daha doğru sonuçlar vermektedir (Sikorski, 1990).

Hipoksantin (Hx) ve K değeri indikatörleri enzimatik yıkımın ve mikrobiyal yükün artmasının tespiti bakımından en kullanışlı iki indikatördür. Özellikle somon ve morina gibi ticari değeri yüksek balıklarda çok iyi sonuçlar vermektedir (Sikorski, 1990).

2.1.3.1. Hipoksantin (Hx)

Dokudaki Hx miktarı depolama süresince lineer olarak artış gösterir ve miktarı 5 µm/gr yaş ağırlığa ulaşarak bu seviyeden itibaren sabitlenir. Özellikle kalamar ve karideslerde bakteriyel bozulmanın başladığı andan itibaren Hx'de önemli bir yükseliş

gözlemlenir. Hx miktarı duyu analizlerle, özellikle de aroma üzerinde çok iyi bir korelasyon gösterir (Sikorski, 1990; Pigott ve Tucker, 1990).

Morinada 2 ila 3 µm/gr, ringa balığında 2 ila 2.5 µm/gr, uskumruda 1 ila 1.2 µm/gr, karideslerde 2 µm/gr ve kalamarlarda 2 ila 4 µm/gr Hx miktarı kabul edilebilir limitlerdir (Sikorski, 1990).

2.1.3.2. K Değeri

Su ürünlerinde Hx konsantrasyonu tazelik indeksi olarak kabul edilir ve özellikle soğuk depolama esnasında IMP ve Hx oluşumu türler arasında belirgin farklılıklar gösterebilmektedir. K değeri özellikle soğukta muhafaza edilen balıklar için iyi bir indeks olarak kullanılmaktadır (2.4) (Sikorski, 1990).

$$K (\%) = \frac{HxR+Hx}{HxR+Hx+ATP+ADP+AMP+IMP} \times 100 \quad (2.4)$$

Yeni yakalanan bir balıkta başlangıç olarak K değeri çok düşük olup (genellikle ≤%10), bakteriyel aktivitenin hızlanmasıyla birlikte hızlı bir şekilde yükselir (Sikorski, 1990; Varlık ve ark., 2004).

K değerinin en fazla %20 olması tazelik limitini belirlerken, %60 ve üzerinde olması kabul edilemez sınır olarak değerlendirilir (Sikorski, 1990).

K değeri soğuk su balıklarında ve kalamarlarda daha fazla artış göstermektedir. Ayrıca koyu renkli kaslarda beyaz kaslara göre 5 kat daha hızlı bir artış olduğu saptanmıştır (Sikorski, 1990).

2.1.3.3. Trimetilamin (TMA)

TMA miktarındaki artış, saklama süresine bağlı olmak üzere duyu skor (özellikle çiğ balık kokusunda) ve mikrobiyal gelişim ile doğrudan korelasyon halindedir. Reddedilme sınırı genellikle 5 ila 10 mg TMA-N/100 gr'dır (Sikorski, 1990).

Connell (1980), su ürünlerinde reddedilme sınırını 10-15 mg TMA-N/100 gr olarak ortaya koymuşken, Hebard ve ark. (1982) da karidesler için reddedilme sınırını 5 mg TMA-N/100 gr olarak belirlemişlerdir.

TMA limitleri için literatürler incelendiğinde, kabuklular ve yağlı balıklar için genellikle 5 mg TMA-N/100 gr limit değeri olarak kullanılmaktadır (Sikorski, 1990).

Varlık ve ark. (2004) da su ürünlerinde TMA limitini 8 mg TMA-N/100 gr olarak belirlemişlerdir.

2.1.3.4. Toplam Uçucu Bazlar (TVB)

Amonyak, TMA, düşük miktarlarda DMA ve metilamin de dahil olmak üzere doku enzimlerinin de etkisiyle bakteriyel gelişim sonucunda meydana gelirler. Kabuklu su ürünlerinde TVB bileşikleri balıktakinden daha kısa sürede oluşur. Tüm su ürünlerinde de TVB bileşiklerinin artmasındaki en büyük etken bakteriyel bozulmadır.

Toplam uçucu bazlarda (TVB) yaygın olarak 30 mg N/100 gr kabul edilebilirlik limiti kullanılırken, morina ve uskumru gibi yağlı balıklarda 20 mg N/100 gr, istiridyelerde 17 mg N/100 gr, kalamarlarda ise 45 mg N/100 gr olarak kabul görmektedir (Kolakowski ve ark., 1972; Taylor, 1986; Pigott ve Tucker, 1990; Sikorski, 1990).

Varlık ve ark., (2004), su ürünleri için toplam uçucu bazlarda genel kabul limitini 35 mg N/100 gr olarak belirlemişlerdir (Varlık ve ark., 2004).

2.1.3.5. Diaminler ve Histamin

Balıklarda ve kabuklu su ürünlerinde özellikle pütresin ve kadaverin olmak üzere belirli miktarlarda diaminler doğal olarak bulunmaktadır. Ton balığı ve uskumru gibi yağlı ve koyu renkli kas dokusuna sahip soğuk su balıklarında biyojen aminler çok daha fazla bulunmaktadır. Doğru bir şekilde muhafaza edilen su ürünlerinde bu bileşikler yalnızca eser miktarlarda bulunurlar ve miktarları bakteriyel gelişim ile artış gösterir. 1 hafta boyunca 5°C’de saklanan balıklarda biyojen amin miktarı 40-60 mg N/100 gr seviyelerine kadar artış gösterebilir. Her ne kadar bayat balık duysal olarak kolaylıkla ayırt edilebilse de scombroid zehirlenmesi gibi olayların belirlenebilmesi biyojen amin miktarının tespitine bağlıdır (Pigott ve Tucker, 1990; Sikorski, 1990).

Scombroid zehirlenmesi biyojen aminlerden biri olan histamin miktarının artması sebebi ile oluşur. Pek çok ülkenin gıda kodeksine göre balıklardaki histamin miktarı eser miktarı geçemez. Pelajik balıklar için kabul görmüş histamin miktarı 5 mg/100 gr yaş ağırlığın altıdır. İndol, karideslerde iyi bir bozulma indikatörüdür ve dokudaki miktarı 25 µg/100 gr’ı geçmemelidir. Dondurulmadan yalnızca soğukta muhafaza edilen karideslerde ve kabuklularda ise henüz bu değere ulaşılmadan bozulmalar görülebilir (Sikorski, 1990; Mbarki ve ark., 2009a).

2.1.3.6. Uçucu Sülfürlü Bileşikler ve İndirgenen Maddeler

Duyusal kontrollerde uçucu sülfürlü bileşikler önemli olsa da tazelik indikatörü olarak nadiren kullanılmaktadır. Bilhassa tropik bölgelerde bunun yerine bu bileşikleri meydana getiren bakterileri tespit etmek daha yaygındır (Sikorski, 1990).

Uçucu indirgen maddeler (VRSs) bakteriyel bozulmanın bir göstergesidir ve duyusal analizlerle, özellikle de koku durumunda yüksek korelasyon gösterir (Gökoğlu, 2002).

2.1.3.7. Ransidite

Balıklarda ransidite, hidroperoksit analizi ve 2-tiyobarbitirik asit (TBARs) analizi ile belirlenebilmektedir. Ancak en yaygın olanı TBARs analizidir. Duyusal analizler ile en iyi korelasyon gösteren indikatörlerdendir (Sikorski, 1990; Çaklı, 2007).

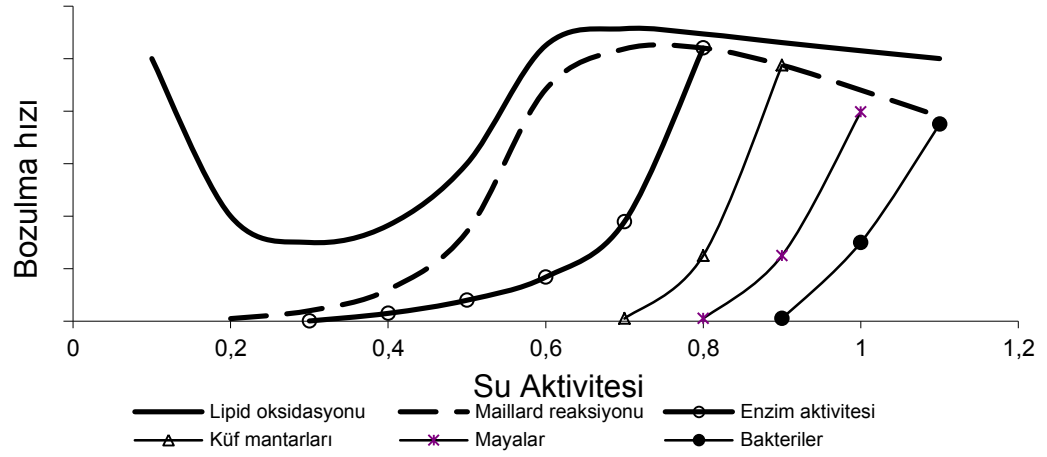
2.1.3.8. Su Aktivitesi (a_w)

Suyun besin maddesindeki durumu; besinin su içeriği ve bulunduğu ortamın bağıl nemliliği arasındaki ilişki yardımıyla tanımlanır ki buna “su aktivitesi” denir (Pigott ve Tucker, 1990). Diğer bir ifadeyle “*su aktivitesi*”; gıdadaki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı (Gökoğlu, 2002) veya gıdaların atmosferden aldığı ya da verdiği suyun nispi (bağıl) nem dengesinin 1/100 i olarak tanımlanır (Ayhan, 2000). Besin maddesinin içerdiği su miktarına uygun düşen bağıl nemliliğe ise “Bağıl nem dengesi” (BND) denir ve bağıl nem dengesinde besin, etrafındaki hava boşluklarına ne su absorblar ne de kaybeder (Telefoncu, 1993).

Gıda maddesindeki suyun buhar basıncının değişmesine neden olan her faktör su aktivitesinin de değişmesine neden olmaktadır. Örneğin, besindeki kuru maddenin artışı su aktivitesinin azalmasına neden olmaktadır. Genel olarak gıdalar farklı nem içeriğine sahip ortamlarda saklandığında kendi su aktivitelerine bağlı olarak nem çekerler veya su kaybederler. Üründeki su aktivitesi, çevrenin neminden düşükse ürün nem çeker, su aktivitesi çevrenin neminden yüksekse ürün su kaybeder (Telefoncu, 1993; Ayhan, 2000; Çaklı, 2007).

Su aktivitesi gıdalardaki kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişimleri sınırlayan en önemli etkidir (Sikorski, 1990; Çaklı, 2007). Su aktivitesi düştükçe gıdanın dayanıklılığı artmaktadır (Bilişli, 2009). Su aktivitesi gıdadaki suyun buharlaştırılıp uzaklaştırılmasıyla yani kurutmayla azaltılabildiği gibi, gıdaya şeker, gliserin, polisakkaritler veya tuz ilavesiyle de azaltılabilmektedir (Ağabeyoğlu ve ark., 1990)

Su aktivite değerlerine göre gıdaları 3 gruba ayırmak mümkündür. Buna göre; 0,90-1,00 a_w arasında “nemli gıdalar”, 0,60-0,85 a_w arasında “orta nemli gıdalar” ve $a_w < 0,60$ olanlar ise “düşük nemli gıdalar” grubuna girmektedir (Varlık ve ark., 2004).



Şekil 2.2. Gıdaların depo kararlılıklarının su aktivitesine bağımlılığı (Telefoncu, 1993).

Gıdalarda bozulmalara neden olan bakteriler, gelişmelerini sürdürmek için maya ve küflerden daha yüksek su aktivitesine ihtiyaç duyarlar (Varlık ve ark., 2004). Su aktivitesi 0,90'ın altında bulunan gıdalarda çoğalamazlar (Gökoğlu, 2002). Pek çok tür en azından 0,96 su aktivitesi gerektirir, fakat 0,75 kadar düşük su aktivitesinde gelişebilen (tuza karşı yüksek toleranslı olan) halofiller arasında bazı türler de vardır (Pigott ve Tucker, 1990; Bilişli, 2009). Mayalar genellikle bakteriler için gerekli olandan çok daha düşük su aktivitelerinde gelişebilirler ve bunlardan bazıları 0,81 kadar düşük su aktivitelerinde (Şekil 2.2) büyüebilirler (Telefoncu, 1993). Küfler ise 0,62 ve daha düşük su aktivitesi değerlerinde bile (Çizelge 2.1) gelişebilirler (Ayhan, 2000; Gökoğlu, 2002; Bilişli, 2009). Su aktivite değerinin düşmesi enzimatik değişimleri de sınırlamakta veya önlemektedir. 0,85'in altında çoğu enzimler (amilazlar, peroksidazlar vb.) inaktive olurlar. Buna karşılık lipazlar 0,3 hatta 0,1 değerindeki su aktivitesinde bile fonksiyon gösterirler (Gökoğlu, 2002; Bilişli, 2009). Bu durum, dondurulmuş su ürünlerinde yağ oksidasyonu nedeni olarak gösterilebilir (Pigott ve Tucker, 1990; Bilişli, 2009). Su aktivitesinin kimyasal reaksiyonlarla da ilişkisi olup su aktivitesi düştükçe, kimyasal bozulma prosesleri de yavaşlamış olur (Sikorski, 1990).

Çizelge 2.1. Bazı mikroorganizmaların gelişebildiği su aktivitesi değerleri (Ayhan, 2000; Gökoğlu, 2002).

Su Aktivitesi (a_w)	Mikroorganizmalar
1,00	<i>Hiç biri</i>
0,95	<i>E.coli gibi gram negatif çubuklar ve Bacillaceae sporları</i>
0,91	<i>Lactobacilli, Bacillaceae'nin vejetatif hücreleri</i>
0,88	<i>Çoğu mayalar</i>
0,80	<i>Çoğu küfler, Staphylococcus aureus</i>
0,75	<i>Çoğu halofilik bakteriler</i>
0,65	<i>Kserofilik küfler</i>
0,60	<i>Osmofilik mayalar</i>

Donmuş balıklardaki bozulma oranı doğrudan sıcaklıkla ilgilidir. Depolama sıcaklığı 0°C'nin altına düştüğünde balık etinin dokularındaki su donmaya başlar ve su aktivitesi azalır. 0°C'deki suyun a_w 'si 1.00 iken -5°C'de 0,95, -10°C'de 0,91, -20°C'de 0,82'ye düşer. Mikroorganizmaların metabolizması ve gelişmesi sadece sulu ortamlarda olduğu için, düşük sıcaklıklarda balık dokusundaki donmuş su, organizmaları durdurur ve genellikle deniz ürünlerindeki bozulmalarda biyolojik fonksiyonların sürdürülmesini imkânsız hale getirir (Pigott ve Tucker, 1990; Ayhan, 2000; Çaklı, 2007).

Depo sıcaklığının yükselmesiyle ortamdaki havanın su tutma kapasitesi artar ve gerekli nem üründen karşılanır. Dehidrasyon, donmuş ürünün yüzeyi hava akımına maruz kaldığı durumlarda daha fazla gerçekleşir. Dehidrasyon ile balık yüzeyi kurur ve ağırlığı azalır. Ayrıca protein denatürasyonu ve yağ oksidasyonu da hızlanır. Balığın kendine özgü kokusu kaybolarak renk değişir ve lezzet kaybı ile birlikte kalite önemli derecede düşer. Bu olay, balık yüzeyinde kuru ve süngerimsi görünüm ile kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Özellikle organoleptik açıdan üründe kalite kaybına neden olarak ticari işletmelerde büyük kayıplara yol açabilmektedir. Don yanığı olarak da tabir edilen ve balık ağırlığının en fazla %0.5'inin kaybına kadar kabul edilebilen bu durum çeşitli paketlenme yöntemleriyle ya da glaze ile büyük ölçüde önlenabilmektedir. En azından perakende satış aşamasındaki balıklar, -20°C'de 9 aylık dondurulmuş depolama sürecinde ve %75 bağıl nem seviyesinde günlük 0.4gr/m² nem kaybı oranını geçmemelidir (Sikorski, 1990).

2.1.3.9. Fiziksel Yöntemler

Fiziksel yöntemler içerisinde en yaygın olarak kullanılanı tekstür kontrolüdür, zira dokudaki esneklik, matlık vb. kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Ancak bu yöntemdeki başlıca problem fiziksel parametrelerin eşdeğer karşılığının tam olarak sabit

bir ölçüm değerinin olmaması ve nispeten göreceli olmasıdır. Yine de balığın tazeliği konusunda net fikirler elde edilmesine yardımcı olmaktadır (Sikorski, 1990).

2.1.4. Işınlama Teknolojisi

Gıda maddelerinin muhafaza sürelerinin ve raf ömürlerinin uzatılması amacıyla geliştirilen yöntemlerden birisi olan gıda ışınlama teknolojisi; gıdaların çürüme, bozulma ve böceklenmesini önleyen, aynı zamanda gıdalara özgü hastalıklara neden olan mikroorganizma ve mikroplardan arındıran bir gıda koruma yöntemidir (Alkan, 2006).

Işınlamanın gıda korumada kullanılmasının temel nedenlerinden birisi de bozulmaya neden olan mikroorganizmaların ya da toplum sağlığı üzerinde risk oluşturan patojenlerin inaktive edilmesidir (Halkman, 2014).

Işınlama teknolojisi diğer yöntemlere göre daha yeni bir muhafaza yöntemidir. Yüksek ilk yatırım maliyetlerine karşın oldukça güvenli olan bu teknoloji aynı zamanda tuzlama, kurutma, dumanlama, dondurma, ısıl işlem uygulamaları ve modifiye atmosfer paketlenme gibi diğer muhafaza yöntemleri ile birlikte kullanılarak sinerjik etkisinden yararlanılabilir (Leistner, 2000; TAEK, 2007; Arvanitoyannis ve ark., 2009).

2.1.4.1. Işınlama Teknolojisinde Kullanılan Terimler

Doz: Işınlanan maddelerin birim kütlesinde absorbladığı radyasyon enerjisi miktarını,

Dozimetre: Doz ve doz hızının kGy/sa olarak standardize edilmiş metotlarla ölçülmesini,

MeV: Milyon elektron volt enerji birimini,

Rad (Radyasyon Absorblama Dozu): 10^{-4} Gy'lik absorblama dozunu,

Gray (Gy): Madde tarafından soğurulan 1 Joule radyasyon enerjisi miktarını,

Curie (Ci): Saniyede 3.7×10^{10} parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesini,

Bequerel (Bq): Saniyede 1 parçalanma yapan atom çekirdeğin aktivitesini,

Sievert (Sv): 1 Gray'lık x ve gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarını,

Röntgen (R): Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında 2.58×10^{-4} Coulomb'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan x ve gama ışını miktarına,

Kilogray (kGy): 1000 Gy'lik absorblama dozunu belirtir (TAEK, 2007; Anonim, 2014d)

2.1.4.2. Işınlama İşleminin Tarihçesi

İlk defa 1921 yılında Fransa’da domuz etindeki parazitlerin zararsız hale getirilmesi için güçlü röntgen (x ışınları) ışınlarının etkisinden yararlanılarak Amerika Birleşik Devletleri’nde patent alınmıştır.

1930 yılında Fransa’da metal kaplar içerisine konulmuş gıda maddelerinin X ışınları ile dezenfeksiyonuna başlanmış ve yine aynı ülkede patent alınmıştır.

1943 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde hamburger köfteleri başta olmak üzere askeri kumanyalar ışınlama işlemine maruz bırakılmıştır.

Brasch ve Huber, 1947 yılında çiğ gıdaların hızlandırılmış elektron demetleri ile dezenfeksiyonu hakkında çeşitli raporlar yayımlamışlardır.

Amerika Birleşik Devleti Hükümeti 1951 ve 1952 yıllarında çeşitli üniversitelere maddi yardımda bulunarak ışınlama teknolojisi üzerine araştırma yapılmasını ve rapor sunmalarını talep etmiştir.

1954 yılında Amerikan Deniz Kuvvetleri (US NAVY) elde edilen raporlardan etkilenmiş ve Massachusetts Institute of Technology (MIT) ile araştırma kontratı imzalamıştır.

1958 yılında ışınlama cihazlarının ticari olarak üretimine başlanmıştır.

Sovyet Rusya 1958 ve 1959 yıllarında patates ve hububatlarda böceklenmeyi önlemek amacıyla ışınlamanın kullanımına izin vermiştir. Patates, buğday ve buğday ürünlerinde böceklenmeyi önlemek amacıyla Food and Agriculture Organization (FAO) 1963 ve 1964 yıllarında ışınlama teknolojisinin kullanımına izin vermiştir.

1980 yılında FAO, International Atomic Energy Agency (IAEA) ve World Health Organization (WHO) eksperler kurulu bir rapor yayımlayarak 10 kGy’e kadar ışınlanmış gıdaların tüketilmesinde herhangi bir sakınca bulunmadığını açıklamıştır. 1983 yılında Codex Alimentarius’da gıda ışınlaması konusunda bir standart oluşturuldu ve ışınlama işlemi ile ilgili pek çok yönetmelik devreye girmiştir.

1983’ten sonra pek çok ülke ışınlamaya izin vermek üzere gıda kodekslerinde gerekli düzenlemeleri yapmıştır.

1997 yılında Amerika Birleşik Devletleri kırmızı et ışınlamasına izin vermiştir. Ayrıca karantina yöntemi olarak da kullanılabileceğine hükmetmiştir.

1999 yılında Türkiye, Gıda Işınlama Yönetmeliği oluşturmuş ve yayımlayarak yürürlüğe girmesini sağlamıştır.

2003 yılında Codex Alimentarius, gıda ışınlamasında doz sınırını kaldırarak ‘teknolojik doz (absorblama ölçekli) uygulaması’na başlamıştır.

2005 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde karantina yöntemi olarak Hawaii, Tayland, Avustralya, Hindistan gibi ülkelerden gelen meyve ve sebzelere ışınlama işlemi uygulamaya başlanmıştır (Alkan, 2006; Anonim, 2014e).

2.1.4.3. Türkiye’de Faaliyette Olan Işınlama Tesisleri

Türkiye’de faaliyet halinde 2 adet ışınlama tesisi bulunmaktadır:

1) Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) bünyesinde bulunan ve IAEA teşviği ile kurulan toplam 1 milyon Ci kapasiteli Ankara/Sarayköy Işınlama Tesis.

2) Tekirdağ/Çerkezköy’de ticari faaliyet maksadı ile kurulmuş ve 3 milyon Ci kapasiteli Gamma-Pak Sterilizasyon A.Ş. Işınlama Tesis.

2.1.4.4. Işınlama Teknolojisinde Kullanılmakta Olan İyonize Radyasyon Kaynakları

İyonlaştırıcı radyasyonun birçok türü bulunmaktadır. Bu tür radyasyonlar atomlardan ve moleküllerden elektron kopartarak onları iyon olarak adlandırılan elektriksel olarak yüklü yapılar haline dönüştürmesinden dolayı iyonlaştırıcı radyasyon ismiyle anılırlar. İyonlaştırıcı radyasyonlar; Alfa, beta, gama ve x ışınlarıdır (Kleeberg, 2002; TAEK, 2007).

Gıda ışınlama işlemi Kobalt –60 (Co_{60}) ve Sezyum –137 (Cs_{137}) gama ışınları, elektronik olarak hızlandırılmış elektron demetleri ve x-ışınları ile gerçekleştirilmektedir (TAEK, 2007).

Gamma Işınları:

Günümüzde Gamma ışınları ile ışınlama yapmakta olan tesislerin tamamı Cs_{137} yerine Co_{60} ’dan sağlanan Gamma ışın kaynağı kullanmaktadır (Çizelge 2.2). Bunun nedeni Cs_{137} ’nin günümüzde üretiminin durmuş olmasıdır. Co_{60} ’ın Co_{59} ’a bir elektron atomunun kazandırılarak yapay radyoaktif madde oluşturulması daha uygulanabilir bir yöntemdir. Ayrıca Co_{60} kullanımının ön plana çıkmasındaki bir diğer neden ise yarılanma ömrünün 5.27 yıl gibi kısa bir periyot olmasıdır. Bu süre Cs_{137} ’de 30 yıldır (Kleeberg, 2002).

Çizelge 2.2. Gıda ışınlamada kullanılabilen radyasyon kaynakları (TAEK, 2007)

Kaynak tipi	Co₆₀	Cs₁₃₇
<i>Kullanım düzeyi</i>	Yaygın	Sınırlı
<i>Işın tipi</i>	Beta ve Gama	Gama
<i>Beta enerjisi</i>	0.314 MeV (maksimum)	0.51 MeV
<i>Gama enerjisi</i>	1.33 MeV	0,662 MeV
<i>Yarılanma ömrü</i>	5.27 Yıl	30.2 Yıl
<i>Giricilik</i>	Yüksek	Yüksek

Radyoaktif izotopların yaydığı alfa, beta ve x ışınları farklı iyonizasyon enerjisine sahiptir ve gıdalarda iyonizasyona neden olmaktadır (Ünlütürk ve Turantaş, 1998).

Radyoaktif izotoplardan ortaya çıkan x ışınları 100-150 nm dalga boyuna sahiptir. Bu nedenle düşük dalga boylu ve yüksek enerjili gama ışınları gıdaya kolayca etki edebilir. Bundan dolayı ışınlama teknolojisinde en çok Co₆₀ izotopundan yayılan gama ışınları kullanılmaktadır (Kleeberg, 2002).

X Işınları:

Isıtılan flamandan yayınlanan elektronların yüksek potansiyel farklar altında hızlandırılarak tungsten gibi hedef metallere çarptırılması sonucunda elde edilen elektromanyetik bir radyasyon türüdür. Gama ışınlarında olduğu gibi giriciliği çok yüksektir (TAEK, 2007).

Elektron Hızlandırıcıları:

Elektron hızlandırıcı cihazlarla elektrik enerjisi kullanılarak elde edilen 10 MeV'e kadar hızlandırılmış elektron demetleri ile ışınlama işlemi yapılmaktadır. İşlem hızının çok yüksek olmasına karşın elektron demetlerinin giriciliğinin düşük olması nedeniyle ancak küçük boyutlu ürünlerin ışınlanmasına olanak sağlamaktadır. İşlem kontrolü gama yayıcıları göre daha karmaşık ve masraflıdır (Alkan, 2006).

2.1.4.5. Teknik Amacına ve Uygulanan Dozlara Göre Işınlama İşlemi

Işınlama uygulamaları teknolojik amacına ve uygulanan dozlara göre radurizasyon, radisidasyon ve radappertizasyon olmak üzere 3'e ayrılır:

Radurizasyon:

Bozulmaya neden olan mikroorganizmaların sayısının azaltılmasını ve buzdolabındaki raf ömrünün uzatılmasını hedefler. 5 kGy'e yaklaşan doz uygulaması ile bozulmaya neden olan mikroorganizmalar inaktive edilirken, ışınlamaya dirençli ve

metabolik olarak yavaş türler (*Moraxella*, laktik asit bakterileri ve mayalar) canlı kalır. Soğuk depolama süresince, bu canlı organizmalar, ışınlama sonrasında inaktif olanlara göre daha yavaş gelişir buna bağlı olarak ürünlerin raf ömürleri 3-4 kat artar (IAEA, 2001; TAEK, 2007; Halkman, 2014).

Radisidasyon:

Spor oluşturmeyen canlı patojenik mikroorganizmaları ve parazitlerin sayısını azaltmak için yapılan uygulamadır. Böylece hijyenik kalite gelişir ve belirli patojenlerin oluşturduğu sağlık riskleri ortadan kalkar, raf ömrü patojenlerin azalması ile uzar (IAEA, 2002; TAEK, 2007; Halkman, 2014).

Radappertizasyon:

Gıdada bulunan mikroorganizmaların çok büyük kısmını veya tümünü yok etmek için gerekli dozun gıdaya uygulanması işlemidir. Bu uygulamada özellikle radyasyona dirençli bakteri sporlarının kontrolü amaçlanmaktadır. Genellikle radappertizasyon için gerekli ışınlama dozu, en dayanıklı mikroorganizmalardan olan *Clostridium botulinum* Tip A sporları hedef alınarak belirlenir. Bu işlem özellikle bağışıklık sisteminde sorunları olan hastaların diyetleri için uygulanmaktadır (IAEA 2001; TAEK 2007; Halkman, 2014).

2.1.4.6. Işınlamanın Gıda Bileşenleri Üzerine Etkisi

Gıdayı oluşturan ana maddeler, karbonhidratlar, proteinler ve yağlardır. Az miktarda bulunan bileşenler ise vitaminler ve mineral maddelerdir. Bu bileşiklerin tamamı insan sağlığı üzerinde çok önemli rol oynadığı için radyasyon etkileri hakkında yoğun çalışmalar gerçekleştirilmiştir (TAEK, 2007).

Işınlanmış gıdaların sağlık açısından faydası ve toksikolojik açıdan güvenirliliği üzerine çok sayıda araştırma mevcuttur (WHO, 1999).

Işınlamanın gıda bileşenleri üzerindeki etkisi; gıdanın kompozisyonu, ışınlama koşulları (düşük sıcaklık, oksijen varlığı vb.) ve depolama şartları gibi faktörlere bağlı olmak üzere değişiklik göstermektedir. Bu nedenle uygun doz, uygun koşullar ve doğru ambalajlama ile istenmeyen etkiler en az düzeye çekilebilmektedir (ANZFA, 2001).

Işınlamanın karbonhidratlar, proteinler, yağlar ve vitaminler üzerine etkisi şöyle sıralanabilir:

Karbonhidratlar:

Karbonhidratların radyasyon kimyası çok sayıda ürün oluşturduğu için oldukça karmaşıktır. Radyasyonun, karbonhidratların radyolizinde esas rolü ise su içeriği yüksek

olan gıdalarda hidroksil radikali ($\bullet\text{OH}$) oluşturarak gıda bileşenlerinde bulunan karbon atomuna bağlı hidrojenler ile reaksiyona girmektedir (TAEK, 2007).

Katı veya sulu gıdalarda düşük molekül ağırlığına sahip olan şekerlerin ve bunların türevlerinin ısıtılması, fiziksel ya da kimyasal özelliklerinin değişmesine neden olabilmektedir (Dauphin ve Salint-Lebe, 1977). Şekerler katı halde ısıtıldıklarında erime noktaları ve optik çevirme dereceleri düşmektedir. Fruktoz, galaktoz, ksiloz ve glukoz gibi bazı şekerlerde esmerleşme reaksiyonları görülebilmektedir. Glukoz, galaktoz, mannoz ve sakkaroz gibi şekerlerin çözeltileri ısıtıldığında H_2 , CO ve CO_2 oluşmaktadır ve absorblanan doz ile konsantrasyonda artış gözlenmektedir (IAEA, 1992; TAEK, 2007).

Isılama nişasta, selüloz ve pektin gibi karbonhidratların da parçalanmasına neden olabilmektedir. Bu parçalanma, büyük oranda glikozidik bağlardaki kırılmalar sonucu oluşmaktadır ve böylece glikoz, maltoz, eritroz, riboz, mannoz gibi düşük molekül ağırlığına sahip şekerler meydana gelmektedir (Dauphin ve Salint-Lebe, 1977; WHO, 1999).

Isılama süresince diğer bileşenlerin varlığı, karbonhidratlar üzerinde koruyucu bir etkiye sahiptir. Örneğin, buğday unundaki proteinlerin varlığı, karbonhidratlardan hidrolitik ürün oluşumunu engellemektedir. Gıda maddeleri pek çok bileşikten oluşması sebebiyle karbonhidratların hidroliz olabilmesi için çok yüksek dozlar gerekmektedir (TAEK, 2007).

Proteinler:

Isılanmış gıdaların proteinlerinde meydana gelebilecek olan değişimleri belirleyebilmek için pek çok araştırma yapılmıştır. Kompleks proteinler üzerinde ısıtılmanın etkisini görebilmek için öncelikle aminoasitlerin ve peptitlerin üzerinde oluşacak değişimler tespit edilmelidir (TAEK, 2007).

Radyolitik ürünlerin yapısı, oluşturduğu aminoasidin yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. (Sikorski,1990).

Ortamdaki oksijen konsantrasyonu yeterince yüksek ise, hidrate olmuş elektronlar ve hidrojen atomlarının uzaklaştırılmasıyla indirgen deaminasyon sınırlandırmakta, hidroksil radikalleri aracılığıyla oksidatif deaminasyon oluşmaktadır (TAEK, 2007).

Isılama işlemine karşı en hassas aminoasitler, kükürt içeren ve aromatik yapıdaki aminoasitlerdir. Özellikle kükürt içeren aminoasitler, alifatik aminoasitlere kıyasla çok daha kolay bir şekilde serbest radikallerle reaksiyona girebilirler. Bu

aminoasitler tiyol veya disülfid gruplarını içerdikleri için ışınlamaya karşı hassasiyet gösterirler. Genellikle kükürt kısımları okside olmakta ve H₂S veya uçucu kükürt bileşikleri oluşmaktadır. Bunlar da gıda ürünlerinde istenmeyen kokuların oluşmasına neden olmaktadır (IAEA, 1992; Stewart, 2001; TAEK,2007).

Peptidlerin radyasyon kimyasında peptid bağlarındaki kırılmalar etkili olmasına rağmen aminoasitler için geçerli olan radyolitik reaksiyonlar da önem taşımaktadır. Peptid bağlarının artması, suda çözünmüş elektronlarla etkileşimi artırmaktadır. Peptidlerin ışınlanmasıyla oluşan başlıca radyolitik ürünler amonyak, yağ asitleri, keto asitler ve radikallerin rekombinasyonu ile oluşan diaminoasitlerdir. Ancak bu diaminoasitlerin önemi bilinmemektedir ve sistin hariç bitki ve hayvan proteinlerinde bulunmamaktadır (Stewart, 2001; TAEK, 2007).

Enzimler protein yapısında olduğu için iyonize radyasyona karşı benzer tepkileri verirler. Yüksek proteinli gıdaların depolanması süresince otolize sebep olan enzimler, soğuk pastörizasyon (2-5 kGy) veya sterilizasyon (~50 kGy) için kullanılan radyasyon düzeylerinde nadiren inaktif olurlar. Bu nedenle iyonize radyasyon ile sterilizasyonda enzimleri inaktif etmek için bir ön ısıtmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Çünkü bu enzimler gıdanın uzun süreli depolanması esnasında proteolitik parçalanmaya neden olmaktadır (Stewart, 2001; TAEK; 2007).

İyonize radyasyonun DNA ve RNA gibi nükleik asitler üzerine etkisini belirlemeye yönelik pek çok çalışma yapılmıştır. DNA'daki değişikliklerle, DNA helixinin denatürasyonu ve temel modifikasyonu şeklindedir. Bu değişikliklerin bazıları ışınlanmış gıdaların deteksiyonu için temel metot olarak kullanılmaktadır. RNA ile ilgili araştırma yapmak, DNA ile kıyaslandığında gıdalarda az miktarda bulunması, çok düşük molekül ağırlığına sebep olması ve kolay parçalanması gibi nedenlerle çalışmayı güçleştirmektedir (Pigott ve Tucker, 1990; TAEK, 2007).

Lipidler:

Gıdalarda bulunan yağların büyük kısmını trigliseridler oluşturur ve yağ asitlerinin gliserolle esterleşmesi sonucunda meydana gelir. Yağlarda trigliseridlerin yanı sıra fofolipidler, steroller, sterolesterler gibi maddeler de bulunmaktadır. Yağlarda bulunan linoleik ve araşidonik asitler gibi çoklu doymamış yağ asitleri vücutta sentezlenemediği için beslenme açısından esansiyel önem taşımaktadır. Yağların yağda çözülen vitaminleri (A, D, E, K) taşıdığı da bilinmektedir (Saygın, 1999; Stewart, 2001; TAEK, 2007).

Özellikle taze etlere uygulanan ışınlama işlemi mikrobiyolojik ve biyokimyasal diğer değişimlerle raf ömrünü artırırken, neden olduğu lipid oksidasyonu ile de raf ömründe kısalmaya neden olmaktadır (Wang ve ark., 2005).

İyonize radyasyon nedeniyle lipidlerde değişikliklere neden olan iki faktör vardır:

- 1) Moleküler oksijenle reaksiyonların katalizlenmesi
- 2) Lipid molekülleri üzerine yüksek enerjili radyasyonun etkisi (TAEK, 2007).

Bir lipid molekülünde serbest radikaller için en hassas nokta bir çift bağıdır. Bu nedenle ışınlamadan en çok etkilenen çoklu doymamış yağ asitleridir. Bir yağ asidinde ilave her çift bağ, oksidasyon oranını iki katına çıkarmaktadır (Stewart, 2001; TAEK, 2007).

Yağların yağ asidi kompozisyonları biliniyorsa ışınlama sonucu oluşan ürünler tahmin edilebilir. Bu yöntem, yağ içeren ışınlanmış gıdaların kontrolü için uygulanan modelin temelini oluşturur (TAEK, 2007).

Vitaminler:

Vitaminler gıdalarda az bulunan önemli bileşenlerdendir ve yağda çözünenler (A, D, E, K) ile suda çözünenler (C vitamini, kolin, B vitaminleri ve folik asit) olarak iki ana grupta toplanırlar (TAEK, 2007).

Diğer gıda bileşenlerinde olduğu gibi vitaminler de ışınlama işleminden etkilenmektedir. Fakat gıdanın dondurulması ya da modifiye atmosfer ile paketlenmesi sonucunda bu kayıplar en aza indirgenmektedir (Varlık ve ark., 2004; TAEK, 2007).

İşinlamaya karşı en duyarlı grup yağda çözünenlerdir ve E vitamini de bunlar içinde en duyarlı olanıdır. Gıdalarda ışınlama işlemi esnasında vitamin kayıpları hesaplanırken genellikle E vitamini indikatör olarak ele alınır. Işınlama sonucunda E vitamininde meydana gelen büyük kayıplardan dolayı gıdalarda antioksidan özelliğinin azalması gözlemlenir (TAEK, 2007).

Diğer vitaminlerle ilgili olarak literatür sınırlıdır ve ışınlama işleminin vitamin dönüşümleri üzerinde kesin bulgular yoktur.

2.1.4.7. Işınlamanın Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkisi

İyonize radyasyonun canlı hücreler üzerindeki etkisi ya direkt olarak hücredeki genetik materyaller üzerinde, ya da indirekt olarak genetik olmayan moleküller üzerinde olmaktadır (Varlık ve ark., 2004; TAEK, 2007).

İyonize radyasyon genetik materyal üzerinde kırılma ya da parçalanmaya neden olur. Oluşan bu parçalanmanın düzeyi radyasyonun dozuna bağlıdır. Radyasyonun dozu yükseldikçe öldürücü etkisi de artar (Varlık ve ark., 2004).

İyonize radyasyonun hücre üzerindeki etkisi ise, hücrede aktif anyon ve serbest radikallerin oluşması sonucu gerçekleşmektedir. Oluşan serbest radikaller ortamda difüzyon sonucu birbirleri ile reaksiyona girerek yeni moleküllerin oluşmasına neden olurlar. Bu reaksiyonlar sonucunda hücrede bulunan genetik olmayan bazı moleküllerin yapısında değişiklikler meydana gelir ve bu durum hücre üzerinde olumsuz etki yapar. Gıda yapısında meydana gelecek olumsuz etkilerin azaltılması için; anaerobik koşullarda radyasyon, düşük sıcaklıkta radyasyon ve donma noktasında radyasyon uygulamaları yapılmalıdır (Ünlütürk ve Turantaş, 1998; Varlık ve ark., 2004).

Işınlamanın mikroorganizmalar üzerindeki etkisi, moleküler yapısında değişikliğe yol açma şeklinde olabileceği gibi, mutasyon, öldürücü etki (germisid) veya hücre çoğalmasının ve gelişiminin önlenmesi (germistatik) gibi doğrudan da olabilir. Genellikle bakteri, maya ve küflerin ışınlama ile yok edilmesi; DNA bağlarının kırılması veya onarım mekanizmalarına zarar verilmesi şeklindedir. Populasyondaki mikroorganizma sayısı ile uygulanacak doz doğru orantılı olmalıdır. Virüsler ışınlamaya en dayanıklı organizmalardır (Pigott ve Tucker, 1990; Topal, 1996; Varlık ve ark., 2004).

Çizelge 2.3. Taze ve dondurulmuş balık ile kurbağa bacağına düşük ve orta ışınlama dozu kullanılarak bazı potansiyel patojenlerin inaktivasyonu (in vitro koşullarda) (TAEK, 2007)

Mikroorganizma	Ürün	İlk kontaminasyon (kob/g) ^a	İnaktivasyon Dozu ^b (kGy)
<i>Aeromonas</i>	Dondurulmuş balık	10 ⁵	4.0-5.0
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Kurutulmuş mürekkep balığı	10 ⁵	1.5
	Kaya lüferi	10 ⁵	1.5
<i>Clostridium perfringens</i> <i>Clostridium botulinum</i>	Kurutulmuş mürekkep balığı	10 ⁵	3.0
<i>Clostridium botulinum</i> Tip E	Meksika körfezi karidesi (inokule edilmiş)	10 ⁴ spor	5.0 (toksin yok; 6°C)
<i>Escherichia coli</i>	Kurutulmuş mürekkep balığı	10 ⁵	3.0

Devamı arkada

<i>Salmonella</i>	Dondurulmuş balık	Bilinmiyor	4.0-5.0
<i>Salmonella typhimurium</i>	Dondurulmuş karides (inokule edilmiş)	10 ⁸	4.0
<i>Salmonella enteritidis</i>	Dondurulmuş karides (inokule edilmiş)	10 ⁸	4.0
<i>Staphylococcus aureus</i>	Kurutulmuş mürekkep balığı	Bilinmiyor	3.0
	Kurutulmuş tutsülenmiş uskumru	Bilinmiyor	5.0
<i>Vibrio cholerae</i>	Mavi yengeç (inokule edilmiş (Callinectes	10 ⁷	0.5-1.0
	Taze Meksika Körfezi karidesi	10 ⁷	1.0
<i>V.cholerae</i> O1 E1Tor	Taze kurbağa bacağı	7x10 ⁷ (inokule edilmiş)	0.5
	Dondurulmuş kurbağa bacağı	7x10 ⁷ (inokule edilmiş)	1.0
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Homojenize balık	Bilinmiyor	0.4
<i>Vibrio vulnificus</i>	Karides (inokule edilmiş)	10 ⁶	0.35
	Yengeç eti (inokule edilmiş)	10 ⁶	0.35

^a kob/g gramda koloni oluşturan birim

^b Bakteri sayılarını tespit edilemeyecek düzeye indirmek için gerekli olan ışınlama dozu

Düşük dozlarda radyasyonun daha etkili olabilmesi için pH düşürülmesi, modifiye atmosfer paketlenme, dondurma, kurutma gibi diğer muhafaza teknikleri de kullanılabilir (Varlık ve ark., 2004; Arvanitoyannis ve ark., 2009).

2.1.4.8. Işınlanmış Su Ürünleri

Su ürünleri üretim ve işleme aşamalarında ışınlama uygulamaları yapılmaktadır. Balık ve balık ürünlerinin çok yüksek dozlarda ışınlanması protein moleküllerinde değişikliğe neden olmaktadır. Uygulanan ışınlama dozu 10-1000 kGy arasında olursa enzimlerin inaktivasyonu sağlanır.

Işınlama 10 kGy'den daha az uygulandığında proteinler zarar görmez ve enzimler aktif halde kalır (Varlık ve ark., 2004).

Çizelge 2.4'de farklı dozlarda ışınlama uygulanmış balıkların farklı sıcaklık derecelerinde depolanması sırasında tespit edilen raf ömürleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Farklı dozlarda ışınlama uygulanmış balıkların farklı sıcaklık derecelerinde depolanması sırasında tespit edilen raf ömürleri (gün olarak) (Varlık ve ark., 2004)

İşinlama Dozu (kGy)	0.6 °C	3.3 °C	5.6 °C	8.8 °C	12.8 °C
0	12-14	11	7-8	5-7	3-4
0.75	23-40	11-27	9-11	8-11	6-7
1	30-49	15-30	11-15	10-12	6-9
2	45-50	29-32	22-23	13-15	8-10

Yüksek miktarda yağ içeren balıklarda oksidasyonun etkilerini en aza indirmek için modifiye atmosfer paketlenme, vakumlama, vb. teknolojiler kullanılmalıdır. Ancak sekonder teknoloji kullanımında sıcaklık iyi kontrol edilmezse *C. botulinum* gelişimi kaçınılmaz olur (Kilgen, 2001).

Genellikle besin değeri kayıpları vitamin yönünde olmaktadır ve ışınlama esnasında hava ile temas bu kayıpları artırmaktadır (Stewart, 2000; Varlık ve ark., 2004). Ancak özellikle su ürünlerinde maksimum doz sınırını belirleyen en önemli bileşikler lipidlerdir, zira lipid oksidasyonu ürünün hem duyu kalitesine etki etmekte, hem de dokuda istenmeyen pek çok serbest radikal ortaya çıkmaktadır (Kilgen, 2001; TAEK, 2007).

İşinlanmış su ürünlerinde besin değeri kayıpları uygulanan doza, sıcaklığa, oksijen varlığına ve su ürünlerinin bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Varlık ve ark., 2004; TAEK, 2007).

İşinlamaya maruz bırakılan ve 1-3°C’de muhafaza edilen balıklarda kalite kriterleri incelenmiş ve artan radyasyon dozajının raf ömrünü olumlu etkilediği bildirilmiştir, ancak ışınlamanın 2 kGy’lik uygulamasında %16 Vitamin A ve %13 vitamin D kaybına neden olduğu bildirilmiştir (Varlık ve ark., 2004).

Çizelge 2.5. ve Çizelge 2.6’da çeşitli tatlı su ve deniz balığı türlerinin raf ömrünü uzatmak için doz ve depolama sıcaklığı arasındaki ilişki verilmiştir.

Çizelge 2.5. Bazı tatlı su balıklarının raf ömrünün düşük-orta ışınlama dozu kullanılarak uzatılması (TAEK, 2007)

Tür	Doz (kGy)	Depolama Sıcaklığı (°C)	Raf Ömrü (gün)
Sazan (<i>Cyprinus carpio</i>)	1.5	0-2	15-31
Kanal yayını (<i>Ictalurus punctatus</i>)	1.0-2.0	0	4-20
Göl alabalığı (<i>Salvelinus namaycush</i>)	3.0	0.6	8-26
Alabalık (<i>Salmo gairdneri</i>)	1.0	0	14-28 (vakum)

Çizelge 2.6. Bazı deniz balıklarının raf ömrünün düşük-orta ışınlama dozu kullanılarak uzatılması (TAEK, 2007)

Tür	Doz (kGy)	Depolama Sıcaklığı (°C)	Raf Ömrü (gün)
Morina (<i>Gadus morhua</i>)	1.5	0.6	8-30
Mezgit (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>)	1.5-2.5	0.6	12-30
Halibut (<i>Hippoglossus hippoglossus</i>)	2.0-3.0	0	8-30
Halibut (California) (<i>Paralichthys californicus</i>)	2.0	0.6	7-30
Hint uskumrusu (<i>Rastrelliger kanaqurta</i>)	1.5	0	12-25
Dilbalığı (English, gray, lemon petrale)	2.5	0.6	4 ila 10'dan 28'e

İyonize ışınlarla ışınlanmış ürünlerin sağlık açısından güvenilirliği Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) uzmanlar komitesi tarafından onaylanmış olup, 1992 yılında yeniden ortaya konarak görüşülmüştür. Yine değişik ülkelerin uzmanlar heyeti bu verileri desteklemiş ve özellikle Almanya merkezli Alman Araştırma Birliği'nin (DFG) Yabancı Madde Komisyonu da buna destek verenler arasında bulunmuştur (Varlık ve ark., 2004; Alkan, 2006).

Günümüzde, Avrupa Birliği üyesi 34 ülke ve Amerika Birleşik Devletleri ile birlikte dünya genelinde 67 ülke çeşitli amaçlarla gıda ışınlamasına izin vermiş bulunmaktadır (IAEA, 2002; EC, 2012).

6.11.1999 tarih ve 23868 sayılı resmi gazeteye göre ülkemizde su ürünlerinde kullanılabilecek yasal ışınlama dozları Çizelge 2.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.7. Ülkemiz mevzuatlarına göre su ürünlerinde yasal ışınlama limitleri (Anonim, 1999)

Su Ürünlerine Uygulanabilecek Işınlama Dozları (kGy) (Resmi Gazete Tarih ve sayısı; 6.11.1999, 23868)			
Çiğ balık, kabuklu deniz hayvanları ve bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş), dondurulmuş kurbağa bacağı	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak	(x)	5.0
	b) Raf ömrünü uzatmak	(xx)	3.0
	c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü		2.0
(x) Minimum doz düzeyi belli bir zararlı organizma için belirlenebilir.			
(xx) Minimum doz düzeyi gıdanın hijyenik kalitesini temin edecek düzeyde belirlenebilir.			

Dünyada 2012 yılı itibarıyla 186 katılımcı ülke, gıda güvenliği standartları ve düzenlemeler oluşturulması amacıyla kurulmuş bağımsız bir komisyon olan Codex Alimentarius, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1986 yılından bu yana FDA (Amerikan İlaç ve Gıda Otoritesi) ve FAO (Dünya Gıda ve Tarım Örgütü) kurumları ile işbirliği içerisinde çalışmalar gerçekleştirerek ışınlanmış gıda ürünlerinde "radura" simgesinin kullanımını (Şekil 2.2) zorunlu kılmıştır. Avrupa Birliği üyesi ülkelerde ise ürün paketlerinde radura simgesi 2005 yılından bu yana zorunlu olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2014f).



Şekil 2.3. Işınlanmış gıdalarda kullanımı zorunlu olan "Radura" simgesi (TAEK, 2007)

2.1.5. Dondurma Teknolojisi

Dondurma teknolojisi gıdaların bozulmadan uzun süre depolanabilmelerini sağlayan bir muhafaza yöntemidir. Dondurulmuş gıdalar taze materyallerin hemen hemen tüm özelliklerini içerir ve bu özellikleri uzun süre korur. Et ve balık gibi kolay bozulabilen gıdaların muhafazasında dondurma teknolojisi çok uygundur ve yoğun olarak kullanılmaktadır (Varlık ve ark., 2004).

Özellikle düşük derecelerde dondurma ile mikroorganizmaların gelişimi tamamen önlenir, biyokimyasal olaylar ve enzimatik aktiviteler yavaş olarak devam eder. Çok düşük sıcaklık derecelerinde (-30°C) enzimatik faaliyet de durur. Genelde dondurulmuş ürünlerin depolanmasında kullanılan sıcaklık -18°C 'nin altındadır. Mikroorganizmalar -5 ile -8°C arasında, mayalar -10 ile -12°C arasında ve küfler de -12 ile -18°C arasındaki sıcaklıklara kadar faaliyetlerini sürdürebilirler (Sikorski, 1990; Varlık ve ark., 2004).

Depolama sıcaklığı düştükçe muhafaza süresi de artar, ancak birçok ürün için -18°C 'nin altında depolamanın sağladığı faydalar marjinaldir ve ekstradan harcanan enerjinin maliyetini karşılamaz (Varlık ve ark., 2004).

Gıdanın -10 ile -12°C sıcaklıkları arasında bulunmaları "dondurulmuş ürün" olarak tanımlanırken, -18°C ve altındaki sıcaklıklarda bulunan gıdalar ise "derin dondurulmuş ürün" olarak tanımlanır (Varlık ve ark., 2004).

2.1.5.1. Dondurmanın Koruyucu Etkisi

Dondurmanın koruyucu etkisi hücre içinde bulunan suyun buz kristallerine dönüşmesine, ardından dondurma hızı ve süresine bağlıdır:

Buz Kristallerinin Oluşumu: Gıdalarda dondurma işleminin anahtar noktası, üründe çeşitli durumlarda bulunan suyun buz kristalleri formuna dönüştürülmesidir. Donma noktası dokudaki su miktarına ve dokudaki diğer bileşenlerin konsantrasyonuna göre değişiklik göstermektedir. Morina ve mezgıt balığında donma noktası -0.8 ile -1°C aralığındayken, bu değer pisi balığında -1 ile -1.2°C aralığına, ringa balığında ise -1.4°C 'ye tekabül etmektedir (Sikorski, 1990).

Dokuda sıcaklık geçişi deriden başladığı için ilk olarak deri donma eğilimi gösterir. Daha sonra sıcaklık düşüşü balık merkezine doğru ilerleme gösterir (Sikorski, 1990; Pigott ve Tucker, 1990; Alasalvar ve Taylor, 2002).

Suyun buz haline dönüşmesi önce çekirdeklenme, sonra bu çekirdeklerin irileşmesi olmak üzere iki aşamadan oluşur. Su soğutulup belli bir dereceye ulaştıncı su molekülleri "kristal çekirdeği" denen küçük kümecikler oluşturur. Ancak oluşmuş bu

kümeciklerin bir kısmı kaybolurken, yeniden bir kısım kümecik oluşmaya başlar. Ortamda kararsızlık durumu mevcuttur ve çekirdeklerin oluşması ile kaybolması arasında bir denge başlar. Ortam soğumaya devam ederken sıcaklık noktası uygun noktaya ulaştığında, çekirdek de buz kristali olma şansı bulur. Bu olay 0°C'nin altında gerçekleşmektedir. Çekirdekçiğin oluşmasına kadar geçen süreye "aşırı soğuma" ya da "termal durma periyodu" denir. Bu aşama en fazla iki saat sürmelidir, zira ortam sıcaklık derecesi ne kadar çok ve hızlı düşerse oluşan çekirdek boyutu da o kadar küçük olur. Bu aşama geçildikten sonra gıdanın sıcaklığı hızla düşerek geriye kalan suyun donması sağlanır (Sikorski, 1990; Gökoğlu, 2002; Varlık ve ark., 2004).

Donma Süresi ve Hızı: Donma süresi, balığın ısı içeriğine, termal direncine, dondurucu tipine, uygulanan sıcaklık noktasına, dondurucunun hava akış hızına, ambalaj kalınlığına ve balığın temas yüzeyine bağlıdır. Ürünün donma süresi, bulunduğu sıcaklıktan donma noktası altına getirilene kadar geçen süredir. Ayrıca dondurma süresini kısaltmak ve dondurucudan tam randıman elde etmek için balığa ön soğutma yapılmalıdır (Varlık ve ark., 2004; Çaklı, 2007).

Balık etinde dondurma süresi hesaplanırken sıcaklık balığın merkezinden ölçülerek kontrol edilmelidir (Gökoğlu, 2002).

Hızlı dondurmanın en büyük avantajı, hücre içerisinde ya da hücreler arası serbest suyun donma esnasında büyük buz kristallerine dönüşmesini engelleyerek, hücre çeperine ve hücreler arası yapıya zarar verilmesinin engellenmesidir. Böylece gıda taze haline en yakın durumda muhafaza edilmiş olur (Gökoğlu, 2002; Turan, 2011).

Ayrıca, hızlı dondurmanın diğer avantajları da şunlardır:

- Su, bulunduğu yerde buz kristallerine dönüşür ve hücre öz suyunun hücreler arası boşluğa geçmesi engellenir.
- Hücreler arasındaki boşluklarda daha küçük yapıli buz kristallerinin oluşması sağlanarak en az fiziksel hasar verilir.
- Kritik bölge olan ve harcanan enerjinin önemli miktarının harcanmasına neden olan -0.5 ile -5°C aralığı hızla geçilmiş olur.
- Mikrobiyolojik faaliyetlerin durma noktasına daha hızlı ulaşıldığı için mikroorganizma kaynaklı bozulmalar en aza indirgenir (Gökoğlu, 2002).

Et ve balıkların dondurulmasında -35 ile -45°C aralığında dondurma, -20 ile -22°C aralığında da depolama önerilmektedir (Pigott ve Tucker, 1990; Gökoğlu, 2002).

2.1.5.2. Dondurma Yöntemleri

Balıkların dondurulmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır fakat en kaliteli şekilde donmuş ürün elde edebilmek için hangi yöntemin kullanılacağından ziyade hızlı dondurma ve düşük sıcaklıkta depolama önem arz etmektedir (Turan, 2002).

Dondurma yöntemlerinden en yaygın kullanılanları şunlardır:

Hava Üfleli Dondurucular: Soğuk havanın fanlar yardımıyla evaporatör üzerinden dondurulacak olan ürüne üfleme şeklinde gerçekleşir. Soğuk hava, küçük odalarda ya da tünellerde sirküle edilerek ürünlere seri akış sağlanır. Genellikle evaporatörden çıkan hava sıcaklığı -30 ila -40°C, hava akım hızı da 4 ila 6 m/sn'dir (Gökoğlu, 2002; Varlık ve ark., 2004).

Soğuk hava üfleli soğutucuların en yaygın olarak kullanılan türü tünelli donduruculardır. Özellikle dar tünellerde çok kuvvetli bir şekilde her yönden soğuk hava akımına maruz bırakılan gıdalar bireysel olarak, tünel içinde adeta havada asılı kalarak çok kısa sürede dondurulurlar. İleri teknoloji üretilmiş modeller, basınç değişimi özelliğinden de faydalanılarak ani değişimlerle donmanın çok daha çabuk gerçekleşmesini sağlamaktadırlar. Bu tip sistemlere genel olarak IQF (Individual Quick Freezing) adı verilmektedir. Bu tip sistemler hızlı dondurma yapabilmek için çok avantajlı durumdayken, yalnızca küçük boyutlu ürünleri dondurabilmelerinden ve yüksek enerji sarfiyatlarından dolayı her üretim türüne uygun değildir. Ayrıca ilk yatırım maliyetleri de oldukça yüksektir (Pigott ve Tucker, 1990; Sikorski, 1990).

Daldırarak Dondurma: Ambalajlı ya da ambalajsız ürünler soğutulmuş bir solüsyona daldırılarak dondurma sağlanır. Eğer gıda maddesi ambalajlanmadan daldırma işlemi uygulanırsa ısı iletkenliği kusursuz olacağından, çok daha hızlı bir dondurma işlemi gerçekleştirilmiş olur. Bu yöntemin olumsuz yönlerinden en önemlisi, kullanılabilecek olan sıvı türlerinin sınırlı olmasıdır, zira bu sıvılar için gıdaya uygunluk açısından bazı özellikler aranmaktadır. Bu özellikler, donma noktasının düşük olması, sağlık açısından sorun teşkil etmemesi, tat, koku, renk gibi önemli duyu özelliklerinde değişime sebep olmaması ve sanitasyon kurallarına uygun olmasıdır. Bütün bu özelliklere uyan en ucuz ve pratik yöntem tuzlu su kullanımıdır. %23'lük konsantrasyondaki tuzlu su -21°C'ye kadar inebilmektedir. Özellikle karides ve ton balıklarının çabuk dondurulmasında kullanılmaktadır (Gökoğlu, 2002; Varlık ve ark., 2004).

Sıvı Azot ya da Karbondioksit ile Dondurma: Çok düşük kaynama noktalarına sahip olan sıvı azot (-196°C) veya sıvı karbondioksit (-145°C), bu

özelliklerinden yararlanılarak dondurma işlemlerinde kullanılırlar. Ayrıca bu iki maddenin de zehirli olmamasından dolayı gıda ürünlerinde kullanımı problem oluşturmamaktadır. Kullanım yöntemleri genellikle hareketli bant üzerindeki gıdalara püskürtme şeklindedir (Sikorski, 1990; Gökoğlu, 2002).

2.1.5.3. Dondurma Teknolojisinde Kaliteyi Etkileyen Faktörler

Dondurma işleminde kaliteyi etkileyen temel faktörler şöyle açıklanabilir:

Kullanılan Materyalin Kalitesi: Dondurma işleminde kaliteye etki eden en temel unsur, kullanılacak materyalin çok taze ve fiziksel olarak sorunsuz olmasıdır (Gökoğlu, 2002). Materyalin tazeliği dışında balığın yaşı, olgunluk durumu, beslenme şekli, av mevsimi, avlama yöntemi ve ölüm şekli, içerdiği su ve yağ miktarı, ölüm sertliği süresi, ortam sıcaklığı ve işleme şartları da dondurmanın kalitesini belirleyen unsurlardandır (Sikorski, 1990; Varlık ve ark., 2004).

Uygulanacak Ön İşlemler: Su ürünleri avlandıktan ya da hasat edildikten sonra hemen yıkanıp temizlenerek mikroorganizma yükü düşürülmelidir, çünkü mukozada oluşan zararlı organizmalar hızla dokuya nüfuz etmeye çalışır. Ayrıca dondurma öncesi ön soğutma ve %2'lik tuzlu su çözeltisinde bekletmek de hem su kaybını, hem de mikroorganizma yükünü azaltır (Varlık ve ark., 2004).

Dondurma Hızı: Diğer tüm gıda maddelerinde olduğu gibi su ürünlerinde de dondurma hızı çok önemlidir. Özellikle dondurma işlemi yavaş gerçekleştiğinde, hücre içinde ve dışında donan su molekülleri hücreye baskı yapmakta ve histolojik deformasyon görülmektedir. Buna bağlı olarak protein denatürasyonu görülebilmektedir (Varlık ve ark., 2004). Yavaş dondurma esnasında yüzey dokusu merkez dokuya göre daha çabuk donacağından, balığın iç bölgesinden dış yüzeye doğru bir su değişimi yaşanır. Buna bağlı olarak balıkta su ve ağırlık kaybı oluşur (Sikorski, 1990; Varlık ve ark., 2004).

Glaze İşlemi: Balık dondurulduktan sonra bir ya da birkaç kez 15-20 saniye süre ile soğuk suya daldırılırsa, yüzeyinde ince bir buz tabakası oluşur ve bu tabaka balığın renk kaybına, acılaşmaya ve "don yanığı" denilen su kaybından ötürü balığın kuruyarak süngerimsi bir yapı almasına karşı koruyucu olur (Çaklı, 2007).

Glaze işleminde soğuk suya ilave olarak çeşitli kyroprotektanlar ve şeker yapıdaki bileşikler kullanılabilir. Bu maddelerin kullanımının amaçları arasında, renk kaybını en aza indirmek, oksidasyonu azaltmak ve glaze katmanını esnekleştirerek daha uzun süre dayanmasını sağlamak gibi koruyucu hedefler bulunmaktadır (Pigott ve Tucker, 1990; Turan, 2011).

Depo Sıcaklığı ve Depolama Süresi: Dondurma işlemi sonrasında depolama sıcaklığı ne kadar düşük tutulursa, kalite de o ölçüde korunmuş olur. Ancak çok düşük depolama sıcaklığı, fazladan harcanması gereken enerji miktarından dolayı tercih edilmemektedir. -30°C'nin altında enzim aktivitesi tamamen durduğu için balıklar çok iyi korunmuş olacaklardır. Bununla birlikte yağlı balıklar için -25/-30°C, yağsız balıklar için ise -18/-20°C uygun muhafaza sıcaklıklarıdır (Gökoğlu, 2002; Varlık ve ark., 2004; Çaklı, 2007; Yerlikaya ve Gökoğlu, 2010).

Çeşitli su ürünlerinin raf ömürleri Çizelge 2.8'da sunulmuştur.

Çizelge 2.8. Çeşitli su ürünlerinin raf ömürleri (Çaklı, 2007).

Ürün (Fileto/Parça)	-18°C'de Depolama	-12°C'de Depolama	Çözdürme Sonrası Buzdolabında Depolama (0-4°C)
<i>Morina, dil</i>	10-12 ay	6-8 ay	36 saat
<i>Mezgit</i>	10-12 ay	6-8 ay	36 saat
<i>Tatlı su levreği</i>	8-9 ay	4 ay	36 saat
<i>Deniz alabalığı</i>	8-9 ay	4 ay	36 saat
<i>Kefal</i>	6-8 ay	—	36 saat
<i>Somon</i>	7-9 ay	—	36 saat
<i>Yengeç</i>	6 ay	6 ay	5 gün
<i>Mavi yengeç eti (taze)</i>	—	4 ay	3-4 gün
<i>Mavi yengeç eti (pastörize)</i>	—	—	6 ay
<i>Surimi</i>	10-12 ay	9 ay	2 hafta
<i>Karides (soyulmuş)</i>	9 ay	5 ay	2-3 gün
<i>İstiridye</i>	—	—	4-7 gün
<i>Akivades (et)</i>	—	—	2-3 gün
<i>Istakoz (canlı)</i>	—	—	1-2 gün
<i>Istakoz (kuyruk eti)</i>	8 ay	6 ay	4-5 gün
<i>Kalamar</i>	8-9 ay	4 ay	36 saat
<i>Karides (kaplanmış)</i>	12 ay	8 ay	—
<i>Pekten</i>	16 ay	10 ay	—
<i>Balık kroket</i>	18 ay	—	—
<i>Balık fileto (kaplanmış)</i>	18 ay	—	—
<i>Ringa (tütsülenmiş)</i>	—	2 ay	3-4 gün
<i>Somon (tütsülenmiş)</i>	—	2 ay	5-8 gün

2.1.5.4. Dondurularak Depolanan Su Ürünlerinde Meydana Gelen Kalite Kayıpları

Dondurularak depolanan su ürünlerinde meydana gelen kalite kayıpları protein denatürasyonu, lipoliz ve lipid oksidasyonu ve uygun yapılmayan çözünme işlemiyle açıklanabilir.

Protein Denatürasyonu:

Dondurma esnasında meydana gelen buz kristallerinin hücre çeperine zarar vermesi ile birlikte hücre içi enzimler serbest kalırlar ve depolama süresi boyunca proteinlerdeki hidrofobik yapılara zarar vererek denatürasyona neden olurlar (Sikorski, 1990). Zamanla ortaya çıkan yan ürünlerle birlikte depolamanın ileriki safhalarında protein denatürasyonu artarak devam eder (Sikorski, 1990, Gökoğlu, 2002). Hücrenin histolojik yapısının bozulmasının hemen ardından dokuda su kaybı (dehidrasyon) başlar ve ürünün su konsantrasyonunda düşüş meydana gelir ve düşük su konsantrasyonuna bağlı olarak inorganik maddelerin proteinlere zarar verdiği gözlenir (Pigott ve Tucker, 1990; Sikorski, 1990).

Denatürasyona etki eden bir diğer faktör ise buz moleküllerinin katalitik etkisi ve inorganik tuzların etkisi ile yağ oksidasyonunu artırması ve formaldehit oluşumunun proteinlerdeki kovalent bağları parçalamasıdır (Pigott ve Tucker, 1990; Alasalvar ve Taylor, 2002).

Meydana gelen formaldehit ile birlikte dokuda TMAO miktarı artar ve –SH disülfid değişim reaksiyonları başlar (Sikorski, 1990).

Protein denatürasyonunun ve dehidrasyonun miktarı dondurma şartlarına ve depolama süresine bağlıdır. Balık eti uygun koşullarda dondurularak muhafaza edildiğinde protein denatürasyonu en düşük düzeye indirgenmiş olur (Gökoğlu, 2002; Varlık ve ark., 2004).

Lipoliz ve Lipid Oksidasyonu:

Dondurularak depolanan balıklarda lipid oksidasyonu depolama sıcaklığı ve süresi, materyalin tazeliği, balığın yağ içeriği ve kas türü, ışıkla temas, ortamdaki oksijen, paketleme türü ve soğuk zincirin korunması gibi pek çok etkene bağlıdır (Pigott ve Tucker, 1990; Alasalvar ve Taylor, 2002; Varlık ve ark., 2004).

Dondurulmuş su ürünlerinde lipid oksidasyonu, kalite kaybının hem direkt, hem de indirekt sorumlusudur. Lipaz enzimi ile lipoliz indirekt etkiyi gösterirken, lipoliz ürünlerinin meydana gelmesi ve uzun zincirli yağ moleküllerinin, radikallerin etkisi ile parçalanarak peroksiradikallere (keton ve aldehytler, peroksit, asit) ve kısa zincirli yağlara dönüşmesi ise kalite kaybına direkt etkisidir. Aldehytler ve doymamış yağ asitleri TMA ile birleşerek kırmızımsı-kahverengimsi renk oluşmasına neden olurlar (Sikorski, 1990; Varlık ve ark., 2004).

Dondurularak depolama sırasında kırmızı pigment maddesi olan myoglobin, metmyoglobine dönüşerek balığın kas dokusunun soluk kahverengine dönmesine neden

olur. Ayrıca balık yağında bulunan karotinoidler de rengin donuk ve hoşla gitmeyen durum almasına neden olur (Varlık ve ark., 2004).

Prooksidatif enzimler de otooksidasyon hızını artırıcı etkiye sahiptir. Bu nedenle glaze işlemiyle (özellikle askorbik asitli) ve karanlık ortamda ve oksijenle temas etmeyecek şekilde muhafaza edilerek otooksidasyon hızı yavaşlatılabilmektedir (Pigott ve Tucker, 1990; Varlık ve ark., 2004).

Çözdürme İşlemi:

Dondurulmuş gıdalarda çözdürme işlemi, ürün kalitesi açısından en önemli kısımdır. Uygun koşullarda dondurulmuş ve depolanmış kaliteli ürün, uygunsuz olarak çözdürüldüğünde büyük kalite kayıpları yaşanmaktadır (Varlık ve ark., 2004).

Dondurulmuş ürünün çözdürülmesinde kullanılan yöntemler, ürünün fazla ısınmasını, su kaybını ve bakteriyel gelişimi en aza indirgeyecek şekilde seçilmelidir. Çözdürme sırasında ortam sıcaklığı 20°C'yi geçmemelidir (Gökoğlu, 2002).

Dondurulmuş ürünler çözdürülürken kullanılan yöntem ve koşullar ne olursa olsun, sıcaklık hemen ürünün ilk donma noktasına erişir ve bütün çözünme işlemi bu sıcaklıkta devam eder. Bu nedenle mekanik ve mikrobiyolojik değişimler kaçınılmazdır (Gökoğlu, 2002; Çaklı, 2007).

Çözdürme işlemi donma noktası civarında gerçekleşmektedir. Bu nedenle rekristalizasyon olayında ve psikrofilik mikroorganizmalarda artış görülür (Sikorski, 1990; Varlık ve ark., 2004).

Uygun olmayan çözdürme işlemleri esnasında, ağırlık kaybı, mikroorganizma sayısında artış ve tekstürde bozulmalar görülebilir (Turan, 2011).

Çözdürme işlemi kontrollü olarak ve belirli sınırlar içerisinde uygulanırsa oluşabilecek kalite kayıpları en az düzeye indirilebilmektedir (Varlık ve ark., 2004).

2.2.Literatür Özeti

2.2.1. Işınlama Teknolojisinde Yapılan Bazı Çalışmalar

Harewood ve ark. (1994), homojenize edilmiş kum midyesi (*Mya arenaria*) örneklerine 1 kGy dozunda yapmış oldukları ışınlama neticesinde *E. coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* ve *Streptococcus faecalis* organizmalarının 10 ila 100 kat azaldığını tespit etmişlerdir.

Kwon ve Byun (1995), kaynatılıp kurutulmuş hamsilerde (*Engraulis encrasicolus*) uzun süreli muhafaza problemlerinden olan hijyen ve kalite kaybından oluşan sorunlara yönelik oluşturdukları denemelerinde, iyonize radyasyon ile birlikte hava geçirmez paketlenme yoluyla kombine muhafaza yönteminin aerobik bakterilerde 1.33 kGy, maya ve küflerde ise 2.02 kGy'lik dozun inaktive edici etkisini gözlemişlerdir. Ayrıca hava geçirmez paketlenme ile birlikte, 5 kGy dozda iyonize radyasyon uygulamasının oda sıcaklığında 6 ay, 5-10°C'de depolama koşullarında ise 1 yıl boyunca raf ömrüne sahip olabilecek mikrobiyal kaliteyi sağlamak için yeterli olduğunu tespit etmişlerdir.

Al-Kahtani ve ark. (1998), düşük yağ oranına sahip olan Tilapya (*Tilapia nilotica* T. aurea) ve yüksek yağ oranına sahip İspanyol uskumrusunun (*Scomberomorus commerson*) iyonize radyasyon sonrası muhafaza sürecinde, aminoasit ve yağ miktarlarındaki değişimi araştırmışlardır. Her iki balıkta da ışınlama sonrası aminoasit miktarlarında değişim olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, tilapya balığında 10 kGy'a kadar dozda bazı aminoasitlerde azalma bazılarında da artış biçiminde olduğunu, ancak İspanyol uskumrusunda bütün aminoasitlerde önemli derecede bir azalma belirlemişlerdir. Tilapya için ışınlamanın dozu arttıkça lizin ve metiyonin miktarlarında artış olduğu, valin ve histidin miktarlarında ise azalma olduğunu tespit eden araştırmacılar, ışınlanmış balıkların kas dokusunda serbest aminoasit miktarındaki artışın, ışınlama sırasında proteolitik enzim aktivitesindeki artıştan ve peptid bağlarının açılmasıyla aminoasitlerin daha fazla ekstrakte edilir olmasından kaynaklanabileceğini vurgulamışlardır.

Lakshmanan ve ark. (1999), araştırmalarında 1.5 ve 2 kGy dozlarında iyonize radyasyonun 0-2°C'de depolanan Hint uskumrusunun (*Rastrelliger kanagurta*) yağları üzerine etkisinin belirlenmesini amaçlamışlardır. 14 günlük depolama süresi boyunca yağ kompozisyonunda büyük değişiklikler saptanmamıştır. Ancak iyonize radyasyona maruz bırakılan örneklerde daha yüksek karbonil değerleri tespit edilmiştir. İyonize

radasyonun doğal olarak bulunan omega-3 çoklu doymamış yağ asitlerine (PUFA) önemli derecede etki etmediğini belirlemişlerdir.

Torres ve ark. (2001), toksik etkiye sahip olan *Vibrio cholerae* ile aşıl原因 karides (*Penaeus vannamei*) ve has kefal (*Mugil cephalus*) filetolarını 1 ve 2 kGy'lik dozlarda ışınlamışlardır. Araştırmanın sonunda ışınlanan hiçbir üründe kontaminasyona rastlanmamıştır. Ayrıca ışınlamanın hem mikrobiyolojik hem de kimyasal açıdan raf ömrünü artırdığı tespit edilmiştir.

Jeevanandam ve ark. (2001), buzdolabı koşullarında muhafaza edilen kılıkuymurcan (*Nemipterus japonicus*) balığında, tuzlamanın ışınlama ile kombine etkisini görmek amacıyla balığı yalnızca tuzlayarak (%15'lik salamura) ve tuzlama ile birlikte 1-2 kGy'lik dozlarda ışınlamaya raf ömrünü araştırmışlardır. Buna göre; tuzlamaya ek olarak yapılan 1 ve 2 kGy'lik ışınlama işleminin raf ömrünü sırasıyla 9 ve 14 gün uzattığını bildirmişlerdir.

Jaczynski ve Park (2003), Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) balığından üretilen dondurulmuş surimide duysal değişimleri incelemek amacıyla 1 ile 5 kGy arasında ışınlama yapmışlar, 4 kGy'ye kadar yapılan ışınlamanın renk, doku ve acılaşıma üzerine önemli derecede olumsuz etkisi olmadığını ($p>0.05$) bildirmişlerdir.

Chawla ve ark. (2003), Kore'nin geleneksel bir deniz ürünü olan ve "kwamegi" olarak adlandırılan yüksek su aktivitesine sahip (0.90-0.95) yarı kurutulmuş Pasifik zargana balığının raf ömrünü artırmak ve patojen mikroorganizmaların çoğalmasını yavaşlatmak için bir deneme kurmuşlardır. Çiğ tüketilmesinden dolayı yüksek patojenik risk taşıyan ve kimyasal bozulmalara karşı dayanıksız olan bu üründe iyonize radyasyonun kwamegi'nin raf ömrüne etkisini belirlemek amacıyla; yalnız buzdolabında muhafaza, artırılmış kurutma oranı ve hava geçirmez paketlenme ile çeşitli gruplar oluşturmuşlardır. Kwamegi'ye 4 kGy dozda iyonize radyasyon uygulandığında *Salmonella typhimurium*, *S. aureus*, *B. cereus* ve *E. coli* gibi patojen mikroorganizmaların tamamen inhibe edilebileceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, artırılmış kurutma oranı, buzdolabında muhafaza ve ışınlamanın kombine kullanımının hem kimyasal hem de duysal bakımdan raf ömrünü uzatmada daha etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Cozzo-Siqueira ve ark. (2003), tilapia (*Oreochromis niloticus*) balığına 0, 1, 2.2 ve 5 kGy dozlarında iyonize radyasyon ile buzdolabı koşullarında kombine muhafazanın (0.5°C ve 2°C 'de [20-30 gün]) besin değeri ve raf ömrü üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar, iyonize radyasyon uygulanmamış balıklarda TVB-N ve NPN (proteinli

olmayan azotlu bileşikler) miktarlarının arttığını, iyonize radyasyon uygulanan balıklarda ise değerlerin stabil kalma eğiliminde olduğunu ya da önemsiz değişimler gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca muhafaza süresince, iyonize radyasyon uygulanmamış örneklerde nem seviyesinin azaldığı yağ ve protein seviyesinin artış gösterdiği, iyonize radyasyon uygulanan balıklarda ise değişimin önemsiz olduğunu belirlemişlerdir.

Kasımoğlu ve ark. (2003), vakumlanarak 1, 2 ve 3 kGy dozlarında iyonize radyasyon uygulanan ve yalnızca vakumlanarak ardından $2\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de buzdolabında muhafaza edilen örnekleri inceleyerek iyonize radyasyon ile buzdolabında muhafazanın, sardalyanın (*Sardina pichardus*) raf ömrüne etkisini araştırmışlardır. Radyasyon uygulanmamış sardalya balığının trimetilamin (TMA) ve pH değerlerinin duyusal skorlar ile korelasyonunun iyi olduğunu, tiyobarbitürik asit (TBA) değerlerinin radyasyon uygulanmış sardalyada önemli bir farklılık göstermediğini belirlemişlerdir. Mikrobiyolojik kriterler açısından ise iyonize radyasyon uygulanan sardalyanın, iyonize radyasyon uygulanmamış sardalyaya göre 2 ila 3 kat fazla raf ömrü gösterdiği belirlenmiştir.

Chouliara ve ark. (2004), tuzlanıp vakum paketlenerek 1 ve 3 kGy dozlarda iyonize radyasyonla muamele edilmiş ve yalnızca tuzlanıp vakum paketlenmiş çipura (*Sparus aurata*) filetolarını buzdolabında depolanma süresince mikrobiyolojik, kimyasal ve duyusal açıdan incelemişlerdir. Araştırmacılar, kimyasal bozulma indikatörlerinden olan TMA'nın iyonize radyasyonla işlem görmüş gruplarda daha yavaş arttığını, benzer şekilde toplam uçucu bazik azot (TVB-N) değerlerinin de daha yavaş artış gösterdiğini, TBA değerlerinin ise daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Araştırmacılar ayrıca iyonize radyasyonun bakteri popülasyonu üzerinde etkili olduğunu, bununla birlikte yüksek dozda iyonize radyasyon uygulamasının düşük doza göre daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Duyusal değerlendirmelerde ise tuzlanarak vakum paketlenmiş ve iyonize radyasyon uygulanmış çipura filetolarının buzdolabındaki raf ömrünün 27-28 gün, yalnızca tuzlanarak vakum paketlenmiş çipuraların ise buzdolabındaki raf ömrünün 14-15 gün olduğunu belirlemişlerdir.

Jo ve ark. (2004), Kore'de geleneksel bir yiyecek olan ve Alaska pollock balığının (*Theragra chalcogramma*) bağırsaklarının tuz ile fermentasyonu sonucunda üretilen "Changran Jeotkal" olarak isimlendirilen üründe daha az tuz kullanarak raf ömrünü uzatmak için 2.5, 5 ve 10 kGy'lik dozlarla ışınlama yaparak geleneksel yoğun tuzlu ürünle karşılaştırmıştır. Işınlama yapılan gruplarda toplam aerobik bakteri yükü

10⁴ CFU/gr değerinin altında kalarak raf ömrüne olumlu katkı sağlamıştır. Ayrıca 2.5 kGy’lik dozun mikrobiyolojik, kimyasal ve duysal bakımdan endüstriyel olarak 12 haftalık muhafaza süresi için en uygun doz olduğu da tespit edilmiştir.

Kim ve ark. (2004), ışınlama uygulamasının su ürünlerinin renk özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirdikleri araştırmalarında tuzlanmış ve fermente edilmiş hamsilere (*Engraulis encrasicolus*), 0, 2.5, 5, 7.5 ve 10 kGy dozlarında ışınlama yaparak örneklerin görünümünü incelemişlerdir. Araştırmacılar tuzlanmış ve fermente edilmiş hamsilerin renginin koyu kahve iken ışınlama işlemlerinden sonra ışınlamanın dozu ile paralel olarak açık kahve renge döndüğünü ancak, depolama sürecinde rengin tekrar eski halini aldığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, ışınlanmış balıkların tipik balıksı kokusunu kaybettiğini ve böylece duysal olarak kalitenin yükseldiğini belirlemişlerdir.

Chouliara ve ark. (2005), vakum paketlenen ve buzdolabı koşullarında muhafaza edilen Akdeniz ipura balığı (*Sparus aurata*) filetolarının raf ömrünü uzatabilmek için 1 ve 3 kGy’lik ışınlama ile kombine etkisini araştırmışlardır. Araştırmanın sonunda, mikrobiyolojik açıdan 3 kGy ile ışınlanan grupta tüm bakteri türlerinde ani düşüş gözlenirken, hidrojen sülfür üreten bakterilere ise rastlanmamıştır. TMA miktarları incelendiğinde, ışınlama uygulanmayan grupta artışın çok yavaş olduğu, her iki ışınlanmış grupta da TMA miktarının önemsiz seviyelerde olduğu gözlenmiştir. Tüm gruplarda TVB-N miktarı yavaş bir artış göstermiş ve 42. günün sonunda sırasıyla; 67.3, 57.8 ve 43.1 mg N/100 gr değerlerine ulaşmıştır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, 3 kGy dozunda ışınlamanın fazladan 9-10 gün raf ömrü sağladığı bildirilmiştir.

Mendes ve ark. (2005), araştırmalarında taze istavrit balıklarını (*Trachurus trachurus*) 1 ve 3 kGy dozlarında ışınlamışlar ve ardından 23 gün boyunca 0±1°C buzda depolamışlardır. ışınlama yapılmayan örnekleri ise yalnızca buzda depolayarak, ışınlamanın raf ömrü ve Atlantik uskumrusunun TMA, histamin, spermidin gibi değerlerine etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Araştırma sonuçlarında, ışınlama yapılmadan yalnızca buzda depolanmış örneklerin raf ömrünün duysal olarak 8 günde dolduğunu, ışınlanma ile birlikte buzda bekletilen örneklerde ise bu srenin 4 gün uzadığını tespit etmişlerdir. Buzda depolama süresi olan 23 günün sonunda ışınlanmış örneklerde histamin tespit edilemezken, ışınlanmamış örneklerde ise yasal sınırı (100 mg/kg) geçmediği belirlenmiştir. Ayrıca mikrobiyolojik sonuçlara bakıldığında toplam aerobik ya da fakültatif gram negatif anaerobik bakteri sayısının gram pozitif bakteri

sayısına oranının iyonize radyasyona maruz bırakılmış örneklerde %10-18 daha az olduğu tespit edilmiştir.

Özden ve ark. (2007a), 2 ve 4°C’de depolanan çipuralara (*Sparus aurata*) 2,5 ve 5 kGy dozlarında uygulanan ışınlamanın besin kompozisyonu, yağ asitleri ve aminoasit kompozisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, ışınlanmış örneklerin doymamış yağ asitlerinin ışınlanmamış olanlardan önemli derecede düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca aspartik asit, glutamik asit, serin, glisin, arjinin, alanin, tirosin, sistin, triptopan, lisin ve prolin bileşenlerinin 2.5 ve 5 kGy dozdaki ışınlamalarda önemli derecede azaldığını belirlemişlerdir.

Özden ve ark. (2007b), levreklerin (*Dicentrarchus labrax*) raf ömrüne farklı dozlarda ışınlama ve buzdolabı koşullarında muhafazanın etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; 2,5 ve 5 kGy dozlarında ışınlanarak 4°C’de depolanan örneklerin, ışınlanmadan 4°C’de depolanan örneklerle göre mikrobiyal yüklerinin önemli derecede düştüğünü tespit etmişlerdir. Depolama süresi sonunda 2,5 ve 5 kGy dozlarında ışınlama uygulanarak buzdolabında depolanan örneklerin TVB-N değerlerinin sırasıyla 25,26 ve 23,61 mg/100 g olduğunu, ışınlanmamış örneklerde ise bu değerlerin 36,44 mg/100 g’a yükseldiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, ışınlanmış örneklerin TMA ve TBA değerlerinin de ışınlanmamış olanlardan düşük olduğu bu araştırmanın sonuçları arasında yer almaktadır. Araştırmacılar duyuusal değerlendirmelerin bu sonuçları desteklediğini, ışınlanmamış levreklerin buzdolabında depolanabilme süresinin 13 gün, 2.5 kGy dozunda ışınlananların 15 gün ve 5 kGy dozunda ışınlananların ise 17 gün olduğunu tespit etmişlerdir.

Mbraki ve ark. (2009b), vakum paketlenerek ardından 1,5 kGy dozda ışınlanan uskumruların (*Scomber japonicus*) 1°C’de soğuk depolanması üzerine yaptıkları çalışmada, yalnızca vakum paketlenen kontrol grubunda raf ömrünün 7 gün, vakum paketlenmeden sonra ışınlama uygulanan grubun ise 14 gün olduğunu tespit etmişlerdir.

Moini ve ark. (2009), araştırmalarında 0, 1, 3 ve 5 kGy dozda ışınlamanın sodyum asetat ile işlem görmüş, vakum paketlenmiş ve buzdolabında depolanan alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarının raf ömrüne etkisini belirlemeyi amaçlamışlardır. Araştırmada, ışınlamanın bakteri popülasyonunun inhibe edilmesini olumlu yönde etkilediğini, duyuusal analizlerde ise bakteri popülasyonu ile depolama süresi arasında ilişki olduğu tespit etmişlerdir. Ayrıca yüksek dozda (5 kGy) ışınlamanın mikroorganizma gelişimini inhibe ettiğini, ancak yağ ve protein oksidasyonunu hızlandırdığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar düşük dozda ışınlanan

(3 kGy) alabalık filetolarının 4 haftaya kadar buzdolabı koşullarında mikrobiyal ve biyokimyasal indekslerin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını belirtmişlerdir.

Collins ve ark., (2010), kanal kedibalığı (*Ictalurus punctatus*) filetoları için 0.5, 1 ve 1.5 kGy dozlarındaki ışınlama uygulamasının renk, tekstür ve yağ oksidasyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmanın sonunda 3°C’de 17 gün boyunca depoladıkları filetoların renk, doku ve yağ oksidasyonu (TBARs) değerlerinde ışınlamadan kaynaklı bir değişim olmadığını ve düşük dozda ışınlanmış kedibalığı filetolarının kontrol grubundan ayırt edilemediğini ($p>0.05$) belirtmişlerdir.

Yağız ve ark. (2010), araştırmalarında Atlantik salmonunda (*Salmo salar*) 0, 1, 1.5, 2 ve 3 kGy dozlarında ışınlama işleminin açık ve koyu renkli kas dokusunda astaksantin miktarı ve a^* (kırmızı tonları) değerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmada, 1 kGy düzeyindeki ışınlamanın önemli düzeyde renk değişimi yapmadığı, ışınlamanın dozu arttıkça astaksantin düzeyinde ve a^* değerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar yüksek dozlarda ışınlamanın astaksantin yıkımına ve a^* değerinde değişime neden olduğunu, buna bağlı olarak ışınlama ile renk değişimi arasında bağlantı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca ışınlamanın balığın açık renkli kas dokusunda sebep olduğu renk değişimi etkisinin, koyu renkli dokusuna oranla 3 ile 5 kat daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Özoğul ve ark. (2010a), buzda depolanan levreklerde (*Dicentrarchus labrax*) ışınlamanın nükleotid yıkımı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, buzda depolama süresince 2, 5 ve 5 kGy dozlarında ışınlanan örneklerde nükleotid yıkımının ışınlanmayan örneklerle göre daha yavaş olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ışınlanmış örneklerde hipoksantin ve inosin içeriğinin ışınlanmamış örneklerle göre daha düşük düzeyde olduğu, 5kGy dozdaki ışınlamanın nükleotid yıkım ürünleri açısından 2kGy dozdaki ışınlamadan daha etkili olduğu araştırma sonuçları arasında yer almaktadır.

Özoğul ve ark. (2010b), buzda depolanan çipura (*Sparus aurata*) balığında 2.5 ve 5 kGy’lik dozlarda ışınlamanın nükleotid yıkım ürünlerini araştırdıkları çalışmalarında, depolama süresi sonunda hem 2.5 kGy hem de 5 kGy ile ışınlanan gruplarda çipura balığındaki nükleotid yıkımının yavaşladığını tespit etmişlerdir. Ayrıca araştırmada ışınlanmış çipuralardaki inosin monofosfat (IMP) düzeyinin kontrol grubundan düşük olduğunu tespit etmişlerdir.

Oraei ve ark. (2011), 5 ay boyunca -20°C’de dondurulan gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarında ışınlamanın etkisini gözlemlemek için 1, 3 ve 5 kGy dozunda ışınlama yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, depolama süresi ve

ışınlama dozunun TVB-N, TBA, pH ve peroksit değerleri açısından istatistiksel olarak önemli olduğu ($p<0.05$), depolama süresinin ise çalışmadaki tüm analizler için istatistiksel olarak önemli olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. 5 aylık depolama süresi sonunda en düşük ve en yüksek TVB-N, peroksit ve TBA değerleri sırasıyla 3 ve 5 kGy’lik gruplarda bulunmuştur. Ayrıca duyusal olarak kabul edilebilirlik skorları incelendiğinde, tekstür, koku, renk ve tat kriterleri bakımından en iyi sonuçları 3 kGy doz ile ışınlanan grup elde etmiştir.

Hocaoğlu ve ark. (2012), araştırmalarında 1, 3 ve 5 kGy’lik dozlarla ışınlanan taze karidesleri (*Penaeus japonicus*) buzdolabı koşullarında ($+4^{\circ}\text{C}$) ve dondurucuda (-18°C) muhafaza ederek raf ömrü değişimlerini incelemişlerdir. Araştırmada, kendi içlerinde aynı sıcaklık koşullarında TVB-N ve TMA değerleri ışınlanmış gruplarda önemli ölçüde düşük bulunurken, ışınlama dozu arttırıldıkça bu değişimin daha fazla ortaya çıktığı, pH değerlerinin de ışınlama dozu arttıkça düştüğü tespit edilmiştir. Yine aynı muhafaza koşullarında toplam bakteri sayısının ışınlanmış gruplarda daha düşük bulunduğu ve doz arttıkça farkın yükseldiği araştırma sonuçları arasında yer almaktadır. Ayrıca, yüksek radyasyon dozu uygulanan gruplarda (5 kGy) lipid oksidasyonunun bir miktar yüksek bulunduğunu, ancak mikroorganizma gelişiminin ve protein oksidasyonunun daha düşük bulunduğunu bildirmişlerdir.

Yang ve ark. (2014), fileto haline getirilmiş Atlantik somon balıklarının (*Salmo salar*) vakum paketlenerek ve 10 MeV dozunda radyasyon demeti uygulanarak 4°C ’de buzdolabında muhafaza edilmesinin raf ömrüne etkisini incelemişlerdir. Araştırma sonuçları, kontrol grupları ile karşılaştırıldığında ışınlamanın başlangıçta pH, su miktarı ve çözünmüş protein değişimlerindeki etkisinin önemsiz bulunduğunu, ancak depolama süresi uzadıkça pH, su kaybı ve çözünmüş protein miktarında artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca ışınlanmış gruplarda TVB-N değerleri düşük seviyelerde bulunurken, TBARs değerlerinde artış tespit edilmiştir. Araştırmada ayrıca, 3 kGy’e kadar dozda ışınlamanın jel tutma kapasitesini etkilemediği tespit edilmiştir.

Suklim ve ark. (2014), araştırmalarında mavi yengeçlerin (*Portunas pelagicus*) 2, 4 ve 6 kGy’lik dozlarda Co_{60} kaynağı ile ışınlamasının, fiziksel-duyusal değişimler ile *Listeria monocytogenes*’in inaktivasyonuna etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, 6 kGy’e kadar olan dozların hiçbirinde tekstürel değişim gözlenmediğini ve ayrıca ışınlamanın, renk kriterlerinden biri olan L^* değerinde önemli bir değişim oluşturmadığını tespit etmişlerdir ($p>0.05$). 0.35 ve 0.45 kGy’lik düşük dozlarda

Listeria monocytogenes'in inaktif hale geldiği ve L* değerinde istenmeyen değişikliklerin meydana gelmediği araştırmanın sonuçları arasında yer almaktadır.

2.2.2. Dondurma Teknolojisinde Yapılan Bazı Çalışmalar

Kaya (1998), hava akımlı dondurucuda -35°C'de dondurularak -29°C'de 12 ay süre ile depolanan gökkuşağı alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) depolama süresi, antioksidanlı glaze uygulaması, sodyum metafosfat+tuz (NaCl) çözeltisine daldırma, iç organların çıkartılması ve kan akıtma işlemlerinin etkisini araştırmıştır. Araştırmada, TVB-N miktarı açısından uygulanan işlemlerin önemli bir etkisinin olmadığını, depolama süresinin etkili olduğunu tespit etmiştir. Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı dondurmadan sonra yüksek bir oranda azalmış ve depolama süresince bu azalma devam etmiştir. Toplam mezofilik bakteri sayısı üzerinde uygulanan işlemler etkili olmazken, depolama süresinin etkili olduğunu gözlemlemiştir. Araştırmada ayrıca ağırlık kaybı üzerinde uygulanan hiçbir yöntemin ve depolama süresinin etkili olmadığını, duyuusal testlerde belirlenen kalite özellikleri ile kimyasal olarak belirlenen kalite özellikleri arasında uyum olduğunu tespit etmiştir.

Demirci ve Orak (1999), istavrit balığının (*Trachurus trachurus*) farklı soğutma ortamlarında depolanması ile meydana gelen kalite değişimlerini incelemeyi ve raf ömrünün belirlenmesini amaçlamıştır. Araştırmada istavrit balığı, deniz suyu ve çeşme suyundan elde edilen buzda -1°C'de, deniz suyu (DS) ve deniz buzunda (DB) +1°C'de, çeşme suyu (ÇS) ve çeşme buzunda (ÇB) +1°C'de olmak üzere farklı soğutma ortamlarında muhafazası yanında, -12°C'de dondurulmuştur. Araştırmada soğukta muhafaza edilen istavrit balığına ilişkin kalite değerlerinin tamamının 18. güne doğru giderek azaldığı ve tüketilebilirlik sınırını aşıldığı, DS+DB ve ÇS+ÇB'da muhafazada da benzer sonuçlar elde edildiği ve balıkların her iki ortamda 11. günden sonra tüketilebilirlik sınırını aştığı saptanmıştır. -12°C'de depolanan örneklerin ise 18. günde tazeliklerini koruduğu tespit edilmiştir.

Dönmez ve Tatar (2001), kültür yoluyla üretilmiş olan gökkuşağı alabalığını (*Oncorhynchus mykiss* W.) fileto ve bütün olmak üzere -30°C'de dondurarak depolamıştır. Araştırma sonucunda, gökkuşağı alabalığının bir yıllık muhafazası sonucu toplam yağ oranlarında önemli bir değişim gözlenmediği, bununla birlikte doymuş yağ asitleri oranının arttığı, doymamış yağ asitlerinin oranının ise azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, araştırmacılar gökkuşağı alabalığının fileto edildikten sonra muhafaza edilmesini ve en geç dokuzuncu ayın sonuna kadar tüketilmesini önermişlerdir.

Turan (2002), araştırmasında farklı balıklarda dondurma öncesi ve sonrası yapılacak işlemlerin ürün kalitesine ve depo ömrüne etkilerini incelemiştir. Hava akımlı dondurucuda palamut balıklarını (*Sarda sarda*) -35°C’de dondurarak 6 ay, gökkuşağı alabalıklarını (*Oncorhynchus mykiss*) ortalama -25.2°C’de dondurarak 12 ay süre ile depolamıştır. Depolanma süresince sodyum polifosfat kullanımının gökkuşağı alabalığında olumlu sonuç vermediğini, ambalajlamanın ise hem su kaybı hem de yağ oksidasyonu bakımından etkili olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca iç organ çıkarma işleminin her iki balıkta da TVB-N miktarı üzerine etkisinin önemli olduğunu, TBA’yı ise etkilemediğini, ancak buzlama işlemi ile birlikte iç organ çıkarma işleminin TBA’yı artırıcı etki gösterdiğini belirlemiştir. Araştırmanın diğeri sonuçları arasında, yağ oksidasyonunun önlenmesi açısından askorbik asitli glaze’in katkısız glaze’e göre daha iyi sonuç verdiğı ve donmuş depolama süresince hem palamut hem de gökkuşağı alabalığının kimyasal ve duyuşal açıdan iyi kalitede bulunduğı yer almaktadır.

Bilgin (2003), dağ alabalığında (*Salmo trutta macrostigma*) çeşitli muhafaza yöntemlerinin (sıcak dumanlama, kuru tuzlama, salamura ve dondurma) kimyasal yapıya olan etkilerini araştırdığı çalışmasında, depolama süreleri sonunda taze balığa göre en az değışimin dondurulmuş balıklarda görüldüğünü tespit etmiştir. Dondurulmuş örneklerin su oranının depolama süresince (180 gün) zamanla azaldığını tespit etmiştir. Ayrıca taze balıkta bulunan ortalama yağ miktarı %2,551±0,16 iken depolama süresine bağılı olarak arttığını ve 180. günde %4,307±0,08’e yükseldiğini belirlemiştir. Yağ asitlerinin düzensiz bir değışim göstermekle birlikte 180 gün sonunda azaldığı, TBA ve TVB-N miktarlarının depolama boyunca artış gösterdiğini ve bu artışın 90-180. günler arasında TBA değışerlerinde önemsiz, TVB-N değışerlerinde ise önemli olduğı araştırmanın sonuçları arasında yer almaktadır.

Yılmaz ve Akpınar (2003), kemani vatoz (*Rhinobatos rhinobatos*) filetolarını -18°C’de 6 ay süre ile polietilen torbalarda vakumlu ve vakumsuz olarak ambalajlayıp depolayarak besin madde içeriğini araştırmışlardır. Araştırmacılar, kemani vatoz filetolarının 6 ay boyunca pH değışerinin 6,50-6,82, toplam uçucu bazik azot (TVB-N) değışerinin 19,87-48,62 mg/100 gr, nem değışerinin %75,83-79,88, ham protein değışerinin %16,63-22,63, ham yağ değışerinin %0,2-0,7 ve ham kül değışerinin ise % 1,00-1,65 arasında değıştiğini tespit etmişlerdir. Vakumlu filetolar, duyuşal değışerlendirme sonucunda, görünüş, koku, sululuk, lezzet, çiğneme özelliğı ve genel beğeni yönünden 10 üzerinden 6,0-9,0 puanlar alırken, vakumsuz filetolar 5,7-9,0 arasında puanlar alarak orta derecede beğeni kazanmışlar ve tüketilebilirlik sınırları içinde kalmışlardır.

Ekinci ve Yapar (2004), üç farklı sıcaklıkta (-30,-35 ve -40°C) ve iki farklı hava sirkülasyonunda (0m/s ve 2m/s) dondurulan alabalıkların (*Oncorhynchus mykiss*) donma ve çözünme zamanlarını belirlemeyi amaçladıkları araştırmalarında dondurma sıcaklıkları ve hava sirkülasyonlarının ön soğutma ve donma süreleri üzerine önemli derecede etkisinin olduğunu, düşük dondurma derecelerinde ve artan hava sirkülasyonunda, donma süresinin kısaldığını tespit etmişlerdir Bununla birlikte dondurma sıcaklıkları ve hava sirkülasyonlarının, çözünme süresi üzerine etkisinin önemli olmadığını belirlemişlerdir.

Arannilewa ve ark. (2005), araştırmalarında tilapya balığında (*Sarotherodon galiaenus*) donmuş muhafazanın kimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşal özelliklere etkilerini incelemişlerdir. 60 günlük depolama periyodu sonunda protein miktarında depolama süresine bağılı olarak azalma tespit edilmiştir. Araştırmada ayrıca kül ve nem değışimlerinin istatistiksel olarak önemsiz ($p<0.05$) olduğı belirlenmiştir. pH değıerleri depolama süresi sonunda 6.90 olarak saptanmıştır. Toplam koliform bakteri aralığı 3.0×10^3 ile 7.5×10^6 arasında depolama süresine bağılı olarak artış göstermiştir. Depolama süresi boyunca duyuşal değışimlerde önemli bir fark tespit edilememiştir.

Tokur ve Kandemir (2008), dondurulmuş alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) ve sardalyanın (*Sardina pilchardus*), mikrodalgada, akan su altında ve oda sıcaklığında çözündürmenin protein kalitesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Alabalık ve sardalyada dondurma ve çözdürme işleminin myofibriller proteinlerin miktarında azalmaya neden olduğı, her iki balık türü için protein çözünürlüğünde önemli bir azalma olduğı tespit edilmiştir. Her iki balık türü için en yüksek protein çözünürlüğünün akan su altında çözündürölme sonucunda gerçekteştiğı tespit edilmiştir.

Yerlikaya ve Gökoğlu (2010), araştırmalarında palamut balığı (*Sarda sarda*) filetolarının dondurulmuş depolama süresince kalitesinin korunması amacıyla yeşil çay (*Camelia sinensis*), üzüm çekirdeğı (*Vitis vinifera*) ve nar kabuğı (*Punica granatum*) ekstraktları uygulamışlardır. Filetolar dondurma işleminde bitki ekstraktlarına daldırılmış, dondurulduktan sonra ise glaze yapılmış ve -18°C'de 5 ay depolanmıştır. Depolama süresinin sonunda yeşil çay ekstraktı uygulanmış filetolar koku ve tekstür bakımından panelistlerin beğenisini kazanırken, parlaklık değıerlerinin de yüksek olduğı tespit edilmiştir. Ayrıca, filetoların glazing işleminde öncesi bitki ekstraktlarına daldırılması ile kas yapısında meydana gelen deformasyonun oldukça azalmış olması da araştırmanın sonuçları arasında yer almaktadır.

Ekici ve ark. (2011), bütün halde ve baş ve iç organları çıkarıldıktan sonra -18°C’de dondurulan inci kefalini (*Chalcalburnus tarichi*, Pallas, 1811) yine aynı sıcaklıkta 120 gün süreyle muhafaza ederek meydana gelen mikrobiyolojik, kimyasal ve duyuşsal değişiklikler ile histamin ve tiroamin miktarlarını incelemişlerdir. Araştırmada her iki örnek için de muhafaza süresince toplam aerob psikrofil mikroorganizma, *Enterobacteriaceae*, fekal streptokok, laktobasiller ve koliform grubu mikroorganizma sayılarının düzensiz bir seyir izlediği tespit edilmiştir. Ayrıca, temizlenen örneklerin toplam aerob mezofil mikroorganizma sayısında ve *Pseudomonas* spp. sayısında azalma saptanmıştır. Tüm gruplarda TVB-N ve pH miktarında önemli değişiklik olmadığı ve duyuşsal analiz puanlarının düştüğü de araştırmanın sonuçları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, örneklerin hiçbirinde histamin ve tiroamin bulunamamıştır. Araştırmacılar, temizlenip dondurularak muhafaza edilen inci kefalinin duyuşsal özellikleri ve raf ömrü üzerine olumlu etkisinin olduğunu, en uygun muhafaza metodunun baş ve iç organlar çıkarılarak muhafaza olduğu, bu balıkların dondurularak muhafaza edilmeleri halinde kalite özelliklerinin 120 gün süreyle korunabileceği sonucuna varmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

3.1.1. Denemede Kullanılan Balıklar

Deneme materyali olarak Marmara Denizi'nden avlanan Palamut (*Sarda sarda* Bloch, 1793) balıkları kullanılmıştır. Balıkların, avcı teknesi ile anlık iletişimler ve takiplerle İstanbul Kumkapı Balık Hali'ne en hızlı şekilde ulaştırılmasına gayret gösterilmiştir. Balıkların ortalama ağırlığı 350 ± 50 gr olup, 96 adeti (Şekil 3.1) materyal olarak kullanılmak üzere alınmıştır.



Şekil 3.1. Deneme materyali olarak kullanılan palamut (*Sarda sarda* Bloch, 1793) (Orijinal)

3.1.2. Denemede Kullanılan Buz

Balıkların muhafazasında kullanılan ve şebeke suyundan üretilen yaprak tipi buz (Şekil 3.2.), İstanbul Kumkapı Balık Hali'nde bulunan ana buz ünitesinden temin edilmiş ve 6 adet büyük boy strafor kutuda muhafaza edilmiştir. İlk buzlama, taşıma ve ısınlama evresinde kullanılan buz miktarı yaklaşık 50 kg'dır.



Şekil 3.2. Denemede kullanılan buz (Orijinal)

3.1.3. Paketlemede ve Örneklemede Kullanılan Materyaller

Işınlama işlemi öncesi balıkların paketlenmesi için, polietilen (PE) malzemeden üretilen 25x35 cm'lik ev tipi kilitli buzdolabı poşetleri ve hangi gruba ait olduğunu belirtmek için 5x12 cm ebatlarında lazer yazıcı ile yazılmış suya dayanıklı kendinden yapışkanlı etiketler kullanılmıştır (Şekil 3.3.)



Şekil 3.3. Paketlenmiş deneme materyali (Orijinal)

Taze balıktaki analizler için gerekli olan balık örneğinin muhafazasında, önce alkolde sonra da 5 kGy'lık iyonize radyasyonda sterilize edilen 6 adet 1 kg'lık kapaklı cam kavanozlar (Şekil 3.4.) (ışınlama işlemi sonrası cam materyalin tamamı şeffaflığını yitirip amber rengini almıştır) kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Balık örneği için kullanılan kavanozlar (Orijinal)

3.1.4. Işınlama Tesisi

Balıkların ışınlanmasında Tekirdağ Çerkezköy’de bulunan Gamma Pak Sterilizasyon Anonim Şirketi’ne ait olan Işınlama Tesisi kullanılmıştır (Şekil 3.5). Şekil 3.6’da ise Co₆₀ radyoaktif izotop kaynağı görülmektedir.



Şekil 3.5. Işınlamanın yapıldığı Gamma-Pak Sterilizasyon Anonim Şirketi’ne ait olan ışınlama tesisi (Orijinal)



Şekil 3.6. Araştırmada kullanılan Co₆₀ radyoaktif izotop kaynağı (Orijinal)

3.1.5. Kullanılan Dozimetre

Strafor kutularda muhafaza edilen balıklara önceden belirlenen radyasyon dozunun absorblanmasının tespit edilebilmesi için Şekil 3.7’de görülen dozimetre (Harwell Amber Perspex Dosimeter/Harwell Dosimeters U.K. Batch W, Type 3042 Range 1-30 kGy) kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Araştırmada kullanılan dozimetre (Anonim, 2014g)

3.1.6. Dondurma Esnasında ve Depolama Süresince Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

3.1.6.1. Dijital Termometre

Ön soğutma, şok dondurma ve balığın merkez sıcaklığını ölçmek için CNET marka (-50 - +150°C) dijital termometre (Şekil 3.8) kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Araştırmada kullanılan dijital termometre (Orijinal)

3.1.6.2. Şok Dondurma Ünitesi

Işınlanmış balıkların dondurulmasında WiseCryo marka, maksimum -86°C’de çalışabilen süper dondurucu kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Araştırmada kullanılan süper dondurucu (Orijinal)

3.1.6.3. Muhafaza Ünitesi

Donmuş balıkların, deneme süresi boyunca depolanması için maksimum $-25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de görev yapabilen Uğur UCF 600 S (Şekil 3.10) marka / model yatay tip derin dondurucu kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Donmuş muhafazada kullanılan dondurucu (Orijinal)

3.1.7. Analizler için Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

3.1.7.1. Saf Su Cihazları

Tüm analizler için gerekli olan ultra saf suyun eldesinde, Şekil 3.11'de solda görülen MILLIPORE / RiOs-8 marka / model cihazı ile sağda görülen MILLIPORE Synergy-UV marka / model ultra saf su cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Araştırmada kullanılan saf su cihazları (Orijinal)

3.1.7.2. Blender ve Homojenizatör

Işınlama öncesi ve sonrası taze balıklarda yapılacak analizler için gerekli olan balık numunelerinin homojenizasyonu için Sinbo SBH-3028 marka/model el blenderi kullanılmıştır. Dondurulmuş balıkların çözdürüldükten sonra hem analiz öncesi homojenizasyonunda hem de analizleri esnasında Yellowline / DI 25 Basic marka / model ultra-turrax (Şekil 3.12) kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Araştırmada kullanılan homojenizatör (Orijinal)

3.1.7.3. TVB-N Destilasyon Ünitesi

Deneme süresi boyunca toplam uçucu bazik azot (TVB-N) analizleri için Şimşek AP-1106 (Şekil 3.13) marka / model azot tayin cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Araştırmada kullanılan TVB-N destilasyon ünitesi (Orijinal)

3.1.7.4. pH Metre

Tüm analiz dönemi boyunca Thermo / Orion 4 Star marka / model (Şekil 3.14) pH metre kullanılmıştır.



Şekil 3.14. Araştırmada kullanılan pH metre (Orijinal)

3.1.7.5. Sterilizatörler

Deneme süresi boyunca mikrobiyolojik analizlerde kullanılmak üzere hazırlanan besiyerleri, tamponlar, solüsyonlar vb. gibi maddelerin sterilizasyonu için, uygun kapasite sunmasından dolayı Nüve / SteamArt OT 40L (Şekil 3.15) marka / model dikey tip sepetli sterilizatör kullanılmıştır. Pipet ve pipet uçları, cam tüpler, spatüller vb. için ise kullanım kolaylığı ve ısınma süresi bakımından New Clave / Autohouse AD7 marka / model yatay tek raflı sterilizatör kullanılmıştır.



Şekil 3.15. Araştırmada kullanılan sterilizatörler (Orijinal)

3.1.7.6. Hassas Terazî

Araştırma süresi boyunca analizler için gerekli balık homojenizatının ve kimyasal maddelerin tartımında Radwag / AS 220-C-2 marka/ model (şekil 3.16) kabinli hassas terazi kullanılmıştır.



şekil 3.16. Araştırmada kullanılan hassas terazi (Orijinal)

3.1.7.7. Rotary Evaporatör

Yağ analizleri için kullanılan balonlarda bulunan eterin etüve koyulmadan önce ayrıştırılmasında Buchi R-3000 marka / model (şekil 3.17) rotary evaporatör kullanılmıştır.



şekil 3.17. Araştırmada kullanılan rotary evaporatör (Orijinal)

3.1.7.8. Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı

Kimyasal maddelerin çözünmesini hızlandırmak ve TBA analizinde sıcaklığı sabit tutarak ısıtmasını sağlamak amacıyla Stuart CD 162 marka / model (Şekil 3.18) ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 3.18. Araştırmada kullanılan ısıtıcılı manyetik karıştırıcı (Orijinal)

3.1.7.9. Laminair Flow Kabini

Mikrobiyolojik ekimlerin hassas ve güvenilir olması açısından Bilser Sınıf I BLF-2000 marka / model laminair flow kabin (Şekil 3.19) kullanılmıştır.



Şekil 3.19. Araştırmada kullanılan laminair flow kabin (Orijinal)

3.1.7.10. Koloni Sayıcı

İnkübasyon süresi sonunda elde edilen bakteriyel koloniler Funke Gerber marka koloni sayıcı ile sayılarak hesaplanmıştır.

3.1.7.11. Pişirici Fırın

Organoleptik analiz için balıkların pişirilmesinde 1600W gücünde Ulubaş marka mini fırın kullanılmıştır

3.1.7.12. İnkübatör

Mikrobiyolojik ekim sonrasında psikrofilik bakteri grupları hariç diğer tüm petrilerin inkübasyonunda Nüve EN 120 marka / model inkübatörden yararlanılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Araştırmada kullanılan inkübatör (Orijinal)

3.1.7.13. Su Aktivitesi (a_w) Cihazı

Araştırma süresi boyunca su aktivitesi (a_w) ölçümleri Novasina LabShift-aw (Şekil 3.21) marka / model cihaz ile yapılmıştır.



Şekil 3.21. Araştırmada kullanılan su aktivitesi cihazı (Orijinal)

3.1.7.14. Etüv

Tüm analizlerde hem dara alma öncesi ve sonrası kurutucu-uçurucu olarak hem de kuru madde analizleri için SANTEZ SE-65 (Şekil 3.22) marka /model etüv kullanılmıştır.



Şekil 3.22. Araştırmada kullanılan etüv (Orijinal)

3.1.7.15. Spektrofotometre

Araştırma süresi boyunca Trimetilamin (TMA) ve Tiyobarbitürik asit (TBA) analizlerinin hem standart değerlerinin elde edilebilmesi hem de aylık örnek

absorbanslarının belirlenebilmesi için Rayleigh VIS 723G (Şekil 3.23) marka / model spektrofotometre kullanılmıştır.



Şekil 3.23. Araştırmada kullanılan spektrofotometre (Orijinal)

3.1.7.16. Protein Yakma Ünitesi

Taze balıklardaki protein miktarının tespit edilebilmesi amacıyla maksimum 420°C’de çalışan ENDA ETC1311 marka / model yakma ünitesinden (Şekil 3.24) yararlanılmıştır.



Şekil 3.24. Araştırmada kullanılan protein yakma ünitesi (Orijinal)

3.1.7.17. Protein Destilasyon Ünitesi

Protein miktarının titrasyon öncesindeki destilasyon işlemi Eflab EF₂ marka / model destilasyon ünitesinde (Şekil 3.25) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.25. Araştırmada kullanılan protein destilasyon cihazı (Orijinal)

3.1.7.18. Kül Fırını

Balıklardaki ham kül miktarının tespitinde, maksimum 600°C'ye ulaşabilen Protherm marka kül fırını (Şekil 3.26) kullanılmıştır.



Şekil 3.26. Araştırmada kullanılan kül fırını (Orijinal)

3.1.7.19. Ham Yağ Ekstraksiyon Ünitesi

Balıklardaki ham yağ miktarının tespiti için Gerhardt SE-416 marka / model tam otomatik soxtherm yağ ekstraksiyon cihazı (Şekil 3.27) kullanılmıştır.



Şekil 3.27. Araştırmada kullanılan ham yağ ekstraksiyon cihazı (Orijinal)

3.1.8. Araştırmada Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Denemede kullanılmış olan kimyasal malzemelerin markaları ve ürün kodları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Araştırmada kullanılan kimyasal malzemeler

Kimyasal Adı	Marka	Ürün Numarası
Triklorasetik asit (Cl_3CCOOH)	Merck	1.00810.0250
Magnezyum oksit (MgO)	Tekkim	TK.200920.01000
Tiyobarbitürik asit ($\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$)	Merck	1.08180.0025
Pikrik asit ($(\text{NO}_2)_3\text{C}_6\text{H}_2\text{OH}$)	Sigma-Aldrich	197378-500G
Trimetilamonyum klorid ($(\text{CH}_3)_3\text{N}^+\text{HCl}^-$)	Merck	8.21178.0005
Sodyum hidroksit (NaOH)	Merck	1.06498.1000
Etil alkol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	Merck	1.00983.2511
Glasiyel asetik asit (CH_3COOH)	Merck	1.00063.2500
Toluen-anhidrit ($\text{C}_6\text{H}_6-\text{CH}_3$)	Tekkim	TK.170590.01000
Hidroklorik asit (HCl) (%37)	Merck	1.00317.2500
Formaldehit (%37) (CH_2O)	Tekkim	TK.060162.01001
Parafin (Likit)	Tekkim	TK.200630.05001
1,1,3,3-Tetraethoxypropane	Sigma-Aldrich	T9889
Alkali peptonlu su	Merck	1.01800.0500
Plate count agar (PCA)	Merck	1.05463.0500
Borik asit (H_3BO_3)	Merck	1.00165.1000

Devamı arkada

Potasyum karbonat (K ₂ CO ₃)	Tekkim	TK.150431.01002
Sülfürik asit (H ₂ SO ₄)	Merck	1.00731.2500
Violet red bile agar (VRBA)	Merck	1.01406.0500
Dietil eter ((C ₂ H ₅) ₂ O)	Merck	1.00923.5000
Kjeldahl katalizör tabletleri	Merck	1.15348.1000
3,5-Di-tert-4-Butilhidroksitoluen (BHT)	Sigma-Aldrich	CA47168
Ethanol (%70)	Merck	1009672500

3.1.9. Araştırmada Kullanılan Laboratuvarlar

Araştırmada taze balıktaki mikrobiyolojik analizler Bilim Laboratuvarları Sağlık ve Laboratuvar Hizmetleri Limited Şirketi'ne (İstanbul) yaptırılmıştır. Bunun dışındaki tüm fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve organoleptik analizler Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi İşleme Teknolojisi Laboratuvarı, Mikrobiyoloji Laboratuvarı ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Laboratuvarında araştırmacı tarafından yapılmıştır.

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Deneme Planı

Deneme 3 grup 2 tekerrür olarak planlanmıştır. Denemenin toplam süresi 12 ay olup, deneme planı ve denemede kullanılan balık sayıları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

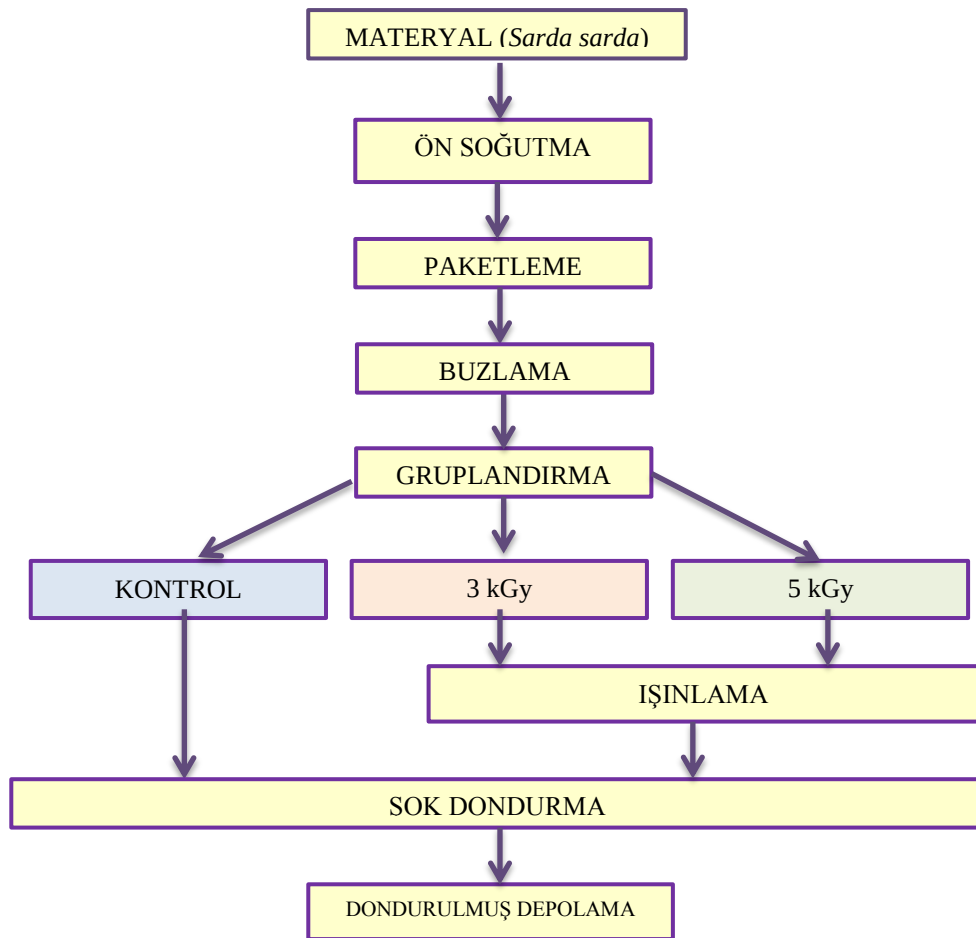
Çizelge 3.2. Deneme planı ve denemede kullanılan balık sayısı

Aylar Gruplar	A Grubu		B Grubu		C Grubu	
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1

11	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1
Toplam Balık Adedi	24		24		24	
Toplam					72	
Besin Kompozisyonu ve Taze Balıktaki Mikrobiyolojik Analizler					12	
Genel Toplam					84	

3.2.2. Işınlama, Dondurma ve Depolama İşleminin Uygulanması

Araştırmanın akış şeması Şekil 3.28’de sunulmaktadır, ışınlama, dondurma ve depolama işlemlerinin nasıl yapıldığı açıklanmıştır.



Şekil 3.28. Araştırmanın akış şeması

3.2.3. Balığın Temin Edilmesi ve Ön İşlemler

Marmara Denizi'nden 2012 yılının Ekim ayında avlanan palamutlar, buzlanmış halde kasalarla İstanbul Kumkapı balık haline ulaştıktan hemen sonra yaklaşık 3 saat $0\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de ön soğutmaya tabi tutulmuştur. Balıklar tahta kasalardan çıkartılıp daha önce etiketlenmiş olan kilitli poşetlere temizlenmeden ve yıkanmadan bütün halde tek tek koyulmuş ve tabanı buz dolu 15 kg'lık strafor kutulara yerleştirilmiştir. Strafor kapakları kapatılmadan önce balıklar arasında kalan boşluklar ve balık yüzeyi bol miktarda buz ile buzlanmıştır.

3.2.4. Işınlama İşlemi

Ön soğutma işleminden sonra, biri kontrol olmak üzere 3 grup ve 2 tekerrür olarak paketlenen ve yeterli miktarda buz ile buzlanan balıklar strafor kutular ile yaklaşık 3 saat içerisinde ışınlama tesisine ulaştırılmıştır. Daha sonra gruplara göre üzerleri etiketlenen ve dozimetreleri çakılan strafor kutuları yine gruplarına göre Co_{60} radyoaktif izotopları kullanılarak gamma ışınlarıyla 3 kGy ve 5 kGy'lik dozlarda iyonize radyasyona maruz bırakılmıştır. Işınlama işleminden sonra taze balık analizleri için her iki gruptan da steril koşullarda bisturi (TKS-No22 marka/numara) ile numuneler alınmıştır.

3.2.5. Dondurma İşlemi

Strafor kutular içerisinde buzlanmış ve ışınlama işlemi tamamlanmış balıklar Çerkezköy Tesisleri'nden karayolu ile 12 saatten daha kısa sürede Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ne getirilmiştir. Balıklar strafor kutuların içerisinde çıkartılarak dikey tip dondurucuda dondurulmuştur.

3.2.6. Depolama

Dikey tip dondurucudan alınan balıklar 12 ay boyunca depolanmak üzere $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kesintisiz çalışan yatay dondurucuya koyulmuştur. Sıcaklık değişimini önlemek amacıyla aylık analizler için gerekli örnek temini ve rutin sıcaklık kontrolleri haricinde dondurucu kapağı açılmamıştır.

3.2.7. Analizler

Analiz işlemleri balığın ilk gün paketlenme süreci ile başlamıştır ve periyodik şekilde mikrobiyolojik, organoleptik ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Ortalama $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan farklı ışınlama dozları ile ışınlanmış palamutların raf ömrünün belirlenmesi için 12 ay boyunca 30'ar günlük dönemlerle analizler yapılmıştır. Aylık

belirlenen zamanlarda her bir grup 2’şer tekerrür, her bir tekerrür 1’er balık ve her bir balıkta 3’er paralel olacak şekilde kimyasal analizler yapılmış, mikrobiyolojik analizler ise her bir tekerrürden 2’şer paralel olacak şekilde uygulanmıştır. Duyusal ve mikrobiyolojik analizlerde balıkların yarısı (filetoları) kullanılmıştır. Sonuçlar değerlendirilirken paralellerin ortalaması alınmıştır.

3.2.7.1. Mikrobiyolojik Analizler

Işınlama işleminden önce ve sonra balıktaki toplam aerob mezofil ve toplam aerob psikrofil bakteri yükünün belirlenmesi için yaklaşık 200’er gram homojenize edilmiş balık eti steril kavanoz içerisinde ve soğuk koşullarda özel bir laboratuvara ulaştırılmıştır. Mikrobiyolojik koloni sayımı, inkübasyon süresi ve sıcaklığı AOAC (2000)’e göre uygulanmıştır.

Dondurma sonrasında aylık düzenli analizler yine aynı yöntemle göre Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi mikrobiyoloji laboratuvarında sürdürülmüştür.

3.2.7.2. Besin Kompozisyonu Analizleri

Kuru Madde Analizi :

Kuru madde analizi, AOAC (1995)’e göre yapılmıştır. Önceden kurutma dolabında 105°C’de yaklaşık 3 saat kadar kurutulan ve oda sıcaklığına kadar desikatörde soğumaya bırakılan kuru madde kapları, darası 0.0001 gr hassasiyetindeki terazide alındıktan sonra homojenize edilmiş balık örneklerinden 3-4 gr koyularak miktarı kaydedilmiştir. Daha sonra 105°C’ye ayarlı etüvde 6-8 saat boyunca sabit bir ağırlığa gelene dek kurutulan kaplar, oda sıcaklığına düşmesi için belli bir süre desikatörde tutulduktan sonra hassas terazide yeniden tartılmıştır.

Bu işlemler sonucunda kuru madde miktarı aşağıdaki formül kullanılarak (3.1) hesaplanmıştır:

$$Kuru\ Madde(\%) = \frac{[(Dara(gr) + Kurumadde(gr)) - Dara(gr)]}{Örnek\ Miktarı(gr)} \times 100 \quad (3.1)$$

Ham Kül Analizi

Ham kül analizi AOAC (1995)’e göre yapılmıştır. Kurutma dolabında 105°C’de kurutulan ve desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulup hassas terazide daraları alınan porselen krezeler içerisine, 2-3 gr numune tartılmış ve tam otomatik kül fırınına yerleştirilip 550°C’de yakılmıştır. 12 saatlik işlem süresinin sonunda tamamıyla yanan

ve açık gri halde bulunan krezeller içindeki kül, desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutularak son ağırlığın tespiti için yeniden hassas terazide tartılmıştır.

Son tartım işlemi sonunda kül miktarının hesaplanması şu formüle (3.2) göre yapılmıştır:

$$Ham\ K\ddot{u}l(\%) = \frac{[(Dara(gr)+Ham\ K\ddot{u}l(gr))-Dara(gr)]}{\ddot{O}rnek\ Miktarı(gr)} \times 100 \quad (3.2)$$

Ham Protein Analizi:

Toplam ham protein analizi Kjeldahl metoduna (AOAC, 1998) göre yapılmıştır. İçerisine 1 gr homojenize balık eti, 2 tablet Kjeldahl katalizör ve 15 ml derişik H₂SO₄ eklenerek yakma ünitesine yerleştirilen tüpler, yeşil-sarı saydam bir renge dönüşünceye kadar 420°C’de 1-2 saat yakılmıştır. Yakma işleminin ardından tüpler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış ve soğuduktan sonra içerisine 75 ml su eklenmiştir. Kjeldahl cihazına Kjeldahl tüpleri, destilat toplama kısmına ise, 25 ml % 4’lük borik asit (H₃BO₃) çözeltisi, 3 damla brom krezol yeşili ve 3 damla metil kırmızısı eklenen erlen yerleştirilerek, 50 ml % 33’lük NaOH ile 7 dakika destilasyon işlemi yapılmıştır. Destilasyon sonunda erlen içerisindeki destilat 0.1N HCl ile rengi şeffaf olana kadar titre edilmiştir.

Sarf edilen HCl miktarı kaydedilerek aşağıdaki formül (3.3) yardımıyla protein miktarları bulunmuştur:

$$\%N = [0,014 \times N \times (V_1 - V_2) \times 100] / m \quad (3.3)$$

$$Ham\ Protein(\%) = \%N \times 6.25$$

V_1 = Titrasyonda harcanan HCl asit çözeltisinin hacmi (ml)

V_2 = Kör için titrasyonda harcanan HCl asit çözeltisinin hacmi (ml)

N = Kullanılan hidroklorik asit çözeltisinin derişimi

m = Alınan örneğin ağırlığı (gr)

Ham Yağ Analizi:

Ham yağ analizi AOAC (2005) yöntemine göre, Gerhardt SE-416 marka / model tam otomatik soxtherm yağ ekstraksiyon cihazı kullanılarak yapılmıştır. Cihazın kendi özel beherleri kurutma dolabında 105°C’de yaklaşık 3 saat kurutulduktan sonra

desikatöre alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Daha sonra beherler hassas terazide tartılarak ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. Selüloz kartuş ayakları beherlerin içerisine yerleştirildikten sonra ayaklar üzerine kartuşlar sıkıştırılarak içlerine 2'şer gram homojenize balık eti koyulmuştur. Örneklerin işlem esnasında kartuşun dışına çıkmasını önlemek için kartuş tepeleri ham pamuk ile gevşek bir biçimde kapatılmıştır. Son işlem olarak her bir beherin içerisine 130 ml dietil eter ((C₂H₅)₂O) eklenerek cihaza yerleştirilmiş ve otomatik programı devreye sokulmuştur. Yaklaşık 4 saatlik işlemin tamamlanmasının ardından, beherler cihazdan alınarak kalıntı eterin beherden uzaklaştırılması amacıyla etüvde 105°C'de yaklaşık 3 saat bekletilmiştir. Son olarak desikatörde soğutulan beherlerin ağırlıkları hassas terazide kaydedilmiştir.

Toplam ham yağ miktarının hesaplanmasında aşağıdaki formül (3.4) kullanılmıştır:

$$Ham\ Yağ(\%) = \frac{[(Dara(gr) + Ham\ Yağ(gr)) - Dara(gr)]}{Örnek\ Miktarı(gr)} \times 100 \quad (3.4)$$

Balık Eti Enerji Hesabı:

Balık etinin su, yağ, protein ve karbonhidrat değeri hesaplandıktan sonra (3.5), enerji değeri Atwater metoduna göre hesaplanmıştır (3.6) (Falch ve ark., 2010).

$$Karbonhidrat\ değeri = 100 - (Su + Yağ + Protein + Kül) \quad (3.5)$$

$$Enerji\ (Kcal) = (Yağ * 9) + (Protein * 4) + (Karbonhidrat * 4) \quad (3.6)$$

3.2.7.3. Fiziksel Analizler

pH Ölçümü:

Balık örneklerindeki pH ölçümü Manthey ve ark. (1988)'na göre yapılarak Thermo / Orion 4 Star dijital pH metre ile tespit edilmiştir. 2 gr homojenize balık eti 20 ml saf su içersinde (1/10 oranında) 3 dakika süreyle homojenize edilmiş ve pH metre bu solüsyona yaklaşık 1 dakika boyunca daldırılarak pH değeri belirlenmiştir.

Su Aktivitesi (a_w):

Su aktivitesinin (a_w) belirlenmesinde LabShift Novasina marka otomatik su aktivitesi cihazı kullanılmıştır. Cihazın numune kutularına yaklaşık 3 gr numune koyulmuş ve sonuçlar elde edilmiştir.

3.2.7.4. Kimyasal Analizler

Toplam Uçucu Bazik Azot (TVB-N) Analizi:

Balık etindeki TVB-N miktarı, Antonacopoulos tarafından modifiye edilmiş Lücke - Geidel metodu ile belirlenmiştir (Ludorf ve Meyer, 1973).

Homojenize balık etinden 2 gr tartılarak destilasyon tüpüne aktarılmış, üzerine 100ml saf su ve 0.5-1 gr magnezyum oksit (MgO) ilave edilmiştir. 250 ml'lik erlenmayer içine 5 ml %3'lük borik asit, 4 damla taşhiro indikatörü ve 50 ml distile su konulmuştur. Destilasyon cihazının destile buhar ucu erlenmayerin içerisine daldırılmıştır. Örnek 10 dakika destile edildikten sonra destilasyon sonlandırılarak erlen içine toplanan destilat 0.1N HCl ile nötr noktaya kadar titre edilmiştir.

Örneklerdeki TVB-N miktarı aşağıdaki formüle göre (3.7) hesaplanmıştır:

$$TVB-N (mg/100 gr) = (a \times 1.4 \times 100) / m \quad (3.7)$$

a: ml olarak harcanan 0.1 N asit miktarı

m: Örnek miktarı (g)

TVB-N değerine göre balık etinin kalite sınıflandırması Varlık ve ark. (2004)'na göre yapılmıştır. Buna göre;

25 mg/100gr TVB-N içeren örnekler "Çok İyi"

30 mg/100gr TVB-N içeren örnekler "İyi"

35 mg/100gr TVB-N içeren örnekler "Pazarlanabilir"

35 mg/100gr'dan fazla TVB-N içeren örnekler "Bozuk" olarak değerlendirilmektedir.

Trimetilamin Azot (TMA-N) Tayini:

TMA-N tayini Boland ve Paige (1971)'den modifiye edilerek yapılmıştır. 10gr örnek 20ml %7.5'luk triklorasetik asit (TCA) ile 5 dakika homojenize edilmiştir. Homejenizat, Whatman No. 1 filtre kâğıdından erlene süzülüp, süzüntüden 4ml alınmıştır. *Üzerine 1ml %20'lik formaldehit (CH₂O), 10ml susuz tolüen (C₆H₅CH₃), 3ml doymuş potasyum karbonat (K₂CO₃) çözeltisi ilave edilmiş ve tüpler kapatılarak yaklaşık 40 kez kuvvetli şekilde çalkalanmıştır. Üst tabakadan 7-9ml alınarak içinde 0.1gr sodyum sülfat (Na₂SO₄) bulunan test tüplerine konulmuş ve tüpler çalkalanmıştır. Üst tabakadan 5ml alınarak, 5ml pikrik asit ((NO₂)₃C₆H₂OH) çalışma çözeltisine ilave

edilmiş ve yavaşça çalkalanmıştır. Oluşan sarı rengin absorbansı 410 nm dalga boyuna ayarlı spektrofotometrede köre karşı okunarak TMA miktarı hesaplanmıştır.

Standartların hazırlanması: 0.682g trimetilamonyom kloride (TMA-HCL) 1 ml HCl eklenerek 100 ml saf suda çözülmüş ve stok çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan stok çözeltiden 1 ml alınıp 1ml HCl ilave edilmiş ve 100 ml'ye saf suyla tamamlanarak çalışma çözeltisi oluşturulmuştur. Çalışma çözeltisinden 1 ml alınıp 3 ml saf su ilave edilmiş ve böylece 1. standart hazırlanmıştır. Ardından sırasıyla 2 ml çalışma çözeltisi ve 2 ml saf su ile 2. standart, 3 ml çalışma çözeltisi ve 3 ml saf su ile 3. standart hazırlanmıştır. Kör için 4ml saf su kullanılmıştır. Hazırlanan standartlar ve kör için, örneğe ilave edilen (*) çözeltiler eklenerek aynı işlemler yapılmıştır. Standart çözeltiler de spektrofotometrede okunmuş ve Şekil 3.29'da sunulan grafik çizilerek regresyon denklemi hesaplanmıştır.

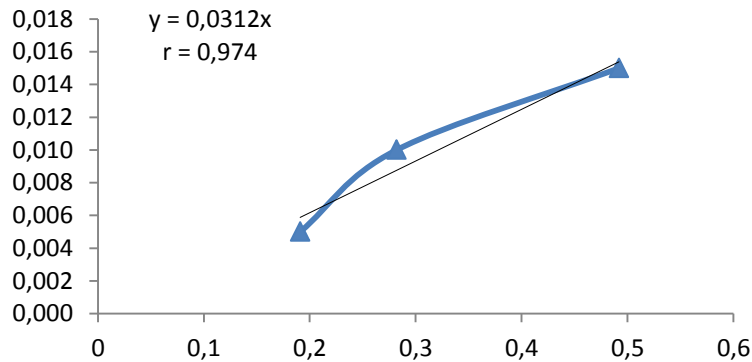
Örneklerin TMA-N değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanmış ve sonuçlar FAO (1986)'ya göre (3.8) değerlendirilmiştir:

$$mg\ TMA / 100gr\ örnek = A \times b \times 300 \quad (3.8)$$

A: Örnek absorbansı

b: Regresyon denkleminin eğimi

**Hazırlanan bu standartlar ve kör, tüplere konularak örnek için yapılan işlemler yapılmıştır.*



Şekil 3.29. Hazırlanan standartların regresyon eğrisi

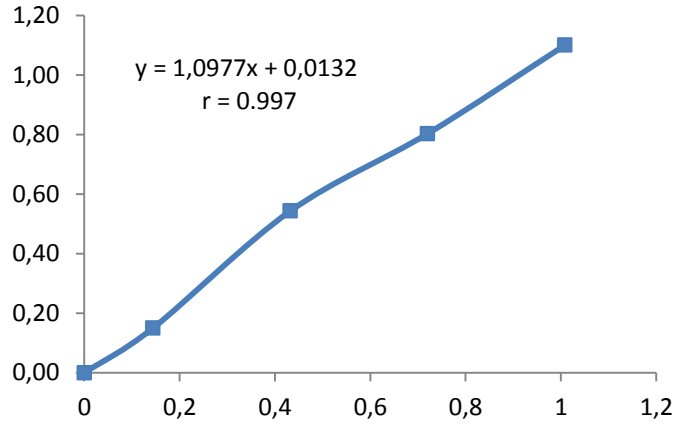
Tiyobarbitürik Asit Reaktif Maddeleri (TBARs) Analizi:

Tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri (TBARs) analizi Erkan ve ark. (2011)'dan modifiye edilerek yapılmıştır. 10 gr balık etine 100 µl bütül hidroksi tolue (BHT) ve 90 ml triklorasetik asit (TCA) ilave edilerek tüm örnekler ultra turraxda 3 dakika homojenize edilmiştir. Daha sonra hunilere Whatman No. 1 filtre kâğıdı yerleştirilerek homojenizat erlenmayerlere süzölmüştür. Süzöntölerden 5'er ml alınıp test tüplerine koyulduktan sonra üzerlerine 5'er ml %10'luk glasiel asetik asitle hazırlanan tiyobarbitürik asit reaktifi eklenerek 75-79°C'ye ayarlı hot plate üzerinde 30 dakika boyunca bekletilmiştir. Sürenin sonunda test tüplerinin soğuması beklenmiş ve spektrofotometrede köre karşı 532 nm'de okunmuştur.

Standartların Hazırlanması: 50 µl (MA) Malondialdehyde bis (diethylacetal)) maddesi 50 ml 0.1 N HCl ile dilüe edilmiştir. Hazırlanan dilüsyon 100°C'de 10 dakika ısıtılmıştır. Bu işlem sonunda elde edilen hidrolize asetalin 2.4 ml'si 100 ml'lik balonda saf su ile işaretime kadar tamamlanarak stok standart hazırlanmıştır. Buradan sıra ile aşağıdaki standartlar hazırlanmıştır:

- *Standart 1:* Stok standarttan 1 ml alınır 50 ml saf su ile işaretime kadar tamamlanır.
- *Standart 2:* Stok standarttan 3 ml alınır 50 ml saf su ile işaretime kadar tamamlanır.
- *Standart 3:* Stok standarttan 5 ml alınır 50 ml saf su ile işaretime kadar tamamlanır.
- *Standart 4:* Stok standarttan 7 ml alınır 50 ml saf su ile işaretime kadar tamamlanır.

Daha sonra hazırlanan bu standartlardan 5 ml alınıp üzerine aynı miktarda TBA ayıracı eklenmiştir. Tüpler 75-79°C'ye ayarlı hot plate üzerinde 30 dakika boyunca bekletilmiş ve süre sonunda soğutularak köre karşı okunmuştur. Bu çalışmada hazırlanan standartlardan oluşturulan regresyon eğimi Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Hazırlanan standartların regresyon grafiği

Spektrofotometrede okunan örnek sonuçları standartların regresyon denklemi üzerinden hesaplanarak, aşağıdaki formül ile (3.9) TBARs (μg malonaldehide (MA)/ml) konsantrasyonu bulunmuştur.

$$TBARs (\mu\text{g MA/gr}) = MA (\mu\text{g MA/ml}) \times 90 \text{ ml/Örnek Ağırlığı (gr)} \quad (3.9)$$

$MA (\mu\text{g MA/ml})$: örneğin absorbansı-a/b

90:Seyreltme Faktörü

Örneklerin TBARs değerleri Schormüller (1969)'in bildirdiği kriterlere göre değerlendirilmiştir. Buna göre;

3 mg/kg'a kadar MA içeren örnekler "Çok İyi",

3-5 mg/kg'a kadar MA içeren örnekler "İyi",

5-8 mg/kg'a kadar MA içeren örnekler "Pazarlanabilir",

8 mg/kg'dan fazla MA içeren örnekler ise "Bozuk" olarak nitelendirilmektedir.

3.2.7.5. Duyusal Analizler

Pişmiş balığın duyusal analizi için Form 3.1'de sunulan Pons ve ark. (2006)'dan modifiye edilen duyusal değerlendirme formundan yararlanılmıştır. Pişmiş balıkların duyusal analizinde 7 deneyimli panelist kullanılmıştır. Tüm balıkların filetoları çıkartılarak ayrı ayrı alüminyum folyoya sarılmış, 180°C'de 25 dakika pişirilmiştir ve panelistlere sunulmuştur (Kykkidou ve ark., 2009; Kostaki ve ark., 2009). Panelistler tarafından hedonik skalaya göre 5 puan üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Puanlama sonucu olarak; 5 puan "çok iyi", 4 "iyi", 3 "orta", 2 "tüketilebilir" ve 1 puan bozuk olarak değerlendirilmiştir.

Form 3.1. Duyusal değerlendirme formu (Pons ve ark., 2006)

KOKU	PUAN	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
Hoş, taze balığa özğü kokuya sahip							
Kokusuz, yavan, balığın kendine özğü kokusu kaybolmuş, fakat kötü koku hissedilmiyor							
Koku hissediliyor fakat bayat balıklarda hissedilen kokular oluşmamış, kaynatılmış süt, haşlanmış patates kokusu var							
Amonyak kokusu var, bayatlama ile gelişen kokular oluşmuş							
Kuvvetli amonyak kokusu ile birlikte indol ve kokuşma ürünü olan kokular yoğun olarak hissediliyor							

TEKSTÜR	PUAN	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
Balık eti tamamen diri yapıda, taze balığın kendine özğü tekstürüne sahip, sulu yapıda							
Balık eti normal dirilikte, sululuk azalmış, çok hafif sertlik var, ağızda çiğnendiğinde lifli bir yapı hissedilmiyor							
Balık eti diriliğini biraz kaybetmiş, ette sertleşme artmış, ağızda çiğnendiğinde hafif bir lifli yapı hissediliyor, kuruma başlamış							
Balık eti sert yapıda, ağızda çiğnendiğinde çıklet çiğniyormuş hissi veriyor, kuruluk artmış							
Balık eti arzu edilmeyen sertlikte, kauçuk benzeri yapı oluşmuş, sululuk tamamen kaybolmuş							

LEZZET	PUAN	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
Taze balık eti tadında, yenen balık türünün orijinal lezzetini taşıyor							
Taze balık eti tadını kısmen kaybetmiş							
Taze balık eti tadı tamamen kaybolmuş, ağızda hafif bir acılık hissi bırakıyor							
Ağızda acılık iyice hissediliyor fakat tiksinti oluşturmuyor							
Balığın yenilip yenilemeyeceğine dair tereddüt duyuluyor							

GENEL DEĞERLENDİRME	PUAN	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2
Çok iyi							
İyi							
Yenebilir kalitede							
Kötü							
Çok kötü							

3.2.7.6. İstatistiksel Analiz

Araştırma sonunda elde edilen veriler Minitab Sürüm 17 paket programı kullanılarak, ANOVA ile değerlendirilmiş, grup içi ve gruplar arasındaki farklılıkların önem derecesinin belirlenmesinde ($p<0.05$) Tukey testi kullanılmıştır. Araştırmada elde edilen parametrelerin zamana bağlı olarak değişimi ile ilgili regresyon denklemleri ile Şekil ve Çizelgeler MS Office 2010 yazılımları kullanılarak yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

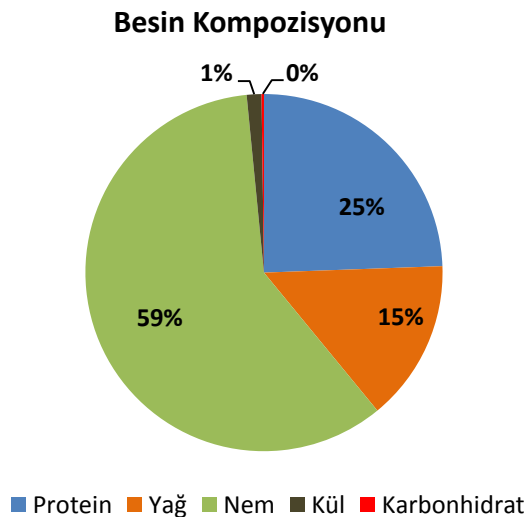
Araştırmada İstanbul Kumkapı Balık Hali'nden alınan palamut balıklarının, (*Sarda sarda* Bloch, 1793) besin kompozisyonu (ham protein, ham yağ, ham kül, nem, toplam karbonhidrat ve toplam enerji) ile farklı dozlarda ısıtılıp (3 ve 5 kGy) dondurulduktan sonra 12 aylık depolama süresince ($-20\pm 2^{\circ}\text{C}$) fiziksel (su aktivitesi (a_w), pH değeri), kimyasal (trimetilamin (TMA-N), toplam uçucu bazik azot (TVB-N), tiyobarbitirik asit reaktif maddeler (TBARs)), mikrobiyolojik (toplam psikrofilik aerob bakteri (TPAB), toplam mezofilik aerob bakteri (TMAB)) ve organoleptik değişimleri (genel, lezzet, koku, tekstür) incelenmiştir.

4.1. Besin Kompozisyonu

Marmara Denizi'nden 2012 yılının Ekim ayında avlanan palamut balığına ilişkin ham protein, ham yağ, ham kül, nem, karbonhidrat ve enerji miktarları, Çizelge 4.1. ve Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Palamut balığının besin bileşimi

Ham protein (%)	Ham yağ (%)	Ham kül (%)	Nem (%)	Karbonhidrat (%)	Enerji (kcal/100gr)
24.43±0.34	14.62±0.31	1.33±0.03	59.40±0.63	0.22±0.04	230.06±3.95



Şekil 4.1. Palamut balığının besin kompozisyonu dağılımı

Çalışmada kullanılan palamut balığının ham protein içeriği %24.43, ham yağ içeriği %14.62, ham kül içeriği %1.33, karbonhidrat içeriği %0.22, enerji miktarı 230.06 kcal/100 gr ve nem oranı %59.40 olarak tespit edilmiştir. Öksüz ve ark. (2008), taze palamut balığının besin kompozisyonunu araştırmışlar, ham protein, ham yağ ve ham kül miktarlarını sırasıyla; %24.1, %3.3 ve %1.4 olarak tespit etmişlerdir. Kaba ve ark. (2014) ise, taze palamut balığının ham protein, ham yağ, ham kül, karbonhidrat ve enerji miktarlarını sırasıyla; %24.26, %6.80, %1.35, %0.9 ve 161.86 kcal/100 gr olarak belirlemişlerdir. Her iki çalışmada tespit edilen protein miktarları çalışmamızdaki bulgularla benzerlik göstermektedir. Ham yağ miktarında görülen farklılığın ve dolayısıyla daha yüksek tespit edilen enerji miktarının ise, balıkların yaşı, beslenme durumu, avlama dönemi ve bölgesi ile ilgili farklılıklardan ileri gelebileceği düşünülmektedir.

4.2. Fiziksel Analizler

4.2.1. Ph

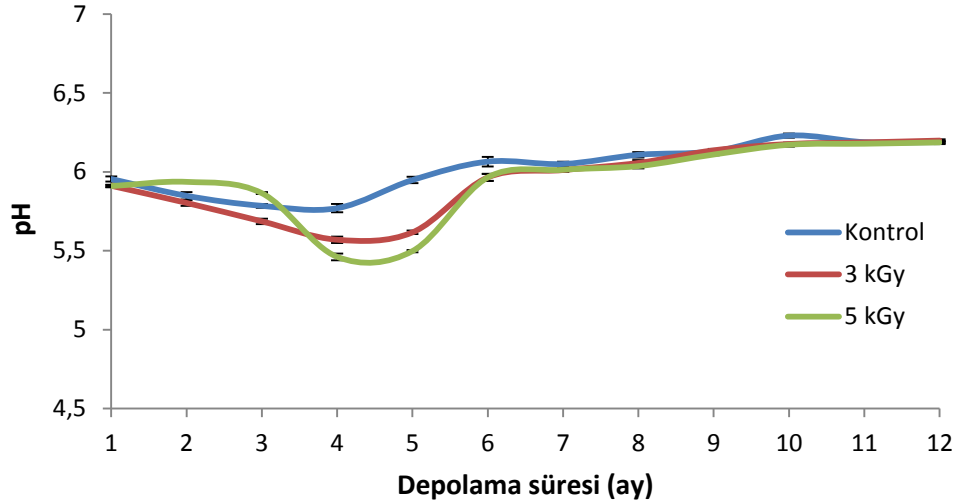
Farklı dozlarda ışınlanıp dondurularak muhafaza edilen palamut balığında meydana gelen pH değişimleri Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı dozlarda ışınlanan palamut balıklarının aylara göre pH değişimi

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	5.96±0.02 ^{Ad}	5.91±0.01 ^{Bd}	5.91±0.01 ^{Bef}
2	5.85±0.02 ^{Be}	5.80±0.02 ^{Be}	5.94±0.00 ^{Ae}
3	5.88±0.01 ^{Be}	5.69±0.02 ^{Cf}	4.87±0.01 ^{Af}
4	5.77±0.03 ^{Ae}	5.57±0.02 ^{Bg}	5.46±0.02 ^{Cg}
5	5.95±0.02 ^{Ad}	5.62±0.01 ^{Bg}	5.50±0.01 ^{Cg}
6	6.07±0.03 ^{Ac}	5.97±0.02 ^{Bcd}	5.97±0.02 ^{Bde}
7	6.05±0.02 ^{Ac}	6.01±0.01 ^{Abc}	6.01±0.01 ^{Acdd}
8	6.11±0.02 ^{Abc}	6.06±0.02 ^{ABb}	6.04±0.01 ^{Bc}
9	6.13±0.01 ^{Abc}	6.14±0.01 ^{Aa}	6.11±0.00 ^{Ab}
10	6.23±0.01 ^{Aa}	6.18±0.01 ^{Ba}	6.17±0.01 ^{Ba}
11	6.19±0.00 ^{Aab}	6.19±0.01 ^{Aa}	6.18±0.00 ^{Aa}
12	6.19±0.01 ^{Aab}	6.20±0.01 ^{Aa}	6.19±0.01 ^{Aa}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).



Şekil 4.2. Farklı dozlarda ışınlanan palamut balıklarının aylara göre pH değişimi

Kontrol grubunun ilk ayki pH değeri 5.96 olarak tespit edilmiştir. Erdem ve ark. (2009) palamut balığında pH değerini 5.65, Turan ve ark. (2013) ise 5.95 olarak belirlemişlerdir. Depolama süresince tüm grupların pH değerlerinde minimum düzeyde dalgalanmalar göze çarpmaktadır. Oraei ve ark. (2011) da -20°C’de dondurularak ışınlanan (1, 3 ve 5 kGy) gökkuşağı alabalıklarında (*Oncorhynchus mykiss*) özellikle ilk 4 ay boyunca kontrol grubunda önemsiz ancak, ışınlanmış gruplarda önemli dalgalanmalar tespit etmiştir ve bu dalgalanmaların nedeninin ise iyonize radyasyon etkisiyle kimyasal değişimlerin pH üzerindeki etkisinden kaynaklanabileceğini belirtmiştir.

Depolamanın ilk ayında kontrol grubunun pH değeri 3 ve 5 kGy lık gruplarinkinden yüksektir ($p < 0.05$). Özellikle 6. aydan itibaren tüm grupların pH değeri düzenli olarak artmış olup, 3 ve 5 kGy’lik grupların pH değerleri depolama süresinin sonuna kadar benzer bulunmuştur ($p > 0.05$). Kontrol, 3 kGy ve 5 kGy gruplarının regresyon denklemleri sırasıyla, $y = 0.039x + 5.77$, ($r = 0.87$); $y = 0.050x + 5.62$, ($r = 0.79$) ve $y = 0.043x + 5.67$, ($r = 0.64$) olarak tespit edilmiştir. Depolamanın son iki ayında ise tüm grupların pH değerleri benzer bulunmuştur ($p > 0.05$). Farklı dozlarda ışınlanan (1, 2.2 ve 5 kGy) ve 0.5 ve -2°C’de muhafaza edilen tilapya balıklarının (*Oreochromis niloticus*) pH değerlerinin, depolama süresi sonunda ışınlanmadan aynı ortam koşullarında muhafaza edilen gruplara göre önemli derecede düşük bulunduğu tespit edilmiştir (Cozzo-Siqueira ve ark., 2003). Bu çalışmada da bazı aylar dışında genel olarak ışınlanmış balıkların daha düşük pH değerine sahip olduğu söylenebilir.

pH değişiminin tek başına kalite kriteri olarak yeterli olmaması ile birlikte, genel olarak pH değerindeki artış, bozulmanın başlamasından itibaren proteinlerin parçalanarak amonyak ve uçucu bazların oluştuğunu işaret etmekte (Connell, 1980), pH değerinin 6.50 ve üzerine çıktığı durumlarda da su ürünlerinin bozulmuş olabileceği bildirilmektedir (Oehlenschläger, 1992; Varlık ve ark., 2004). Bu sınır değer göz önünde tutulduğunda, depolama süresince hiçbir grubun bozulmadığı söylenebilir.

4.2.2. Su Aktivitesi (a_w)

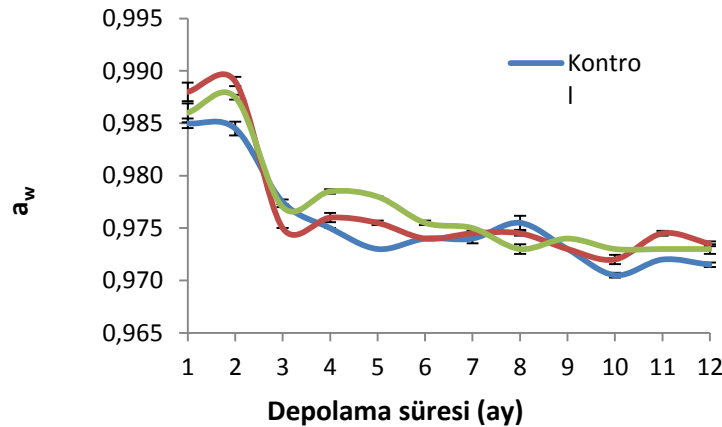
Farklı dozlarda ışınlanıp dondurularak muhafaza edilen palamut balığında çözdürüldükten sonra tespit edilen su aktivitesi (a_w) değerleri Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı dozlarda ışınlanan palamut balıklarının aylara göre a_w değişimi

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	0.985±0.00 ^{Ba}	0.988±0.00 ^{Aa}	0.986±0.00 ^{ABa}
2	0.984±0.00 ^{Ba}	0.989±0.00 ^{Aa}	0.987±0.00 ^{Aa}
3	0.978±0.00 ^{Ab}	0.975±0.00 ^{Cbcd}	0.977±0.00 ^{Bbc}
4	0.975±0.00 ^{Bc}	0.976±0.00 ^{Bb}	0.978±0.00 ^{Ab}
5	0.973±0.00 ^{Cde}	0.976±0.00 ^{Bbc}	0.978±0.00 ^{Ab}
6	0.974±0.00 ^{Bcd}	0.974±0.00 ^{Bcde}	0.976±0.00 ^{Acđ}
7	0.974±0.00 ^{Acđ}	0.975±0.00 ^{Abcde}	0.975±0.00 ^{Ad}
8	0.976±0.00 ^{Ac}	0.975±0.00 ^{ABbcde}	0.973±0.00 ^{Be}
9	0.973±0.00 ^{Cde}	0.973±0.00 ^{Bef}	0.974±0.00 ^{Ade}
10	0.970±0.00 ^{Bf}	0.972±0.00 ^{Af}	0.973±0.00 ^{Ae}
11	0.972±0.00 ^{Cef}	0.975±0.00 ^{Abcde}	0.973±0.00 ^{Be}
12	0.972±0.00 ^{Bef}	0.974±0.00 ^{Adef}	0.973±0.00 ^{Ae}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).



Şekil 4.3. Farklı dozlarda ışınlanan palamut balıklarının aylara göre a_w değişimi

Su aktivitesi analizlerine ilişkin Kontrol, 3 kGy ve 5 kGy gruplarının regresyon denklemleri sırasıyla $y = -0.001x + 0.98$, ($r = -0.83$); $y = -0.001x + 0.98$, ($r = -0.73$); $y = -0.001x + 0.98$, ($r = -0.86$) olarak tespit edilmiştir. Depolamanın ilk ayında balıklar çözdürüldükten sonraki su aktivitesi (a_w) değerleri, kontrol grubu, 3 kGy ve 5 kGy dozunda ışınlanan gruplarda sırasıyla 0.985, 0.988 ve 0.986 olarak tespit edilmiş ve kontrol grubu ile 3 kGy arasındaki fark istatistiksel açıdan farklı bulunmuştur ($p < 0.05$). Taze su ürünlerinde 0.98 ve 1 arasında değişen a_w değerinin bu çalışmada 3. aydan itibaren 0.98'den daha düşük değerlerde tespit edilmesi dehidrasyon kaynaklı olabilir. Her ne kadar depo sıcaklığı stabil tutulmaya çalışılsa da minimum düzeydeki sıcaklık değişimleri bile ortam neminin değişmesine ve gerekli nemin balıktan karşılanmasına neden olmaktadır. Bu da balığın su kaybına ve dolayısıyla da a_w değerinin değişmesine neden olmaktadır.

Depolama süresi sonunda ışınlanan grupların (3 ve 5 kGy) su aktivitesi değerleri (a_w) benzer bulunurken ($p > 0.05$), kontrol grubu ışınlanmış gruplardan daha düşük değerde bir su aktivitesine sahip olmuştur ($p < 0.05$).

Dondurularak muhafaza edilen palamut balığında ışınlama işleminin (3-5 kGy) su aktivitesi (a_w) üzerinde her ne kadar istatistiksel olarak farklı bulunduğu belirlenmiş ise de, meydana gelen farklılığın pratikte herhangi bir farklılığa neden olmadığı söylenebilir.

4.3. Kimyasal Analizler

4.3.1. Trimetilamin (TMA-N)

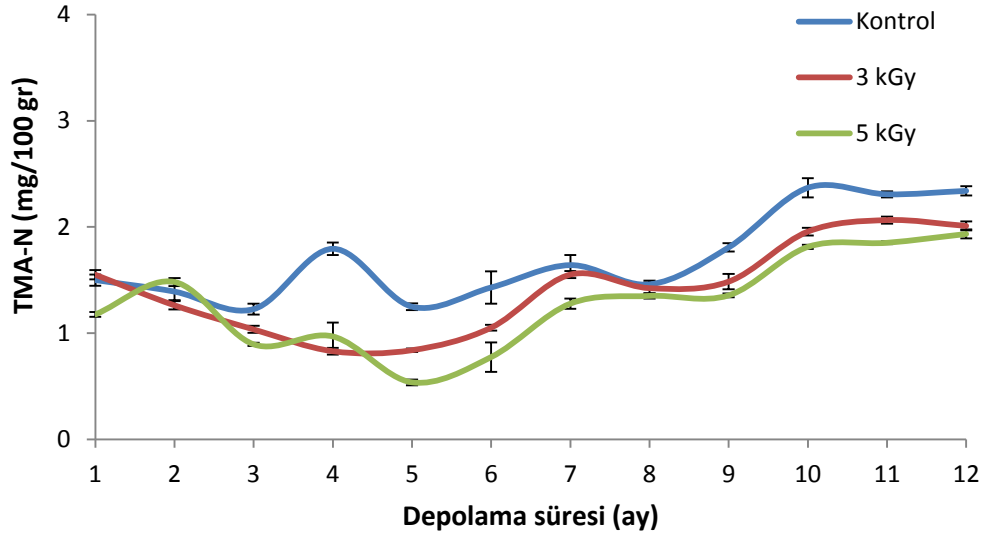
Farklı dozlarda ışınlanıp dondurularak muhafaza edilen palamut balığında meydana gelen TMA-N değişimleri Çizelge 4.4. ve Şekil 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Depolama süresine göre farklı gruptaki TMA-N değişimi (mg/100gr)

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	1.50±0.05 ^{Abcde}	1.55±0.04 ^{Ab}	1.18±0.02 ^{Bcd}
2	1.39±0.08 ^{ABde}	1.26±0.04 ^{Bc}	1.48±0.04 ^{Ab}
3	1.23±0.05 ^{Ae}	1.04±0.03 ^{Bde}	0.90±0.02 ^{Cde}
4	1.79±0.06 ^{Abc}	0.83±0.03 ^{Bi}	0.97±0.13 ^{Bde}
5	1.25±0.03 ^{Ae}	0.84±0.02 ^{Bef}	0.54±0.03 ^{Cf}
6	1.43±0.15 ^{Ade}	1.05±0.03 ^{ABd}	0.78±0.14 ^{Bef}
7	1.64±0.09 ^{Abcd}	1.55±0.03 ^{Ab}	1.28±0.05 ^{Bbc}
8	1.46±0.03 ^{Acde}	1.42±0.05 ^{Abc}	1.35±0.02 ^{Abc}
9	1.81±0.04 ^{Ab}	1.49±0.07 ^{Bb}	1.36±0.02 ^{Bbc}
10	2.37±0.09 ^{Aa}	1.96±0.04 ^{Ba}	1.81±0.02 ^{Ba}
11	2.31±0.03 ^{Aa}	2.07±0.03 ^{Ba}	1.85±0.01 ^{Ca}
12	2.34±0.04 ^{Aa}	2.01±0.04 ^{Ba}	1.93±0.04 ^{Ba}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).



Şekil 4.4. Depolama süresine göre farklı gruptaki TMA-N değişimi

TMA-N verileri incelendiğinde, depolamanın ilk ayında en düşük TMA-N değeri 5 kGy ışın uygulanan grupta tespit edilmiştir (p<0.05). Turan ve ark. (2013), palamut balığında TMA-N değerini 0.89 mg/100 gr olarak tespit ederken, bu çalışmadakine benzer bir değer Kaya ve ark. (2006) tarafından 1.19 mg/100 gr olarak bildirilmiştir. Çalışmalarda kullanılan balıkların denizden avlanma zamanı, bireysel

farklılıkları ve balığın temin edilene kadar geçen muhafaza şartları gibi etkenler de başlangıçtaki TMA-N miktarında etkili olabilmektedir.

Tüm grupların TMA-N değerleri 12 ay süresince dalgalanmalar gösterse de, genel olarak her üç grupta da süreye bağlı olarak artış görülmektedir. Kasımoğlu ve ark. (2003) da 3 kGy dozunda ışınlanan sardalya balıklarının TMA-N değerlerinde dalgalanmalar gözlemişlerdir. Kontrol grubu ilk 3 ayda önemsiz değişimler gösterirken ($p>0.05$), ışınlanan diğer iki grupta ise aynı periyotta düşüş tespit edilmiştir ($p<0.05$). Her ay analiz edilen balıkların bireysel olarak birbirinden farklı olması bunun sebebi olarak gösterilebilir. Çünkü avlanan aynı tür bireyler arasında bile kimyasal kompozisyonda farklılıklar olmaktadır. Balığın yaşı, büyüklüğü, beslenme durumu, avlanma yeri gibi faktörler etin kimyasal yapısında farklılıklara neden olmaktadır. Son 3 ayda tüm gruplarda TMA-N değerlerinin zamana bağlı değişimi istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Genel olarak bakıldığında depolama süresince kontrol grubunda ki TMA-N değerleri, ışınlanmış gruplardakinden daha yüksek ($p<0.05$) bulunurken, 3 kGy ışın uygulanan balıklardaki TMA-N değerleri de 5 kGy ışın uygulanan balıklardakinden daha yüksek olmuştur ($p<0.05$). Özellikle 9. aydan itibaren Kontrol grubunda tespit edilen değerler ışınlanmış olan diğer gruplardan önemli derecede daha yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Depolama süresi sonunda da en yüksek TMA-N değeri (2.34 mg/100 g) kontrol grubunda tespit edilmiş ($p<0.05$), 3 kGy ve 5 kGy gruplarının değerleri (2.01 ve 1.93 mg/100 gr) ise istatistiksel açıdan benzer bulunmuştur ($p<0.05$). Depolama süresi ile TMA değişimi arasındaki ilişkiye ait regresyon denklemleri [Kontrol, 3 kGy ve 5 kGy gruplar için sırasıyla, $y = 0.0923x + 1.11$, ($r = 0.79$); $y = 0.0848x + 0.87$, ($r = 0.70$) ve $y = 0.0803x + 0.76$, ($r = 0.66$)] incelendiğinde, Kontrol grubundaki ilişkinin diğer gruplara göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bakteriyel bozulma ürünlerinden biri olan TMA-N balık kalitesinin ve raf ömrünün tespitinde kullanılan bir kimyasal analizdir. FAO (1986)'ya göre maksimum "kabul edilebilir" TMA-N limiti 8 mg/100 gr'dır. Depolama süresi sonundaki değerlere göre, kontrol grubunun TMA-N değeri, ışınlanan gruplardan önemli derecede daha yüksek olsa da tüm gruplar limit değerlerin altında kalarak "uygun" kalitede bulunmuştur. Tüm bu veriler değerlendirildiğinde palamut balıklarının TMA-N değeri üzerine ışın uygulamanın (3-5 kGy) olumlu etkisi olduğu söylenebilir. Buna ilaveten

dondurma işlemi ile mikroorganizmaların faaliyeti engellendiği veya sınırlandırıldığından, bunların TMA-N üzerinde etkisi olamamaktadır. Bunun dışındaki TMA-N oluşumu ise TMA- oksidaz enzimleri ve kimyasal reaksiyonların etkisiyledir. Dondurma işlemi ile enzimlerin de etkisi yavaşlatıldığından bu çalışmadaki TMA-N değerleri çok düşük seviyelerde tespit edilmiştir.

Ahmed ve ark. (2009), gümüşü Çin baltabaş balığını (*Pampus chinensis*) 3, 5 ve 8 kGy’lik dozlarda ışınlarak $-20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ’de 90 gün depolamışlar ve ışınlama dozunun artmasıyla TMA-N oluşumunun azaldığını bildirmişlerdir. Mbarki ve ark. (2009c), 1 ve 2 kGy gibi düşük dozlarda ışınlanan Akdeniz istavrit balığını (*Trachurus mediterraneus*) 18 gün boyunca buzda muhafaza ederek kimyasal değişimlerini incelemişlerdir. Araştırma sonunda TMA-N bakımından kontrol grubu 3. günün sonunda limit değerini aşarken, 1 kGy dozda ışınlanan grup 6 gün, 2 kGy dozda ışınlanan grup ise 8 gün boyunca tazeliğini muhafaza etmiştir.

4.3.2. Toplam Uçucu Bazik Azot (TVB-N)

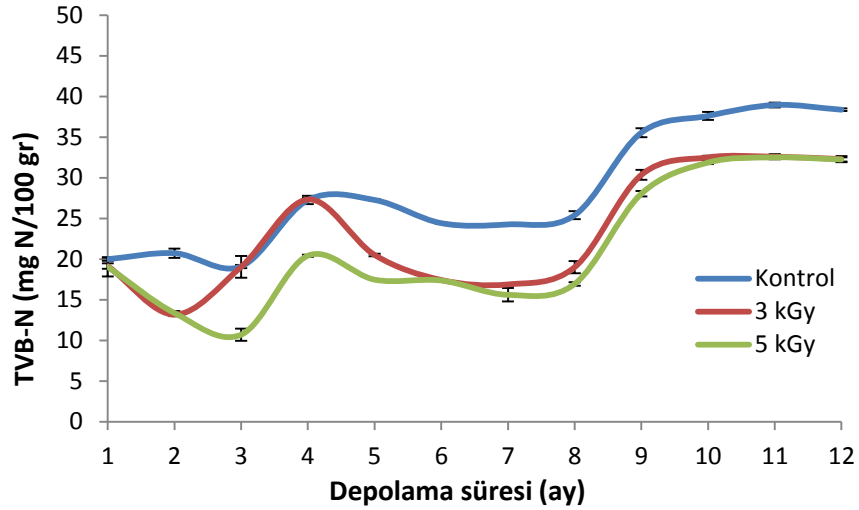
Farklı dozlarda ışınlanıp dondurularak muhafaza edilen palamut balığında meydana gelen TVB-N değişimleri Çizelge 4.5.ve Şekil 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Depolama süresine göre farklı gruptaki TVB-N değişimi (mgN/100gr)

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	19.99±0.19 ^{Ae}	19.14±0.33 ^{Ac}	19.05±1.17 ^{Ac}
2	20.73±0.58 ^{Ae}	13.18±0.21 ^{Bf}	13.37±0.22 ^{Bf}
3	19.10±0.19 ^{Ae}	15.29±1.34 ^{Bef}	10.70±0.74 ^{Cg}
4	27.27±0.51 ^{Ac}	27.34±0.20 ^{Ab}	20.42±0.14 ^{Bc}
5	27.27±0.13 ^{Ac}	20.51±0.16 ^{Bc}	17.47±0.01 ^{Cde}
6	24.38±0.11 ^{Ad}	17.43±0.03 ^{Bde}	17.37±0.11 ^{Bde}
7	24.17±0.12 ^{Ad}	16.89±0.15 ^{Bde}	15.60±0.83 ^{Bef}
8	25.40±0.50 ^{Ad}	18.75±0.73 ^{Bcd}	16.94±0.22 ^{Bde}
9	35.55±0.54 ^{Ab}	30.36±0.61 ^{Ba}	28.04±0.33 ^{Cb}
10	37.62±0.50 ^{Aa}	32.52±0.21 ^{Ba}	31.88±0.19 ^{Ba}
11	38.96±0.29 ^{Aa}	32.59±0.31 ^{Ba}	32.51±0.14 ^{Ba}
12	38.38±0.16 ^{Aa}	32.30±0.38 ^{Ba}	32.24±0.25 ^{Ba}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).



Şekil 4.5. Depolama süresine göre farklı gruplardaki TVB-N değişimi

TVB-N analizi, su ürünlerinin kalitesinin belirlenmesinde çok yaygın kullanılan bir indekstir ve mikroorganizma faaliyetleri ile endojen enzimlerin aktivitesi hakkında önemli bir kriter olarak gösterilmektedir (Gökoğlu, 2002; Ruiz-Capillas ve Moral, 2005; Etyemez, 2011).

Bulgular incelendiğinde, depolamanın ilk ayında kontrol grubuna ait TVB-N değeri 19.99 mgN/100 gr olarak tespit edilirken, 3 ve 5 kGy’lik gruplarda ise sırasıyla 19.14 ve 19.05 mgN/100 gr olarak belirlenmiştir ve 1. ayda gruplararası fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Depolama süresine göre TVB-N değişimine ait regresyon denklemleri Kontrol, 3 kGy ve 5 kGy gruplar için sırasıyla, $y = 1.8589x + 16.16$, ($r = 0.90$); $y = 1.4817x + 13.73$, ($r = 0.75$) ve $y = 1.7497x + 9.93$, ($r = 0.81$) olarak tespit edilmiştir. Kontrol grubundaki TVB-N’in zamana bağlı değişimi arasında güçlü bir ilişki ($r = 0.90$) söz konusudur. Işınlanmış gruplarda ise TVB-N miktarının zamana bağlı artan miktarları kontrol grubuna göre daha düşük olmuş ve bu durum depolama süresi boyunca korunmuştur. Genel olarak bakıldığında 8. aya kadar çok iyi özellikte olan (25 mgN/100 gr’a kadar) her üç gruptaki TVB-N miktarında 8. aydan sonra hızlı bir artış tespit edilmiş olup; özellikle kontrol grubunda 9. ayda tespit edilen değerin (35.55 mgN/100 gr), Varlık ve ark. (2004)’nın bildirdiği tüketilebilirlik sınır değeri olan 35 mgN/100 gr aştığı belirlenmiştir. Buna karşın, ışınlanan her iki grup ise 9. ayda iyi sınırlar içinde tespit edilmiş olup, araştırma süresi sonuna kadar da tüketilebilir sınırlar içinde kalmıştır. Bu sonuçlar ışınlamanın TVB-N miktarının artışı üzerinde sınırlayıcı etkide olduğunu göstermektedir.

Chouliara ve ark. (2005), 1 ve 3 kGy'de ışınlıyarak buzdolabı koşullarında muhafaza ettikleri ipuraları (*Sparus aurata*) raf ömrü bakımından incelemişler, kontrol grubunda TVB-N değerinin 10. günde 27.50 mgN/100 gr'a ulaştığını, ışınlanmış gruplarda ise 21. günde 27.3 mgN/100 gr ve 25.1 mgN/100 gr değerlerine ulaştığını tespit etmişlerdir.

Özden ve ark. (2007a,b) da benzer sonuçlar elde ederek ışınlama işleminin TVB-N artışı üzerinde olumlu etkilere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Oraei ve ark. (2011), 5 ay boyunca -20°C'de dondurulan gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) filetolarında ışınlamanın etkisini gözlemlemek için 1, 3 ve 5 kGy dozunda ışınlama yapmışlar ve 5 aylık depolama sonrasında en yüksek TVB-N değerini 5 kGy ile ışınlanan grupta tespit etmişlerdir. Buna karşın, Moini ve ark. (2009) gökkuşağı alabalıklarında, Ahmed ve ark. (2009) ise in baltabaş balığında daha yüksek dozlarda ışın uygulamasının (<5 kGy) TVB-N'i düşürücü etkisini tespit etmişlerdir.

Araştırma, ışın uygulanan grupların TVB-N değerlerinin depolama süresince genellikle kontrol grubundan önemli derecede düşük ya da benzer (3 kGy grubu, 4. ayda Kontrol grubu ile benzer, sonraki tüm aylarda ışınlanan gruplardaki değer daha düşük) olduğunun saptanması, ışınlamanın uçucu azotlu bileşenler üzerine önemli derecede etkili olduğunu göstermiştir ($p<0.05$).

4.3.3. Tiyobarbütirik Asit Reaktif Maddeleri (TBARs)

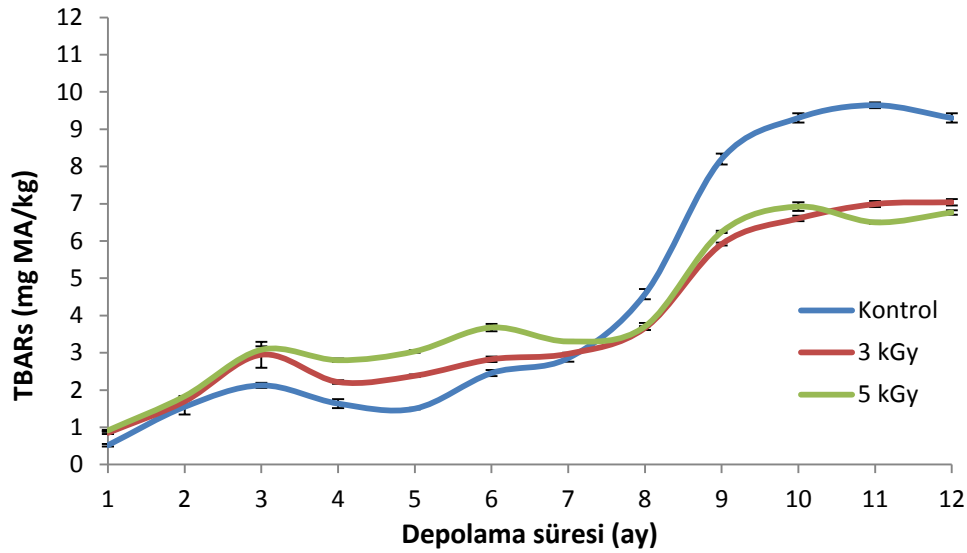
Farklı dozlarda ışınlanıp dondurularak muhafaza edilen palamut balığında meydana gelen TBARs değişimleri izelge 4.6 ve şekil 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Depolama süresine göre farklı gruptaki TBARs (mg MA/kg) miktarları

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	0.52±0.03 ^{Bh}	0.85±0.03 ^{Ah}	0.92±0.02 ^{Ah}
2	1.55±0.20 ^{Ag}	1.70±0.09 ^{Ag}	1.83±0.01 ^{Ag}
3	2.13±0.07 ^{Bef}	2.95±0.35 ^{Ad}	3.08±0.09 ^{Aef}
4	1.64±0.12 ^{Cfg}	2.22±0.04 ^{Bfg}	2.80±0.05 ^{Af}
5	1.50±0.02 ^{Cg}	2.38±0.03 ^{Bef}	3.04±0.03 ^{Aef}
6	2.46±0.08 ^{Cde}	2.83±0.07 ^{Bde}	3.68±0.10 ^{Ad}
7	2.86±0.10 ^{Bd}	2.97±0.03 ^{Bd}	3.30±0.04 ^{Ae}
8	4.57±0.14 ^{Ac}	3.67±0.05 ^{Bc}	3.71±0.09 ^{Bd}
9	8.20±0.15 ^{Ab}	5.92±0.04 ^{Bb}	6.24±0.03 ^{Bc}
10	9.30±0.12 ^{Aa}	6.61±0.07 ^{Ba}	6.92±0.12 ^{Ba}
11	9.64±0.08 ^{Aa}	6.99±0.08 ^{Ba}	6.50±0.04 ^{Cbc}
12	9.30±0.13 ^{Aa}	7.04±0.09 ^{Ba}	6.77±0.06 ^{Bab}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).



Şekil 4.6. Depolama süresine göre farklı gruptaki TBARs Değişimi

Araştırma sonunda TBARs bulguları incelendiğinde, depolamanın ilk ayında 3 ve 5 kGy dozlarında ışınlanan grupta gözlemlenen TBA miktarları sırasıyla 0.85 ve 0.92 mg MA/kg olup, aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p>0.05). Bununla birlikte, kontrol grubuna göre ışınlanan her iki grupta da daha yüksek TBA miktarına rastlanmıştır. Kardashev (1966), çeşitli balık türlerinde 2-15 kGy doz aralığında yapmış olduğu ışınlama ve aylık depolamalar neticesinde, özellikle koyu renkli kas dokusuna sahip balıklarda ışınlama işleminin TBA miktarını artırıcı etkiye sahip olduğunu, ancak bu artışın kalite bozucu bir etkiye neden olacak kadar yüksek olmadığını bildirmiştir.

Mbarki ve ark. (2009b) da kolyoz balığını (*Scomber japonicus*) 2.5 kGy dozunda ışınlayıp soğuk muhafaza ederek ($-1\pm 2^{\circ}\text{C}$) TBARs sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, ışınlanan gruptaki TBA başlangıç miktarının kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu, ancak depolama döneminin ilerlemesiyle birlikte artışın yavaşladığını ve depolama süresi sonunda kontrol grubuna ait TBA değerlerinin ışınlanan gruba göre önemli ölçüde yüksek bulunduğunu tespit etmişlerdir ($p<0.05$). Çalışmamızda depolama süresince elde edilen bulgular da bu sonuçları desteklemektedir.

Çalışma boyunca ışınlanan gruplarda bazı dalgalanmalar göze çarpmaktadır. Özellikle 3 kGy ile ışınlanan grupta ilk 3 ayda, 5 kGy ile ışınlanan grupta da ilk 7 ayda görülen bu dalgalanmalar belirtilen aylardan sonra düzenli olarak artışla sonuçlanmıştır. Hussain ve ark. (1985) da soğuk muhafaza edilen uskumru balıklarında 3 kGy'e kadar ıslama yapmışlar ve depolama süresi boyunca TBA değerlerinde düzensiz değişimler rapor etmişlerdir. Moini ve ark. (2009), ışınlanan (1, 3 ve 5 kGy) gökkuşağı alabalıklarının (*Oncorhynchus mykiss*) TBARs değerlerinde düzensiz değişimler tespit etmiş ve bunun balık dokusunda bulunan malondialdehitin (MA), diğer şartların da etkisiyle üçüncül parçalanma ürünlerine dönüşerek bu sonucu yaratmış olabileceğini belirtmiştir.

Depolamanın 8. ayına kadar her üç grupta TBA değeri bakımından çok iyi (3 mg MA/kg) koşullarda iken, 9. ayda Kontrol grubu tüketilebilir sınır değer olan 8 mg MA/kg'ı aşmıştır. Işınlanan gruplarda ise 8. aydan itibaren 12 aylık depolama süresinin sonuna kadar artış hızı daha düşük TBA değerleri elde edilmiş ve bu gruplar tüketilebilir sınırlar içinde bulunmuştur.

Kontrol, 3 kGy ve 5 kGy grupları için TBA ile depolama süresi arasındaki ilişki sırasıyla, $y = 0.9166x - 1.49$, ($r = 0.92$); $y = 0.5728x + 0.12$, ($r = 0.90$) ve $y = 0.5318x + 0.61$, ($r = 0.94$) olarak tespit edilmiştir. Depolama süresi sonunda en yüksek TBA değeri 9.30 mg MA/kg ile kontrol grubunda, en düşük TBA değeri ise 5kGy ışınlama uygulanan grupta tespit edilmiştir ($p<0.05$). Tüm veriler değerlendirildiğinde, ıslama işleminin TBA artışının kontrolünde önemli derecede olumlu etkileri olduğu ($p<0.05$), düşük veya yüksek ıslama dozu arasında ise bir fark olmadığı ($p>0.05$) sonucuna ulaşılmıştır. Bozulma parametrelerinden olan TVB-N değeri açısından 9. ayda tüketilebilir sınırı geçen kontrol grubu, aynı ayda TBARs değeri yönünden de tüketilebilirlik sınırını aşmış olup, iki önemli kalite kriteri arasında uyum bulunmuştur.

4.4. Mikrobiyolojik Analizler

4.4.1. Toplam Mezofil Aerob Bakteri (TMAB)

Dondurma işlemi öncesi uygulanan ışın dozuna göre elde edilen Toplam mezofil aerob bakteri yükü Çizelge 4.7’de, dondurulan palamut balıklarında muhafaza süresince görülen değişimler ise Çizelge 4.8 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Dondurma öncesi taze balıklarda ışınlama dozuna göre bakteri sayısı (logkob/100gr)

TMAB	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
Dondurma öncesi	3.85±0.00 ^B	4.00±0.00 ^A	3.78±0.00 ^C

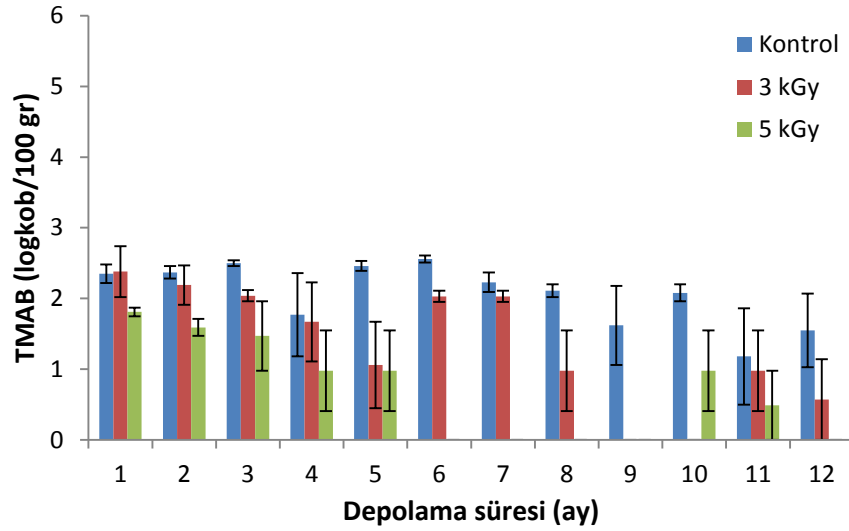
→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Çizelge 4.8. Işınlanarak dondurulan palamut balıklarında depolama süresince TMAB miktarı (logkob/100gr)

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	2.35±0.13 ^{Aa}	2.38±0.36 ^{Aa}	1.81±0.06 ^{Aa}
2	2.37±0.09 ^{Aa}	2.19±0.28 ^{ABa}	1.59±0.12 ^{Bab}
3	2.50±0.04 ^{Aa}	2.04±0.08 ^{Aa}	1.47±0.49 ^{Aab}
4	1.77±0.59 ^{Aa}	1.67±0.56 ^{Aab}	0.98±0.57 ^{Aab}
5	2.46±0.07 ^{Aa}	1.06±0.61 ^{Aab}	0.98±0.57 ^{Aab}
6	2.56±0.05 ^{Aa}	2.03±0.08 ^{Ba}	<30±0.00 ^{Cb}
7	2.23±0.14 ^{Aa}	2.03±0.08 ^{Aa}	<30±0.00 ^{Bb}
8	2.11±0.09 ^{Aa}	0.98±0.57 ^{ABab}	<30±0.00 ^{Bb}
9	1.62±0.56 ^{Aa}	<30±0.00 ^{Bb}	<30±0.00 ^{Bb}
10	2.08±0.12 ^{Aa}	<30±0.00 ^{Bb}	0.98±0.57 ^{ABab}
11	1.18±0.68 ^{Aa}	0.98±0.57 ^{Aab}	0.49±0.49 ^{Aab}
12	1.55±0.52 ^{Aa}	0.57±0.57 ^{Aab}	<30±0.00 ^{Ab}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).



Şekil 4.7. Işınlanıp dondurulan palamut balıklarında depolama süresince TMAB değişimi

Çalışmanın ilk gününde Kumkapı Balık Hali'nden alınarak, 3 ve 5 kGy dozunda ışın uygulandıktan sonra analiz edilen balıkların Toplam mezofil aerob bakteri (TMAB) yükleri sırasıyla 3.85, 4.00, 3.78 logkob/gr olarak bulunmuştur (Çizelge 4.7). İnuğur (2006), hem ışınlama öncesi taze çipura balıklarındaki mezofil aerob bakteri yükünü hem de 2.5 ve 5 kGy dozunda ışınlanan grupların depolama öncesi bakteri yüklerini 4.00 logkob/gr olarak tespit etmiştir. Mbarki ve ark. (2009b), kolyoz balığında (*Scomber japonicus*) ışınlama yapmışlar ve depolama öncesi süreçte 2.5 kGy dozunda ışınlanan balıktaki mezofil aerob bakteri yükünü 3.52 logkob/gr, kontrol grubundaki mezofil aerob bakteri yükünü ise 4.25 logkob/gr olarak tespit etmişlerdir.

Kontrol grubu ve ışınlanan gruplarda dondurma öncesi elde edilen bu değerler, dondurma işleminin etkisiyle 1. ayda kontrol grubunda 2.35 logkob/gr'a, 3 ve 5 kGy dozunda ışınlanan gruplarda ise 2.38 ve 1.81 logkob/gr'a düşmüştür. Özellikle yüksek ışınlama dozunun bakteri sayısını azaltıcı etkisi göze çarpmaktadır. 5 kGy ışınlama dozunda 4. aydan itibaren bakteri sayısı 1 logkob/100g'ın altına inerken, 3 kGy ışınlama dozu uygulanan grupta 8. aydan itibaren bu seviyeler gözlenmiştir. Yine de her iki ışınlama dozu ile kontrol grubuna göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Kontrol, 3 kGy ve 5 kGy gruplarının depolama süresince mezofil bakteri yükünün durumu ile ilgili regresyon denklemleri sırasıyla, $y = -0.0859x + 2.62$, ($r = -0.70$); $y = -0.1877x + 2.55$, ($r = -0.80$) ve $y = -0.1436x + 1.63$, ($r = -0.74$) olarak tespit edilmiştir.

Gıdalarda mezofil aerob bakteri yükü bakımından tüketilebilir sınır olan 10^6 yı her üç grup ta depolama süresince aşmamıştır.

4.4.2. Toplam Psikrofil Aerobik Bakteri

Dondurma işlemi öncesi uygulanan ışıın dozuna göre elde edilen Toplam psikrofil aerob bakteri yükü Çizelge 4.9’da, dondurulan palamut balıklarında muhafaza süresince görülen değişimler ise Çizelge 4.10 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Dondurma öncesi taze balıklarda ışıın dozuna göre TPAB sayısı (logkob/100gr)

TPAB	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
Dondurma öncesi	3.48±0.00 ^A	1.78±0.00 ^B	1.48±0.00 ^C

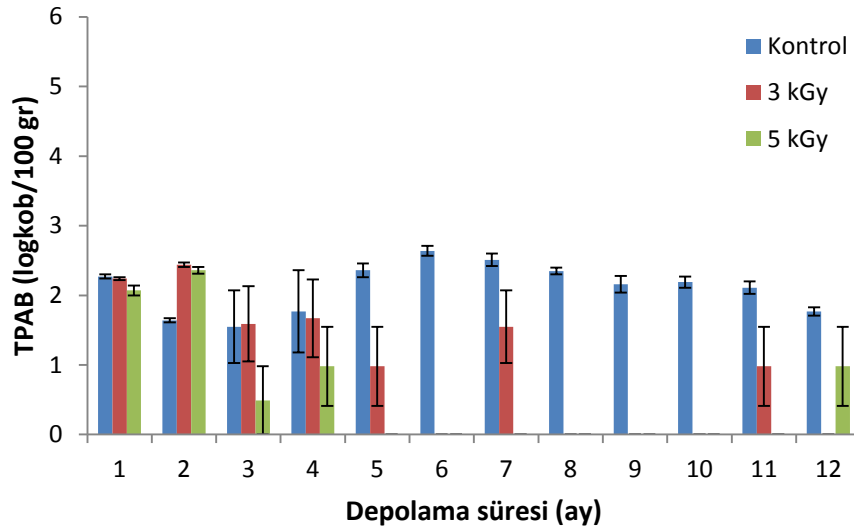
→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Çizelge 4.10. Işınlanarak dondurulan palamut balıklarında depolama süresince TPAB miktarı (logkob/100gr)

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	2.27±0.03 ^{Aa}	2.24±0.02 ^{ABa}	2.07±0.07 ^{Bab}
2	2.64±0.03 ^{Aa}	2.44±0.03 ^{Ba}	2.36±0.05 ^{Ba}
3	1.55±0.52 ^{Aa}	1.59±0.54 ^{Aab}	0.49±0.49 ^{Ac}
4	1.77±0.59 ^{Aa}	1.67±0.56 ^{Aab}	0.98±0.57 ^{Abc}
5	2.36±0.10 ^{Aa}	0.98±0.57 ^{Bab}	<30±0.00 ^{Bc}
6	2.64±0.07 ^{Aa}	<30±0.00 ^{Bb}	<30±0.00 ^{Bc}
7	2.51±0.09 ^{Aa}	1.55±0.52 ^{Aab}	<30±0.00 ^{Bc}
8	2.35±0.05 ^{Aa}	<30±0.00 ^{Bb}	<30±0.00 ^{Bc}
9	2.16±0.12 ^{Aa}	<30±0.00 ^{Bb}	<30±0.00 ^{Bc}
10	2.19±0.08 ^{Aa}	<30±0.00 ^{Bb}	<30±0.00 ^{Bc}
11	2.11±0.09 ^{Aa}	0.98±0.57 ^{ABab}	<30±0.00 ^{Bc}
12	1.77±0.06 ^{Aa}	<30±0.00 ^{Ab}	0.98±0.57 ^{Abc}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).



Şekil 4.8. Işınlanıp dondurulan palamut balıklarında depolama süresince TPAB değişimi

Çalışmanın ilk gününde Kumkapı balık halinde alınarak hiçbir işlem uygulanmadan, 3 kGy ve 5 kGy ışın uygulanarak analiz edilen balıkların Toplam psikrofil aerob bakteri (TPAB) yükleri sırasıyla 3.48, 1.78, 1.48 logkob/gr olarak bulunmuştur (Çizelge 4.9).

Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, kontrol grubuna göre daha düşük miktarlarda bakteri yükü içeren ışınlanmış balıklar, kendi aralarında da istatistiksel açıdan farklı bulunmuştur ($p < 0.05$). Yani hem ışınlama işlemi, hem de yüksek ışınlama dozu balığın başlangıç bakteri yükünü azaltmada etkili olmuştur.

Işınlanarak depolanan balıklarla ilgili psikrofilik aerob bakteri analizleri açısından herhangi bir literatüre rastlanmadığından sonuçlar kendi içinde tartışılmıştır.

Kontrol grubunun toplam psikrofil aerob bakteri yükü (TPAB) dondurmanın 1. ayı sonunda 3.48 logkob/gr'dan 2.27 logkob/gr'a düşmüştür. Ancak ışınlama uygulanan grupların ilk ay sonundaki TPAB yükleri 2.24 logkob/gr ve 2.07 logkob/gr'a çıkmıştır. Bu farklılık analizlerin farklı palamut balıklarında yapılmasından kaynaklanabilir. 3 kGy dozunda ışınlanan balıkların TPAB yükü 3. aydan itibaren düşme eğilimine girmiş ve bulgular arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($p > 0.05$). Benzer şekilde 5 kGy dozunda ışınlanan balıklarda da 3. aydan itibaren düşüş başlamış ve 12. ay sonunda bile değerler arasında istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($p > 0.05$). Tüm gruplar depolama süresince 10^6 limit değerini aşmamıştır. Işın uygulanan her iki grup incelendiğinde depolama süresince grupların TPAB değerleri genellikle istatistiksel

açından benzer olmuştur ($p>0.05$). Taze balıkta ışınlama işleminin ve ışınlama dozunun bakteri sayısını azaltmada etkili olduğu ($p<0.05$), dondurma işlemi ile kombine edildiğinde ise mikrobiyolojik açıdan daha kaliteli ürün elde edilmesine imkan verdiği söylenebilir.

4.5. Duyusal Analizler

Farklı miktarlarda ışın uygulanıp dondurulan palamut balıklarının çözündürme sonrası pişirilmesi ile elde edilen organoleptik değişimlerine ilişkin çizelgeler aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.11, 4.12, 4.13, 4.14).

Çizelge 4.11. Farklı ışınlama dozları ve donmuş muhafaza süresine göre tekstür değerlerindeki değişim

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	3.71±0.16 ^{Aa}	3.86±0.18 ^{Aab}	4.29±0.16 ^{Aa}
2	3.50±0.20 ^{Ba}	4.00±0.26 ^{ABa}	4.14±0.18 ^{Aa}
3	2.79±0.11 ^{Bbc}	3.14±0.18 ^{ABcd}	3.57±0.17 ^{Ab}
4	2.86±0.18 ^{Ab}	3.14±0.18 ^{Ac}	3.36±0.13 ^{ABcd}
5	2.79±0.15 ^{Bbc}	3.00±0.15 ^{Bcd}	3.29±0.16 ^{ABcd}
6	2.79±0.11 ^{Abc}	3.21±0.19 ^{ABcd}	3.21±0.19 ^{ABcd}
7	2.79±0.15 ^{Bbc}	3.50±0.17 ^{Aabc}	3.50±0.14 ^{Abc}
8	2.70±0.15 ^{Bbc}	3.30±0.15 ^{ABcd}	3.30±0.21 ^{ABcd}
9	2.40±0.16 ^{Bbc}	3.10±0.23 ^{Ac}	3.50±0.17 ^{Abc}
10	2.63±0.18 ^{Abc}	2.88±0.13 ^{Ac}	3.00±0.19 ^{Ac}
11	2.86±0.14 ^{Ab}	3.07±0.13 ^{Ac}	3.21±0.11 ^{ABcd}
12	2.29±0.19 ^{Cc}	2.71±0.13 ^{Bd}	2.86±0.14 ^{Ad}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

Çizelge 4.11’de kontrol grubuna ait tekstür puanlarının 8. aydan itibaren “2- tüketilebilir” sınır değerlere yaklaştığı görülmektedir. 3 kGy dozunda ışınlanan grubun tekstür değeri ise 11. aydan sonra “2- tüketilebilir” limit değerine yaklaşmış ve son ayki tekstür puanı 5 kGy ışın uygulanan gruptan düşük bulunmuştur. İlk aya ait tekstür analizi sonuçları incelendiğinde, balık etinin kendine özgü tekstürüne en yakın grubun 5 kGy ile ışınlanan grup olduğu tespit edilmiştir. Panelistlerden ilk ayında 4.29 puan alan 5 kGy ile ışınlanan grubun tekstürü “iyi” derecede bulunmuştur. 3 ile 11. aylar arasında 5 kGy ile ışınlanan grubun balık eti tekstürü “3-orta” sınır değerinde kalmış, son ayda 2.86 ya düşmüştür. Ancak 12 ay sonunda dahi tekstür açısından “1-bozuk” olarak nitelendirilmemiştir. 12. ay tekstür verileri incelendiğinde tüm grupların “2-

tüketilebilir” limit değerine yaklaştıkları ve 5 kGy ile ışınlanan grubun, diğer gruplardan daha iyi durumda olduğu söylenebilir ($p<0.05$).

Çizelge 4.12. Farklı ışınlama dozları ve donmuş muhafaza süresine göre koku değerlerindeki değişim

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	3.79±0.15 ^{Aa}	4.29±0.16 ^{Aa}	4.36±0.20 ^{Aa}
2	3.64±0.20 ^{Ba}	4.07±0.16 ^{Aa}	4.07±0.16 ^{Aa}
3	3.22±0.15 ^{Aab}	3.29±0.13 ^{Ab}	3.93±0.16 ^{Aab}
4	3.22±0.11 ^{Bab}	3.29±0.13 ^{Bb}	3.79±0.19 ^{Aabc}
5	3.15±0.14 ^{Aabc}	3.07±0.16 ^{Abc}	3.29±0.13 ^{Abcd}
6	3.08±0.20 ^{Aabcd}	3.22±0.15 ^{Ab}	3.29±0.19 ^{Abcd}
7	2.57±0.17 ^{Bbcde}	3.07±0.16 ^{Abc}	3.07±0.16 ^{Acde}
8	2.40±0.16 ^{Acde}	2.80±0.20 ^{Abcd}	3.10±0.18 ^{Acde}
9	2.50±0.17 ^{Bbcde}	2.90±0.18 ^{ABbcd}	3.10±0.18 ^{Acde}
10	2.38±0.18 ^{Ade}	2.50±0.19 ^{Ab}	2.88±0.13 ^{Ad}
11	2.22±0.19 ^{Ce}	2.71±0.16 ^{Bcd}	3.00±0.15 ^{Ad}
12	1.86±0.18 ^{Be}	2.50±0.14 ^{Ad}	2.79±0.15 ^{Ad}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0.05$).

Kontrol grubunun ilk ayki koku puanı 3.79 dur. “3-orta” olarak verilen puan diğer 2 grubun puanından düşüktür. 3.79’luk ilk ay koku puanı 12 ay süresince düzenli olarak azalmış ve depo süresi sonunda 1.86’ya düşmüştür. İlk ay hoş ve taze balık kokusuna en yakın olan grup 5 kGy ışın uygulanan grup olmuş ancak her iki ışın uygulanan grup (3-5 kGy) arasında da istatistiksel açıdan fark bulunmamıştır ($p>0.05$). 3 kGy ile ışınlanan grubun koku puanı 8. aydan itibaren 3 puanın altına düşmüş ve haşlanmış patates kokusu benzeri kokular oluşmaya başlamıştır. 5 kGy ile ışınlanan grupta ise bu koku 10. ayda hissedilmiş ancak her iki grupta “2 puan-tüketilebilir” limit altına düşmemiştir.

Çizelge 4.13. Farklı ışınlama dozları ve donmuş muhafaza süresine göre lezzet değerlerindeki değişim

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	3.79±0.15 ^{Aa}	3.79±0.15 ^{Aa}	3.93±0.16 ^{Aa}
2	3.57±0.14 ^{Aab}	3.64±0.13 ^{Aabc}	3.79±0.15 ^{Aa}
3	3.50±0.14 ^{Aabc}	3.71±0.19 ^{Aab}	3.71±0.16 ^{Aa}
4	3.36±0.17 ^{Aabcd}	3.57±0.17 ^{Aabc}	3.64±0.17 ^{Aab}
5	3.29±0.16 ^{Aabcde}	3.43±0.14 ^{Aabcd}	3.50±0.14 ^{Aabc}
6	3.29±0.16 ^{Aabcde}	3.57±0.14 ^{Aabc}	3.50±0.14 ^{Aabc}
7	3.00±0.15 ^{Abcde}	3.21±0.15 ^{Aabcd}	3.21±0.19 ^{Abcd}
8	2.90±0.18 ^{Bbcde}	2.90±0.23 ^{ABd}	3.20±0.13 ^{Acde}
9	2.70±0.15 ^{Ade}	2.90±0.10 ^{Ad}	3.20±0.13 ^{Acde}
10	2.63±0.18 ^{Ae}	3.13±0.23 ^{Abcd}	3.13±0.23 ^{Acde}
11	2.86±0.14 ^{Acde}	2.93±0.16 ^{Ad}	3.00±0.10 ^{Ad}
12	2.86±0.14 ^{Acde}	3.07±0.16 ^{Acde}	2.93±0.16 ^{Ad}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

İlk ay gruplar arasında istatistiksel olarak fark görülmemekle birlikte (p>0.05), 5 kGy ile ışınlanan grup pratikte daha yüksek skor elde etmiştir. Depolama süresince tüm grupların lezzet puanlarına bakıldığında 8. ay hariç tüm aylarda grupların puanları birbirleriyle istatistiksel olarak benzer bulunmuştur (p>0.05).

Çizelge 4.14. Farklı ışınlama dozları ve donmuş muhafaza süresine göre genel değerlendirme puanları

Depolama Süresi (Ay)	Kontrol Grubu	3 kGy	5 kGy
1	3.93±0.16 ^{Ba}	4.21±0.15 ^{ABa}	4.43±0.14 ^{Aa}
2	3.57±0.14 ^{Cab}	4.07±0.16 ^{Bab}	4.50±0.14 ^{Aa}
3	3.50±0.14 ^{Aab}	3.93±0.20 ^{Aabc}	4.07±0.20 ^{Aab}
4	3.14±0.14 ^{Cbc}	3.43±0.14 ^{Bcd}	3.93±0.16 ^{Abc}
5	2.93±0.13 ^{Ccd}	3.29±0.13 ^{Bd}	3.57±0.14 ^{Acde}
6	2.86±0.14 ^{Bcd}	3.50±0.14 ^{Acde}	3.64±0.17 ^{Abcd}
7	2.93±0.16 ^{Ccd}	3.57±0.14 ^{Bbcd}	3.86±0.14 ^{Abc}
8	2.70±0.15 ^{Bcde}	3.50±0.17 ^{Acde}	3.70±0.15 ^{Abcd}
9	2.80±0.15 ^{Bcd}	3.10±0.18 ^{ABde}	3.30±0.15 ^{Adef}
10	2.25±0.25 ^{Ae}	3.13±0.13 ^{Ade}	3.13±0.13 ^{Aefg}
11	2.50±0.17 ^{Ade}	3.07±0.13 ^{Ade}	3.00±0.10 ^{Afg}
12	2.21±0.13 ^{Be}	2.64±0.13 ^{ABe}	2.79±0.11 ^{Ag}

→A, B, C: Gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

↓a, b...g: Aylar arasındaki fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0.05).

Tüm duyusal analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde depolamanın ilk ayı sonunda 5 kGy ile ışınlanan grup duyusal açıdan en yüksek puanı (4.43) almıştır. Kontrol grubu 9. aydan sonra “ 2-tüketilebilir” limitine yaklaşmış, ışınlanmış gruplar ise bu değere 11. ay sonunda düşmüştür. Genel değerlendirmede ışınlanmış grupların kontrol grubuna oranla duyusal açıdan daha yüksek puanlar aldığı, özellikle 7. ayda 5 kGy ile ışınlanan grubun genel duyusal puanının kontrol grubuna ve 3 kGy dozunda ışınlanan gruba oranla oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Bundan sonraki aylarda ise ışınlanan gruplar istatistiksel açıdan farksız bulunmuştur ($p>0.05$).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, palamut balığına (*Sarda sarda* Bloch, 1793) farklı dozlarda (3 ve 5 kGy) uygulanan iyonize radyasyon ile dondurma ($-20\pm 2^{\circ}\text{C}$) işleminin ürünün kalitesi ve raf ömrüne etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla oluşturulan 3 farklı grup (Kontrol, 3 kGy ve 5 kGy) paketlenip dondurularak 12 ay süre ile derin dondurucuda depolanmıştır. Çalışmanın ilk günü taze balık etinden alınan örneklerle balık etinin besin kompozisyonu ve mikrobiyolojik özellikleri belirlenmiş, depolama süresince ise ayda bir olarak fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik ve duyu analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi neticesinde aşağıdaki genel sonuç ve öneriler çıkarılmıştır:

1. Çalışmamızda kullanılan palamut balığının protein içeriği % 24.43, yağ içeriği %14.62, kül içeriği %1.33, enerji miktarı ise 230.06 kcal/100gr'dır.

2. Depolama süresince grupların pH değerleri 5.91 ile 6.20 arasında değişmiş ve başlangıç değerlerine göre artış gözlenmiştir. Depolama süresi sonunda tespit edilen pH değerleri de tüm gruplarda istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bulgular göstermektedir ki, pH analizi hiçbir grup için tek başına bir kalite göstergesi olarak kullanılamaz.

3. Balığın depolama esnasında su aktivitesi (a_w) değerleri gruplara göre 0.988 ile 0.972 arasında değişmiştir. Depolama boyunca küçük miktarda gözlenen değişimlerle birlikte 12 aylık periyodun sonunda ışınlanan grupların (3 ve 5 kGy) su aktiviteleri (a_w) kontrol grubuna göre istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur.

4. Depolama süresince grupların TMA-N değerleri 1.18 ile 2.34 arasında değişmiştir. Gruplar kendi içlerinde aylara göre küçük dalgalanmalar göstermekle birlikte depolama süresi sonunda ilk ay değerlerine göre TMA-N değerleri istatistiksel olarak önemli derecede artış göstermiştir. Bununla birlikte, 3 ve 5 kGy dozunda ışınlanan grupların depolama süresi sonunda TMA-N değerlerinin kontrol grubuna göre istatistiksel olarak daha düşük bulunduğu tespit edilmiştir. Işınlanan grupların kendi aralarında ise bir kaç ay dışında istatistiksel olarak fark gözlenmemiştir. Işınlama işleminin TMA-N değeri üzerinde olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

5. Varlık ve ark. (2004)'na göre taze balık etindeki TVB-N miktarı için 35 mg N/100 gr tüketilebilir sınır değeri olarak ele alındığında, kontrol grubunun bu değeri 9. ay itibarıyla geçtiği, 3 ve 5 kGy dozunda ışınlama yapılmış grupların ise çalışma süresi sonuna kadar bu değer altında kaldığı tespit edilmiştir. Işınlama işlemi yapılan her iki grubun (3 ve 5 kGy) TVB-N değeri ise araştırmanın son 3 ayında istatistiksel

olarak artış göstermemiş ve 9. ay dışında 6. aydan itibaren her iki grubun da TVB-N değerleri istatistiksel açıdan benzer bulunmuştur. Farklı dozlarda ışınlamanın (3 ve 5 kGy), dondurularak muhafaza edilen palamut balığının raf ömrüne olumlu yönde katkılar sağladığı tespit edilmiştir.

6. Kimyasal kalite kriterlerinden TBARs miktarında depolama süresi boyunca tüm gruplarda artış gözlenmiştir. Depolamanın ilk ayında ışınlanmış gruplarda (3 ve 5 kGy), kontrol grubuna göre istatistiksel olarak yüksek bulunan TBARs miktarı ve dalgalanmalar ise literatürle uyumlu bulunmuştur. Varlık ve ark. (2004)'na göre taze balıkta limit olan 8 mg MA/kg değerinin, kontrol grubunda 9. ayda aşıldığı tespit edilmiştir. Tespit edilen bu sonuç, en önemli kimyasal kalite kriterlerinden biri olan TVB-N analizi ile de örtüşmektedir. Ayrıca ışınlama uygulanan gruplar (3 ve 5 kGy) depolama süresi sonunda limit değerleri altında kalmış ve kendi aralarında istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilmemiştir.

7. Depolama öncesi taze balıkta tespit edilen toplam mezofil aerobik bakteri yükleri düşük miktarlarda olup, en düşük mikrobiyal yük 5 kGy ile ışınlanan grupta bulunurken, en yüksek yüke sahip olan grup ise çok az bir fark ile 3 kGy dozunda ışınlanan grup olmuştur.

Dondurma işlemi ile her üç grubun mezofil bakteri yükü azalan oranlarda tespit edilmiş olup tüm gruplar mezofil aerobik yük bakımından 10^6 sınırının altında tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 3 kGy grubunun kontrol grubundan, 5 kGy grubunun ise 3 kGy grubundan daha kısa sürede bakteri sayısında azalmalar tespit edilmiştir. Bu da ışınlanmış balıkların dondurulduktan sonra, hiç ışınlanmadan dondurulan balıklara nazaran daha iyi kalitede olduğunu göstermektedir.

8. Dondurma öncesi ışınlanan grupların (3 ve 5 kGy) dondurma öncesi psikrofilik bakteri yükü kontrol grubundan istatistiksel olarak düşük bulunmuştur. Bununla birlikte yüksek doz uygulanan grubun (5 kGy) da psikrofil bakteri yükü, düşük doz uygulanan gruptan (3 kGy) önemli derecede daha düşük bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde, ışınlama işleminin taze balıktaki toplam psikrofil aerobik bakteri yükünü azalttığı, ışınlama dozunun artmasıyla birlikte bakteriyel yükün daha da aşağı seviyelere düşürüldüğü söylenebilir.

Dondurma işlemi sonrası depolama süresince, ışınlanan grupların (3 ve 5 kGy) mikrobiyal yükleri ışınlama dozu yüksek olanda 3. aydan, düşük dozda olanda ise 5. aydan itibaren azalmaya başlamış ve daha sonraki aylarda tespit edilen değerler istatistiksel

açından birbirine benzer olmuştur. Sonuç olarak, taze balıkta ışınlama işleminin ve ışınlama dozunun bakteri sayısını azaltmada etkili olduğu ($p<0.05$), dondurma işlemi ile kombine edildiğinde ise mikrobiyolojik açıdan daha kaliteli ürün elde edilmesine imkan verdiği söylenebilir.

9. 12 aylık depolama süresi sonunda tekstür açısından en yüksek puanı yüksek dozda ışınlanan (5 kGy) grup almıştır ve bu grubu düşük dozda ışınlanan (3 kGy) grup takip etmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, ışınlama işleminin tekstür kalitesine olumlu yönde etki ettiği söylenebilir.

10. 12 aylık depolama periyodu sonuna gelindiğinde, 3 ve 5 kGy ile ışınlanan grupların koku puanları daha yüksek bulunmuştur ve her iki grup arasında istatistiksel olarak fark bulunamamıştır. Işınlamanın koku kriteri üzerinde olumlu etki gösterdiği ($p<0.05$), ancak uygulanan farklı dozların önemli bir değişime neden olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

11. Duyusal kriterlerden olan lezzet parametresi depolamanın ilk ayında her 3 grupta da benzer sonuçlar vermiştir ($p>0.05$). Depolama süresi boyunca tüm gruplarda küçük dalgalanmalar görülmekle birlikte depolama süresi sonuna gelindiğinde, gruplar arasında istatistiksel olarak önemli bir farka rastlanmamıştır. Işınlama işleminin lezzet üzerinde olumlu ya da olumsuz bir etki yaratmadığı söylenebilir.

12. Tüm duyusal analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde depolamanın ilk ayı sonunda 5 kGy ile ışınlanan grup duyusal açıdan en yüksek puanı almıştır. 12 aylık periyodun sonuna gelindiğinde, en yüksek skoru 5 kGy ile ışınlanan grup elde ederken, düşük doz ile ışınlanan grup (3 kGy) da istatistiksel açıdan bu gruba benzer bulunmuştur. 3 kGy ile ışınlanan grup aynı zamanda kontrol grubu ile benzer bulunmuştur ($p>0.05$). Işınlama işleminin balığın duyusal özelliklerine olumlu etki gösterdiği ve artan ışınlama dozunun daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

Araştırmada elde edilen veriler genel olarak değerlendirildiğinde, farklı dozlarda ışınlanarak (3 ve 5 kGy) dondurulan ve 12 ay süre ile depolanan palamut balığı için, ışınlama işleminin fiziksel, kimyasal ve duyusal özellikleri üzerinde olumlu etkisi olduğu ($p<0.05$), artan ışın dozunun ise çok etkili olmadığı söylenebilir ($p>0.05$). Işınlanmış balıklarda ışın dozunun duyusal özelliklerine etkisi renk açısından gözlenen fark dışında çok hissedilmemiştir. Mikrobiyolojik açıdan bakıldığında, ışınlama işleminin taze balıktaki bakteri sayısını azaltıcı etkide olduğu ve bu etkinin ışın dozu arttıkça arttığı söylenebilir. Işınlanmış balıkların dondurulması ile de kontrol grubuna

göre daha az sayıda tespit edilen bakteri sayıları, bu iki işlemin kombine etkisinin avantajlı durumlara neden olduğu sonucunu verebilir.

Sonuç olarak, ışınlama işlemini takiben yapılan dondurma işleminin palamut balığının raf ömrünü artırdığı, 3 ve 5 kGy dozun ürünün fiziksel ve kimyasal özelliklerinde benzer etki gösterdiği, duyuşal açıdan ise neredeyse balığın tüm özelliklerinde olumlu etki göstermesi bakımından 5 kGy dozun kullanılmasının daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Hem ülkemiz gıda kodeksine göre 5 kGy ile sınırlanan çiğ et ışınlama limitlerine, hem de 10 kGy'e kadar yasal limit belirleyen Codex Alimentarius'a göre bir olumsuz etki görülmeden kullanılabileceği belirtilmektedir. Ayrıca su ürünlerinde yüksek dozda ışınlamadan (10 kGy>) dolayı önemli derecede olumsuz değişimler bildirilen herhangi çalışmaya rastlanmamıştır.

Su ürünlerinin muhafazasında kullanılan başlıca temel metotlar; dondurma, konserve, dumanlama, tuzlama ve kurutma iken günümüzde su ürünlerinin muhafaza süresinin çok daha uzun ve steril olması amacıyla ışınlama teknolojisi gibi nispeten yeni olan bir teknoloji kullanılabilmektedir. Işınlamanın en büyük avantajı olan diğer muhafaza yöntemleri ile birlikte kombine kullanımı sayesinde kullanılarak Hurdle etkisi elde edilmektedir. Işınlama teknolojisi aynı zamanda dünyada hızla yaygınlaşmakta olan ve pek çok sektörde (ilaç, kozmetik, meyve- sebze, baharat, diğer et ürünleri vb.) de kullanılabilen bir teknolojidir. Su ürünlerinde çeşitli muhafaza yöntemleri ile birleştirilerek ya da tek başına kullanımı yaygınlaştırılarak tüketicinin daha kaliteli ürüne sahip olabilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ağabeyoğlu, İ., Doğanay T., Hakyemez G., Çelebi N., Acartürk F., Üstün G., Ataberk P., Ocak F., Ocak Ö., İşcanoğlu M., Değim T., Erden N., Değim Z. Takka S., Kışlal Ö. 1990. Farmasötik Teknoloji - Laboratuvar El Kitabı. Ertem Matbaacılık, Ankara, 278 s.
- Ahmed, K. M., Hasan, M., Alam, M. J., Ahsan, N., Islam, M. M., Akter, M. S. 2009. Effect of gamma radiation in combination with low temperature refrigeration on the chemical, microbiological and organoleptic changes in *Pampus chinensis* (Euphrasen, 1788). World Journal of Zoology 4 (1): 09-13.
- Alasalvar, C., Taylor, T. 2002. Seafoods-quality, technology and nutraceutical applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, pp. 218.
- Al-Kahtani, H.A., Abu-Tarboush, H. M., Atia, M., Bajaber, A. S., Ahmed, M. A., El-Mojaddidi, M. A. (1998). Amino acid and protein changes in Tilapia and Spanish Mackerel after irradiation and storage. Radiat. Phys. Chem., 51(1): 107-114.
- Alkan, H. 2002. Gıda ürünlerinin korunmasında ve gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesinde gıda ışınlama yöntemi. <http://www.gammapak.com/teknik-dökümanlar.html>. (Erişim tarihi: 05.06.2013)
- Alkan, H. 2006. Gıda ışınlama yöntemi ile gıdaların mikroorganizmalardan temizlenmesi. Gıda Teknolojisi Dergisi, Mart: 60-61.
- Altun S., Kubilay A. 2009. Türkiye'de su ürünleri üretim sektörünün gelişimi ve balık sağlığı. XV.Ulusal Su ürünleri Sempozyumu.1-4 Temmuz, Rize.
- Anonim, 1999. Resmi gazete; 6.11.1999, 23868.
- Anonim, 2014a. http://www.gma.org/fogm/Sarda_sarda.htm (Erişim tarihi 24.05.2014).
- Anonim, 2014b. [http://tr.wikipedia.org/wiki/Palamut_\(bal%C4%B1k\)](http://tr.wikipedia.org/wiki/Palamut_(bal%C4%B1k)) (Erişim tarihi: 27.05.2014).
- Anonim, 2014c. http://www.gma.org/fogm/Sarda_sarda.htm (Erişim tarihi: 24.05.2014)
- Anonim, 2014d. <http://www.taek.gov.tr/ogrenci/sf4.html> (Erişim tarihi: 30.06.2014)
- Anonim, 2014e. <http://www.bgst.org/halk-sagligi-1/gidalarin-isininlanmasi> (Erişim tarihi: 10.05.2014).
- Anonim, 2014f. General Standard For The Labelling Of Prepackaged Foods. Codex Stan 1-1985, “CFR - Code of Federal Regulations Title 21”. (Erişim tarihi: 05.06.2014)

- Anonim, 2014g. <http://www.harwell-dosimeters.co.uk/harwell-amber-3042> (Erişim tarihi: 26.05.2014)
- ANZFA, 2001. Australia New Zealand Food Authority. Legibility Requirements for Food Labels: ANZFA User Guides to the New Food Standards Code. FSANZ, Canberra.
- AOAC, 1995. Association of Official Analytical Chemists. "Official Methods of Analysis". Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC, 1998. Association of Official Analytical Chemists. "Official Methods of Analysis". Association of Official Analytical Chemists, Inc., Arlington, Virginia, USA.
- AOAC, 2000. Association of Official Analytical Chemists. "Official Methods of Analysis". 17th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA.
- AOAC, 2005. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis 18th Ed., Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA.
- Arannilewa, S.T., Salawu, S.O., Sorungbe, A.A., Ola-Salawu, B.B. (2005). Effect of frozen period on the chemical, microbiological and sensory quality of frozen, tilapia fish (*Sarotherodon galilaeus*). African Journal of Biotechnology, 4 (8): 852-855.
- Arvanitoyannis, I.S., Stratakis, A.C., Mente, E. 2009. Impact of irradiation on fish and seafood shelf life: a comprehensive review of applications and irradiation detection. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 49: 68–112.
- Atar, H.H., Alçiçek, Z. 2009. Seafood consumption and health. TAF Preventive Medical Bulletin, 8 (2): 173-176.
- Aydın, M., Karadurmuş, U. (2013). Trabzon ve Giresun bölgelerindeki su ürünleri tüketim alışkanlıkları. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 3(9): 57-71.
- Ayhan, K. 2000. Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları. (Genişletilmiş 2. Baskı) Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayını, Sim Matbaası, Ankara, 522 s.
- BAKA, 2012. Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı. Su Ürünleri Sektör Raporu.

- Bilgin, Ş. 2003. Farklı işleme yöntemlerine göre dağ alabalığının (*Salmo trutta macrostigma*, D.,1858) kimyasal yapısındaki değişimler. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 148 s.
- Bilişli, A. 2009. Gıda Kimyası. Sidas Medya Ltd. Şti., Seher Matbaacılık, İzmir, 237 s.
- Boland, F.E., Paige, D.D. 1971. Collaborative study of a method for the determination of trimethylamine nitrogen in fish. Journal of Assoc. Off Anal. Chem., 54(3):725-727.
- Brasch, A., Huber, W. 1947. Ultrashort application time of penetrating electrons. Science. 31 January 1947. Vol. 105 no: 2718. pp. 112-117. DOI: 10.1126/science.105.2718.112.
- Chawla S.P., Kim D.H., Jo C., Lee J.W., Song H.P., Byun M.W. 2003. Effect of gamma irradiation on the survival of pathogens in Kwamegi, a traditional Korean semidried seafood. J Food Protect, 66 (11): 2093–2096.
- Chouliara, I., Savvaidis, I.N., Panagiotakis, N., Kontominas, M.G. 2004. Preservation of salted, vacuum-packaged, refrigerated sea bream (*Sparus aurata*) fillets by irradiation: microbiological, chemical and sensory attributes. Food Microbiology, 21: 351–359.
- Chouliara, I., Sawaidis, L.N., Riganakos, K., Kontaminas, M.G. 2005. Shelf-life extension of vacuum-packaged sea bream (*Sparus aurata*) fillets by combined gamma-irradiation and refrigeration: microbiological, chemical and sensory changes. J. Sci. Food Agric. 85 (5): 779-784.
- Collette, B.B., Chao L. N. 1975. Systematic and morphology of the bonitos (*Sarda*) and their relatives (*Scombridae*, *Sardini*). Fish. Bull. US, 73: 516-625.
- Collins, C. E., Schilling, M. W., Andrews, L. S., Marshall, D. L. 2010. Low-dose X-ray treatment of fresh channel catfish fillets does not affect color, texture, or oxidation. Journal of Aquatic Food Product Technology, 19(3-4):162-169
- Connell, J. J. 1980. Marinades. Control of fish quality (2nd edition). Scotland: Torry Research Station, Aberdeen, 102-105 s.
- Cozzo-Siqueira, A., Oetterer, M., Gallo C.R. (2003). Effects of irradiation and refrigeration on the nutrients and shelf-life of tilapia (*Oreochromis niloticus*). Journal of Aquatic Food Product Technology, 12 (1): 85–101.
- Çaklı, Ş. 2007. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi-1. Ege Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Yayınları: 76, İzmir, 696 s.

- Çolakoğlu F., İşmen A., Özen Ö., Çakır F., Yığın Ç, Ormancı H.B. 2006. Çanakkale ilindeki su ürünleri tüketim davranışlarının değerlendirilmesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 23(3): 387-392
- Dauphin, J. F., Salint-Lebe, L. R. 1977. Radiation chemistry of carbohydrates. In: P. S. Elias, A. J. Cohens (Editors), Radiation Chemistry of Major Food Components, Elsevier, Amsterdam, pp.131-185.
- Demirci, M., Orak, H. H. 1999. Farklı soğutma ortamları ve -12 °C’de depolanan istavrit balığında (*Trachurus trachurus*) meydana gelen kalite değişimleri. J. of Agriculture and Forestry, 23: 143-150.
- Dönmez, M., Tatar, O. 2001. Fileto ve bütün olarak dondurulmuş gökkuşağı alabalığının (*Oncorhynchus mykiss*) muhafazası süresince yağ asitleri bileşimlerindeki değişmelerin araştırılması. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 18(1-2): 125-134.
- EC, 2012. European Comission. List of approved facilities for the treatment of foods and food ingredients with ionising radiation in the member states. *Official Journal of the European Union*, 2012-01-25.
- Ekici, K., Sağun, E., Sancak, Y. C., Sancak, H., Yörük, İ. H., İşleyici, Ö. 2011. Dondurulmuş olarak muhafaza edilen inci kefalinde (*Chalcalburnus tarichi*, Pallas 1811) biyogen amin oluşumu ve mikrobiyolojik değişimlerin belirlenmesi. YYU Veteriner Fakültesi Dergisi, 22 (2): 93 -99.
- Ekinci R, Yapar A. 2004. Alabalıkların (*O.mykiss* W., 1792) donma ve çözünme süreleri üzerine dondurma sıcaklığı ve hava sirkülasyonunun etkileri. F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16: 61-68.
- Erdem, M.E., Kalaycı, F., Duyar, H.A., Samsun, S. 2009. Determination of the shelf life and biochemical composition of atlantic bonito (*Sarda sarda*) caught by different fishing gears. Journal of Muscle Food, 20: 242-253.
- Ergün, H. 2009. Su ürünleri tüketimi ve tanıtımı. SÜMAE Yunus Araştırma Bülteni, 9(2): 12-16.
- Erkan, N., Üretener, G., Alpas, H., Selcuk, A., Özden, Ö., Buzrul, S. 2011. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) treatment on physicochemical properties of horse mackerel (*Trachurus trachurus*). Food and Bioprocess Technology, 4 (7): 1322-1329.
- Etyemez, M. 2011. Farklı dozlarda gama ışınlamanın soğukta depolanan (2°C) kurbağa bacaklarının (*Rana esculenta*) duyusal, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesi

- üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 66 s.
- Falch, E., Overrien, I., Solberg, C., Slizyte, R. 2010. Composition and calories. In: Nollet, L.M.L., Toldrá, F. (Editors), Seafood and Seafood Product Analysis. Part III (Chapter 16), CRC Press. Taylor& Francies Group, Boca Raton, New York, pp 257-288.
- FAO, 1986. Food and Agriculture Organisation. Food and nutrition paper manuals of food quality control food analysis: quality, adulteration, and tests of identity. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 89 p.
- FAO, 1998. Food and Agriculture Organisation. Food and nutrition paper manuals of food quality control food analysis: quality, adulteration, and tests of identity. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 93 p.
- Gökoğlu, N. 2002. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi. Su Vakfı Yayınları, ISBN: 975-9703-48-3, İstanbul, 157 s.
- Gram, L., Dalgaard, P. 2002. Fish spoilage bacteria -problems and solutions. Current Opinion in Biotechnology, 13: 262–266.
- Gülyavuz, H., Ünlüsayın, M., 1999. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi. Şahin Matbaası, ISBN:975-96897-0-7, Ankara, 366 s.
- Halkman, A. K. 2014. Gıda Işınlama.
<http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/DosyaGoster.aspx?DIL=1&BELGEANAH=4091&DOSYASIM=20140424%20GIDA%20ISINLAMA%20Bolu.pdf>
(Erişim tarihi: 04.06.2014)
- Harewood P, Rippey S, Montesalvo M. 1994. Effect of gamma irradiation on shelf life and bacterial and viral loads in hard-shelled clams (*Mercenaria mercenaria*). Appl. Envr. Microbiol., 60(7): 266-270.
- Hebard, C.E., Flick, G.J., Martin, R.E. 1982. Occurence and sgnificance of trimetyhlamine oxide and its derivates in fish and shellfish. In: R. E. Martin., G. J. Flick, C. E., Hebard, D. R. Ward (Editors), Chemistry and Biochemistry of Marine Food Products, Avi Publishing Wesport, Connecticut, pp. 149-304.
- Hocaoğlu, A., Demirci, A. Ş., Gümüş, T., Demirci, M. 2012. Effects of gamma irradiation on chemical,microbial quality and shelf life of shrimp. Radiation Physics and Chemistry, 81: 1923–1929

- Huss, H.H. 1995. Assurance of fresh fish quality. In: H. H. Huss (Editors), Quality and Quality Changes in Fresh Fish, Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO): 348, Roma, 154-161 s.
- Hussain, A. M., Chaudry, M. A., and Haq, I. 1985. Effect of low doses of ionizing radiation on shelf life of macherel (*Rastrellinger kanagurta*). Lebensm.-Wiss. Technology. 18:273–276.
- IAEA, 1992. International Atomic Energy Agency. Radiation Preservation of Fish And Fishery Products. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Technical Reports Series 03, International Atomic Energy agency, Vienna.
- IAEA, 2002. International Atomic Energy Agency. List of approved facilities for the treatment of foods and food ingredients with ionising radiation in the member states. Official Journal of the European Union, 2012-01-25.
- İnuğur, M. 2006. İyonize radyasyon uygulamasının taze balıkların kalitesi ve dayanım süresi üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 88 s.
- Jaczynski, J., Park, J.W. 2003. Microbial inactivation and electron penetration in surimi seafood during electron beam processing. Food Microbiology and Safety, 68: 1788-1792.
- Jay, J. M. 2000. Food preservation with modified atmospheres. In: D. R. Heldman (Editors), Modern Food Microbiology, Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Md, pp. 283-295.
- Jeevanandam, K., Kakatkar, A., Doke, S.N., Bongiwar, V., Venugopal, V. 2001. Influence of salting and gamma irradiation on the shelf-life extension of threadfin bream in ice. Food Res. Int., 34: 739-746.
- Jo, C., Lee, W.D., Kim, D.H., Kim, J.H., Byun, M.W. 2004. Quality attributes of low salt Changran Jeotkal (aged and seasoned intestine of Alaska pollock, *Theragra chalcogramma*) developed using gamma irradiation. Food Control, 15: 435–440.
- Kaba, N., Çorapcı, B., Eryaşar, K. 2014. Determination of some quality properties and nutritional composition of turkish raw meat ball produced with marinated atlantic bonito. Gıda, 39 (2): 63-70.
- Kardashev, A. V. 1966. Sterilization of preserved fish by gamma radiation. international atomic energy agency. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome (Italy), 979 p

- Kasımoğlu, A., Denli, E., İç, E. 2003. The extension of the shelf-life of sardine which were packaged in a vacuum stored under refrigeration, and treated by d-irradiation. *International Journal of Food Science and Technology*, 38: 529–535.
- Kaya, Y. 1998. Balık dondurma teknolojisinde kalite ve dayanma süresini etkileyen faktörler üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 93 s.
- Kaya, Y., Turan, H., Erkoyuncu, İ., Sönmez, G. 2006. Sıcak dumanlanmış palamut (*Sarda sarda* Bloch, 1793) balığının buzdolabı koşullarında muhafazası. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 23(1/3): 457-460
- Kilgen, M. B. 2001. Irradiation processing of fish and shellfish products. In: R. Molins (Editors), *Food Irradiation-Principles and Applications*, New York: John Wiley & Sons, pp. 193-212.
- Kim, J.H., Ahn, H.J., Yook H.S., Kim, K.S., Rhee, M.S., Ryu, G.H., Byun, M.W. 2004. Color, flavor, and sensory characteristics of gamma-irradiated salted and fermented anchovy sauce. *Radiation Physics and Chemistry*, 69:179–187.
- Kleeberg, K.K. 2002. Identification of amino acid radiation products and sensory effects on γ -irradiated (gamma-irradiated) brown shrimps (*Crangon crangon*) and other protein rich foods. Doctoral Thesis, Hamburg University, Hamburg, pp. 207.
- Kocatepe, D. 2010. Farklı modifiye atmosfer koşullarında paketlenen ve buzdolabı sıcaklığında depolanan levrek balığının (*Dicentrarchus labrax*, Linnaeus 1758) fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik yönden incelenmesi. Doktora Tezi, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop, 165 s.
- Kolakowski, E., Kolakowska, A., Rozalski, S. 1972. The Objective Assesment of Freshness of Fish, Report Academy of Agriculture. Szczecin, Poland, pp. 142-156.
- Kostaki, M., Giatrakou, V., Savvaidis, I.N., Kontominas, M.G. 2009. Combined effect of MAP and thyme essential oil on the microbiological, chemical and sensory attributes of organically aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fillets. *Food Microbiology*, 26(5):475-482.
- Köse S., Gökoğlu N., Mol Tokay S., Baygar T., Özer N.P., Meriç İ., Alçiçek Z. 2010. Türkiye’deki su ürünleri işleme sektörünün durumu, sorunları ve çözüm önerileri, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak 2010, Ankara.

- Kwon, J.H., Byun, M.W., 1995. Gamma irradiation combined with improved packaging for preserving and improving the quality of dried fish (*Engraulis encrasicolus*). Rad Phys Chem, 46: 725–729.
- Kykkidou, S., Giatrakou, V., Papavergou, A., Kontominas, M.G., Savvaidis, I.N. 2009. Effect of thyme essential oil and packaging treatments on fresh Mediterranean swordfish fillets during storage at 4°C. Food Chemistry, 115(1): 169-175.
- Lakshmanan, R., Venugopal, V., Rao, B.Y.K., Bongirwar, D.R. 1999 Stability of lipids of Indian mackerel to gamma irradiation. J. Food Lipids, 6: 277–285.
- Leistner, L. 2000. Use of combined preservative factors in foods of developing countries. In: B. M. Lund, A. C. Baird-Parker, G. W. Gould (Editors). The Microbiological Safety and Quality of Food. Vol. 1. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers, pp. 294-314.
- Ludorf, W., Meyer, V. 1973. Fische und Fischerzeugnisse. Verlag Paul Parey, Printed in Germany bei A. W. Hayn's Erben.
- Manthey, M., Karnop, G., Rehbein, H. 1988. Quality changes of European catfish (*Silurus glanis*) from warm water aquaculture during storage in ice. International Journal of Food Science and Technology, 23: 1-9.
- Mbarki, R., Nahdi, H., Barkallah, I., Sadoki, S. 2009a. The potential use of irradiation to extend the shelf-life of clams (*Ruditapes decussatus*) during live storage: effect on bacterial and biochemical profiles. International Journal of Food Science and Technology 2009, 44: 1229–1234.
- Mbraki, R., Miloud, N. B., Selmi, S., Dhib, S., Sadok, S. 2009b. Effect of vacuum packaging and low-dose irradiation on the microbial, chemical and sensory characteristics of chub mackerel (*Scomber japonicus*). Food Microbiology, 26: 821–826
- Mbarki, R., Sadok, S., Barkallah, I. 2009c. Quality changes of the Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) during chilled storage: The effect of low-dose gamma irradiation. Radiation Physics and Chemistry, 78: 288–292.
- Mendes, R., Silva, H.A., Nunes, M.L., Empis, J.M.A. 2005. Effect of low-dose irradiation and refrigeration on the microflora, sensory characteristics and biogenic amines of atlantic horse mackerel (*Trachurus trachurus*). Eur. Food Res. Technol., 221: 329–335.

- Metin, S. 1995. Taze ve soğukta depolanan gökkuşuğu alabalığının fiziksel ve kimyasal parametrelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 74 s.
- Moini, S., Tahergorabi R, Hosseini S.V., Rabbani, M., Tahergorabi, Z., Feás, X., Aflaki, F. 2009. Effect of gamma radiation on the quality and shelf life of refrigerated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. J Food Prot., 72 (7):1419-1426.
- Mol, S., Özden, Ö., Erkan, N., Baygar, T. 2004. The determination of the quality parameters of imported mackerels under different thawing conditions. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences 28: 1071-1077.
- Mol, S., Ulusoy, Ş. 2010. Türkiye’de su ürünleri işleme sektörünün sorunları ve çözüm önerileri. Journal of Fisheries Sciences, 4(2): 152-158.
- Oehlenschläger, J. 1992. Evaluation of some well established and some underrated indices for the determination of freshness and/or spoilage of ice stored wet fish. In: H.H. Huss, M. Jakobsen, J. Liston (Editors), Quality Assurance in Fish Quality, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, pp. 339-350.
- Öksüz, A., Özeren, A., Atlar, A. 2008. Palamut (*Sarda sarda*) balıklarının kırmızı ve beyaz kaslarındaki bazı biyokimyasal parametrelerinin karşılaştırılması. Journal of Fisheries Sciences, 2(4): 639-644.
- Oraei, M., Motalebi, A.A., Hoseini, E., Javan, S. 2011. Effect of gamma irradiation and frozen storage on microbial quality of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 10(1): 75-84.
- Özden, O., İnuğur, M., ve Erkan, N., 2007a. Effect of different dose gamma radiation and refrigeration on the chemical and sensory properties and microbiological status of aquacultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Rad Phys Chem, 76: 1169–1178.
- Özden, O., İnuğur, M., ve Erkan, N., 2007b. Preservation of iced refrigerated sea bream (*Sparus aurata*) by irradiation: microbiological, chemical and sensory properties and attributes. Eur Food Res Tech, 225: 797-805.
- Özoğul F., Özden, Ö., Özoğul, Y., Erkan, N. 2010a. The effects of gamma-irradiation on the nucleotide degradation compounds in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) stored in ice. Food Chem, 122: 789-794.
- Özoğul F., Özden, Ö., Özoğul, Y., Erkan, N. 2010b. Nucleotide degradation products of gamma-irradiated sea bream (*Sparus aurata*) stored in ice. International Journal of Food Science and Technology, 45: 2290–2296.

- Pigott, G.M., Tucker, B.W. 1990. Seafood effects of technology on nutrition. Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 384.
- Pons-Sánchez-Cascado, S., Vidal-Carou, M.C., Nunes, M.L., Veciana-Nogués, M.T. 2006. Sensory analysis to assess the freshness of Mediterranean anchovies (*Engraulis encrasicolus*) stored in ice. Food Control, 17: 564-569.
- Ruiz-Capillas, C., Moral, A., 2005. Sensory and biochemical aspect of quality of whole bigeye tuna (*Thunnus obesus*) during bulk storage in controlled atmospheres. Food Chemistry, 89: 347-354.
- Saygın, G. A. 1999. Bitkisel Yağ Teknolojisi. Asya Tıp Yayıncılık Ltd.Şti., İzmir. 182 s.
- Schormüller, J. 1969. Handbuch der lebensmittelchemie (Band IV). Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Sikorski, Z. E. 1990. Seafood: Resources, Nutritional Composition and Preservation. CRC Press, Inc., ISBN: 0-8493-5985-6, Florida, pp. 248.
- Stewart, E.M. 2001. Food irradiation chemistry. In: R.A. Molins (Editors). Food Irradiation: Principles and Applications, John Wiley&Sons, Inc. Canada, pp. 347-386.
- Suklim, K., Flick, G.J., Vichitphan, K. 2014. Effects of gamma irradiation on the physical and sensory quality and inactivation of listeria monocytogenes in blue swimming crab meat (*Portunas pelagicus*), Radiation Physics and Chemistry, 103 (October): 22-26.
- TAEK, 2007. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu. Gıda Işınlama. TAEK Basım Merkezi, Ankara, 263 s.
- Taylor, S.L. 1986. Histamine food poisoning: Toxicology and clinical Aspect. C.R.C. Critical Reviews in Toxicology, 17(2): 91-128.
- Telefoncu, A. 1993. Besin Kimyası. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Yayın No: 149, İzmir, 192 s.
- Tokur, B., Kandemir, S. 2008. Dondurulmuş balıklarda farklı çözündürme şekillerinin protein kalitesine olan etkileri. Journal of Fisheries Sciences, 2(1): 100-106.
- Tomar, O., Ertugay, M. F. 2005. Gıda muhafazasında iyonlaştırıcı radyasyon kullanımı ve son gelişmeler. Dünya Gıda, 10(8): 85-89.
- Topal, R. Ş. 1996. Gıda Güvenliği ve Kalite Yönetim Sistemleri. TÜBİTAK-MAM Matbaası, Gebze, 225 s.

- Torres, Z., G. Kahn, M. Vivanco, G. Guzman and B. Bernuy. 2001. Shelf-life extension and decontamination of fish fillets (*Trachurus picturatus murphyi* and *Mugil cephalus*) and shrimp tails (*Penaeus vannamei*) inoculated with toxigenic *Vibrio cholerae* O1 El Tor using gamma radiation. In: Irradiation to control *Vibrio* infection from consumption of raw seafood and fresh produce. IAEA-TECDOC 1213 (International Atomic Energy Agency), Vienna. p. 47-56.
- Turan, H. 2002. Balık dondurma teknolojisinde değişik balıklarda dondurma öncesi ve sonrası yapılacak işlemlerin ürün kalitesi ve depo ömrüne etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sinop, 110 s.
- Turan, H., Altan, C.O., Kocatepe, D., Gökner, G. 2013. Effect of different thawing methods on the meat quality of bonito (*Sarda sarda* Bloch 1793) (Oral presentation). The First International Fisheries Symposium in Northern Cyprus, 24th-27th March, Northern Cyprus. Book of Abstracts, p:81.
- Turan, H. 2011. Su ürünleri dondurma teknolojisi, yüksek lisans ders notları (basılmamış). Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Sinop.
- Turan, H. 2013. Su ürünleri besin kimyası, lisans ders notları (basılmamış). Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Sinop.
- TÜİK, 2013. Türkiye İstatistik Kurumu. Su Ürünleri İstatistikleri 2013 (Fishery Statistics 2013). Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara.
- Ünlütürk, A., Turantaş F. 1998. Gıda Mikrobiyolojisi. Mengi Tan Basım Evi, İzmir, 605 s.
- Varlık, C., Erkan, N., Özden, Ö., Mol, S., Baygar, T. 2004. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi. İstanbul Üniversitesi, Yayın No: 4465, İstanbul, 491 s.
- Wang, S. F., Shen, L., Tong, Y. J., Chen, L., Pheng, I. Y., Lim, P. Q., Liu, T. X. 2005. Biopolymer chitosan/montmorillonite nanocomposites, preparation and characterization. Polymer Degradation and Stability, 90: 123-131.
- WHO, 1999. World Health Organization. Surface decontamination of fruits, vegetables and meat products: a review. WHO unpublished document, WHO/FSE/FOS/99.7.
- Yağız, Y., Kristinsson, H.G., Balaban, M.O., Welt, B.A., Raghavan, S., Marshall, M.R. 2010. Correlation between astaxanthin amount and a* value in fresh Atlantic

- salmon (*Salmo salar*) muscle during different irradiation doses. Food Chemistry, 120: 121-127.
- Yang, Z., Wang, H., Wanga, W., Wenyuan, Q., Yue, L., Yue, Q. 2014. Effect of 10 MeV E-beam irradiation combined with vacuum-packaging on the shelf life of Atlantic salmon fillets during storage at 4 °C. Food Chemistry, 145: 535–541
- Yerlikaya, P., Gökoğlu, N. 2010. Effect of previous plant extract treatment on sensory and physical properties of frozen bonito (*Sarda sarda*) filllets. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 10: 341-349.
- Yılmaz, A. B., Akpınar, D. 2003. Kemani vatozun (*Rhinobatos rhinobatos*, L., 1758) besin madde içeriğinin tespiti ve dondurularak muhafazası süresince kalite değişiminin belirlenmesi. Journal of Veterinary and Animal Sciences, 27: 207-212.
- Yoshida, H.O. 1980. Synopsis of biological data on bonitos of the genus *Sarda*. NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 432. FAO Fish Synopsis., 118: 1-50.

ÖZGEÇMİŞ

Can Okan ALTAN, 1984 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2003 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Su Ürünleri Fakültesi’nden 2009 yılında mezun oldu. 2011 yılında Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı ve halen devam etmektedir.