

ÖNSÖZ

Et ve tavuk ürünleri kaynaklı enfeksiyonların sayısı A.B.D’de her yıl yaklaşık olarak 1000-1200’ü ölümle sonuçlanan 2,5 -2,9 milyon vakaya sebebiyet vermektedir. Bu sorunlar ile iki alanda mücadele edilmeye çalışılmaktadır. Ülkemizde de hayvansal et kaynaklı ürünlerin raf ömrünü uzatabilmek ve bu ürünlerden kaynaklanabilecek sağlık risklerini azaltmak amacıyla ışınlama işlemi alternatif bir muhafaza yöntemi olarak kullanılabilir durumdadır. Bu tez çalışmasında, farklı dozlarda gama ışını uygulamasının kıyma ve köftelerin kalitesi üzerinde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir.

Tez çalışmasının tüm aşamalarında desteği ve katkısını esirgemeyen, ihtiyaç duyduğum her an bana zaman ayıran danışmanım Yrd. Doç. Dr. Gürbüz GÜNEŞ’e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesine imkan veren Gamma-Pak Sterilizasyon ve Ticaret A.Ş. Genel Müdürü Dr. Hasan ALKAN’a ve firmanın tüm çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tezin ve eğitim hayatımın tüm aşamalarında maddi ve manevi destekleriyle hep yanımda olan babama, anneme ve canım ailemin diğer üyelerine şükranlarımı sunarım.

AĞUSTOS, 2005.

Ayşe KARADAĞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Gıda Muhafaza Sistemlerine Bakış	3
1.2. En Bilinen Gıda Kaynaklı Patojenler	4
2. IŞINLAMA	5
2.1. Gama Işınlama	8
2.2. Elektron Hızlandırıcılarla Işınalama	8
2.3. Doz Ölçüm Sistemleri	9
2.4. Işınlamanın Etki Mekanizması	9
2.5. Işınlama Konusunda Toplumun Tepkisi	11
3. IŞINLAMANIN ET ÜRÜNLERİNİN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ	15
3.1. Işınlanan Etlerde Lipid Oksidasyon	17
3.2. Işınlanan Etlerde Koku Oluşumu	20
3.3. Işınlanan Etlerde Renk Değişimi	24
3.4. Işınlanan Etlerde Kaliteyi Koruma	26
3.4.1. Antioksidan Kullanımı	26
3.4.2. Ambalajlama Atmosferini Kontrol Altına Alma	29
4. LİPİD OKSİDASYON ÖLÇME YÖNTEMLERİ	31
4.1. Peroksit Değerinin Belirlenmesi	31
4.2. Hekzanal İçeriğinin Belirlenmesi	32
4.3. Malondialdehit İçeriğinin Belirlenmesi	32
4.3.1. UV-Spektrofotometre ile MDA belirlenmesi	34
4.3.2. HPLC ile MDA belirlenmesi	34
4.3.3. GC ile MDA belirlenmesi	34
4.3.4. TBA Test	34
4.3.4.1. Reaksiyon Kimyası	35
4.4. TBA Yöntemleri	37
4.4.1. Tüm örnek üzerinden distilasyon	37
4.4.2. Distilasyon	37
4.4.3. Ekstraksiyon	37
4.5. TBA ile Girişim Yapan Maddeler	39
4.6. TBA Testi ile Duyusal Analiz Sonuçları Arasında Korelasyon	41
5. TEPE BOŞLUĞU ANALİZLERİ UÇUCU MADDE ÖLÇÜMLERİ	42
5.1. Statik Tepe Boşluğu Analizi	42
5.2. Dinamik Tepe Boşluğu Analizi	43
6. AYIRT EDİCİ DUYUSAL TESTLER	45

6.1. Kontrolden Farklılık Testi	46
6.2. Üçgen Test	46
7. MATERYAL VE METOD	47
7.1. Materyal	47
7.1.1. Et	47
7.1.2. Baharatlar ve Diğer Katkı Maddeleri	47
7.1.3. Işınlama cihazı	47
7.1.4. Dozimetri sistemi	47
7.2. Metotlar	48
7.2.1. Toplam Bakteri Analizi	49
7.2.2. TBA Analizi	49
7.2.3. Duyusal Analiz	50
7.2.3.1. Kontrolden Farklılık Testi	50
7.2.3.2. Üçgen Testi	51
7.2.4. GC-Headspace Analizi	51
7.2.5. İstatiksel Analiz Yöntemleri	52
8. BULGULAR ve TARTIŞMA	53
8.1. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Toplam Bakteri Sayısına Etkisi	53
8.2. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerde Lipid Oksidasyon Üzerine Etkileri	56
8.2.1. Analiz Yönteminin Değerlendirilmesi	56
8.2.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	57
8.3. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Duyusa Özelliklerine Etkileri	61
8.3.1. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Kokusuna Etkisi	61
8.3.2. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Rengine Etkisi	65
8.4. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Uçucu Bileşenleri Üzerine Etkileri	68
8.4.1. Kıyma ve Köftelerde Ortak Gelen Piklerin Değerlendirilmesi	69
8.4.2. Kıymaya Ait Piklerin Değerlendirilmesi	75
8.4.3. Köfteye Ait Piklerin Değerlendirilmesi	76
9. SONUÇ ve ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	78
EKLER	84
ÖZGEÇMİŞ	90

KISALTMALAR

BHT	:Bütillendirilmiş hidroksitoluen
CDC	: Center of Disease Control, Hastalıkları Kontrol Merkezi
FAO	: Food and Agricultural Organization
FDA	: Food and Drugs Administration
IAEA	:Uluslararası Atomik Enerji Ajansı
kGy	: kiloGray (Işınlama birimi)
kob	: Koloni oluşturan birim
MDA	: Malondialdehit
NIST	: Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü
NPL	: İngiltere Ulusal Fizik Laboratuvarı
PCA	: Plate Count Agar
TAEK	:Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TBA	: Tiyobarbütirik asit
TBARS	: TBA ile reaksiyona giren maddeler
TCA	: Trikloroasetik asit
TEP	: 1,1,3,3 Tetraetoksipropan
TMP	: 1,1,3,3 Tetrametoksipropan
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Bazı patojenlerin sebep olduğu yıllık gıda kaynaklı hastalık sayısı.....	4
Tablo 2.1. Işınlamanın onaylandığı ülkelerden bazıları ve onaylanan ürün sayısı	7
Tablo 2.2. Türk Gıda Kodeksi Işınlama Yönetmeliği'ne göre gıda gruplarında belirli teknolojik amaçlara göre uygulanmasına izin verilen ışınlama dozları	10
Tablo 2.3. A.B.D.'de FDA tarafından izin verilen ışınlama dozları.....	11
Tablo 2.4. Işınlanmış et ve tavuk ürünlerini satın alma hakkında 1998-99 yılında yapılan tüketici değerlendirme sonuçları.....	12
Tablo 2.5. Tüketicilerin ışınlanan et veya tavuk almama konusundaki nedenleri.	12
Tablo 3.1. Sığır ve hindi etinin yağ asitlerinin toplam yağ içerisindeki oranları...	17
Tablo 3.2. Aerobik ve vakum ortamda depolanan sığır ve hindi etlerinde depolama süresi boyunca TBA değerlerindeki değişim.....	20
Tablo 3.3. 3 kGy dozda ışınlanarak aerobik paketlenen sığır, domuz ve hindi etlerinde depolama boyunca uçucu madde miktarları.....	23
Tablo 3.4. 3 kGy dozda ışınlanarak vakum paketlenen sığır, domuz ve hindi etlerinde depolama boyunca uçucu madde miktarları.....	24
Tablo 8.1. Farklı TEP konsantrasyonlarda(S) hesaplanan ekstraksiyon katsayısı, K değerleri	57
Tablo 8.2. Panelistlerin farklı dozlarda ışınlanmış kıyma ve köftelerin kokusunun kontrolden farklılıkları ile ilgili değerlendirmeleri.....	63
Tablo 8.3. Panelistlerin farklı dozlarda ışınlanmış kıyma ve köftelerin kokusunda üçgen test ile belirledikleri farklılıkların değerlendirmesi..	65
Tablo 8.4. Panelistlerin farklı dozlarda ışınlanmış kıyma ve köftelerin renginin kontrolden farklılıkları ile ilgili değerlendirmeleri.....	67
Tablo 8.5. Panelistlerin farklı dozlarda ışınlanmış kıyma ve köftelerin renginde üçgen test ile belirledikleri farklılıkların değerlendirmesi.....	68
Tablo 8.6. Bazı standart uçucu maddelerin gaz kromatografisinde dedektöre geliş süreleri	69
Tablo C.1. 3 kGy dozla ışınlanan örneklerin dozimetre sonuçları.....	86
Tablo C.2. 6 kGy dozla ışınlanan örneklerin dozimetre sonuçları.....	87
Tablo C.3. 9 kGy dozla ışınlanan örneklerin dozimetre sonuçları.....	88
Tablo D.1. Köfte örneğinde su banyosundaki farklı inkübasyon koşullarında maksimum absorbans için dalga boyu tespiti.....	89
Tablo D.2. Farklı sıcaklık ve sürede su banyosunda bekletilen kıyma ve köfte örneklerinin 532 nm deki absorbans değerleri	89

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 4.1. Malonaldialdehitin pH ile yapısal değişimi	33
Şekil 4.2. TBA oluşum reaksiyonu.....	35
Şekil 8.1. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde depolamanın 1., 8. ve 15. günlerinde toplam bakteri sayısı.....	56
Şekil 8.2. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinin depolama gününe göre TBARS değerleri.....	59
Şekil 8.3. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinin depolamanın 1. ve 5. gününde koku açısından kontrolden farklılık derecesi.....	62
Şekil 8.4. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinin depolamanın 1. ve 5. gününde renk açısından kontrolden farklılık derecesi.....	66
Şekil 8.5. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde 3,6. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı	70
Şekil 8.6. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde 14,5. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı.....	72
Şekil 8.7. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde 8. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı	74
Şekil 8.8. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde 12,3. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı.....	75
Şekil 8.9. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma örneklerinde 9,5. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı	76
Şekil 8.10. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan köfte örneklerinde 6,5. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı	76
Şekil A.1. Kontrolden farklılık testi sırasında kullanılan duyuşal form örneği	84
Şekil B.1. Üçgen test sırasında kullanılan duyuşal form örneği.....	84
Şekil B.2. 9 kGy dozla ışınlanan ve 3-5C de 14 gün depolanan kıyma örneğine ait GC kromotogramı.....	85
3 kGy dozla ışınlanan ve 3-5C de 14 gün depolanan köfte örneğine ait GC kromotogramı.....	85

GAMA IŞINLARININ KIYMA VE KÖFTELERİN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Gama ışınları ile gıdaların ışınlanması etkili bir gıda muhafaza yöntemidir. Bu sayede mikrobiyal kontaminasyonun azaltılması, bozulmanın geciktirilerek raf ömrünün uzatılması sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, farklı dozlarda gama ışını uygulamasının kıyma ve köftelerin kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Kıyma ve köfte örnekleri 3, 6 ve 9 kGy dozlarda ışınlama işlemine maruz bırakılmış ve 4 ± 1 °C’ de 14 gün boyunca depolanmıştır. Depolama boyunca örneklerde mikrobiyolojik analiz, renk ve koku açısından duyu analizi, lipid oksidasyon ve GC-headspace analizleri yapılmıştır.

Kıyma ve köfte örneklerinde 3 kGy dozla ışınlama toplam bakteri sayısını kıymada 10^9 kob/gr dan ve köftede 10^8 kob/gr dan 10^5 kob/gr düzeyine indirmiştir. 6 ve 9 kGy dozla ışınlama ile 6 loga varan inaktivasyon sağlanmıştır. Toplam bakteri sayısı açısından ışınlamanın D_{10} değeri kıyma için 1,26 kGy, köfte için 0,86 kGy olarak bulunmuştur.

Işınlama işlemi hem kıyma hem de köfte örneklerinde TBARS değerlerini arttırmıştır. Kıyma örneklerinde her dozda TBARS değerleri kontrolden önemli miktarda yüksektir. TBARS değerlerinin doza bağlı olarak artmaktadır. Kontrol örneklerinin TBARS değerleri depolamanın tüm günlerinde ışınlanan örneklerden daha düşük olduğu için ışınlamanın bu reaksiyonu hızlandırdığını da belirtebiliriz. Kıyma örneklerinin TBARS değerlerinin 1. günde kontrolden farklılığı depolamanın diğer günlerine göre daha düşük düzeydedir. Bu durumda lipid oksidasyon açısından ışınlama kadar depolama sırasında oksijen varlığının da etkisinin önemli olduğu söylenebilir.

Baharat karışımı hem kontrol hem de ışınlanan örneklerde TBARS değerini %56 oranında azaltmıştır. 7. ve 14. günde ise baharat karışımının etkisi tüm örneklerde yaklaşık %75 azalma şeklindedir. Ayrıca köfte örneklerinde depolamanın ilk 7 günlük sürecinde ışınlanan örneklerin TBARS değerlerinin kontrolden farkı önemli olmamıştır.

Duyusal açıdan bakıldığı zaman, her dozda ve depolama gününde ışınlanan kıyma örnekleri hem renk hem de koku açısından kontrolden farklı olmuştur. Işınlamanın ilk gününde koku ve renk açısından fark kabul edilebilir iken depolamanın 10. gününde kabul edilemez olmuştur.

Köfte örneklerinde ise ışınlamanın ilk gününde koku açısından 3kGy dozla ışınlanan köfteler ve kontrol arasındaki farklılık önemli olmamış, ışınlanan dozlar açısından 9 kGy e kadar fark hem renk hem de koku açısından anlaşılamamıştır. Işınlamanın ilk ve 10. gününde koku ve renk açısından fark kabul edilebilir durumdadır.

Kıyma örneğinde ışınlanan örneklerde rahatsız edici bir koku bulunmakta köfte örneğinde ise baharat kokusu hissedilememektedir. Renk açısından ise genel olarak kırmızı renkte koyulaşma olmaktadır, ancak köfte örneklerinde zaten pişirilerek tüketileceği için sorun oluşturmayacağı düşünülmektedir.

GC analizleri sonucunda 3,6. dakikada gelen ve eldeki standartlara göre heptan veya hekzan olabileceği düşünülen bileşiğe ait olan pikin alanı ışınlamayla birlikte artmıştır. Kontrol örneği ile 3 kGy dozla ışınlanan örnekler arasındaki fark önemli olmamış ve 9 kGy e kadar artış da önemli olmamıştır. Bu sonuçlar duyu analizi ve TBA testinin sonuçlarıyla uyum göstermektedir.

Herhangi bir ilave işlem yapılmaksızın ışınlanan kıymaların kontrolden farklılığının 3 kGy ve daha yüksek dozlarda anlaşılmış ancak ışınlamanın ilk gününde farkın koku (%60) ve renk (%50) açısından kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

Köfte formülasyonunda kullanılan baharat karışımı ise hem lipid oksidasyon hem de koku açısından örneklerin ancak 3kGy doza kadar kontrolden farklılık göstermesine engel olabilmektedir. Yine köftede fark, 6 ve 9 kGy de hem koku(%50) hem de renk(%50) açısından kabul edilebilir durumdadır.

İşinlanan et ürünlerindeki kalite değişimleri radyasyon dozu, doz hızı, sıcaklık, ışınlama esnasında ürünün bulunduğu atmosferin gaz kompozisyonu, ışınlama sonrası depolama koşulları, ışınlamadan önceki etin durumu gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Hissedilen bu kalite değişimini minimuma indirebilmek amacıyla et ürünleri mikrobiyel olarak güvenliğinin sağlandığı minimum dozda ışınlanmalı ve modifiye atmosfer koşullarında muhafaza edilerek, ışınlama ve depolama birlikte düşünülmelidir.

EFFECTS OF GAMMA IRRADIATION ON QUALITY OF MINCED BEEF AND MEAT BALL

SUMMARY

The irradiation of food with gamma rays is an effective way of decreasing microbial contamination and increasing shelf life of the product. The aim of this study was to investigate the effect of different irradiation doses on the quality of minced beef and meat balls.

Minced beef and meat balls are irradiated 3, 6 and 9 kGy doses and stored at $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ for 14 days. Microbiological analysis, sensory analysis, lipid oxidation and GC-Headspace analysis were performed during storage.

Total microbial counts on PCA decreased from 10^9 to 10^5 cfu/gr for minced beef and from 10^8 to 10^5 cfu/gr for meat balls with the irradiation of 3 kGy. Irradiation at 6 and 9 kGy resulted in 6-log inactivation. D_{10} value was 1,26 kGy for minced beef and 0,86 for meatballs.

Irradiation treatment was increased TBARS values of minced beef and meatballs. TBARS values of all irradiated samples was higher than controls. TBARS values of the samples irradiated at 9 kGy was higher than 3 kGy and it could be said that lipid oxidation was increased when the doses were increased. Irradiation was also accelerated lipid oxidation. Because, TBARS values of all irradiated samples were higher than control during storage. The differences of TBARS values between control and irradiated samples were more certain at the 7 and 14 dates of storage. Oxygen availability during storage was also a problem for lipid oxidation. Spice mixture, decreased TBARS values of control and irradiated samples 56%. This effect was 75% at 7. and 14. days of irradiation. TBARS of meat balls was not different for control and 3 kGy irradiated samples. During 7 day of storage TBARS values of all meatball samples did not differ from each other. This can be explained by the antioxidant effects of spices.

The color and odor of the minced beef samples were different from control during storage. The differences among the irradiated samples were not significant. Odor of control meat balls did not differ from 3kGy irradiated samples. The color and odor differences between irradiated meat ball samples have not been understood up to 9 kGy at first day of irradiation.

Although panelists stated the unfamiliar odor and darker color for minced beef and less spicy odor for meat balls, this differences were acceptable at first day of irradiation and unacceptable at 10. day of irradiation for minced beef and were acceptable for meat balls during 10 days of storage.

The results of GC analysis, peak had retention time 3,6. minute could belong heptane or hexane according to the standart compounds. Peak area was increased by irradiation and areas of meat balls are lower than minced beef samples. Areas of control and samples irradiated 3 kGy did not differ from each other and the

differences were not important up to 9 kGy among the irradiated samples. This results associated with sensory and TBA analysis.

The color and odor differences of irradiated minced beef without any additional process are recognized at 3kGy and higher doses. But this differences are acceptable for odor (60%) and color (50%).

Spice mixtures used for meat balls could prevent oxidation of samples and odor differences from control up to 3 kGy dose. The differences at higher doses are acceptable for odor (50%) and color (50%)

Quality changes of irradiated samples depend on radiation dose, dose rate, temperature, atmosphere composition of product during irradiation, storage condition of product after irradiation. In order to minimize quality changes, it was recommended to irradiate and store meat with modified atmosphere conditions at the minimum required dose to meet safety goals.

GİRİŞ

Günümüzde karşılaşılan en büyük sorunlardan bir tanesi yetersiz beslenme ve açlık sorunudur. Dünya nüfusu, yeterli gıda maddesine sahip olmayan ülkelerde daha büyük bir hızla artmaktadır. Dünyada gıda maddesine olan ihtiyaç günden güne artmasına karşılık gıda üretimi aynı oranda artmamaktadır. Bununla birlikte tüketiciye ulaşıncaya kadar gıdalarda meydana gelen kayıplarda önemli yer tutmaktadır. Depolama sırasında yıllık kayıp tahıllarda %10, sebze ve meyvelerde %40'a ulaşmaktadır. Et, tavuk ve balık gibi ürünlerdeki mikrobiyal bozulmalar göz önüne alındığında bu kayıpların daha da fazla olacağı tahmin edilmektedir. Bu tür gıdaların tüketilmesi sonucu *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *Listeria* spp., *Trichinella* spp., *Toxoplasma* spp., *Escherichia coli* O157:H7 gibi patojenler, enterotoksin, mikotoksin ve histamin gibi toksik maddelerde tehlike oluşturmaktadır. (Lacroix ve Outtara, 2000).

A.B.D'de Hastalıkları Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC)'nin verilerine göre, her yıl 5.000 'i ölümle sonuçlanan ve 325.000'i hastanede tedavi edilmeyi gerektiren toplam 76 milyon gıda kaynaklı hastalık vakası yaşanmaktadır (Buzby ve Roberts, 1997). Vakaların %30'u bakteri, %3'ü parazit, %67'si ise virüs kaynaklıdır. Bakteri kaynaklı hastalıkların %60'ının tedavisi ise ancak hastane ortamında gerçekleşebilmektedir (Mc. Entre, 2004). Gıda kaynaklı hastalıklar ekonomik olarak sadece ilgili olduğu endüstri değil aynı zamanda toplum açısından da büyük önem taşırlar. Bu salgınlar, tüm tedavi giderleri, hastalık veya ölümden kaynaklanan tüm üretim kayıpları dahil olmak üzere her yıl ekonomiye yaklaşık olarak toplam 8,3 milyar\$ lık maliyet eklemektedir (Crutchfield ve diğ, 2000).

Bu sorunlarla iki alanda mücadele edilmeye çalışılmaktadır. Birincisi hijyenik üretimi arttırmaya yönelik olarak üretim teknolojilerinde gerçekleştirilen

yenilikler, ikincisi ise gıdaların üretiminden tüketimine kadar emniyetli bir şekilde bozulmadan korunmasının sağlanmasıdır. Tüm gıda maddelerinde temel hijyen ve sanitasyon uygulamaları besin değerini ve raf ömrünü muhafaza altına alır. Ancak bazı ölümcül patojenlerle kontamine olma riski taşıyan gıdalar için ilave önlemler alınmalıdır. Bundan dolayı bu gıda ürünlerinde sadece temel iyi gıda uygulamalarına güvenmek yeterli olmayacaktır (Tauxe, 2001). Gıda endüstrisi ve hükümet birimleri A.B.D. deki gıdaların daha sağlıklı olması için tüketicileri bilinçlendirmeye ve denetim sistemini geliştirmeye çalışmaktadırlar. Et ürünlerindeki patojen kontaminasyonunu azaltmak için yeni ve alternatif teknolojiler arama çabasına girmişlerdir. Bu konudaki etkili yöntemlerden birisi olan ışınlama tüketicilere daha güvenli gıdalar sunabilmektedir (Morrison ve diğ., 1997).

Ülkemizde de hayvansal et kaynaklı ürünlerin raf ömrünü uzatabilmek ve bu ürünlerden kaynaklanabilecek sağlık risklerini azaltmak amacıyla ışınlama işlemi kullanılmaya başlanılabilir. Bu konudaki ilgili yönetmelik 1999 yılında yürürlüğe girmiştir.

Bu tez çalışmasında, farklı dozlarda gama ışını uygulamasının kıyma ve köftelerin kalitesi üzerinde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Gıda Muhafaza Sistemlerine Bakış

Gıdaların sağlıklı ve güvenli olması, kayıpların azaltılması ve uzun süre muhafazanın gerçekleştirilebilmesi için uygun koşullar sağlanmalıdır.

Tarih boyunca gıda güvenliği açısından en uygun muhafaza metodunun gelişmesi oldukça yavaş bir süreç izlemiştir. Geçen yüzyılın başında konserveleme gıdaları koruma amacıyla yaygın bir şekilde uygulanan teknoloji olmasına rağmen, metodun standardize edilmesi için 1919 yılında 15 kişinin ölümü ile sonuçlanan *Colostridium botulinum* kaynaklı salgının yaşanması gerekmiştir. Yasa olarak meclisten geçmesi ise 1973 yılında konserve çorbalarda yaşanan salgından sonra olmuştur (Tauxe, 2001). Bir başka gıda muhafaza teknolojisi olan süt pastörizasyonuna da kirli sütlerin kullanımını sağlayacağı ve aynı zamanda sütün besleyicilik değerini azaltacağı önyargısıyla karşı çıkmıştır. Görüldüğü gibi her iki teknolojinin uygulanmaya başlanması için onlarca yıl süre geçmesi ve birçok salgının yaşanması gerekmiştir (Tauxe, 2001).

Gıda kaynaklı hastalıklar tanımlanan yeni patojenler ve gıda ürünleri ile toplum sağlığı açısından risk taşımaya devam etmektedirler. Gıda endüstrisi ve hükümet birimleri gıdaların daha sağlıklı olması için tüketicileri bilinçlendirme, et, tavuk ve deniz ürünleri için denetleme sisteminin geliştirilmesi, hayvanlardaki ve gıdalardaki patojen kontaminasyonunu azaltmak için yeni ve alternatif teknolojiler arama çabasına girmişlerdir. Bu konudaki etkili yöntemlerden birisi olan ışınlama tüketicilere daha güvenli gıdalar sunabilmektedir (Morrison ve diğ., 1997).

İşinlamanın beslenme ve diğer kimyasallar üzerine olan etkisinin incelendiği bir çok çalışma mevcuttur (WHO, 1994; WHO, 1999; Giroux ve Lacroix 1998) Genel olarak ışınlama özellikle tiamin olmak üzere bazı vitaminleri etkiler (Villavicencio ve diğ., 2000). Serbest radikallerin oluşması ile ilgili reaksiyonlar ise sadece ışınlamaya özgü olmayıp aynı reaksiyonlar pişirme, kızartma gibi işlemlerle dahi oluşabilmektedir.

İçlerinde FAO, WHO ve Codex Alimentarius komisyonunun da bulunduğu birçok ulusal organizasyon ve kuruluş, ısıtılmış gıdaların güvenliğini potansiyel toksisite, beslenme açısından uygunluk ve potansiyel mikrobiyolojik risk açısından değerlendiren çalışmalar yürütmüş ve sonucunda iyi üretim teknikleri (GMP) uygulandığı zaman, ısıtılmış gıdaların güvenli olduğu sonucuna varmışlardır (Morehouse, 2002).

Bu gıdaların tüketilmesi ile ilgili geniş çaplı hayvan deneklerin kullanıldığı çalışmalar yapılmış herhangi bir hastalık etkisi gözlenmemiştir. İnsan gönüllüler ile yapılan çalışmalarda da aynı sonuçlar elde edilmiş ve NASA rutin olarak yıllardır astronotlar için ısıtılmış etlerin kullanıldığı diyet hazırlamaktadır (Tauxe, 2001).

1.2. En Bilinen Gıda Kaynaklı Patojenler

Gıda kaynaklı hastalıklara sebep olan önemli bazı patojenlerden olan, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Listeria*, *Toxoplasma*, *Escherichia coli* O157:H7 ve diğer Shiga toksin üreten *E.coli* türleri her yıl 3,5 milyon enfeksiyona sebep olup bu vakaların 1.600'ü ölümle sonuçlanmaktadır (Tablo 1.1) (Crutchfield ve diğ., 2000) Bu patojenlerin sebep olduğu et ve tavuk ürünleri kaynaklı enfeksiyonların sayısı her yıl yaklaşık olarak 1000-1200'ü ölümle sonuçlanan 2,5 -2,9 milyon vakaya sebebiyet vermektedir (Frenzen ve diğ., 2000).

Tablo 1.1. Bazı patojenlerin sebep olduğu yıllık gıda kaynaklı hastalık sayısı (Crutchfield ve diğ., 2000)

Patojen	Vaka	Hastanede tedavi edilen hasta sayısı	Ölüm
<i>Campylobacter spp.</i>	1.963.141	10.539	99
<i>Salmonella, nontyphoidal</i>	1.341.873	15.609	553
<i>E.coli</i> O157:H7	62.458	1.843	42
<i>E.coli</i> non O157:H7 STEC	31.229	921	26
<i>Listeria monocytogenes</i>	2.493	2.229	499
Toplam	3.513.694	31.211	1.604

Uluslararası gıda güvenliği birimleri endüstride önlemler almaya ve HACCP sistemini birçok gıda ürünü için uygulanabilir duruma getirmeye başlamışlardır. Sanitasyona ve hijyene önem verilmesiyle beraber gıdalar sağlık açısından daha uygun yerlerde

üretilmeye başlanılmış ve sonuç olarak 1996 -2000 yılları arasında rapor edilen *Salmonella* ve *Campylobacter* enfeksiyonlarının sayısı önemli derece azalmıştır. Yine de A.B.D alınan tüm önlemlere ve çalışmalara rağmen 2010 yılı hedeflerinin oldukça gerisinde kalınmıştır. Bu hedefler arasında, *Salmonella*, *E.coli*, *Campylobacter* ve *Listeria* vakalarının 1997'deki sayısının %50'si kadar azalması bulunmaktadır. Bu hedef bile gıda kaynaklı hastalıkların en az %50'sinin yaşanmakta olduğu gerçeğini göstermektedir (Tauxe, 2001).

2. IŞINLAMA

Tüketiciler birçok önemli gıda kaynaklı hastalıktan gıda üretim zinciri boyunca kontrolün sağlanması ve uygulanması ile koruma altına alınmaya çalışılmaktadır. Bu şekildeki bir uygulamada güvenliğin derecesi prosese, riske ve riski kontrol altına almak için uygulanan teknolojiye bağlıdır.

Tüm gıda maddelerinde temel hijyen ve sanitasyon uygulamaları besin değerini ve raf ömrünü muhafaza altına alır. Ancak bazı ölümcül patojenlerle kontamine olma riski taşıyan gıdalar için ilave önlemler alınmalıdır. Bu konudaki etkili yöntemlerden birisi olan ışınlama tüketicilere daha güvenli gıdalar sunabilmektedir (Morrison, ve diğ., 1997).

Radyasyon enerjisi boşluktan veya madde içinden geçebilen enerjidir. Bazı maddelerin atomları sürekli olarak parçalanırlar ve bu reaksiyonlar sırasında çevreye iyonize ışınlar yayarlar. Bu şekilde parçalanarak iyonize ışık yayan maddelere radyoaktif maddeler denir. Uranyum gibi doğal olarak radyoaktif olan maddelerin dışında, çeşitli işlemlerle yapay olarak radyoaktif hale getirilen (radyoaktif izotoplar=radyonukleidler) Cobalt ⁶⁰ ve Sezyum ¹³⁷ gibi maddeler de vardır. Radyoaktif izotoplar zamanla aktivitelerini kaybederler. Her radyoizotop için spesifik olan bu yarılanma ömrü vardır. Yarılanma ömrü, Co ⁶⁰ için 5.3 yıl ve Cs ¹³⁷ içinde 30 yıldır (Vural, 2002).

İyonize ışınların gıdaları muhafaza etmek amacıyla kullanılması ilk kez 1896 yılında ortaya atılmıştır. 1905 yılında Amerika’da (US Patent No: 788480) ve İngiltere’de (Brit. Patent No: 1609) bu konuda alınmış patentler bulunmaktadır. Hızlandırılmış elektron teknolojisinden önce ışınlamanın kullanılması ekonomik gözükmemekteydi. Işınlama teknolojisinin kullanılmasıyla et ürünlerinde mikroorganizmaların öldürülebileceği ilk defa 1921 yılında domuz etinde *trichinae* adlı parazitin öldürülebileceğinin rapor edilmesiyle açığa çıkmıştır. 1955 yılında, Amerikan ordusu sağlık bölümü, tüketilen gıdaların güvenliğini sağlayabilmek amacıyla teknolojinin kullanılmasıyla ilgilenmeye başlamıştır. 1980 yılında, Gıda ve Tarım Organizasyonu (FAO), Uluslararası Atomik Enerji Ajansı (IAEA) ve Dünya Sağlık Örgütü, gıdalarda 10 kGy doza kadar ışınlamanın toksikolojik, beslenme ve mikrobiyolojik açıdan bir zararı olmadığını belirtmişlerdir (Brewer, 2004).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ışınlamayı kısaca, gıdaların daha önceden belirlenmiş radyasyon enerjisine maruz bırakılması olarak tanımlar. Bu enerjinin kaynağı Cobalt ⁶⁰ ve Sezyum ¹³⁷ olabileceği gibi elektron hızlandırıcıları veya x ışınları da olabilir (Manuel ve Lagunas, 1995).

Işınlama dozu, ışınlama işlemi sırasında absorbe edilen radyasyon miktarı olup gıdanın kalitesi açısından önem taşır. Işınlama dozunu tam olarak tanımlayabilmek için radyasyon birimlerini de bilmek gerekmektedir. Radyasyon enerjisi rad birimi ile ölçülür. 1 rad, 1 g. maddede absorbe edilen 100 erg ‘lik enerjiye eşittir. Son zamanlarda rad yerine Gray (Gy) birim olarak kullanılmaktadır. 1 Gray (Gy) iyonize radyasyon etkisinde kalan homojen bir maddenin 1 kg’ına verilen 1 joule enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır (Manuel ve Lagunas, 1995)

Işın kaynağının gücü aktivitesi ile ilgilidir. Aktivite birimi Becquerel (Bq) olup, daha önce bu amaçla kullanılan Curie (Ci) teriminin yerini almaktadır. Gıdalar dahil çevremizdeki her şey doğal olarak eser miktarda radyoaktivite içerir (Vural, 2002).

$$1 \text{ Becquerel (Bq)} = 1 \text{ parçalanma/s}$$

$$1 \text{ Curie(Ci)} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq dir.}$$

Gıdalar sadece gıda kaynaklı hastalıklara sebebiyet veren patojenlerin eliminasyonu amacıyla değil aynı zamanda, tahıl ve meyve ürünlerinde böceklerle mücadele, patates ve soğan gibi ürünlerde filizlenmenin engellenmesi, hasat sonrası meyvelerin

olgunlaşma sürelerinin uzatılarak, raf ömrünü uzatma, dezenfeksiyon ve sterilizasyon amacıyla da kullanılırlar (WHO, 1994).

Gıda ışınlama işleminin kullanımı, aralarında A.B.D, Fransa, Kanada, İngiltere gibi gelişmiş ülkelerin de olan birçok ülkede çeşitli ürünler için onaylanmıştır. Tablo 2.1’de ışınlama işleminin onaylandığı ülkelere bazıları gösterilmiştir. (Kaeri, 2002).

Tablo 2.1. Işınlamanın onaylandığı ülkelere bazıları ve onaylanan ürün sayısı (Kaeri, 2002)

Ülkeler	Onaylanan ürün sayısı	Ülkeler	Onaylanan ürün sayısı
A.B.D.	55	İsrail	42
Arjantin	10	İtalya	2
Bangladeş	19	Japonya	1
Belçika	10	Kanada	7
Birleşik Krallık	51	Kore	13
Brazilya	16	Küba	3
Bulgaristan	18	Macaristan	13
Çek cumhuriyeti	3	Meksika	8
Çin	22	Norveç	3
Danimarka	2	Pakistan	4
Endonezya	7	Polonya	6
Filipinler	3	Suriye	16
Finlandiya	2	Şili	18
Fransa	38	Tayland	26
Güney Afrika	80	Tayvan	14
Hindistan	4	Uruguay	1
Hollanda	20	Vietnam	5
İran	1	Yugoslavya	23

Ülkemizdeki uygulamaları ile ilgili olarak, Türk Gıda Işınlama Yönetmeliği, ilk olarak 6 Kasım 1999’da Resmi Gazete’de yayınlanmıştır. Bu yönetmelik sadece izin verilen yasal dozları değil aynı zamanda, gıda maddelerinin ışınlanmasındaki esas ve usülleri, gıda ışınlama tesislerinin kurulması, ışınlanmış gıdaların pazarlanması ve bu işlemlere ilişkin lisans, tecil, istihdam, kontrol, denetim, ithalat ve ihracata dair esas ve usülleri içermektedir. 2002’de yapılan değişiklik neticesinde yönetmeliğin tıbbi gözetim altındaki steril gıdaya ihtiyaç duyan hastalar için hazırlanan gıdaları kapsamadığı özellikle belirtilmiştir (Anonim, 2002). Türkiye’de biri ticari diğeri araştırma maksatlı çalışan iki adet ışınlama tesisi bulunmaktadır. Ticari olarak çalışan tesis Çerkezköy’de 1994 yılında kurulmuştur ve kaynak olarak 101 PBq (3.000.000 Ci) kapasiteli, metal şeklinde çift kapsüllü Co⁶⁰ radyoaktif kaynak kalemleri kullanmaktadır (Anonim, 2003).

2.1. Gama Işınlama

Gama ışınlama teknolojisi, Co^{60} veya Cs^{137} gibi radyoaktif bir kaynaktan yayılan yüksek enerjili gama ışınlarını kullanır. Co^{60} , nükleer reaktörde doğal olarak bulunabilen Co^{59} un nötron bombardımanı sonucu oluşur. Co^{60} 'ın tarihi süreç içerisindeki kullanım alanları genellikle kanser tedavisi amaçlı olmuştur. Cs^{137} ise, nükleer reaktörlerde kullanılmış yakıt çubuklarının tekrar işlenmesiyle elde edilmekte olup kullanıldığı alanlar tarihi süreçte genellikle nükleer silah teknolojisiyle ilgili olmuştur (Manuel ve Lagunas, 1995).

Co^{60} kaynaklı gama ışınları, hem Cs^{137} 'e göre daha kolay bulunabildiği hem de elektron hızlandırıcılara göre penetrasyon özelliğinin daha iyi olması nedeniyle endüstride tercih edilmektedir. Bu sistemin dezavantajları ise, sürekli bir radyoaktif kaynak olması dolayısıyla X ışınları gibi istenildiği zaman açılıp kapanmasıdır. Ayrıca daha kısa yarılanma ömrüne sahip olması dolayısıyla kaynak zamanla tükenmekte ve yenileme gerekliliği bulunmaktadır (Gezgin ve Güneş, 2003).

2.2. Elektron Hızlandırıcılarla Işınlama

Bu teknoloji, beta ışınları olarak bilinen ve elektron tabancasından yayılan yüksek enerjili elektron akımını kullanır. Elektronlar birkaç santimetrelik penetrasyon kalınlığına sahip olduğundan gıdalar ince tabaka halinde işleme alınmalıdır (Tauxe, 2001). Ancak bu teknoloji, iki farklı ve özel proses şeklinde kullanılabilir: (1) Daha az penetrasyona sahip elektron demetlerine (izin verilen 10 MeV dozda penetrasyon kalınlığı 8 cm. dir) maruz bırakmak. (2) Bir elektron demetini (5 MeV'a kadar) daha fazla penetrasyona sahip X-ışınlarına dönüştürmek (Manuel ve Lagunas, 1995).

Bu şekilde penetrasyon kalınlığının az olması sorununun üstesinden kısmen gelinebilir. Ancak bu proses en fazla % 4-6 verimliliğe sahip olduğu için, enerjinin kullanımı açısından dezavantajlı bir durum oluşturmaktadır (Brewer, 2004). Elektron hızlandırıcılar, Fransa'da ticari olarak donmuş tavuk ve kurbağa etinin A.B.D. 'de kırmızı ve beyaz et ürünlerinin ışınlanmasında başarıyla uygulanmaktadır (Lagunas,

1995). Bu cihazın en önemli avantajı istenildiği zaman açılıp kapanabilmesi, böylece herhangi bir radyasyon tehlikesine sebep olmamasıdır (Gezgin ve Güneş, 2003) .

2.3. Doz Ölçüm Sistemleri

Gama ışınlama tesislerinde ürünün maruz kaldığı radyasyon dozunun tespiti, dozimetreler yardımıyla ölçülmektedir. Dozimetre sisteminin kalibrasyonu için ışınladıklarında sahip oldukları rengi 3-4 ay muhafaza edebilen Ceric-Cerious model dozimetreler kullanılır. Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) ve İngiltere Ulusal Fizik laboratuvarı (NPL) tarafından kalibrasyonu gerçekleştirilen dozimetreler, yeni kurulan ışınlama tesisinin kalibrasyon eğrisinin hazırlanmasında kullanılmaktadır. 5, 10, 15, 20 ve 25 kGy lik dozlarla ışınlanan standart dozimetreler ile 3 ayda bir kalibrasyonda meydana gelebilecek sapmalar kontrol edilmektedir (Alkan, 2005).

Günlük doz ölçümlerinde ise, Harwell dozimetreleri kullanılır. Işınlamaya hassas polimetilmetakrilat (PMMA) malzemesinden imal edilip, 30x11 mm'lik parçalar halinde üretilmektedirler. Maruz kaldıkları dozla orantılı şekilde kararlı çubukların renk değişimi spektrofotometre yardımıyla ölçülür ve kalibrasyon eğrisinden absorblanan doz belirlenir. Red 4034, Amber 3042 ve Gammachrome® YR olmak üzere üç tipte dozimetre bulunmaktadır. Red 4034 cinsi dozimetreler, 5-50 kGy aralığında kullanılmakta ve absorbsanları 640 nm de ölçülmektedir. Amber 3042 ise daha hassas olup 1-30 kGy aralığında kullanılır ve absorbsan ölçümleri 1-10 kGy ve 10-30 kGy aralıklarında sırasıyla 603 ve 651 nm'lik dalga boyunda ölçülür. En hassas ölçümler ise absorbsansı 530 nm'de ölçülen 100 Gy ile 3 kGy arasında kullanılabilen Gammachrome® YR tip dozimetrelerle elde edilmektedir.

2.4. Işınlamanın Etki Mekanizması

Işınlamanın etkisi direkt ve indirekt olarak iki mekanizma ile açıklanır. Direkt etkide, yüksek enerjili ışınlar, mikroorganizmaların DNA'sı ile, enzimlerle ya da kritik bileşiklerle etkileşerek moleküllerin yapısındaki kimyasal bağların kırılmasına yol açarak bir takım serbest radikallerin oluşmasına veya moleküllerin parçalanmasına neden olur. İndirekt etkide ise, yüksek enerjili bu ışınların etkisi ile açığa çıkan reaktif bileşiklerin gıdada değişik bileşenlerle reaksiyona girmesi olarak belirtilebilir (Gezgin ve Güneş, 2003).

Gıdaların ışınlanmasında uygulanacak doz, ışınlanacak gıdanın bileşenine (nem, yağ, protein, karbonhidrat), ışınlama süresindeki gıdanın ve ortamın koşuluna (sıcaklık ve özellikle O₂ olmak üzere atmosfer bileşenlerine), spesifik patojene göre değişecektir. Örneğin, aynı sayıdaki mikroorganizmayı dondurulmuş gıdada inaktif etmek için uygulanması gereken doz, buzdolabında saklanmış gıdaya göre daha fazla olacaktır (Tauxe, 2001). Her gıda grubunda farklı amaçlar için kullanılabilecek doz aralıkları standartlarda belirtilmiştir (Tablo 2.2 ve 2.3). Bu sınır değerleri tamamen gıdanın kalitesiyle ilgilidir (Gezgin ve Güneş, 2003).

Tablo 2.2. Türk Gıda Kodeksi Işınlama Yönetmeliği'ne göre gıda gruplarında belirli teknolojik amaçlara göre uygulanmasına izin verilen ışınlama dozları (Anonim, 2002).

GIDA GRUBU	AMAÇ	DOZ (kGy)	
		Min	Maks.
Grup 1. Soğanlar, kökler ve yumrular	Depolama sırasında filizlenme, çimlenme ve tomurcuklanmayı önlemek		0,2
Grup 2. Taze meyve ve sebzeler (Grup 1'in dışındakiler)	a) Olgunlaşmayı geciktirmek b) Böceklenmeyi önlemek c) Raf ömrünü uzatmak d) Karantina kontrolü	(X)	1,0 1,0 2,5 1,0
Grup 3. Hububat, öğütülmüş hububat ürünleri, kabuklu yemişler, yağlı tohumlar, kurutulmuş sebzeler ve kurutulmuş meyveler	a) Böceklenmeyi önlemek b) Mikroorganizmaları azaltmak c) Raf ömrünü uzatmak		1,0 5,0 5,0
Grup 4. Çiğ balık, kabuklu deniz hayvanları ve bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş), dondurulmuş kurbağa bacağı	a) Bazı patojenik bakterileri azaltmak b) Raf ömrünü uzatmak c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	(X) (XX)	5,0 3,0 2,0
Grup 5. Kanatlı, kırmızı et ile bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş)	a) Bazı patojenik bakterileri azaltmak b) Raf ömrünü uzatmak c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	(X) (XX)	7,0 3,0 2,0
Grup 6. Kuru sebzeler, baharatlar, kuru otlar, çeshniler ve bitkisel çaylar	a) Bazı patojenik bakterileri azaltmak b) Böceklenmeyi önlemek	(X)	10(xxx) 1,0
Grup 7. Hayvansal orjinli kurutulmuş gıdalar	a) Böceklenmeyi önlemek b) Küflerin kontrolü		1,0 3,0
(X) Minimum doz düzeyi belli bir zararlı organizma için belirlenebilir. (XX) Minimum doz düzeyi gıdanın hijyenik kalitesini temin edecek düzeyde belirlenebilir. (XXX) 10 kGy'nin üzerindeki maksimum doz düzeyleri, gıdanın tümündeki minimum ve maksimum doz ortalaması 10 kGy'i aşmayacak şekilde uygulanır.			

Tablo 2.3. A.B.D.'de FDA tarafından izin verilen ışınlama dozları (Olson, 1998)

GIDA GRUBU	Doz (kGy)	Amaç	Tarih
Buğday, buğday unu	0,2-0,5	Böceklerle mücadele	1963
Patates	0,05-0,15	Filizlenmeyi önleme	1964
Domuz eti	0,3-0,1	Trichinella Spiralis kontrolü	22.7.1985
Enzimler(kurutulmuş)	Maks. 10	Mikrobiyal kontrol	18.4.1986
Meyveler	Maks. 1	Böceklerle mücadele ve olgunlaşmayı geciktirme	18.4.1986
Taze sebzeler	Maks. 1	Böceklerle mücadele	18.4.1986
Otlar	Maks. 30	Mikrobiyal kontrol	18.4.1986
Baharatlar	Maks. 30	Mikrobiyal kontrol	18.4.1986
Sebze kaynaklı çeşniler	Maks. 30	Mikrobiyal kontrol	18.4.1986
Taze veya donmuş kümes hayvanları	Maks. 3	Mikrobiyal kontrol	2.5.1990
Donmuş ve paketlenmiş etler*	Min. 44	Sterilizasyon	8.3.1995
Hayvan yemleri	2-25	Salmonella kontrolü	28.9.1995
Soğutulmuş çiğ etler	Maks. 4,5	Mikrobiyel kontrol	2.12.1997
Dondurulmuş çiğ etler	Maks. 7	Mikrobiyel kontrol	2.12.1997
* Sadece NASA uzay programı için geçerli			

Daha geniş DNA moleküllerine sahip olan kompleks yaşam formları daha düşük dozlardan, daha küçük DNA molekülüne sahip basit yaşam formları ise yüksek dozlardan etkilenirler. Yani, 0,1 kGy den düşük dozlar, böcek ve parazitleri öldürüp bitkilerin filizlenmesini engelleyebilirken, 1,5-4,5 kGy arası orta dozlar bir çok bakteriyel patojeni inaktif edebilmektedir. 10–45 kGy arası yüksek dozlar ise bakteriyel sporları ve bazı virüsleri inaktif edecektir (Tauxe, 2001).

Günümüzde et ve tavuk ürünleri için daha çok ısıl prosesler tercih edilmekte, fakat bu yöntemler ürünün ısıl merkezinde ve ürün boyunca gerekli sıcaklıklara çıkılamadığından mikrobiyal riskler konusunda gerekli güvenliği sağlayamamaktadırlar. Oysa ışınlamada homojen bir nüfuz söz konusu olduğundan bu risk ortadan kalkmaktadır (Gezgin ve Güneş, 2003)

2.5. Işınlama Konusunda Toplumun Tepkisi

Işınlama işleminin et ve tavuk ürünlerinde kullanılmasına izin verilmesinden bu yana, marketin çok az bir kısmı ışınlanmış ürünlere ait olmuştur. Işınlama işlemi daha çok hastanelerde ve huzur evlerinde diyetlerde kullanılan gıdalar için kullanılmaktaydı. 1998-1999 yılında yapılan araştırma sonucunda, tüketicilerin yaklaşık %50'si ışınlanmış et ve tavuk ürünlerini satın alma konusunda istekli

olmalarına rağmen, sadece %23 (sığır eti)- %25 (tavuk eti) i daha fazla para ödeme konusunda istekli olmuşlardır (Tablo 2.4) (Frenzen ve diğ., 2000).

Tablo 2.4. Işınlanmış et ve tavuk ürünlerini satın alma hakkında 1998-99 yılında yapılan tüketici değerlendirme sonuçları (Frenzen ve diğ., 2000).

Soru	Sığır eti %	Tavuk %
Işınlanmış et veya tavuk satın alır mısınız?		
Daha fazla ederim	22.7	24.5
Daha fazla ödemem	7	7.2
Daha fazla ödemede kararsızım	17.5	16.5
Satın almam veya satın alma konusunda emin değilim	52.8 ¹	51.9 ²
Toplam	100	100
¹ %2.3 ışınlanmış tavuk alırım ama sığır eti almam diyenler		
² %1.4 ışınlanmış sığır eti alırım ancak tavuk eti almam diyenler		
1998-1999 FoodNet Population Survey		

Işınlanmış gıdaların güvenliği konusunda, diğer tüm gıda koruma teknolojilerinden daha detaylı olarak 40 yıldır sürdürülen çalışmalar olmasına ve tüm bu çalışmalar beslenme veya toksikolojik açıdan bir riskin varlığına işaret etmemelerine rağmen tüketicilerin ışınlanmış ürünleri almama konusunda gösterdikleri en önemli sebepler arasında teknolojik açıdan taşıdığı risk ve bu tip gıda tüketiminin sağlıklı olup olmadığı konusunda duyulan şüphe gelmektedir (Tablo 2.5) (Frenzen ve diğ., 2000).

Tablo 2.5. Tüketicilerin ışınlanan et veya tavuk almama konusundaki nedenleri (Frenzen ve diğ., 2000).

En önemli neden	%
Yararları ve/veya riski hakkında yetersiz bilgi	35
Işınlanmış gıda tüketilmesinin güvenliği konusunda şüphe	22.7
Işınlamanın gıdayı daha güvenli yapmayacağı	4.2
Et veya tavuk tüketmeme	4
Işınlama tekn. çevresel etkileri	3.9
Güvenli gıda için ışınlamaya ihtiyaç yok	3.5
Yeni gıda veya ürünleri denemeyi istememe	3.3
Işınlanan gıdaların fiyatı	2.5
Işınlanan gıdaların tadı/görünüşü	1.4
Belirli bir sebebi olmaksızın	10.2
Emin olamama	7.9
Cevap vermeyi reddedenler	1.4
Toplam	100
Sadece satın almayı reddeden %31.8 lik grup dikkate alınmıştır	

Araştırmaya göre tüketicilerin sadece %48'i bu teknolojiden haberdardır, yapılmış birçok çalışma tüketicilerin konu hakkında bilgi sahibi olduktan sonra satın alma konusunda daha fazla istekli olduğunu göstermiştir (Frenzen ve diğ., 2000). Örneğin Georgia Üniveristesi tarafından 1993 yılında alışveriş merkezlerinde gerçekleştirilen çalışma sonucunda, fiyat farkı yokken ışınlanmış ürünleri seçenlerin oranının bilgilendirme filmi seyrettikten sonra %52'den %71'e yükselmiştir. Bu konuda bilgilendirme verilen grup bu ürünleri satın almak istemeyen veya emin olmayan ve daha fazla ödemek istemeyen tüketicileri de kapsamaktadır (Morrison ve diğ., 1997).

Işınlanmış gıdaların tüketiciler tarafından kabulü noktasında fiyatı da önemli olmaktadır. A.B.D 'de hali hazırda kurulu bulunan tesisler, tıbbi cihazların sterilizasyonu amacıyla kullanılmaktadır. Et ve tavuk ürünlerinde ışınlama biriminin maliyeti kullanılan radyoaktif kaynağa (gama ışınları, elektron demetleri, X-ışınları), ürün karakteristiğine, ışınlama ünitesinin dizaynına (ayrı bir birim veya var olan bir hatta entegre olacak şekilde) göre değişecektir (Frenzen ve diğ., 2000).

Türk tüketicilerle gerçekleştirilen bir anketin sonuçları tüketicilerin sadece %29 u ışınlama tekniğinden haberdardır. İstanbul'da farklı yaş, cinsiyet ve iş gelir gruplarından 444 katılımcı ile gerçekleştirilen ankette başlangıçta tüketicilerin %80' i ışınlamanın güvenliği konusunda bilgi sahibi olmadıklarını %11'i güvenli olduğunu düşündüklerini belirtmişlerdir. Konu hakkında bilgilendirildikten sonra olumlu görüş belirtenlerin oranı %62'ye yükselmiştir. %44'ü ise fiyatı değişmediği sürece ışınlanmış ürünü tercih edeceklerini veya %5 gibi bir fiyat artışını kabul edeceklerini belirtmişlerdir (Güneş ve Tekin, 2005).

Işınlama işlemi ürünlerin fiyatında artışa sebep olmaktadır. Tüm bu ilave masraflar, ürünlerdeki patojen riskinin azaltılmasını veya eliminasyonunu sağlayacağı için, bu tip bir sorunla karşılaşılması halinde yapılacak masraflardan çok daha az olacaktır. Örneğin, 1997 yılında USDA tarafından *E.coli* O157:H7 yüzünden piyasadan toplatılan sığır eti kıyması üreticisi bir firma olan Hudson Foods. Inc. Şirketi, toplam 2,4 milyon\$ lık bir maliyete katlanmak zorunda kalmıştır. Firma, sahip olduğu olumsuz ün yüzünden iflas edip rakip bir başka firma tarafından satın alınmıştır (Frenzen ve diğ., 2000).

Işınlamanın getireceği sosyal faydanın tanımlanabilmesi için 1989 yılındaki Ekonomik Araştırma Birimi (E.R.S) tarafından A.B.D'de yürütülen çalışmanın

sonuçları değerlendirilmiştir. Sosyal faydanın net olarak belirlenebilmesi ışınlamanın maliyetine ve engellediği gıda kaynaklı hastalığın boyutuna bağlı olarak değişecektir. A.B.D’de tüketilen 3.171.000 ton sığır kıymasının %25 inin ışınlanmasıyla *Salmonellosis* ve *E.coli* kaynaklı hastalıkların da %25 ‘inin engellenenabilir. Bu durumda 56.4 milyon\$-137.7 milyon\$ lık tedavi masrafları ve üretim kaybı korunmuş olacaktır (Morrison ve diğ., 1997).

Tavuk, sığır, domuz ve işlem görmüş etlerin %50 sinin ışınlanmasıyla *E.coli* O157, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Listeria* ve *Toxoplasma* kaynaklı enfeksiyonların sebep olduğu hastalık ve ölümlerin oranını %25 azalacaktır (Tauxe, 2001).

3. IŞINLAMANNIN ET ÜRÜNLERİNİN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Işınlama ile *Campylobacter*, *Salmonella*, *Listeria*, *E.coli* ve parazitler ilgili oldukları kaynaklarından kolaylıkla uzaklaştırılabilmektedir ancak mikrobiyolojik açıdan etkili bir şekilde uygulanan bu teknoloji kaliteyi değiştirmeme konusunda bir garanti sağlamamaktadır. Yüksek yağ içerikli etler istenmeyen koku oluşturlar, yumurtalar sütlü ve likit hal alabilirler, üzümle yumuşayabilir, çiğ istiridyeler ölebilir ve böylece raf ömürleri beklenildiğinden daha az olur (Tauxe, 2001). Bundan dolayı her gıda grubunda farklı amaçlar için kullanılabilir doz aralıkları standartlarda belirtilmiştir. Bu sınır değerleri tamamen gıdanın kalitesiyle ilgilidir (Gezgin ve Güneş, 2003).

Et ürünleri müşteri talebini ve ürün lezzetini arttırabilmek için çeşitli şekillerde işlenebilmektedir. Bu gıdalar bozulmaya sebep olan mikroorganizmaların çoğalması için uygun ortam sağladıklarından ve yüksek miktarda protein içerdiklerinden dolayı gıda kaynaklı hastalıkların yayılmasında etkilidirler. Proses sırasında çeşitli basamaklardan dolayı kontaminasyona uğrama riski yüksek olan gıdalardır. Et ve et ürünlerinde patojen bakterilerin eliminasyonu ve raf ömrünün uzatılması için uygulanan çeşitli yöntemler mevcuttur. En bilinen yöntemler, tuzlama, konserveleme, kimyasal koruyucu ilavesi, dondurma ve modifiye atmosferde paketlemedir (Giroux ve Lacroix, 1998)

Kimyasal koruyucular kullanmaksızın et ve et ürünlerinde dekontaminasyona sebep olacak son işlem basamağından sonra uygulanabilecek muhafaza işlemlerinden biri de ışınlama olacaktır (Vural, 2002)

Etin genel yapısına baktığımızda, %20 oranında nitrojenli %80 oranında nitrojen olmayan bileşiklerden oluşur. Tipik bileşen tanımı şu şekilde belirtilebilir: %70 su, %11 protein, %18 lipid, %1 mineral ve eser miktarda karbonhidrat. Su etteki en temel bileşiktir. Etin su içeriği renk, yüzey görüntüsü, sululuk (juiciness), yumuşaklık gibi özelliklerini etkiler. Örneğin PSE (pale, soft, exudative) domuz

etinde su yapıya çok sıkı olmayan şekilde bağlıdır. Sonuç olarak su yüzeyde toplanır ve renk çok açık görünür (Cassens, 1994).

Ette bulunan temel karbonhidrat bir glikoz polimeri olan glikojendir. Yaşayan hayvanda %1 oranında glikojen mevcut iken hayvan öldüğü zaman glikojen miktarı eser seviyelere düşer. Glikojenin laktik aside dönüşüm metabolizması pH'ı azaltmakla sadece fiziksel özellikleri değil aynı zamanda mikroorganizmaların gelişeceği ortamı da etkiler. Et yağda çözünen vitaminler açısından iyi bir kaynak değildir. Bununla beraber iyi bir B vitamini kaynağıdır (Cassens, 1994).

Et yağları temel olarak yağ hücrelerinde depolanan nötral lipidlerden (trigliseritlerden) ve miktarca daha az bir kısmı ise, hücre mebranlarında veya hücre organellerinin mebranlarında bulunan fosfolipitlerden oluşmuşlardır (Cassens, 1994). Sığır etinin yaklaşık %18'i yağdır ve onun yağ asidi içeriği %46 doymuş, %51 tekli doymamış ve %3 çoklu doymamış şeklindedir. Linoleik ve arakhidonik asit gibi ette bulunan bazı çoklu doymamış yağ asitleri metabolizma tarafından sentezlenemedikleri için beslenmede önemli rol oynarlar. Fosfolipitler ve kolesterol hücre duvarlarının kritik bileşenleridir. Doymamış yağ asitleri ise yağda çözünen A, D, E ve K vitaminlerinin taşıyıcısı olarak görev yaparlar (Giroux ve Lacroix, 1998).

Sığır etinde bulunan yağ asitleri önem sırasına göre oleik asit (18:1), palmitik asit (16:0), stearik asit (18:0), palmitoleik asit (16:1), linoleik asit (18:2) ve arakhadionik asit (20:4) tir. Doymuş ve tekli doymamış yağ asitleri etteki neutral lipidlerin esansiyel içeriğini temsil ederler, bu neutral lipidlerin %14'ü esansiyel çoklu doymamış yağ asidi olan linoleik asit (18:2) dir (Giroux ve Lacroix, 1998).

Fosfolipitler, toplam yağ içeriğinin %0,5-1'ini temsil ederler (Giroux ve Lacroix, 1998). Etteki yağ içeriği lipid oksidasyon üzerine önemli rol oynarken trigliseritler, fosfolipitlerle karşılaştırıldığında lipid oksidasyon açısından 2. derecede önemli rol almaktadırlar ve fosfolipitlerin çoklu doymamış yağ asidi kısmı etteki oksidasyondan %90 sorumlu olan bileşenlerdir (Ahn ve diğ., 1998). Tablo 3.1'de sığır ve hindi etinin yağ asidi kompozisyonu verilmiştir (Kim ve diğ., 2002).

Tablo 3.1: Sığır ve hindi etinin yağ asitlerinin toplam yağ içerisindeki oranları (Kim ve diğ., 2002).

Kompozisyon	Sığır	Hindi
Yağ asitleri	% toplam yağ	
Mistirik asit (C 14:0)	3.3	0
Palmitoleik asit (C 16:1)	4.1	2.2
Palmitik asit (C 16:0)	29.6	24
Linoleik asit (C 18:2)	4.4	23.5
Oleik asit (C 18:1)	41	26.1
Linolenik asit (C 18:3)	3.4	2
Stearik asit (C 18:0)	13.1	13.7
Arakhidonik asit (C 20:4)	1	8.5

3.1. Işınlanan Etlerde Lipid Oksidasyon

Genelde tüm gıdalarda karbonhidrat ve protein kısımlarının korunmasında mikrobiyolojik bozulmalar düşünülmesi gereken en önemli kalite faktörlerinden birisi iken, yağlı kısımlarının ve yağların kalite kaybında oksidasyon başlıca faktördür (Üstün ve Turhan, 1999).

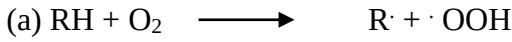
Lipid oksidasyon özellikle çoklu doymamış yağ asitlerini etkilediğinden dolayı et ürünlerinde kalitenin bozulmasında etkilidir. Otooksidatif bozulmanın hızı ve derecesi yağın doymamışlığıyla ilgilidir. Özellikle oleik, linoleik ve arakhadionik asitlerin uğradıkları bozulmalar etlerdeki ransiditenin oluşumu ile ilgilidir (Brewer ve diğ., 1992).

Otooksidatif yağ bozulması, yağları, pigmentleri, proteinleri ve karbonhidratları etkilediğinden dolayı renk, aroma, lezzet, yapı ve aynı zamanda esansiyel yağ asitleri ve yağda eriyen vitaminlerde kayba sebep olduğundan besin değerini etkileyecek reaksiyon ürünleri verir (Kanner, 1994).

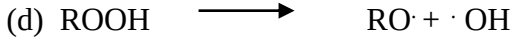
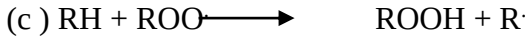
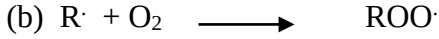
Çoklu doymamış yağ asitleri kolaylıkla okside olabildiklerinden dolayı ışınlama işlemi sırasında bazı önlemler alınması gerekmektedir. Işınlama sonucu oluşan lipid oksidasyon mekanizması, bilinen lipid oksidasyon mekanizmasından farklı değildir (Giroux ve Lacroix, 1998).

Reaksiyon, 3 fazdan oluşan otooksidasyon olarak adlandırılan ve serbest radikaller üzerinden yürüyen bir otokatalitik mekanizmadır (Fernandez ve diğ., 1997). Reaksiyonun 2 temel bileşeni doymamış yağ asidi ve oksijendir.

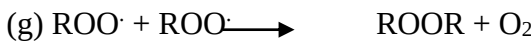
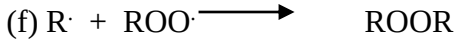
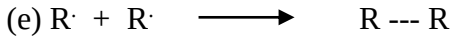
1. Başlangıç



2. Gelişme

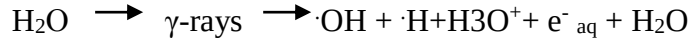


3. Sonuç



Başlangıç aşamasında hidrojen doymamış yağ asidinden çıkarılır ve geriye serbest yağ radikali kalır ($R\cdot$). Bu radikal molekül oksijenle reaksiyona girerek lipid peroksi radikalini oluşturur.

Işınlamanın sulu veya yağ emülsiyon sistemlerde suyun radyolizine sebep olduğu ve radyoliz sonucu hidroksi radikalleri de dahil olmak üzere çeşitli radikallerin olduğu bilinmektedir (Kanner, 1994).



Hidroksi radikaller en reaktif oksijen türüdür (Lee ve Ahn, 2003). Aynı zamanda et dokusunda çözünmüş halde bulunan oksijen de iyonize edici ışıklardan etkilenerek reaktif oksijen türlerini oluştururlar (Chen ve diğ., 1999).

Gelişme basamağında, oluşan bu hidroksi radikaller, oksijen varlığında lipid peroksi radikalini oluştururlar ve bir çoklu doymamış yağ asidi zincirinden kolaylıkla hidrojeni uzaklaştırıp lipid hidroperoksitleri radikali ve yeni bir serbest radikal oluştururlar. Bu çeşit interaksiyonlar, iki serbest radikal bir araya gelerek sonlandırma basamağına geçmeden önce 10-100 kez gerçekleşir. Lipid oksidasyon sonucu, hidroperoksitler, serbest radikaller, endoperoksitler, malonaldehit, epoksitler, alkan, alken, hidrokarbonlar, aldehit, alkol ve asitler gibi bilinen birincil ve ikincil reaksiyon ürünleri oluşur (Ajuyah ve ark., 1993) Bunlar gibi kısa zincirli karbon bileşikleri üründe kötü lezzet ve koku oluşumuna sebep veren maddelerdir (Fernandez ve diğ., 1997; Brewer ve diğ., 1992). Oluşan serbest radikaller aynı zamanda etteki hemee pigmentlerle de reaksiyona girerek et rengini değiştirirler (Chen ve diğ., 1999).

Bir yağ molekülünde serbest radikale en kolay maruz kalan yer çifte bağlı kısımdır. Bir yağ asidinde her ilave çifte bağ, oksidasyon hızını 2 kat arttırmaktadır. Oluşan radyolitik ürün miktarı yağ miktarı, yağ kompozisyonu, oksijen varlığına, ışınlama sırasındaki sıcaklık ve ışınlama dozuna bağlı olarak değişmektedir (Giroux ve Lacroix, 1998).

Ahn (2000), domuz etinin 5 kGy dozda ışınladığı ve 4°C de 5 gün aerobik ve vakum altında depoladığı çalışma sonucunda, depolama sırasında oksijen varlığının lipid oksidasyon üzerine etkisinin, ışınlamadan daha önemli olduğunu göstermiştir.

Kim ve diğ. (2002), yapılan çalışmada hindi, domuz ve sığır etlerini 3 kGy dozda ışınlamış ve 4°C'de 7 gün depolamıştır. Hayvan etinin cinsi, depolama süresi ve paketlenme şekli TBARS değerlerini önemli miktarda etkilemiştir. Sığır eti en yüksek TBARS değerlerini vermiştir, onu sırasıyla hindi ve domuz etine ait değerler takip etmiştir. Bu sonuç literatürdeki diğer sonuçlarla uygunluk göstermemektedir. Çünkü, sığır eti en yüksek yağ içeriğine sahip iken doymamış yağ asitleri açısından da en düşük içeriğe sahiptir, bunun yanı sıra hindi eti en düşük yağ içeriğine sahipken doymamış yağ asitleri açısından da en yüksek içeriğe sahiptir. Nitekim diğer çalışmalarda bu özelliğinden dolayı lipid oksidasyon açısından ışınlamaya karşı en hassas olanın hindi eti olduğu belirtilmiştir (Ahn ve diğ., 2001). Ancak, sığır etinin 0. günde dahi daha yüksek TBARS değerlerine sahip olması, çiğ etin başlangıç koşullarının sonuçlar üzerine olan etkisini göstermektedir (Kim ve diğ., 2002).

İşılama TBARS değerlerini arttırmıştır ancak bu artış sadece 7 gün aerobik şartlar altında depolanan sığır etinde önemli olmuştur. Aerobik paketlenen hindi ve sığır etlerinin 7. gündeki TBARS değerleri 0. günde kilerden önemli miktarda yüksek iken, vakum paketlenen etlerde günler arasındaki fark önemli olmamıştır. Aynı zamanda vakum paketlenen etler daha düşük TBARS değerleri göstermiştir. Bu da lipid oksidasyon açısından oksijen varlığının ışınlamadan daha önemli olduğunu göstermektedir (Tablo 3.2)(Kim ve diğ., 2002).

Tablo 3.2. Aerobik ve vakum ortamda depolanan sığır ve hindi etlerinde depolama süresi boyunca TBARS değerlerindeki değişim (Kim ve diğ., 2002).

Depolama	TBARS mg MDA/kg et			
	Sığır		Hindi	
	0 kGy	3kGy	0 kGy	3kGy
<i>Aerobik</i>				
0.gün	0,56 ab	0,83 ay	0,30 bcy	0,31 bcy
7. gün	1,65 b	2,84 ax	0,68 bcx	0,82 bcx
<i>Vakum</i>				
0.gün	0,53 a	0,60 a	0,27 b	0, 32 b
7. gün	0,65 ab	0,83 a	0,29 b	0, 32 b

^{a-c} satır boyunca önemli miktarda farklılık, $p<0,05$

^{x,y} kolon boyunca önemli miktarda farklılık, $p<0,05$

Ortamda oksijen olmadığı zaman ışınlama sonucu yağlarda meydana gelen değişim dekarboksilasyon, dehidrasyon ve polimerizasyon reaksiyonlarıdır. Bu durumda CO₂, CO, H₂, hidrokarbonlar ve aldehitler gibi radyolitik ürünler oluşur (Giroux ve Lacroix, 1998).

İşinlanmış etin kalitesi oluşan radyolitik ürün miktarı ile ilişkilidir. Serbest radikaller güçlü kimyasal aktiviteye sahip olduklarından dolayı doymamış yağ asitleri ve proteinlerin amino asit zincirleri ile tepkimeye girebilirler (Nam ve Ahn, 2003).

3.2. Işınlanan Etlerde Koku Oluşumu

İşinlama et ürünlerinde lipid oksidasyonu hızlandırır ve karakteristik kötü kokuya sebep olan uçucuları oluşturur. Kötü kokuya sebep olan uçucuların oluşmasında sadece lipid oksidasyon değil aynı zamanda proteinlerin degradasyonu da önemli rol oynar (Nam ve Ahn, 2003).

Yağlara benzer şekilde protein yapısı da suyun radyolizi sonucu oluşan serbest radikallerden etkilenir. İyonize ışınlar protein yapısında deaminasyon (sonucunda pürivik ve propiyonik asit oluşur), dekarboksilasyon (sonucunda etilamin ve asetaldehit oluşur), disülfid bağlarında azalma, sülfidril grupların oksidasyonu, peptid bağların kırılması gibi değişimlere sebebiyet verir. Amonyak ve pürivik asitin yoğun olarak bulunuşu deaminasyon reaksiyonun dekarboksilasyon reaksiyonundan daha etkin rol oynadığını gösterir. Bu tip kimyasal reaksiyonlar diğer gıda muhafaza işlemlerinde de oluşmaktadır. Işınlama ve proteinlerin interaksiyonu sonucu temel olarak oluşan bileşikler karbonil gruplar, amonyak, serbest aminoasitler, hidrojen peroksit ve organik peroksitlerdir (Giroux ve Lacroix, 1998).

Aromatik aminoasitlerle birlikte sülfür içeren aminoasitler, diğer aminoasitlere göre ışınlamaya karşı en hassas olan bileşiklerdir. Aromatik aminoasitlerde, aromatik grubun indol halkası oksijen radikalının başlıca hedefidir. Fenilalaninin oksidasyonu tirozin ve hidroksi türevlerini oluşturur. Tirozinin oksidasyonu sonucu, 3,4-dihidroksifenilalanin (dopa) oluşur. Triptofan ise formilnöronini (formylneurenine) oluşturur. Dopanın daha ileriki oksidasyonu ise melanin tipi pigment oluşumuna sebebiyet verir (Giroux ve Lacroix, 1998).

Sülfür içeren aminoasitler ise ışınlama sonucu, metil veya etil merkaptan, dimetilsülfid, dimetildisülfid, karbonil sülfid veya hidrojen sülfid oluşturur. Sülfür bileşikleri ışınlamaya oksijen yokluğunda maruz kalırlarsa, hidrojen sülfid ve sülfid fazla miktarda oluşur. Işınlanmış etin tipik kokusu sülfürlü bileşiklerin oluşumu ile alakalıdır. Işınlamaya karşı en hassas aminoasitler cistin, metionin ve triptofandır (Giroux ve Lacroix, 1998). Jo ve Ahn (2000), 'in belirttiğine göre sülfür içeren ve karakteristik ışınlanmış et kokusuna sebebiyet veren uçucu maddeler yine sülfür içeren aminoasitlerin degradasyonu sonucu oluşmuşlardır. Nam ve Ahn (2003), ışınlanmış domuz etlerinin gaz kromatogramını incelediklerinde sadece lipid oksidasyon değil aynı zamanda proteinlerin radyolitik degradasyonunun da istenmeyen koku maddelerinin oluşumu üzerine etkisi olduğunu göstermiştir. Ahn (2000), domuz etinin 5 kGy dozda ışınladığı ve 4°C de 5 gün aerobik ve vakum altında depoladığı çalışma sonucunda, sülfür bileşenlerinin yeni oluşan uçucuların çoğunluğunu oluşturduğunu ve bunlar arasında dimetildisülfidin oranının ise %75 olduğunu bildirmiştir. Ancak Kim ve diğ. (2005), tarafından yapılan bir başka çalışmada toz halindeki kıyma ekstraktını 1, 3, 5 ve 10 kGy dozlarla ışılandıktan sonra uçucu maddelerini analizlediklerinde dimetildisülfidin ışınlanmayan örneklerde de tespit edildiği görülmüştür. Her ne kadar iki ürün tamamiyle aynı olmasa da bu durumda dimetildisülfidin et ürünlerinde sadece ışınlamaya özgü bir bileşik olduğunu söylemek de güçleşmektedir.

Lipid oksidasyon sonucu oluşan ve WOF (warmed over flavour) olarak tanımlanan koku ile ışınlamanın sebebiyet verdiği kokuyu birbirinden ayırmak için literatürde farklı tabirler kullanılmıştır. Huber ve diğ.(1953), ışınlanarak sterilize edilen etlerde oluşan karakteristik kokuyu metalik, sülfid, ıslak köpek, ıslak buğday veya yanık şeklinde tanımlamıştır. Patterson ve Stevenson (1995), dimetiltrisülfidin ışınlama sonrası oluşan en etkin koku veren bileşik olduğunu ve okside olan etlerdeki WOF

(warmed-over flavor) kokusundan oldukça farklı olduğunu belirtmiştir. 2-3 kGy dozda ışınlanan pişirilmemiş tavuk etlerinde, pişirmeden sonra dahi hissedilen yanmış yağ veya yanmış tüy (feathers) kokusu kaldığı belirtilmiştir (Ahn ve diğ., 2000).

Domuz etlerinin 0, 5 ve 10 kGy doz ile ışınlanan ve 5 gün 4°C’ de depolandığı çalışmada, panelistler ışınlanmış örneklerle ışınlanmayanlar arasında ıslama dozuna veya depolama etkisine bağılı olmaksızın önemli miktarda farklı bir koku hissetmişler ve panelistlerin çoğı bu kokuyu barbekü edilmiş mısır kokusuna benzetmişlerdir ve rahatsız edici bulmamışlardır. Ancak bazı panelistler bu kokuyu yanık, kanlı, keskin ve sülfür kokusuna benzetmişlerdir. Ancak yine de yapılan duyusal panel sonucu panelistler ürünü kabul edilemez bulmamışlardır (Ahn ve diğ., 2000).

Ahn ve diğ.(2000), lipid oksidasyon sonucu oluşan hidrokarbonların koku açısından oldukça yüksek eşik değeriine sahip iken, ıslama sonucu oluşan sülfür bileşenlerinin ise oldukça düşük eşik değeriine sahip olduğunu belirtmişlerdir. ıslama sonucu oluşan bu bileşiklerin miktarı 10 kGy den düşük dozlarda ıslama dozuna bağılı olmayıp bu bileşiklerin oluştuğı minimum dozun ise ne olduğunun hala bilinmediğini bildirmişlerdir. Uçucu madde oluşumu üzerine etki en fazla ıslamadan, daha sonra paketlemeden ve en sonunda ise depolama süresinden kaynaklanmaktadır.

ıslama sonucu n karbonlu ve m çift bağılı bir yağ asidi 2 temel alken oluşturur, C_{n-1:m} ve C_{n-2:m+1} (Lacroix ve diğ. 1997). Oluşan bu hidrokarbonlar ve diğeri sülfür içeren bileşiklerin miktarının ıslama ile artması, ıslama sonucunda et ürünlerinde oluşan kokuya sebebiyet veren maddelerin lipid oksidasyon ve metionin ve sistein gibi aminoasitlerin radyolitik degradasyonu sonucu oluştuğı fikrini desteklemektedir (Jo ve Ahn, 1999).

Kim ve diğ.(2002), hindi, domuz ve sığır etlerini 3 kGy dozda ısladıkları ve 4°C’de 7 gün depoladıkları çalışma sonucunda, tüm örneklerde ıslamanın oluşan uçucu madde miktarını arttırdığını, en fazla uçucu maddenin sığır etinde oluştuğunu tespit etmişlerdir. Ancak kontrolle karşılaştırıldıkları zaman en fazla artış domuz etinde olmuştur. Domuz ve hindi etleri benzer uçucu kompozisyonu göstermektedir, ancak sığır etinde daha fazla miktarda hidrokarbon oluşmuştur. ıslanmış domuz eti

0. günde kontrolden 34 kat daha fazla uçucu madde oluşturmuştur. Işınlama her üç hayvan etinde de ışınlanmayan etlerde bulunmayan 1-buten, 1-penten, 1-hegzen, 1-hepten ve dimetilsülfid gibi yeni maddeler oluşturmuştur. Işınlanan etler arasında tercih açısından en düşük duyusal skoru sığır eti almıştır, domuz ve hindi eti ise benzer sonuçlar göstermiştir. Eğitimli panelistler dahi ışınlamış ve ışınlanmamış etleri birbirlerinden ayırt edememişlerdir.

Işınlama gününde sığır etinde oluşan temel uçucu bileşikler, butan, 2-buten, pentan, hexan, heptan, octan, toluen ve dimetil sülfid olmuştur. 7. günde ise 0. güne göre temel uçucular açısından kompozisyon değişmiştir. 7.günde, 0. günden farklı olarak toplam uçucu miktarı ve sayısı açısından ışınlanmayan ve ışınlanan örnekler benzerlik göstermektedir. Bu durum, 0. günde kokuya sebebiyet veren maddelerin radyolitik uçucu bileşikler olduğunu ancak 7. günde ise oksidasyonun etkisinin daha önemli olduğunu göstermektedir. Tablo 3.3 ve 3.4'te oluşan uçucu maddelerin depolama süresince değişimi gösterilmiştir (Kim ve diğ., 2002).

Tablo 3.3. 3 kGy dozda ışınlanarak aerobik paketlenen sığır, domuz ve hindi etlerinde depolama boyunca uçucu madde miktarları (Kim ve diğ., 2002).

Alan (Toplam iyon sayısı x10 ⁴)	Sığır eti kıyması				Domuz				Hindi			
	0. gün		7. gün		0.gün		7.gün		0.gün		7.gün	
DOZ (kGy)												
	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3
2-metilpropan	0	362	0	941	0	398	0	353	0	490	35	159
2-Buten	0	1413	0	182	5	986	0	0	0	600	0	278
1-Buten	0	750	0	65	0	491	0	50	0	1005	0	0
Asetaldehit	0	247	649	0	59	0	71	0	0	264	279	92
Dimetilsülfid	468	2254	1696	1658	0	1123	0	932	51	1246	34	652
1-penten	0	864	0	258	0	194	0	144	0	182	0	80
Dimetildisülfid	0	373	0	183	0	798	0	127	0	261	0	201
Pentan	373	7799	5517	7791	65	1061	139	715	790	6473	3490	3778
Hekzan	173	2360	5008	4655	21	474	1883	1293	30	605	2871	2836
1-hepten	16	991	0	667	0	391	0	57	0	564	0	0
Heptan	108	2869	944	2206	3	347	0	135	17	524	0	343
1-hegzen	173	2360	0	456	0	246	0	144	0	176	0	89
Benzen	0	331	0	413	0	185	0	39	0	293	0	0
Toluen	0	1542	14	1047	0	2188	20	913	23	2666	150	1197
Oktan	161	1513	964	1014	0	433	34	128	8	721	229	287
Toplam	2.597	30.058	26.692	27.936	346	11.906	5.359	7.223	1.029	19.339	14.261	11.873

Tablo 3.4. 3 kGy dozda ışınlanarak vakum paketlenen sığır, domuz ve hindi etlerinde depolama boyunca uçucu madde miktarları (Kim ve diğ., 2002).

Alan (Toplam iyon sayısı x10 ⁴)	Sığır eti kıyması				Domuz				Hindi			
	0. gün		7. gün		0.gün		7.gün		0.gün		7.gün	
DOZ (kGy)												
	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3
2-metilpropan	0	1616	8	1411	0	0	0	836	0	937	0	884
2-Buten	0	232	0	58	0	1008	0	0	10	733	0	0
1-Buten	0	0	0	170	0	534	0	201	0	293	0	182
Asetaldehit	70	0	0	0	182	68	0	126	6	0	0	0
1-penten	0	859	0	1036	0	249	0	226	26	235	0	205
Dimetilsülfid	2902	2823	2272	2548	33	3584	154	6386	379	1631	584	2351
Dimetildisülfid	93	312	0	818	109	2873	0	3097	43	304	0	578
Pentan	985	2509	2363	5579	125	656	273	708	5446	5145	2999	5041
Hekzan	209	2156	285	2644	214	838	85	620	292	588	206	671
1-hepten	0	813	0	1033	0	283	0	217	21	425	0	353
Heptan	118	1330	159	2361	0	228	0	185	219	302	140	291
1-hegzan	0	877	0	1020	18	220	0	265	0	198	0	204
Benzen	0	687	0	485	0	142	0	161	83	499	0	513
Toluen	0	1017	0	317	33	1161	0	1171	132	1892	132	1628
Oktan	1278	1621	1922	3578	360	420	706	804	813	363	1143	1098
Toplam	9.275	23.743	11.634	35.315	2.093	13.681	3.223	18.774	9.100	15.945	12.104	17.588

3.3. Işınlanan Etlerde Renk Değişimi

Et ürünlerinde renk müşteri kabulü açısından düşünüldüğünde en önemli kalite kriteridir. Et rengi temel olarak, pigmentlerin (miyoglobinin ve hemoglobinin) konsantrasyonu ve kimyasal durumundan etkilenmektedir.

Sığır etinde raf ömrünü uzatacak ve patojen sayısında azalmayı sağlayacak dozda ışınlama, kahverengi yeşil veya bazı durumlarda açık kırmızı oksimiyoglobin tipi pigmentlerin oluşmasına sebep olur. 50 kGy dozda ışınlamanın ise miyoglobinin yapısını tamamıyla parçaladığı bilinmektedir (Brewer, 2004).

Işınlanan etlerin rengi ayrıca doza, hayvanın cinsine (Kim ve diğ., 2002a) ve aynı hayvan içinde kas çeşidine göre de değişmektedir (Ahn ve diğ., 1998). Bu değişimin sebebi miyoglobinin konsantrasyonu, lif çeşidi, pH ın fonksiyonu olabilir (Brewer, 2004).

Miyoglobin, globin ve demir içeren heme prostetik gruptan oluşan bir metalloproteindir. Globin doğal ya da denatüre formda bulunabilen tek zincirli bir aminoasittir. Demir atomu çeşitli yükseltgenmiş formlarında ve porphyrin halkası ise açık, kapalı, yükseltgenmiş veya polimerize olmuş formlarında bulunabilir (Brewer, 2004).

Işınlamadan sonra, tavuk, hindi (Nam ve Ahn, 2002) ve domuz etleri pembe renk oluştururken, sığır eti ise kahverengi veya gri renk oluşturur ancak sığır etindeki bu değişimin rengi hala kesin olarak bilinmemektedir (Ahn ve Nam, 2004). Işınlama

işlemi CO oluşumuna sebebiyet vermektedir ve bu gaz bileşiği miyoglobine bağlanma yatkınlığındadır. Işınlama ile hindi etinde oluşan pembe rengin karbonmonoksit heme pigment kompleksinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim az miktarda da olsa CO gazına maruz kalan etlerde kırmızı renk oluşumu gözlenmektedir. Işınlama hem vakum hem de aerobik paketlenen etlerde CO oluşturur ancak vakum paketlenen etlerde CO oluşumu daha fazladır. Aerobik olarak paketlenen etlerde depolama boyunca CO ortamdan kaybolur (Nam ve Ahn, 2002).

Işınlamadan hemen sonra sığır eti kıymasının rengi açık kırmızıdan yeşil kahverengiye dönüşür. Her ne kadar karbonmonoksit oluşumu sığır eti kıymasında da benzer olsa renk değişimini açıklayamamaktadır. Sığır etindeki pigment miktarı tavuk ve domuz etinden 10 kat daha fazla olup, oluşan CO-heme pigmentin toplam renkteki dağılımı daha önemsiz olmaktadır (Ahn ve Nam, 2004).

Işınlama etlerde MbO₂ rejenarasyonunu sağlar ve oluşan bu pigmentin MbO₂ mi yoksa yeni bir pigment mi olduğuna dair kesin bir veri bulunmamaktadır. MbFe⁺³ içeren çözeltinin ışınlanması ile iki kırmızı miyoglobin türevi oluşur. Et ekstraktındaki pigment genel olarak MbFe⁺³ pozisyonunda ise, ışınlama sonucu spektral eğrisi MbO₂ ye yakın bir pigment oluşur ve bu da *a** değerinde artışa sebebiyet verir. Bu kırmızı renkli pigment pH 7,5 ve 8,5 iken pH 6' ya göre daha fazla miktarda oluşur. Sığır eti kıymasının ışınlanmasından önce ortamdan oksijen uzaklaştırıldığı zaman MbO₂, oksijen varlığında ise ferrimiyoglobin oluşur. Her iki durumda da 411, 542, 582 ve 620 nm de maksimum absorbans piki verir. 542 ve 582 nm deki pikler MbO₂ 'ye atfedilebilir. 411 nm deki soiret bant MbFe⁺³ 'e benzerdir, diğer yandan MbFe⁺³ ait olan 500 nm deki maksimum pike ışınlanan örneklerde rastlanılmamıştır. Işınlanan örnekte 620 nm de ise yeni bir pik oluşmuştur. Işınlanan etlerde ve miyoglobin çözeltilerinde yeşil renkli pigment oluştuğu bilinmektedir. Işınlanan sığır etinde sülfimiyoglobine benzer ve 615 nm de pik veren yeşil renkli pigment oluşmaktadır. Işınlamanın dozu arttıkça rengi kırmızıdan kahverengiye ve yeşile döner (Brewer, 2004).

Renkteki stabilite aynı zamanda, inherent oksijen tüketim hızı, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, metmyoglobin indirgeme-reducing- kapasitesi ve metmyoglobin reduktaz aktivitesi ile yakından ilişkilidir (Chen ve diğ., 1999).

Nam ve Ahn (2002), ışınlamanın hindi etinde oksidasyon-redüksiyon potansiyelini azalttığını ve karbonmonoksit (CO) oluşturduğunu belirtmişlerdir. CO-miyoglobinin ışınlanmış tavuk etlerinde oluşan pembe renkten sorumlu olduğunu belirtirken, Millar ve ark.(1995), ise pembe/mor veya kırmızı/pembe renk oluşumundan oksimiyoglobinden ziyade karboksi miyoglobin veya nitrik oksit miyoglobin gibi Fe içeren miyoglobin trevilerinin sorumlu olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan tüm bu çalışmalar 1998 yılına kadar tavuk etleriyle sınırlı olmuştur

ışınlama, L^* (parlaklık) değerini sığır etinde azaltırken (Nam ve Ahn, 2004) domuz ve hindi etinde ise L^* değerini etkilemez. Ancak depolama sırasında kontrolün L^* değerı değişmezken ışınlanan rneğin L^* değerı artış gösterir. 7 günlük depolama süresi boyunca a^* (kırmızılık) değerı kontrolden en az 5 birim düşük olmuştur. a^* değerı ışınlanan örneklerde depolama ile birlikte önemli miktarda değişmese de , kontrolde süre boyunca sürekli azalmıştır (Millar ve diğ., 2000).

Kim ve diğ. (2002a), ışınlama işleminin depolamanın ilk gününde paketlemenin cinsine bağlı olmaksızın hindi etinde a^* değerinin arttığını, domuz etinde etkilenmediğini, sığır etinde ise azalttığını belirtmiştir. Depolamanın 7. gününde ise kontrole göre, vakum paketlenen sığır etinde a^* değerı azalırken, aerobik paketlenen etlerde artış görülmüştür. b^* (sarılık) değerı açısından bakıldığı zaman ışınlanmış sığır eti, hindi ve domuz etinden daha yüksek b^* değerine sahip olmuştur. Renkteki toplam değişim açısından bakıldığı zaman ışınlanmış sığır etindeki değişim, hindi veya domuzdan daha fazladır. Aerobik koşullarda paketlenerek ışınlanan sığır etindeki değişim vakum paketlenenlere göre daha belirgindir.

Askorbik asit ilavesi oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP) ni azalttığından dolayı heme pimentlerin Fe^{+2} formunda kalmalarını ve rengin stabilizasyonunu sağlar(Ahn ve Nam, 2004).

3.4. ışınlanan Etlerde Kaliteyi Koruma

3.4.1. Antioksidan Kullanımı

Antioksidantlar renkte stabilizeyi arttırmak, istenmeyen koku oluşumunu geciktirmek ve oksidatif ransiditeyi engellemek için taze veya proses görmüş et ürünlerine eklenirler. Belli bazı antioksidantlar serbest radikal zincir reaksiyonlarını durdurabilirler. Etlerdeki radyolitik değişimler oksijen varlığında hızlanırlar ve

seçilen antioksidanların mekanizması gıdanın kompozisyonuna bağlı olarak değişir. Antioksidantlar etki mekanizmalarına göre, gallat, sesamol ve tokoferol gibi serbest radikal paralayıcıları, Trolox gibi metal şelat ajanları ve karnosin gibi intrinsic antioksidantlar veya kombinasyonları olarak kullanılabilir ve ışınlanmış et ürünlerinde istenmeyen koku maddelerini azaltmak için kullanılabilir (Nam ve Ahn, 2003). Sentetik koruyucuların miktara bağlı olarak mutajenik ve/veya kansorejik etkiye sahip olmaları tüketicileri ve dolayısıyla sektörü doğal antioksidan madde kullanımına yöneltmiştir. Biberiye, kekik, karanfil, nane, karabiber, zencefil gibi bazı baharatların ve sarımsak, soğan gibi bazı otların antioksidan etki gösterdiği bilinmektedir (Lacroix ve diğ., 1997).

Et, antioksidan özelliğe sahip enzimler ve E vitamini gibi bileşikleri içerse de, bu bileşikler ışınlamadan etkilendikleri için lipid oksidasyonu engelleme konusunda yeterince güçlü değillerdir (Chen ve diğ., 1999).

Baharatların antioksidan etkileri özellikle fenolik bileşiklerden ileri gelmektedir. En fazla bulunanlar ise flavonoidler ve fenolkarbonik asittir. Flavonoid adı verilen bileşiklerin esas yapısını difenilpropanlar oluşturmaktadır. Başlıca flavonoidler, flavon, flavanol, flavanon, kateşin ve antisiyonindir. Flavonoidlerden olan kuersetin özellikle kimyon, rezene, dereotu, anason, kişniş, kırmızıbiber ve karabiberde önemli miktarda bulunur. Kaempferol ise özellikle karabiber, kimyon, rezene, karanfil ve kırmızıbiberde bulunur. Kekiğin esansiyal yağındaki temel fenolik bileşikler karvakrol ve timoldr. Karabiberin antioksidatif aktivitesi flavonoid kaempferol, ramnerin ve kuersetin ve 5 farklı fenolik amidin glikozitlerinin varlığı ile bilinmektedir. Terpenoid, timol, karvakrol, öjenol, karvon ve tuyon gibi farklı uçucu bileşikler çeşitli antioksidatif aktiviteye sahiptirler ancak bu bileşiklerin antioksidan olarak farklı gıdalarda kullanımı özel karakteristik aromaları nedeniyle sınırlıdır (Aksu ve Hışıl, 2005).

Biberiyenin pişmiş köftelere eklendiği ve 4°C de 5 gün depolandığı bir çalışmada TBARS değerlerinde %35 azalma gözlenmiştir. Bir başka çalışmada yine pişmiş köftelere biberiye eklenmiş ve 5°C de 10 gün depolanmıştır ve TBARS değerlerinde azalma %20 oranındadır (Aksu ve Hışıl, 2005).

Her iki yüzeyine de %1 oranında zencefil sürülen sığır biftekleri 2, 3 ve 4 kGy dozda ışınlanmış, vakum ambalajla paketlenmiş ve 2 hafta boyunca 4°C de depolanmıştır. 2

hafta sonunda tüm dozlarda TBARS değerleri ışınlanan ancak zencefil eklenmeyen kontrol örneklerinden önemli miktarda düşük olmuştur (Wong ve Kitts, 2002).

Oksidatif ransiditeyi engellemek ve kötü koku oluşumunu geciktirmek amacıyla taze veya işlenmiş ete eklenen antioksidanın etkili olabilmesi için, eklenen antioksidan gallat, sesamol ve tokoferol gibi radikal parçalayıcı veya carnosin gibi intrinsic antioksidan veya kombinasyonları şeklinde olmalıdır (Nam ve Ahn, 2003).

Chen ve diğ.(1999), bildirdiğine göre fenolik antioksidanlar aerobik olarak paketlenen ışınlanmış domuz etlerinde TBARS'i azaltma üzerinde etkilidirler

Nam ve Ahn (2003), domuz etinde ışınlama sonucu oluşan uçucu maddelerin miktarını ve lipid oksidasyonu azaltmak için antioksidant kullanılması ile ilgili yaptıkları çalışmada, gallik asit, tokoferol, trolox, sesamol veya carnosin ve kombinasyonlarını son konsantrasyonları 200 µM olacak şekilde domuz etlerine eklemiştir. Domuz etlerinin yarısı aerobik olarak polietilen oksijen geçiren ambalajlarda diğer yarısı ise oksijen geçirme hızı çok düşük vakum ambalajlarda paketlenmiştir. Tüm örnekler 4°C de 5 gün muhafaza edilmişlerdir.

Antioksidanla muamele edilmiş tüm örneklerde ışınlanmış olanlar daha yüksek TBARS değerlerine sahip olmuştur. Eklenen antioksidanın TBARS'yi azaltma yönündeki etkisi yalnızca ışınlanmış olan örneklerde görülmüştür. 5 günlük depolamadan sonra antioksidantların etkisi daha fazla farkedilmiş. Işınlanmamış örneklerde ise 5. günde de antioksidan etkisi gözlenmemiştir. Sesamol, gallate ve tokoferol ün son konsantrasyonları 200 µM olacak şekilde domuz etine ilavesi domuz etlerinde lipid oksidasyonu ve uçucu madde oluşumunu önemli miktarda azaltmaktadır. Işınlama ve antioksidan uygulaması domuz etlerindeki uçucu maddeleri hem kalitatif hem de kantitatif olarak etkilemektedir. Işınlanmamış domuz etlerinde çok az miktarda uçucu madde tespit edildiğinden antioksidanların ışınlanmayan örneklerde uçucu oluşumu üzerine etkisinden bahsedilemez, diğer yandan ışınlama domuz etlerinde propanal, 2-metilpropanal, 3-metilbutanal, 2-metilbutanal, pentanal ve hekzanal gibi aldehit ve metanetiol, dimetil disülfid, dimetil disülfid gibi S-içeren bileşiklerin oluşumuna sebebiyet verir (Nam ve Ahn, 2003).

Sesamol antioksidan olarak kullanıldığında, 4°C de depolanan ve 4,5 kGy doz ile ışınlanan domuz etlerinde oluşan toplam uçucu ve dimetil disülfid miktarını kontrole göre sırasıyla %43 ve %48 oranında azaltmıştır (Nam ve Ahn, 2003).

3.4.2. Ambalaj Atmosferini Kontrol Altına Alma

Işınlama sırasında oluşan oksijen radikallerin sayısını azaltmak için önerilebilecek yollardan biri de ışınlama işlemi sırasında ortamdan oksijeni elimine edecek ambalajlarda paketlenmesi ve düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi olabilir.

Ambalajlama yönünden bakıldığı zaman, domuz etleri özellikle oksijen varlığında ışınlandıkları ve depolandıkları zaman oksidasyona karşı daha duyarlıdırlar. 0. günde vakum paketlenen etler ışınlama veya antioksidan miktarına bağlı olmaksızın oksidasyona maruz kalmamıştır. 5. günde ise antioksidanların oksidasyon açısından domuz etleri üzerine etkisi daha ayırt edici olmuş ve özellikle 5. günde aerobik olarak paketlenen etlerde oksidasyonu azaltıcı etki daha iyi gözlenmiştir. 5.günde uygulanan tüm antioksidanlar ışınlanmış aerobik ve vakum paketlenen domuz etlerinde sırasıyla kontrole göre TBARS değerlerinin %50 ve %20 oranında azalmasına sebep olmuşlardır (Nam ve Ahn, 2003).

Ahn, ve diğ.(1998), domuz etinin 4.5 kGy dozda ışınlandığı ve 4°C’de aerobik ve vakum paketlerde iki hafta depoladıkları çalışmada, yine benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Işınlanmış ve ışınlanmamış etlerin kromotogramları incelendiğinde ışınlanan etlerin kromotogramının daha kompleks ve farkın 3 dakikadan önce pik veren maddelerde olduğunu görmüşlerdir. Bu aralıktaki maddelerin ışınlanmış domuz etlerinin karakteristik kokusuna sebep olduğu söylenebilir. Toplam uçucu madde miktarı sırasıyla en fazla aerobik paketlenen ışınlanmış etlerde, daha sonra vakum paketlenen ışınlanmış etlerde, daha sonra aerobik paketlenen ışınlanmamış etlerde en az ise vakum paketlenen ışınlanmamış etlerde oluşmuştur.

Oluşan uçucu maddelerin miktarı vakum paketlenen etlerde, aerobik olarak paketlenenlere göre oldukça fazla miktarda bulunmaktadır. Bu sonuçta S-bileşiklerinin aerobik paketlenme koşullarında kolaylıkla kaybolduğunu göstermektedir (Nam ve Ahn, 2003). Paketleme materyali bir bariyer gibi davranarak, oksijenin ambalaj içine girmesini engeller aynı zamanda gıdadan su kaybını ve fotooksidasyonu engelleyerek daha uzun süren depolama ömrü sağlar (Brewer ve diğ., 1992).

Ahn ve diğ. (2000a) , domuz etinin 5 kGy dozda ışınlandığı ve 4°C de 5 gün aerobik ve vakum altında depoladığı çalışma sonucunda, yeni oluşan sülfürlü bileşenlerin aerobik ortamda çok çabuk kaybolduklarını gözlemiştir. 5 günlük depolama

sonucunda vakum paketlerde depolanan etlerde dimetilsülfid miktarı 1. güne göre yaklaşık 6 kat artarken, aerobik paketlenen örneklerde ise %25- 50 oranında azalmıştır. Yine benzer şekilde aerobik olarak depolanan örneklerin 5. gün sonunda toplam uçucu madde miktarı %25- 50 oranında azalmıştır. Aynı ışınlama dozunda vakum paketlerde oluşan toplam uçucu miktarı aerobik paketlere göre 2 kat daha fazla olmuştur. Bu çalışmadan elde edilen bir diğer sonuç da, ışınlanmayan örneklerde oluşan uçucu maddeler TBARS ile iyi korelasyon verirlerken, ışınlama ile oluşan uçucu maddeler ile korelasyon vermemektedirler.

Lipid oksidasyon açısından ambalaj materyalinin oksijen geçirgenliğinin az olduğu veya atmosferin kompozisyonunun değiştirildiği çalışmalarda, ışınlamanın etkisi önemsiz olmuştur. Lee ve diğ.(2005), modifiye atmosfer paketlerde ($N_2:CO_2=75:25$) 5, 10 ve 20 kGy dozlarla ışınlamanın hamburger köftelerinin lipid oksidasyon değerleri üzerine etkisinin önemsiz olduğunu belirtmektedir. Ahn ve diğ.(1998), vakum paketlerde ambalajlanarak 4,5 kGy dozda ışınlanan domuz etlerinde iki haftalık depolama süresi boyunca lipid oksidasyon değerlerinde önemli miktarda artış gözlemlenmemiştir.

4. LİPİD OKSİDASYON ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Et ve et ürünlerinde lipid oksidasyonu ölçmek için kullanılan birçok analiz yöntemi mevcuttur. Bu kimyasal metodların bazıları peroksid değeri, Kreis test, toplam ve uçucu karbonil bileşikler, TBA test, ve bazı fiziksel metodlar arasında da polarografi, infrared spektroskopi, refraktometre, konjuge dien metodu gelir.

Et ve et ürünlerinde birincil lipid oksidasyonu belirlemek için en çok kullanılan yöntemlerin prensibi fosfolipidlerin çoklu doymamış yağ asitlerindeki değişimlerin belirlenmesi ve peroksid değerindeki değişimlerin tesbitine dayanır. Genel olarak birincil reaksiyon değişimlerini incelemek lipid oksidasyonun sadece başlangıç aşamasının izlenmesi ile sınırlıdır (Ajuyah ve ark., 1993).

Lipid oksidasyon sırasında birincil ve ikincil değişimleri takip etmede kullanılan yöntemler, seçilen metod gıdanın tipine, geçmişine, işlenme ve depolama şekline bağlı olduğu gibi sonuçların hassaslığı ve tekrar edilebilirliğine bağlıdır. Asıl amaç genellikle kimyasal ve fiziksel değişimlerin duyuşal değişimlerle korelasyonlu olmasıdır (Ajuyah ve ark., 1993).

Genelde lipid oksidasyonu ölçmek için kullanılan yöntemler:

4.1. Peroksid Değerinin Belirlenmesi

Peroksitler otooksidasyonun başlangıç ürünleridir. Bunlar potasyum iyodürden iyodu serbestleştirme ve serbest kalan iyodun nişasta indikatörü eşliğinde tiyosülfat çözeltisi ile renksizleşinceye kadar titre edilmesi esasına dayanan teknikler yardımıyla ölçülürler. Peroksid içeriği genellikle miliekivalen oksijen/kg yağ terimiyle ifade edilir (Üstün ve Turhan, 1999). Lipid oksidasyonun birincil başlangıç reaksiyon ürünü olan hidroksi ve peroksi gruplarının miktarını belirler. Peroksid değeri ile TBARS değeri karşılaştırıldığı birçok çalışmada çelişkili sonuçlar elde edilmiştir. Bir çalışmada TBARS testi ile peroksid değeri açısından çoklu doymamış yağ asitleri söz konusu olduğu zaman lineer bir ilişki mevcuttur denilirken bir diğer

çalışmada eğer yağların içerdiği yağ asitleri sadece 3 veya daha fazla çifte bağlı ise TBARS ile peroksit değeri arasında bir korelasyon mevcuttur denilmiştir. Younathan ve Watts (1960), pişirilmiş ve dondurulmuş domuz etlerinde TBARS değeri ve peroksit sayısını karşılaştırdıkları çalışmalarında TBARS değeri pişirmeden sonra hızla artarak duyuşal kabul edilebilirlik sınırını (TBARS=5, PV= 20 m.e.q /100 g) aşarken, peroksit değeri hala düşük kaldığını görmüştür (Fernandez ve diğ., 1997).

Peroksit değerinin ransit kokuların gelişimi ile ilgili elde edilen korelasyonlar genelde tutarsızdır. Ransiditeyi oluşturmak için absorbe edilmesi gereken oksijen miktarı veya oluşması gereken peroksit miktarı yağın bileşimi, antioksidanların ve iz metallerin varlığı ile oksidasyon koşullarına göre değişir (Üstün ve Turhan, 1999).

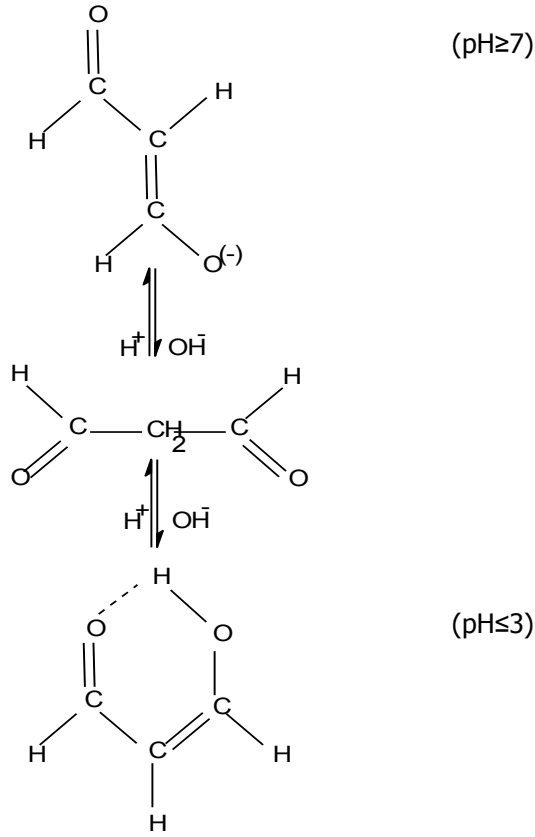
4.2. Hekzanal İçeriğinin Belirlenmesi

Bu ölçüm buhar distilasyonu ve ardından yapılan gaz kromotografisi analizini kapsar. Genel olarak distilat içerisinde toplanan hekzanal miktarı ile TBA değerleri lineer bir korelasyona sahiptir (Fernandez ve diğ., 1997).

4.3. Malondialdehit (MDA) İçeriğini Belirleme

1944 'te ilk kez Kohn ve Liversedge aerobik olarak 2- tiyobarbütirik asit ile inkübe edilen hayvan etlerinin pembe renk oluşturduğunu gözlemlemişlerdir. 1948 'te Bernheim bu rengin doymamış yağ asitleri ile TBA'in oksidasyonu sonucu oluşan kompleksin sonucu oluştuğunu belirlemiştir. 1957'de Yu ve Sinnhuber MDA 'in lipid oksidasyon sonucu oluşan ve TBA ile reaksiyona giren en önemli bileşik olduğunu söylerken daha sonraki yıllarda 4- hidroksialkenal gibi α , β - doymamış aldehitler ve tanımlanmamış birçok uçucu olmayan precursorları gibi başka oksidasyon ürünlerinin de TBA ile reaksiyona girdikleri açığa çıkmıştır (Hoyland ve Taylor, 1991).

Malondialdehit (MDA), 3 karbonlu, karbonil gruplarının C-1 ve C-3 pozisyonlarında yer aldığı bir dialdehittir (Şekil 5.1). MDA'in oluşum mekanizması ile ilgili farklı teoriler bulunmaktadır. 3 veya daha fazla çifte bağlı çoklu doymamış yağ asitlerinden hidroperoksit oluşumu mekanizması boyunca oluştuğu kabul edilir. Sadece α ve β doymamışlığına sahip peroksitler MDA oluşturma yeteneğindedirler (Fernandez ve diğ., 1997).



Şekil 4.1. Malondialdehitin pH ile yapısal değişimi

Bununla beraber bazı çalışmalarda az miktarda MDA'nın şu şekilde oluştuğunu gösterir (Fernandez ve diğ., 1997).

- (a) 3 çifte bağdan daha az yağ asitlerinden oluşumu: Bu durumda MDA oluşumu kısmen birincil karbonil bileşiklerinin (ör, 2-nonenal) ikincil oksidasyonundan dolayıdır.
- (b) Prostaglandin sentezi ile ilgili olan endoperoksitler uçucu olmayan MDA precursorları olabilirler ve ısı veya asitle MDA verebilirler.
- (c) Aminoasitlerin, kompleks karbonhidratların, pentozların, hegzosların demir bağlı oksidatif reaksiyonlarından ve gama ışınlama sonucu açığa çıkan serbest radikal ürünlerinden MDA oluşabilir. Oluşan MDA miktarı doza bağlıdır.

4.3.1. UV Spektrofotometre ile MDA belirlenmesi

Bu metod asidik ve bazik MDA çözeltilerinin 267 nm deki absorbands farklarının ölçümüne dayanır. MDA 'in UV absorpsiyon spektrumu pH' ya bağlıdır ve bu bölgedeki absorpsiyonu pH 3 ve 7 arasında değişir. Bunun sebebi enolik hidrojenin artan pH ile ayrılmasına atfedilir, pH 3 ve daha düşükken bileşik moleküller arası hidrojen bağları ile siklik planar δ -cis-konfigürasyonunda iken, pH 7 ve üzerindeyken tamamen ayrılır ve planar δ -trans- enolate anyon şeklini alır. Bu metod okside olmuş gıdalardan elde edilen distilatta MDA' yi belirlemede başarıyla uygulanır, hassaslığı TBARS testinin %40' ı kadardır ancak ransidite açısından eşik değeri belirlemede yeterlidir (Fernandez ve diğ., 1997).

4.3.2. HPLC ile MDA belirlenmesi

MDA'in sulu distilatının HPLC ile belirlenmesine dayanan bu yöntemde sonuçlar TBARS değerleri ile lineer bir korelasyon vermektedirler (Fernandez ve diğ., 1997).

4.3.3. GC ile MDA belirlenmesi

Bu yöntem, öncelikli olarak bir türevlendirme aşamasına ihtiyaç duyar. Kaynaklarda türevlendirme için 2-hidroksiprimidin, pentafloro-fenilhidrazin gibi çeşitli yöntemler önerilmiştir. Metoda bağlı olarak serbest, bağlı veya her iki tür MDA belirlenebilir (Fernandez ve diğ., 1997).

4.3.4. TBA Test

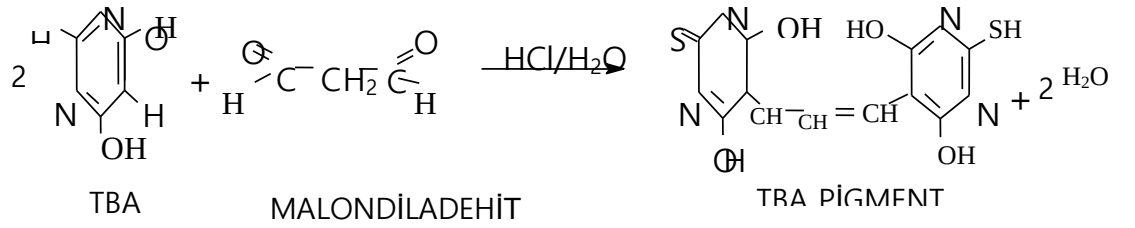
Bu yöntem, MDA ile Tiyoarbütirik asitin (TBA) reaksiyonu ile oluşan kırmızı renkli pigmentin maksimum absorbandsının 532-535 nm de ölçülmesine dayanır (Fernandez ve diğ., 1997). TBA testinde renk oluşumundan sorumlu olan aldehitler oksidatif reaksiyonda daha sonra oluştuklarından organoleptik testler ile peroksit değerinden daha iyi uyum sağlamaktadır (Üstün ve Turhan, 1999). Bu test özellikle et ürünlerinde ransiditeyi belirlemek için kullanılmaktadır (Shahidi ve ark., 1995).

Oluşan rengin yoğunluğu MDA konsantrasyonunun bir ölçüsüdür. Belirtildiğine göre TBA reaksiyon koşullarına bağlı olarak 455 nm de ölçülen sarı, 495 nm de ölçülen turuncu ve 532 nm de ölçülen pembe-kırmızı renkli pigmentler oluşturabilir.

Yapılan çalışmalarda belirtildiğine göre, tekli doymamış aldehitler sarı rengin oluşmasından sorumlu iken çiftli doymamış bileşikler ise pembe rengin oluşmasından sorumludurlar. TBA testi ile tanımlanan sarı renkli pigmentin oluşmasında efidrin aldehit, gliseraldehit, hidroksimetilfurfural, 2-4 dekadial gibi çeşitli aldehitler sorumlu iken, sadece alka,2,4-dieanal ve az miktarda alk,2,enal pembe rengin oluşmasından sorumludurlar. Yalnız 452 nm’ de ölçülen sarı renkli pigment genel olarak TBA reaksiyonuna stabil olmayan aldehitlerce oluşurken, lipid oksidasyon sonucu oluşan ürünleri ölçmeyebilirler (Hoyland ve Taylor, 1991).

4.3.4.1. Reaksiyon Kimyası

MDA ‘in monoenolik formu ile TBA’in aktif metilen grubu reaksiyona girerek kırmızı renkli pigment oluşturur. Bu reaksiyon 2 molekül TBA ile 1 molekül MDA ‘in kondensasyonu ve 2 molekül suyun eliminasyonu sonucu gerçekleşir. Reaksiyonun oluşum mekanizması Şekil 5.2 de gösterilmektedir (Fernandez ve diğ., 1997).



Şekil 4.2. TBA oluşum reaksiyonu

Sıcaklık ve güçlü asit MDA ‘in precursor olarak numuneden açığa çıkması için gereklidir (Hoyland ve Taylor, 1991). Yine de Tarladgis (1960), asit-ısı uygulamasının sadece işlemi hızlandırdığını ve maksimum rengin oda sıcaklığında 15 saat bekletilen asitlendirilmemiş ekstraktlarda da oluştuğunu bildirmiştir.

MDA aminoasitler, proteinler, glikojen ve diğer gıda bileşenleri ile MDA’in bağlı halde olduğu kompleks bileşikler oluşturabilir. Temel interaksiyonlar (Fernandez ve diğ., 1997):

- (a) *MDA ‘in su ile interaksiyonu:* MDA asıl olarak sulu çözeltide enolik tautomeri olarak bulunur. Enolik aldehitin çözünmesi pH 2,8 iken başlar ve pH 6,5 iken biter. MDA pH 2,8’in altında iken tamamen uçucu formdadır. Uçuculuğun sebebi moleküller arası hidrojen bağ oluşumuna atfedilebilir. pH

6,5' un üzerinde iken aldehitin herhangi bir uçculuğu olmaz. Aldehit bu pH'da tamamiyle anyonlarına çözünür.

(b) *Proteinlerle interaksyonu*: MDA suda çözünen protein fraksiyonlarına, aldolase ve miyosine (1,3- 2,6 gMDA/mg protein) bağlı olabilir ve MDA'ı bu protein fraksiyonlarından kurtarmak için hem asitlendirme hem de ısıtma işlemi gereklidir. MDA histidin, arginin, tyrosin ve methionin ile reaksiyona girmeye meyillidir.

(c) *Karbonhidratlarla interaksyonu*: Sadece glikojen ile gerçekleştirdiği reaksiyon anlamlıdır (her mg glikojen tarafından bağlanan MDA miktarı proteinlerle bağlanan miktarla karşılaştırılabilir).

MDA'in peroksit olmuş çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşumunu ve miktarını etkileyen faktörler, yağ asidinin doymamışlık derecesi, sıcaklık ve ısıtma işleminin süresi, metallerin varlığı ve pH tır. Demirin varlığı, fizyolojik pH ve sıcaklık yağ asit hidroperoksitlerinin MDA'e dekompozisyonunu hızlandırır (Fernandez ve diğ., 1997).

MDA'in bağlı olduğu formdan serbest kaldığı koşulları optimum koşulları belirlemek zordur. MDA'in tamamını bağlı bulunduğu et proteinlerinden güçlü asidik koşullar veya ısı olmaksızın hidrolize etmek güçtür. Bu durum MDA-TBA kompleksinin stabilitesini tehlikeye düşürür ve TBA testi sırasında MDA 'in geri kazanımında sorun çıkartabilir (Fernandez ve diğ., 1997).

MDA-TBA kompleksinin absorbansı 1,1,3,3 tetraetoksipropan (TEP) veya 1,1,3,3 tetrametoksipropan (TMP) dan elde edilen bir standart ile karşılaştırılır. Çünkü MDA, TMP veya TEP' in eşit moleküler reaksiyonunda asit hidrolizinden elde edilir (Fernandez ve ark., 1997). 1 molekül TMP veya TEP 'ten sadece 1 molekül MDA açığa çıkar (Shahidi ve diğ., 1995).

Lipid oksidasyonun et ürünlerinde lezzet ve koku değişimine sebep olan aldehit, keton, hidrokarbonlar, esterlerin oluşumuna sebep olduğu bilinmektedir. Aldehitler pişmiş etteki oksidasyon kokusu ve tadına sahip en etkin bileşiktir. Hekzanal yağ oksidasyonu sonucu oluşan en belirgin aldehittir ve hekzanal içeriği ve TBA değeri arasında yüksek korelasyon mevcuttur. Işınlanan etlerde, aldehit oluşumu ve TBA değerleri doza bağlıdır ve kötü koku oluşumu ile aralarında yüksek korelasyon vardır (Nam ve Ahn, 2003).

4.4. TBA yöntemleri

Yöntem kritik bir sıcaklık basamağına sahiptir. Genellikle 100°C’de 30-60 dakika ısıtmak malonaldehitin lipid hidroperoksitlerden açığa çıkması için gereklidir. Hava varlığında bu ısıtma adımı yapay olarak daha yüksek TBA değerlerinin açığa çıkmasına sebep olan otooksidasyona sebebiyet verebilir. (Pikul ve diğ., 1983). Bu yöntemde lipid oksidasyon, miligram MDA/kg örnek cinsinden veya eğer ekstrakte edilen yağ üzerinden analiz yapılıyorsa miligram MDA/birim yağ cinsinden belirtilir (Pikul ve diğ., 1989). En fazla uygulanan yöntemler şu şekildedir.

4.4.1. Tüm örnek üzerinden direkt reaksiyon

Et örneği TBA çözeltisi ile asidik koşullarda ısıtılır ve kırmızı renkli pigment bütanol ile ekstrakte edilir. Kantitatif bir metottur, çok zaman alır ve birçok solvent ekstraksiyon işlemi gerektirir (Hoyland ve Taylor, 1991). Direkt gıda numunesine uygulandığı zaman diğer gıda bileşenlerinde üre, şeker ve okside proteinler de absorbansı arttırarak girişim yapabilirler (Shahidi ve diğ., 1995).

4.4.2. Distilasyon

Uçucu bileşikler örnekten buharla distile edilir. Sonra distilat TBA ile sulu bir ortamda reaksiyona sokulur. Bu metodun avantajı girişim yapan maddelerin eliminasyonudur (Tarladgis, 1960). Distilasyon yöntemi, TBA ile distilatın bir kısmının reaksiyonunu kapsar ve solvent ekstraksiyon yöntemi ile karşılaştırıldığında daha düşük recovery oranı verir. Ancak daha hassastır ve yüksek yağ içerikli (>%10) ekstrakte edilen örneklerde türbidite sorunu gerçekleştirebileceğinden distilasyon yöntemi daha uygun bir yöntemdir. Türbidite karbonhidratça zengin veya mikrobiyel olarak kontamine olmuş gıdalarda solvent ekstraksiyon yöntemi kullanıldığı zaman sorun oluşturabilir (Gomes ve diğ., 2003).

4.4.3. Ekstraksiyon

Bu yöntemde TBA ile reaksiyona giren maddeler (TBARS), TBA ile renk oluşturmada önce gıdadan sulu bir ortama (sulu trikloroasetik asit gibi...) ekstrakte edilmesine dayanır (Pikul ve diğ., 1983). Yöntemde trikloroasetik asitin (TCA) sulu çözeltisi, TCA in fosforoik asitteki çözeltisi ve perklorik asitin (PCA) sulu çözeltisi gibi farklı ekstraksiyon çözeltileri kullanılabilir (Ulu, 2004).

Et örneklerinde MDA içeriğini belirlemek için kullanılan en iyi yöntem olarak düşünülebilir. Distilasyon yönteminden daha ucuz ve hızlıdır ve fazla sayıda örneğin hızlı şekilde analiz edilmesi gereken durumlarda kullanılması tavsiye edilir (Raharjo ve diğ., 1992). Bazen suda çözünen proteinler, peptidler ve diğer aldehitler gibi bazı safsızlıklar ekstraksiyona rağmen örnekte bulunabilir ve bu durum pembe-kırmızı renk oluşumunda girişim yapabilir (Fernandez ve diğ., 1997).

Ekstraksiyon yönteminde örneğin ısıtma işlem görmesi gerekli olmadığından dolayı otoksidasyona maruz kalması distilasyon yöntemine göre daha az sorun oluşturur ve bundan dolayı daha düşük TBARS değerleri vermektedir (Hoyland ve Taylor, 1991).

Oluşan kırmızı-pembe renkli, MDA-TBA kompleksinin spektrofotometrede 400-600 nm arası taranarak maksimum absorbans verdiği ilgili dalga boyunda ölçüm yapılır.

Tarladgis, (1960) da belirtildiğine göre, filtratın pH değeri 1,3 ve 1,8 arasında değişmelidir ve MDA'nın optimum recovery si pH 1,5 iken gerçekleşir. Sırasıyla PCA ve TCA'nın pH değerleri 1 ve 1,3 tür.

Farklı yazarlar tarafından TBA-MDA kompleksinin oluştuğu oda sıcaklığında 900 dakika veya kaynayan su banyosunda 30-60 dakika gibi farklı inkübasyon sıcaklık ve süreleri belirtilmiştir. Ulu (2004), kıyma, tavuk ve hindi örneklerinin TBARS değerleri üzerinde 80°C de su banyosunda 20, 30, 40, 50 ve 60 dakika inkübasyon süresinin etkisini incelediği çalışma sonucunda TBARS değerleri üzerinde sürenin etkisinin önemli olduğunu ve en iyi sonucun 40 dakikada alındığını göstermiştir.

Pikul ve diğ. (1989), optimum TBA-MDA kompleksinin oluştuğu koşulları belirleyebilmek için, kaynayan su banyosunda 1 saat bekleyen örneklerin absorbansı ile 15 saat oda sıcaklığında ve karanlıkta bekleyen örneklerin absorbansını karşılaştırmıştır. Su banyosunda 1 saat kaynayan örneklerin absorbansının oda sıcaklığında 15 saat bekleyenlerden 1,3 -1,4 kat daha yüksek sonuç verdiğini görmüştür.

Yöntemin ısıtma basamağında gerçekleşebilecek otoksidasyon önemli bir sorun olduğu için ısıtma basamağından önce antioksidan ilavesi ile yöntem üzerinde bazı modifikasyonlar yapılmıştır. İdeal bir antioksidan sadece örneklerin otoksidasyonunu engellememeli aynı zamanda MDA'nın yağ asidi hidroperoksitlerinden açığa çıkması ile girişim yapmamalı veya MDA'yi TBA ile

bağlayıp ölçülen kromoforu oluşturmamalı. BHT ilavesinin standart olarak kullanılan tetrametoksipropan (TMP) dan MDA'in açığa çıkması veya MDA ile TBA in bağlanması üzerine, konsantrasyonu 125 µg/ml veya daha az olduğu zaman etkisi olmadığı, 250 µg/ml olduğunda ise yağ varlığında az miktarda girişim yaptığı bildirilmektedir (Pikul ve diğ., 1983).

TBA-MDA reaksiyonun hızı TBA çözeltisinin konsantrasyonuna, sıcaklık ve pH 'a bağlıdır. TBA çözeltisinin konsantrasyonu 20 mM dan 80 mM' a arttırıldığında reaksiyon süresi 94±1 °C' de 30 dakikadan yaklaşık 5 dakikaya düşmüştür. Aynı zamanda TBA konsantrasyonunu 20 mM dan 90 mM'a arttırmakta pH değerini 2,1'den 1,4'e azaltarak reaksiyonun hızını arttırmıştır (Raharjo ve diğ., 1992).

Pikul ve diğ. (1989), otooksidasyonun ısıtma basamağından önce sulu perklorik veya trikloroasetik asitle homojenizasyon basamağında da gerçekleşip gerçekleşmediğini anlamak için farklı konsantrasyonlarda BHT homojenizasyon basamağından önce eklenmiştir. %0.1 BHT eklenmesi, absorbans değerini yaklaşık olarak %13,2 azaltmıştır. Sonuç olarak, antioksidan kullanılmadığı zaman, asitle homojenizasyon basamağının otooksidasyonu hızlandırdığını belirtmişlerdir.

Gomes ve diğ. (2003), TBA analizinin ısılanmış et ürünlerinde uygulanabilirliğini değerlendirildiği çalışmalarında, prosten kaynaklanan herhangi girişim yapan maddenin bulunup bulunmadığını belirtmişlerdir. Işınlanan ve ışınlanmayan örnekler MDA standardının geri kazanımı, ekstraksiyon katsayısı değeri ve spektral eğri açısından incelediğinde önemli herhangi bir fark görülmemiştir. Işınlanan örnek için depolamanın başında hesaplanan ekstraksiyon katsayısı değeri, hammaddesi aynı olmak kaydıyla dondurarak veya soğukta depolama süresi boyunca TBARS değeri hesaplamalarında kullanılabilir.

4.5. TBA ile Girişim Yapan Maddeler

Pembe-kırmızı renkli kromojen (530-537 nm) ile sarı renkli kromojen (450-460 nm) varlığı hatalı yüksek sonuçlar çıkmasına sebep olur. Bu sarı renkli kromojenin varlığı TBA ile reaksiyona giren birçok aldehit bileşiği ve şekerler ile onların degradasyon ürünlerine atfedilebilir (Fernandez ve diğ., 1997). Bundan dolayı sadece lipid oksidasyon sonucu oluşan ürünleri ölçmeyebilirler. Sukroz pirolizi oluşan ürün asetaldehit ile reaksiyona girerek 532 nm de absorbans veren pembe-kırmızı renkli

bileşik oluşturmaktadır. Bu durum lipid oksidasyon olmaksızın da kromojen oluştuğuna delil olabilir (Hoyland ve Taylor, 1991).

İkincil reaksiyon ürünlerini izlemek için en çok kullanılan yöntem olan tiyobarbütirik asit testinin temel olarak, ikincil bir reaksiyon ürünü olan malonaldehiti ölçtüğüne inanılsa da artık malonaldehitin lipid oksidasyon sonucu oluşan bileşiklerin küçük bir yüzdesini temsil ettiği kabul edilmektedir, bu yöntemde TBA ile diğer gıda bileşenleri de reaksiyona girebilmektedir. Aynı zamanda distilasyon yöntemi kullanılarak TBA ölçüldüğü zaman, TBA ile reaksiyona giren malonaldehitin büyük bir kısmının distilasyon sırasında hidroperoksitlerin dekompozisyonu ile oluştuğu bilinmektedir. Bundan dolayı bu yöntemde modifikasyonlar yapılmış ve elde edilen sonuçların duyuusal sonuçlarla yüksek korelasyonlar verdiği gözlenmiştir (Ajuyah ve diğ., 1993).

TBA ile reaksiyona giren ancak TBA olmayan bileşiklere TBARS (Tiobarbutiric Acid Reactive Substances) denilir. Çünkü,

1. TBA ile reaksiyona girerek spektrumu MDA standartı ile aynı olan ürünler verir.
2. UV spektrumları pH 7 ve 2 iken MDA standartı ile aynıdır.
3. HPLC ile analiz edildiğinde MDA standartı ile beraber ayrılırlar. TBA testi ile belirlenen MDA miktarı HPLC ile belirlenen ile uygunluk göstermektedir (Fernandez ve diğ., 1997).

TBA suda çözünen proteinler ve peptidler ile de reaksiyona girebildiğinden dolayı sebep oldukları girişimden söz edilebilir ancak bu durum gerekirse C₁₈ kartuşlu kromatograf kullanarak engellenebilir. Daha ileri bir saflaştırma için kırmızı-pembe pigment C₁₈ ince tabaka kromatograf üzerine spotlanarak ve metanol-su kombinasyonları geliştirilerek sağlanabilir. MDA oldukça hidrofilik olduğundan dolayı ekstrakte edilebilen MDA'ın çoğu sulu asidik ekstraksiyon ile geri kazanılabilir (Fernandez ve diğ., 1997).

Organik yapılarda pigmentler, formaldehitler, metaller, Fe gibi girişim yapabilen başka maddelerde vardır. Bunlar çok fazla önem taşımazlar. Demir tuzları, hidroperoksitlerin MDA'ya parçalanmasını, aminoasitlerin, şekerlerin (deoksiriboz, hekzos, pentoz) ve DNA'nın hava varlığında MDA verdiği degradasyon reaksiyonlarını hızlandırır (Hoyland ve Taylor, 1991).

Diğer önemli girişim yapan madde ise nitrit kalıntısıdır. Bu kalıntı MDA ile reaksiyona girerek tamamını veya bir kısmını TBA-MDA reaksiyonunu gerçekleştiremez şekilde bağlar ve böylece olması gerekenden daha düşük TBA değerleri elde edilir. MDA nitrit ile asidik ortamda oda sıcaklığında dahi reaksiyona girer. Sülfanilamid nitrit kalıntısı ile reaksiyona girerek diazoniyum tuzunu oluşturur. Eğer nitrit kalıntısı mevcut değilse veya konsantrasyonu 100 ppm den az ise sülfanilamid eklenmesi, MDA kendi başına da 1 veya 2 molekül sülfanilamid ile reaksiyona gireceğinden, yine TBA değerlerinin düşük elde edilmesine sebep olur (Fernandez ve diğ., 1997). Sonuç olarak sülfanilamid MDA’i nitriti dekompoze ederek veya bağlayıp TBA reaksiyonu için erişebilir hale getirerek korur.

4.6. TBA Testi ile Duyusal Analiz Sonuçları Arasında Korelasyon

TBA değerleri ile hayvansal gıdalardaki ransiditenin belirlenmesi arasında yüksek korelasyon elde edilmiştir. TBA aynı zamanda W.O.F oluşumu ile de yüksek korelasyon vermiştir. W.O.F kürlenmeden pişirilmiş et ürünlerinde görülen lezzet bozulmasına verilen isimdir ve çoklu doymamış yağ asitleri ve fosfolipitlerin oksidasyonu sonucu oluşan son ürünlerle ilgilidir.

TBA değerleri, sığır ve/veya domuz eti için 0,3-1, tavuk eti için 1 veya 2 ve hindi eti için 3’ten fazla ise okside olmuş lezzet bozulması duyusal olarak fark edilebilir sınırı aşmışlardır. Bununla beraber bu aralık değerleri TBA testi hayvanın cinsi, beslenme şekli, yaşı, etin çiğ veya pişirilmiş olması ve uygulanan prosedür gibi bir çok faktörden etkilendiği için genel referans değerleri olarak kabul edilemezler (Fernandez ve diğ., 1997).

5. TEPE BOŞLUĞU ANALİZLERİ İLE UÇUCU MADDE ÖLÇÜMLERİ

Aroma maddelerinin belirlenmesi özellikle gıdaların tüketiciler tarafından beğenisini veya tercihini etkilediğinden oldukça önem taşımaktadır. Gıda matriksinde yer alan bu uçucu bileşenlerin belirlenmesi için kullanılan pek çok metod vardır (Altın ve Yüceer, 2005).

Tepe boşluğunda toplanan uçucu bileşenlerin analizi kullanılan yöntemlerden biridir. Tepe boşluğu analizleri genel olarak gıdalarda bulunan aroma maddelerinin, doğal hallerinde hiçbir değişiklik oluşturmada, yapı içinden ayrılarak izolasyonunu sağlayan bir örnek hazırlama işlemidir. Gaz kromatografisiyle birlikte kullanılmaktadır. Gıdalarda farklı polarite, çözünürlük ve uçuculuğa sahip olan aroma maddeleri bulunmaktadır. Tepe boşluğu analizlerindeki kritik noktalar sıcaklık, gaz basıncı ve gaz akışıdır (Altın ve Yüceer, 2005).

Tepe boşluğu analizleri statik ve dinamik olarak ikiye ayrılmaktadır. Her iki yöntem de aynı prensibe dayanmaktadır. Sıvı ve katı materyalden elde edilen uçucu bileşenler materyal üzerindeki boşlukta toplanır ve bu boşlukta bulunan gaz fazındaki karışım otomatik veya manuel olarak Gaz Kromatografisine enjekte edildikten sonra bileşenlerin tanımlanması yapılır (Altın ve Yüceer, 2005).

5.1. Statik Tepe Boşluğu Analizi

Bu teknik, sızdırmazlığı olan ve kontrollü koşullarda tutulan vialler içine katı, yarı katı veya sıvı örnekler konularak içinde bulunan uçucu bileşenlerin denge haline gelinceye kadar vialdeki tepe boşluğunda toplanması ilkesine dayanmaktadır. Tepe boşluğunda bulunan bileşenlerin miktarı, orijinal örnek içinde bulunma oranı, uçuculuk, örnek içindeki çözünürlük, vial uygulanan sıcaklık, örnek miktarı ve örneğin vial içinde ne kadar zaman bulunduğuna bağlı olarak değişmektedir (Altın ve Yüceer, 2005).

En önemli avantajı solvent kullanmaksızın düşük molekül ağırlıklı aroma bileşenlerinin analiz edilebilmesinin mümkün olmasıdır. Aksi halde solvent gaz

matriksi içinde bulunarak diğer uçucu bileşenlerle birlikte kromatogramda pik oluşturacaktır. Oluşan bu pik oldukça belirgin olup büyük bir alan kaplar. Bu da yüksek uçuculuktaki aroma maddelerinin alıkonma zamanıyla örtüşmesine neden olarak tanımlamayı zorlaştırabilir. Solvent kullanılmadığı için tepe boşluğu analizlerinde bu tür bir sorunla karşılaşmamaktadır. Diğer bir avantaj ise düşük maliyete sahip olmasıdır. Diğer taraftan optimize edilmesi gereken çok az etken vardır. Son olarak GC ile birlikte kullanımında oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Altın ve Yüceer, 2005).

Bu yöntem çok düşük konsantrasyonlardaki ve az uçucu olan bileşenlerin belirlenmesinde yeteri kadar duyarlı değildir. Sıcaklığın yükseltilmesi ile bileşenler daha uçucu hale getirilebilir, ancak tepe boşluğu analizi için tasarlanmış ekipman sınırlı ısı derecelerinde (yaklaşık 150°C'ye kadar) kullanıma uygundur. Ayrıca, ısı işlemin şiddetine bağlı olarak istenmeyen veya yeni aroma maddelerinin de oluşmasına neden olacağından analiz sonuçlarını olumsuz etkileyebilecektir (Altın ve Yüceer, 2005).

5.2.Dinamik Tepe Boşluğu Analizi (Purge and Trap)

Teknik, analiz edilecek bileşenlerin örnek içinden izole edilerek taşınmasını gerektirir. Helyum ve nitrojen gibi inert gazlar örnek üzerine gönderilir. Bu şekilde organik uçucu bileşenler gıda içinden süpürülür ve gazın akışı ile beraber absorbant üzerine gönderilir. Absorbant, uçucu bileşenlerin toplandığı ve yoğunlaştırıldığı yerdir. Burada toplanan uçucu bileşenler ya sıcaklık uygulaması ya da solvent vasıtasıyla geri alınarak GC'ye gönderilir. Absorbantta toplanan bileşenlerin geri alınması için uygulanan sıcaklık ne kadar yüksek ise bu bileşenlerin GC'ye doğru hareketi daha hızlı olur ve oldukça dik, dar ve belirgin pikler elde edilir. Solvent kullanımına gerek duyulmaması, hızlı ve güvenilir sonuçlar vermesi, otomasyonunun mümkün olması ve örnek hazırlanmasının basit olması bu yöntemin avantajlarındandır. Bunlara ek olarak örneklerin bir absorbant üzerinde toplanması analizin etkinliğini arttırmaktadır. Kompleks ve pahalı bir sistem olması, ısıtmanın bazı durumlarda olumsuz etki yaratması, sızdıra ve kontaminasyon riskinin olabilirliği ise yöntemin dezavantajlarıdır (Altın ve Yüceer, 2005).

Tepe boşluğu analizleri çok çeşitli gıda örneklerinin analizinde kullanılmış olup oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Cheddar peynirlerinde fıındığımsı(nutty) aromaya neden olan kimyasal maddelerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise dinamik tepe boşluğu analizi kullanılmıştır. Peynirde bu

aromaya bazı Streker aldehitlerin (özellikle 2-metilpropanal, 2-metilbutanal,3 metilbutanal) ve dimetilsülfitin neden olduğu saptanmıştır. Elde edilen bulgular yapılan model çalışmalar ve duyusal analizlerle de doğrulanmıştır. Kahvenin aroma oluşumu üzerine farklı süt katkılarının etkileri statik tepe boşluğu analizi yardımıyla belirlenmiştir. Bunun için alınan örnekler iki farklı vial içine konularak farklı sıcaklıklar ve dengeye gelme zamanları denenmiştir. Uçucu bileşenler Tenax üzerine absorbe edilmişlerdir. Elde edilen bulgularda katılan süt ürünlerinin kahve aromasını etkilediği anlaşılmıştır. Isıl işlem uygulanmış sütlerde hidrojen sülfür(H_2S) ve dimetil sülfid(DMS) bileşenlerinin , ılımlı sıcaklıklardan sonra maksimum derecelere ulaştığı ve bundan sonraki daha yüksek sıcaklıklarda, bu bileşenlerin ya azaldığı yada aynı değerde kaldığı statik tepe boşluğu analizi yardımı ile bulunmuştur (Altın ve Yüceer, 2005).

6. AYIRT EDİCİ (DISCRIMINATION) DUYUSAL TESTLER

Örnekler arasında herhangi bir duysal farklılık olup olmadığını belirlemek için uygulanan yöntemlerdir. Bazen bir üretici ürününde kullandığı ingrediyeñtleri veya kimyasal formülü değıştirmek, ancak bu değışimin/farkın tüketici tarafından algılanmamasını isteyebilir. Bu gibi durumlarda discrimination testleri kullanılabilir. Mesela; bir dondurma üreticisi kullandığı pahalı vanilyayı daha ucuz olan alternatifi ile değıştirmeyi düşünmektedir. Ancak, üretici bu farkın tüketiciler tarafından da hissedilmemesini istemektedir. Uygulanacak bir discrimination testi ile bu iki formül arasındaki farklılık belirlenir ve böylece firma istediğı değışimi minimum riskle gerçekleştirebilir. Bu durum; duysal discrimination testinin ideal kullanımıdır. Bu değışim bir ingrediyeñt olduğı gibi prosesteki bir değışimde olabilir. Her iki durumda da; discrimination testin amacı null hipotezin($\mu_1=\mu_2$) reddedilmemesidir. Bazen de, null hipotezin reddedilmesi amacıyla bu testler yapılabilir. Bir şirket, ürünün “yeni, geliştirilmiş” versiyonunu hazırladığı iddiasında olursa, 2 formül arasındaki farklılığın hissedilmesini ister (Meilgaard ve Civille, 1999).

Eğer örnekler arasındaki farklılık çok belirginse, bu durumda bu testlerin yapılması gereksizdir. Bu gibi durumlarda, örnekler arasındaki farklılığın gerçek büyüklüğünü belirleyecek derecelendirme tekniklerinin kullanılması daha yararlı olacaktır (Meilgaard ve Civille, 1999).

Discrimination testleri; genelde iki örnek mevcutken gerçekleştirilir. İki den fazla ürün sözkonusu olduğunda çoklu farklılık testleri (multiple difference tests) de kullanılabilir. Ancak bu yöntem sonuçları itibariyle çok sağlıklı değildir. Bu gibi durumlarda derecelendirme teknikleri daha başarılı olur. Birçok farklı ayırt edici discrimination testi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları üçgen (triangle) testleri, "Two-out of five" test, "duo-trio" testleri, temel farklılık testleri, kontrolden farklılık (difference from control) testleridir (Meilgaard ve Civille, 1999).

6.1. Kontrolden Farklılık Testi

Bir örnek kontrol, referens veya standart olarak belirlenirken diğer tüm örneklerin bu örneğe göre nasıl farklı oldukları değerlendirilir. Bu test, farklılığın hissedildiği ancak farklılığın boyutunun kararı etkilediği durumlarda kullanılır. Kalite kontrol ve depolama çalışmaları karar vermede farkın göreceli büyüklüğünün önemli olduğu çalışmalardır (Meilgaard ve Civille, 1999).

Her paneliste 1 kontrol ile 1 veya daha fazla örnek sunulur. Panelistlerden her örnekle kontrol arasındaki farkı bir skala yardımıyla belirlemeleri istenir. Her örneğin etiketlenmiş kontrol ve kör (şahit) kontrol ile 20-50 adet sunumu yapılır. Panelistler eğitilmiş veya eğitimsiz olabilir ama ikisinin karışımı şeklinde olmamalıdır. Tüm panelistler test formatı, skala ve test örneklerinin bazılarının da şahit kontrolden oluştuğunu bilmelidirler. Tüm örnekler aynı anda ve etiketlenmiş kontrol ilk olacak şekilde sunulur (Meilgaard ve Civille, 1999).

6.2. Üçgen Test

Örneklerin farklı olduğu ancak farklılığın sebebinin tam olarak bilinmediği durumlarda kullanılabilir. Panelistlere aynı anda; ikisi aynı, biri farklı formülasyonda üç örnek sunulur. Bu metot özellikle, üründe meydana gelecek değişimin bir veya iki faktörle ile basit bir şekilde tanımlanamadığı durumlarda verimlidir. İstatistiksel açıdan, paired comparison ve duo-trio yönteminden daha etkili ise de, üç örnek aynı anda değerlendirildiğinden yorgunluk verici, adaptasyonda kayıp gibi nedenlerden dolayı kullanımı sınırlıdır. Panelistlere hangi örneğin farklı, diğer hangi iki örneğin ise en benzer olduğu sorulur. Doğru cevaplar sayılır ve değerlendirme için tabloya bakılıp hangi önem düzeyinde farklılık olduğu belirlenir (Meilgaard ve Civille, 1999).

Triangle test için genelde 20-40 arasında panelist kullanılır. Eğer farklılıkların belirlenmesi çok kolaysa 12 kişi de kullanılabilir. 6 muhtemel kombinasyon eşit sayıda hazırlanmalı ve rastgele aynı anda sunulmalıdır. Panelistler (tat,his,koku..) tüm duyuşsal özellikleri ile beraber değerlendirmelidirler. Test sırasında, her bir değerlendirme tekrar edilebilir. Eğer panelistler farklı örneği belirleyemiyorlarsa bir tahminde bulunmaları istenilmelidir. Panelistlere tercihleri, kabulleri, iki farklı örneği seçtikten sonra farklılığın derecesi veya şekli sorulmamalıdır. Bu gibi soruların cevabı için ilave tercih ve kabul testleri yapılmalıdır (Meilgaard ve Civille, 1999).

7. MATERİYAL ve METOD

7.1. Materyal

7.1.1. Et

Yerel bir kasaptan satın alınan dana eti kıyma makinesinden geçirildikten sonra, yarısı köfte numunelerinin hazırlanması için ayrılırken kalan kısım kıyma numunesi olarak kullanılmıştır. Köfte hamuruna kendi yağından başka bir yağ katılmamıştır. Köfte hamurundaki kıyma miktarı %79,8 dir.

7.1.2. Baharatlar ve Diğer Katkılar

Köfte yapımında kullanılan, tuz (%1,6), maydonoz (%3,2), karabiber (%1,6), kimyon (%0,65), kırmızıbiber (%0,35) baharatçılardan temin edildi. Köfte hamurunda ayrıca soğan (%8) ve kurutulmuş öğütülmüş ekmek içi (%4,8) kullanılmıştır.

7.1.3. Işınlama Cihazı

Ürünlerin ışınlaması Çerkezköy’ de kurulu bulunan Gamma-Pak Sterilizasyon A.Ş. ışınlama tesisinde gerçekleştirildi. Işınlama cihazı Kanada Nordion firması tarafından üretilen JS 9600 model, IR-185 seri no’su ile Uluslar arası atom Enerji Ajansı (IEAE) tarafından tescil edilmiş, 101 BBq (3.000.000 Ci) kapasiteli kaynak paneline sahip kutu taşıyıcılı çift kapsüllü bir Co⁶⁰ kaynağıdır.

7.1.4. Dozimetri Sistemi

Cihazın kalibrasyonu Ceric-Cerious kimyasal dozimetreler ile gerçekleştirilmiştir. Işınlamaya giren ürünlerin aldıkları dozlar ise yüzeylerine yapıştırılan plastik özellikli Amber 3042 tip Harwell kırmızı akrilik (perspeks) (PMMA) dozimetreler ile ölçülmüştür (Tablo C1, C2 ve C3). Sistemin doz hızı 1,84 kGy/st olarak hesaplanmıştır.

7.2. Metotlar

Kıyma ve köfte numuneleri, kıyma ve köfte olarak iki farklı şekilde gruplandırıldı. Her gruptan TBARS, duyusal, toplam bakteri ve uçucu madde analizleri için kontrol ile birlikte 3, 6 ve 9 kGy lik örnekler hazırlandı. Mikrobiyolojik analize alınacak örnekler, hazırlama aşamasında stomacher poşetlerine yerleştirilmiş diğer örnekler kilitli poşetlerde köpük kutulara yerleştirilmiştir. Köpük kutulara, sıcaklığın 7-9°C' de olmasını sağlamak amacıyla buz torbaları yerleştirildi.

Kıyma ve köfte numuneleri, 4±1°C'de bir gece muhafaza edildikten sonra soğuk zincir korunarak ışınlama tesisine götürüldü. Işınlama işlemi biten numuneler 3-5°C'deki buzdolabı sıcaklığında bekletildi. Işınlama işleminin bitiminde soğuk zincir korunarak 3 saat içerisinde tüm örnekler laboratuvara getirildi ve 4±1°C' deki buzdolabına yerleştirildi.

İlk denemede, ışınlamanın 1. günü TBARS analizi için ayrılan örnekler dondurucuya alınmış ve 1. günü duyusal analiz gerçekleştirilmiştir. Duyusal analizin 2. si ışınlama işleminin 5. gününde gerçekleştirilmiştir. TBARS analizlerine ise 7. ve 14. günde devam edilmiştir.

İkinci denemede, ışınlamanın 1. günü mikrobiyolojik analizlere başlanmış ve 8. ve 15. günde analizlere devam edilmiştir ve GC analizinde kullanılacak örnekler yine 1. gün cam şişelere alınıp, septum kapakla kaptıdıktan sonra -18 °C' de dondurucuda muhafaza edilmiştir ve analizlerine başlanılmıştır Işınlamanın 3. günü duyusal analiz gerçekleştirilmiştir. Duyusal analizin 2. si ışınlama işleminin 10. gününde gerçekleştirilmiştir. Işınlamanın 7. ve 14. gününde GC analizlerinde kullanılacak örnekler viallere alınıp dondurucuda muhafaza edilmiş ve analizlerine devam edilmiştir.

7.2.1. Toplam Bakteri Analizi

Toplam Bakteri sayımında genel amaçlı bir besiyeri olan Plate Count Agar (PCA) kullanıldı. Uygun dilüsyonlardan dökme plak yöntemi ile ekim yapıldı. Ekim sonrası 35-37 °C’de 2 günlük inkübasyon gerçekleştirildi ve 30-300 koloni içeren petriler değerlendirilmeye alındı.

7.2.2. TBA analizi

Pikul, ve diğ. (1989)’ da belirtilen sulu ekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır ancak perklorik asit yerine trikloroasetik asit(TCA) kullanılmıştır.

Çözeltiler

%5 TCA çözeltisi = 5 gr. TCA distile suda çözülerek 100 ml’ye tamamlanmıştır.

%7,2 BHT çözeltisi= 7,2 gr. BHT %98’lik etanolde çözülerek 100 ml’ye tamamlanmıştır.

0,02 M TBA çözeltisi= 0,2883 gr. TBARS distile suda çözülerek 100 ml’ye tamamlanmıştır.

10 g. örnek 35 ml soğuk TCA ve 1ml BHT içeren ekstraksiyon çözeltisinde homojenize edilmiştir. Karışım Whatman no:4 filtre kağıdından 50 ml.lik erlene süzölmüştür. Süzme işlemi bittikten sonra, filtre kağıdı 5 ml. distile su ile yıkanmıştır. Filtrat %5 lik TCA ile 50 ml’ye tamamlanmıştır. 5 ml. filtrat ve 5 ml. 0,02M TBA çözeltisi deney tüpünde karıştırılmış ve 80°C deki su banyosunda 20 dakika inkübe edilmiştir. Test tüpleri akan musluk suyu altında 10 dakika soğutulmuştur. Oluşan pembe renkli MDA-TBA kompleksinin absorbansı 532 nm de şahite karşı okunmuştur. Şahit olarak 5ml TBA, 5 ml TCA içeren deney tüpü kullanılmıştır. Malonaldehit standardı olarak 1,1,3,3-tetraetoksipropan (TEP) kullanılmıştır.

TBARS değeri, absorbans değerinin sabit bir değer olan ekstraksiyon katsayısı, K , ile çarpılması sonucu elde edilmiştir. K , aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Pikul ve diğ., 1989).

$$K_{\text{ekst.}} = S/A \times 72,063 \times 10^6/E \times 100/P$$

S = TEP in 5 ml filtrattaki $1 \times 10^{-8} - 8 \times 10^{-8}$ mol konsantrasyonu

72,063 = MDA’in molekül ağırlığı

E = Numune ağırlık eşdeğeri, 50 ml filtrattan 5 ml aliquot olarak alındığı zaman, 10 gr örnek için E, 1 dir.

P = % Geri kazanım

10^{-2} M TEP çözeltisinden seyreltimler yapılarak, 10^{-5} M 'lık seyreltim elde edilmiştir. 10^{-5} M'lık seyreltimden 1 ml alınıp, 4 ml filtrat eklenince; 5 ml filtratta 1×10^{-8} mol TEP elde edilmiştir. Bu şekilde devam edilerek 1×10^{-8} – 8×10^{-8} mol lük konsantrasyonlar hazırlanmıştır. Su banyosunda bekletilen standartların absorbansları okunarak her konsantrasyon için $K_{ekst.}$ katsayısı hesaplanmıştır.

Geri kazanım, aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır (Gomes ve diğ., 2003);

$$P(\%) = \frac{A_3 - A_1}{A_2} \times 100$$

A_2

A_3 = TEP ve örneği içeren filtratın absorbans değeri

A_1 = Örneğin absorbans değeri

A_2 = TEP' in absorbans değeri

7.2.3. DUYUSAL ANALİZ

7.2.3.1. Kontrolden Farklılık Testi

Işınlamadan sonra $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ' de depolanan kıymada ve köfte örneklerinde Işınlamanın 1. ve 5. gününde kontrolden farklılık testi uygulanmıştır. Bu testte, bir veya daha fazla örnek arasında farklılık olup olmadığı ve varsa bu farklılığın boyutunun ne olduğu değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Her paneliste 1 kontrol ile 3 örnek aynı anda sunulmuştur. Panelistlerden her örnek ile kontrol arasındaki farkı bir skala yardımıyla belirlemeleri istenmiştir. Aynı zamanda panelistlerden varsa farklılık için olumlu (☺) ya da olumsuz (☹) şeklinde yorum yapmaları istenilmiştir.

Her örneğin etiketlenmiş kontrol ve şahit kontrol ile birlikte 22 adet sunumu yapılmıştır. Tüm örnekler aynı anda etiketlenmiş kontrol ilk olacak şekilde sunulmuş ve tüm panelistlere testin formatı ve skalanın nasıl değerlendirileceği hakkında bilgi verilmiştir. Şekil A.1 'de panelistlere sunulan form örnek olarak gösterilmiştir.

7.2.3.2. Üçgen (Triangle) Test

Işınlamadan sonra $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ’ de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde ışınlamanın 3. ve 10. gününde, her dozda ışınlanan örnek kontrol ile ve 3 ve 9 kGy dozda ışınlanan örnekler de kendi aralarında renk ve koku açısından karşılaştırılmıştır.

Her paneliste 3 örnek sunulmuş ve farklı olanı bulmaları istenmiştir. Aynı zamanda panelistlerden farklılık için olumlu (☺), olumsuz (☹) ya da çekimser (Θ) şeklinde yorum yapmaları istenilmiştir. Tüm panelistlere testin formatı ve skalanın nasıl değerlendirileceği hakkında bilgi verilmiştir. Her örneğin duyusal analizin 1. gününde 26, ikinci gününde ise 31 adet sunumu yapılmış ve farklı örneği doğru bilen panelistlerin sayısına göre farklı olasılık düzeylerinde ihtiyaç duyulan minimum panelist sayısını veren tablo ile karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir (Roessler ve diğ., 1978). Şekil A.2 ’de panelistlere sunulan form örnek olarak gösterilmiştir.

7.2.4. GC-Headspace Analizi

3, 6 ve 9 kGy dozda ışılandıktan sonra $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ‘de 1. 7. ve 14. gün depolanan kıyma ve köfte örneklerinin GC-Hedspace analizi yapılmıştır. Bu amaçla, 25 ml hacimli cam şişelere 15 gr örnek her depolama gününde konulmuş, şişelerin ağzı septum kapaklarla kapatılmış, etiketlenmiş ve dondurucuda analiz gününe kadar bekletilmiştir. Analiz günü donudurudan çıkarılan şişeler, musluk suyu altında oda sıcaklığında 15 dakika çözülene kadar bekletildikten sonra, su banyosunda 90°C de 20 dakika bekletilmiştir. Tepe boşluğundan 100 µl alınan gaz cihaza enjekte edilmiştir. Cihazda kullanılan program, akış hızı = 1,1 ml/dak, right inlet sıcaklığı = 220°C , right dedektör sıcaklığı = 250°C , fırının sıcaklık programı, 30°C de 10 dakika, $30-100^{\circ}\text{C}$ ’ de $5^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$, $100-200^{\circ}\text{C}$ ’ de $20^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$, 200°C ’ de 5 dakika olacak şekildedir.

Literatürde ışınlanan etlerde olduğu belirtilen bazı standart uçucu maddelerin dedektöre gelme süreleri, her bir standardın 2 ml’ lik cam şişelere konulmasından sonra tepe boşluğundan alınan 1µl’ lik hacmin cihaza enjekte edilmesiyle bulunmuştur.

7.2.5. İstatiksel Analiz Yöntemleri

Analizler için "Minitab® for Windows Release 1.12" kullanılmıştır. "Microsoft Excell® 2003" de hazırlanan veriler bu programa aktararak varyans analizi (ANOVA) tablosu oluşturulmuş, genel lineer modelleme yapılmıştır. Ardından bu modelin Anderson-Darling normalite eğrisi çizilerek bu eğrinin p değerine bakılarak verilerin istatiksel olarak anlamlı olup olmadığı incelenmiştir.

Eğer model anlamlı ise, Tukey ikili karşılaştırma testiyle %95 güven düzeyinde ikili karşılaştırmalar yapılarak, dozlar, günler, örneğin kıyma ve köfte oluşu arasındaki farka bakılmıştır. Doz, gün, örneğin kıyma ve köfte oluşu ve interaksyonlarına bakılarak elde edilen sonuçların verdiği tablolardan veriler yorumlanmıştır. Son olarak analizlerin sonuçları ve standart sapmaları ile birlikte "Microsoft Excell® 2003" kullanılarak grafikler oluşturulmuştur.

D_{10} değeri, bakteri sayısında %90 azalma sağlamak için gerekli olan ışınlama dozunu belirtmektedir. Bu değer hedef bakteri ve uygulama koşullarına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu çalışmada D_{10} değerleri, doza karşı bakteri sayımları logaritmik ekseninde çizilerek elde edilen eğriye fit edilen denklemin eğiminden hesaplanmıştır.

8. BULGULAR ve TARTIŞMA

8.1. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Toplam Bakteri Sayısına Etkisi

Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde depolamanın 1., 8., ve 15. günlerinde toplam bakteri sayımı yapılmış ve sonuçlar ışınlama dozu, depolama günü ve örneğin çeşidi yani kıyma veya köfte oluşuna göre istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Toplam bakteri sayısı üzerinde ışınlama dozunun ($p=0,000$), depolama gününün ($p=0,000$), kıyma ve köfte arasındaki farkın ($p=0,003$), doz ile gün ($p=0,000$) arasındaki ve doz ile numunelerin kıyma veya köfte oluşu arasındaki interaksyonunun etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Kontrol örneğinde toplam bakteri sayısı 3 ($p=0,000$), 6 ($p=0,000$), ve 9 kGy ($p=0,000$) dozlarda ışınlanan örneklerden önemli miktarda yüksek çıkmıştır (Şekil 8.1). 3 kGy dozla ışınlanan örneklerdeki toplam bakteri sayısı 6 ve 9 kGy dozla ışınlanan örneklerden önemli ($p=0,000$) miktarda yüksek olurken 6 ve 9 kGy dozla ışınlanan örnekler arasındaki fark ise önemli olmamıştır ($p=0,8020$).

Depolama günleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında 1. günde örneklerin toplam bakteri sayısının, 8. ($p=0,000$) ve 15. ($p=0,000$) gündeki toplam bakteri sayısından önemli miktarda düşük oldukları görülmüştür. Benzer şekilde 8. gündeki toplam bakteri sayısı da 15. günden önemli miktarda düşük olmuştur (Şekil 8. 1).

Kontrol kıyma örneklerinde $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de 8 gün depolamayla birlikte 6 log artış gözlenmiştir. 15. gün ekim yapılmamış, 8. günün sonuçları kabul edilmiştir. 3, 6 ve 9 kGy dozlarda ışınlama, depolamanın 1. gününde kıymada sırasıyla 4 ve 6 log azalmaya sebep olmuştur. $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de 8 ve 15 gün depolama sonucunda 3 kGy dozla ışınlanan kıyma örneklerinde artış her iki depolama süresince de yaklaşık 2 log olup 15. gün sonunda kontrolün 1. günde sahip olduğu değere ulaşmıştır (Şekil 8.1).

6 kGy dozla ışınlanan örneklerde 8. ve 15. günde sırasıyla yaklaşık 2 ve 2,5 log artışlar olmuş, toplam bakteri sayısı açısından 15 gün sonunda 9 kGy ile benzer sonuca sahip olmuştur. 9 kGy dozla ışınlanan örnekler de ise artış 8. ve 15. günde

sırasıyla 1,5 ve 2,5 log olmuştur. 15. gün sonunda 6 ve 9 kGy dozla ışınlanan kıyma örneklerinde sırasıyla 7,5 ve 7,3 log bakteri sayılmıştır (Şekil 8.1).

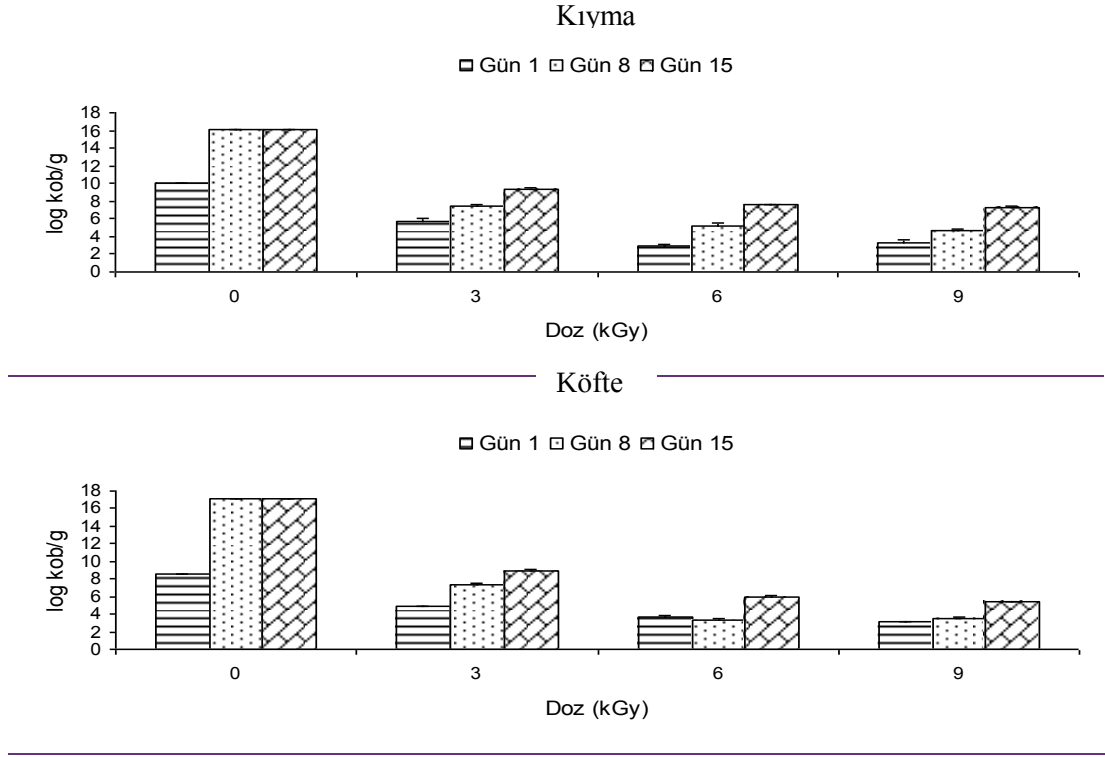
Kontrol köfte örneklerinde $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de 8 gün depolamayla birlikte 8 log bir artış gözlenmiştir. 15. gün ekim yapılmamış, 8. günün sonuçları kabul edilmiştir. 3, 6 ve 9 kGy dozlarda ışınlama, depolamanın 1. gününde köftede sırasıyla 3 ve 5, log azalmaya sebep olmuştur (Şekil 8.1). $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de 8 ve 15 gün depolama sonucunda 3 kGy dozla ışınlanan köfte örneklerinde artış kıymadan farklı olmuştur. Depolamanın 8. gününde artış 2,5 log iken 15. gününde toplam bakteri sayısındaki artışın hızı azalmış ve 1,5 log olmuştur. 6 ve 9 kGy dozla ışınlanan köfte örneklerinde ise 8. gün sonunda toplam bakteri sayısı 1. güne göre fazla değişmezken 15. gün sonunda ise sırasıyla 2,5 ve 2 log artış göstermiştir. 15. gün sonunda köfte örneğinde depolama boyunca ışınlanan örneklerde gelişme daha yavaş olmuştur.

İşinlamanın toplam bakteri sayımları için D_{10} değeri kıymada 1,26 kGy, köftede 0,86 kGy olarak hesaplanmıştır. Bu değer, yapılan benzer çalışmalardaki sonuçlarla uyum göstermektedir. Javanmard ve diğ. (2005), D_{10} değerini tavuk eti için 1,17 kGy, Ouattara ve diğ. (2005), sığır eti kıyması için 0,8 kGy, Vural (2002), ise köfte için bu değeri 1,25 kGy olarak bulmuştur. Yıldırım ve diğ.(2005), çiğ köfte için bu değeri 1,5 kGy olarak belirlemiştir. Araştırmacılar belli bakteriler için et ve et ürünlerinde işinlamanın D_{10} değerinin genellikle 1 kGy in altında olduğunu belirtmişler fakat bu değer işinlama ortamının su içeriği, hedef DNA' nın boyutu, bakteri hücresinin vegetatif veya spor formunda olması, sıcaklık ve ürün içeriği gibi birçok faktöre bağlı olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Depolamanın 1. gününde kontrol kıyma örneğindeki toplam bakteri sayısı, köfteden daha fazladır. 15. gün sonunda ise kıyma ve köfte örneklerindeki toplam bakteri sayısı 3 kGy dozla ışınlananlarda benzer iken 6 ve 9 kGy dozla ışınlanan köfte örneklerinde ise daha azdır (Şekil 8.1). Bu durum baharatların depolama boyunca gösterdiği antimikrobiyal etki ile açıklanabilir ve yapılan diğer çalışmalarla da uyum göstermektedir. Etleri soslama amacıyla hazırlanan ticari baharat karışımı eklenen domuz eti 8°C ' de 5 gün depolanmıştır. Depolama sonrasında baharat karışımı eklenen örneklerin toplam bakteri sayısı eklenmeyen örneklerden 2 log daha düşük olmuştur. (Grohs ve Kunz, 2000). Ouattara ve diğ. (2002), kıyma örneklerine askorbik asit eklenmesi ve gama işinlamanın antibakteriyel etkiyi arttırdığını

gözlemlemiştir. Lee ve diğ. (1999), de doğal antioksidanların kıyma örneklerinde mikrobiyal dayanıklılığı arttırdığını belirtmiştir.

Kıymada ve köftede 3 kGy dozla ışınlama toplam bakteri sayısında 4 ve 3 log, 6 ve 9 kGy dozda ışınlama kıymada 6, köftede 5 log azalmaya sebep olmuştur. Bu sonuç yapılan benzer çalışmalardaki sonuçlarla uyum göstermektedir. Roberts ve Weese, (1998) in belirttiğine göre 1 ve 3 kGy dozda ışınlama sığır eti kıymalarında sırasıyla 1 ve 3 log azalmaya sebep olmaktadır. Ouattara ve diğ. (2005), yaptığı çalışmada sığır eti kıymasını 1, 2 ve 3 kGy dozla ışınlamıştır. Işınlama sonrasında dozlara göre sırasıyla 2, 3 ve 4 log azalma gözlenmiştir. . Benzer sonuç Javanmard ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmada da gözlenmiştir. 5 kGy dozla ışınlama başlangıç yükü 8 log olan tavuk etinde 5 log azalmaya sebep olmuştur. Lee ve diğ. (2005), pişirilmiş ve modifiye atmosferde paketlenmiş (N₂:CO₂=25:75) hamburger köftelerini 5, 10 ve 20 kGy dozlarda ışınladıktan sonra 30°C de depolamış bu sırada toplam bakteri sayısındaki değişimi izlemiştir. Işınlamadan hemen sonra başlangıç yükü 5 log olan örneklerde her dozda bakteri gelişimi gözlenmemiştir. 10 kGy dozda ışınlama ürünü tamamen steril yapmaya yeterli olmamış depolamanın 7. gününde toplam bakteri sayısı 4 log olarak sayılmıştır. 20 kGy dozla ışınlanan örneklerde ise 21 gün boyunca bakteri gelişimi gözlenmemiştir (Lee ve diğ., 2005).



Şekil 8.1. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^\circ\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde depolamanın 1., 8. ve 15. günlerinde toplam bakteri sayısı

8.2. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerde Lipid Oksidasyon Üzerine Etkileri

8.2.1. Analiz Yönteminin Değerlendirilmesi

TBA analizinde oluşan kırmızı-pembe renkli absorbansının okunduğu dalga boyu ile ilgili olarak literatürde, 525, 530, 531, 532 nm gelmektedir. Bundan dolayı her dört dalga boyunda da ölçüm yapılmış ve maksimum absorbansın 532 nm de elde edildiği görülmüştür (Tablo D.1.).

Literatürde su banyosunda beklenen sıcaklık ve süre ile ilgili de farklı bilgiler bulunmaktadır. Su banyosunda inkübasyon koşullarını Gomes ve diğ. (2003), 100°C 'de 35 dakika, Lee ve diğ. (2005), 100°C ' de 30 dakika, Lee ve Ahn (2003), 100°C ' de 15 dakika, Nam ve Ahn (2003), 90°C ' de 15 dakika, Quattara ve diğ. (2002), 80°C ' de 90 dakika, Pikul ve diğ. (1989), 100°C ' de 60 dakika, Ulu (2004), 80°C ' de 20 dakika olarak belirlemiştir. Sıcaklık yüzünden oluşan otooksidasyonun önemli bir sorun olması ve yapay olarak daha yüksek değerler vermesinden dolayı hem köfte hem de kıyma örnekleri, su banyosunda 80°C ' de 20 dakika ve 90°C 'de 15 dakika bekletilmiş ve elde edilen absorbans değerleri aynı örneklerin karanlıkta ve

oda sıcaklığında 17 saat bekleyen kontrollerinin absorbands değerleri ile karşılaştırılmıştır. 80°C’ de 20 dakika su banyosunda inkübasyon sonucu elde edilen absorbands değerleri ile kontrol örneklerinin absorbands değerleri oldukça yakındır (Tablo D.2).

Hazırlanan her TEP konsantrasyonu için $K_{\text{ekst.}}$ katsayısı hesaplanmıştır (Tablo 8.1). Daha sonra ortalamaları alınmıştır. Bu değer kıyma için, 5,7 ve köfte için 5,61 olarak bulunmuştur.

Tablo 8.1. Farklı TEP konsantrasyonlarında(S) hesaplanan ekstraksiyon katsayısı, K değerleri

Mol(S)	Absorbans(A)	$K_{\text{ext kıyma}}$	$K_{\text{ext köfte}}$
$8 \cdot 10^{-8}$	1,082	6,13	6,04
$7 \cdot 10^{-8}$	0,944	6,15	6,06
$6 \cdot 10^{-8}$	0,797	6,24	6,15
$5 \cdot 10^{-8}$	0,694	5,98	5,89
$4 \cdot 10^{-8}$	0,604	5,49	5,41
$3 \cdot 10^{-8}$	0,466	5,34	5,26
$2 \cdot 10^{-8}$	0,333	4,98	4,91
$1 \cdot 10^{-8}$	0,157	5,28	5,20

Geri kazanım hesaplamasında köfte için 3 kGy, kıyma için 9 kGy dozda ışınlanan örnekler kullanılmış ve bu değer köfte için, %88,18 ve kıyma için %86,87 olarak bulunmuştur. TBARS değerleri ile duyuusal koku değerlendirmeleri arasında yapılan regresyon analizi sonucu R^2 değeri kıyma için %54,5, köfte için %90,1 olarak bulunmuştur.

8.2.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı dozlarda ışınlanan ve $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ’ de depolanan kıyma ve köfte örneklerinin depolamanın 1., 7., ve 14. günlerinde TBA analizleri yapılmış ve sonuçlar, ışınlama dozu ve depolama gününe göre istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

TBARS değerleri üzerine ışınlama dozunun ($p=0,000$), depolama gününün($p=0,000$), kıyma ve köfte arasındaki farklılığın, doz ile gün($p=0,012$), doz ile örneğin kıyma ve köfte oluşu ($p=0,000$), ve gün ile örneğin kıyma ve köfte oluşu ($p=0,000$) arasındaki interaksiyonunun etkisi önemli olmuştur.

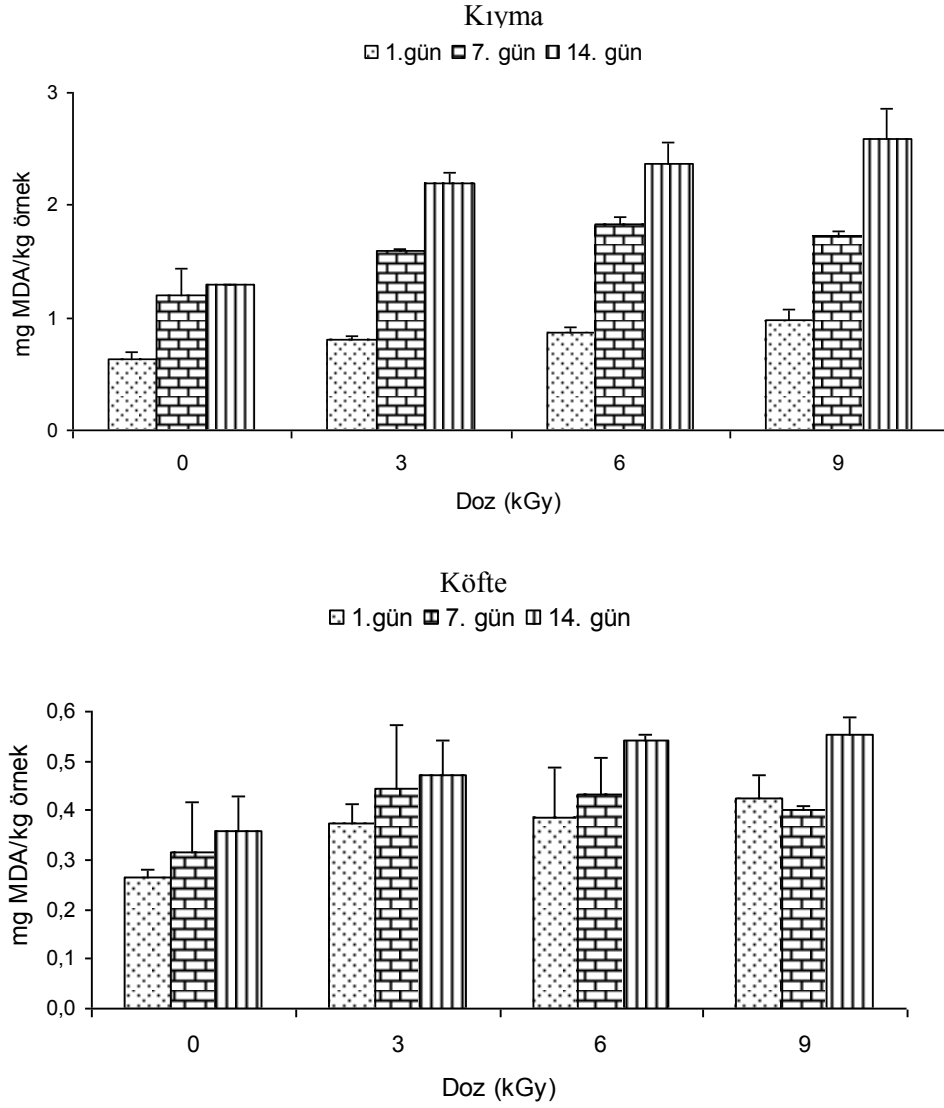
Kontrol örneğinin TBARS değeri 3 ($p=0,0001$), 6 ($p=0,0000$), ve 9 kGy ($p=0,0000$) dozla ışınlanan örneklerden önemli miktarda düşük olmuştur. Işınlanan dozlar arasında ise fark olmamıştır. Depolama günleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında depolamanın 1. gününde örneklerin TBARS değerlerinin, 7. ($p=0,000$), ve 14. ($p=0,000$), gündeki TBARS değerlerinden önemli miktarda düşük oldukları görülmüştür. Benzer şekilde 7. gündeki TBARS değerleri de 14. günden önemli miktarda düşük olmuştur (Şekil 8.2).

Köfte örnekleri tek başına değerlendirildikleri zaman kontrol örneği ile 3 kGy dozla ışınlanan örneklerin TBARS değerleri arasındaki fark önemli olmamıştır. Depolama günleri açısından ise, 1. gündeki TBARS değerleri 7. gündeki değerlerden farklı olmamıştır.

Kıyma örneklerinde depolamanın 7. ve 14. gününde kontrol ile ışınlanan dozların TBA değerleri arasındaki fark 1. güne göre daha belirgindir. Kıyma örneklerine ait veriler tek başına değerlendirildikleri zaman ise 3 kGy dozla ışınlanan örneklerin TBA değerleri sadece 9 kGy ($p=0,0381$) dozla ışınlanan örneklerden önemli miktarda düşük olmuştur. 3 ve 9 kGy dozla ışınlanan örneklerin TBARS değerlerine göre doz arttıkça lipid oksidasyonun arttığı şeklinde bir eğilim görülmektedir (Şekil 8.2).

Köfte örneklerinde depolamanın her üç gününde ışınlanan dozların TBARS değerleri kontrolden daha yüksektir. Depolamanın 1. ve 14. gününde doza bağlı olarak bir artış görülürken 7. gününde ise bu eğilim görülmemiştir (Şekil 8.2).

Işınlama TBARS değerlerinde meydana getirdiği artış doza ve güne bağlı olarak değişmiştir. Depolamanın 14. gününde kontrol kıyma örneğinin TBARS değeri 3kGy dozla ışınlanan örneğin 1. günde sahip olduğu değerden daha düşüktür. 7. günde kontrol ve 3 kGy dozla ışınlanan örneklerde TBARS değeri benzer oranda artış gösterirken 9 kGy de artış daha az olmuştur. 7. günde en fazla artış 6 kGy dozla ışınlanan örnekte olmuştur. 14. günde ise artış her dozda azalmıştır. En fazla artış 9 kGy de daha sonra sırasıyla 6 ve 3 kGy de olmuştur. En az artış ise kontrolde gerçekleşmiştir. 1. güne göre karşılaştırılırsa 14. gün sonunda ışınlanan örneklerde artış her dozda benzer iken kontrol de daha azdır (Şekil 8.2).



Şekil 8.2. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan kıyma ve köfte örneklerinin depolama gününe göre TBARS değerleri

Köfte örneklerinin TBARS değerleri her doz ve depolama gününde kıymadan daha düşüktür. Baharat karışımı hem kontrol hem de ışınlanan örneklerde TBARS değerini %56 oranında azaltmıştır. 7. ve 14. günde ise baharat karışımının etkisi tüm örneklerde yaklaşık %75 oranındadır (Şekil 8.2).

Bu sonuç, yapılan benzer çalışmalarda elde edilen sonuçlarla da uyum göstermektedir. Doğal antioksidanlardan olan quersetin ve kamferolün köfte örneklerine %1,6 oranında eklenen karabiber, %0,35 oranında eklenen kırmızıbiber ve % 0,65 oranında eklenen kimyonda bulunduğu bilinmektedir. Ayrıca karabiberin antioksidatif etkisinin flavonoid kamferol, ramnerin, quersetin ve 5 farklı fenolik amidin glikozitlerinin varlığından kaynaklandığı da bilinmektedir (Aksu ve Hışıl,

2005). Işınlanan köfte örneklerinde TBARS değerlerinin daha düşük olması, kontrol ve 3 kGy dozla ışınlanan örnekler arasındaki farklılığın ve depolamanın ilk 7 günlük sürecinde TBARS değerlerindeki artışın önemli olmaması baharatların antioksidan etkisinin hem ışınlama dozu hem de depolama sürecinde etkili olduğunu göstermektedir.

Chen ve diğ. (1999), fenolik antioksidan olarak sesamol, rutin ve quersetin, ekledikleri domuz etlerini 4,5 kGy dozla ışınladıktan sonra 4°C de 7 gün muhafaza etmişlerdir. Sesamol ve quersetinin antioksidan eklenmeyen kontrol örneklerine göre ışınlamaya ve areobik ortamda depolamaya bağlı TBARS değerlerinde depolamanın 1. gününde %30, 3. gününde ise %60 oranında azalma sağladığını belirtmişlerdir. Rutin sadece depolamanın 3. gününde %30 luk azalma sağlarken, 7. günde antioksidan etkisi gözlenmemiştir. Sesamol ve quersetin de ise 7. günde antioksidan etki azalmış kontrole göre TBARS değerlerinde %40 azalma sağlamışlardır (Chen ve diğ., 1999)

Mahrour ve diğ. (1998), yaptıkları çalışmada tavuk etini kekik ve biberiye ile hazırlanan sosta 24 saat bekletmişler ve 5 kGy dozla ışınlamışlardır. Ön soslama işleminin ışınlamadan en fazla etkilenen fosfolipit olan linoleik (C18:2), linolenik (C18:3) ve arakhadionik (C20:4) asitin korunumu ve lipid oksidasyonu azaltma açısından etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Nam ve Ahn (2003), domuz etinde ışınlama sonucu oluşan lipid oksidasyonu azaltmak için antioksidant kullanılması ile ilgili yaptıkları çalışmada, gallik asit, tokoferol, trolox, sesamol veya carnosin ve kombinasyonlarını son konsantrasyonları 200 µM olacak şekilde domuz etlerine eklemiştir. Tüm örnekler 4,5 kGy dozla ışınlandıktan sonra 4°C de muhafaza edilmişlerdir. Antioksidan eklenen örneklerin TBARS değerleri eklenmeyenlere göre daha düşük olmuştur. Işınlama işlemi aynı zamanda depolama boyunca lipid oksidasyonu da hızlandırmaktadır. Depolama boyunca ışınlanan örneklerin TBARS değerleri her zaman kontrolden daha yüksek olmuştur (Nam ve Ahn, 2003). Işınlanmış etlerin depolanması sırasında oksijen varlığı en kritik faktördür. Nam ve Ahn (2003a), yaptıkları çalışmada 3 kGy dozla ışınladıkları hindi etlerini 10 gün süresince 5°C de farklı koşullarda ambalajladıktan sonra depolamışlardır. 3 gün aerobik ortamda depolanan örnekler, depolamanın son 7 günü vakum paketlerde bekletildiklerinde ışınlamaya bağlı lipid oksidasyonun sorun teşkil etmediği görülmüştür.

8.3. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Duyusal Özelliklerine Etkileri

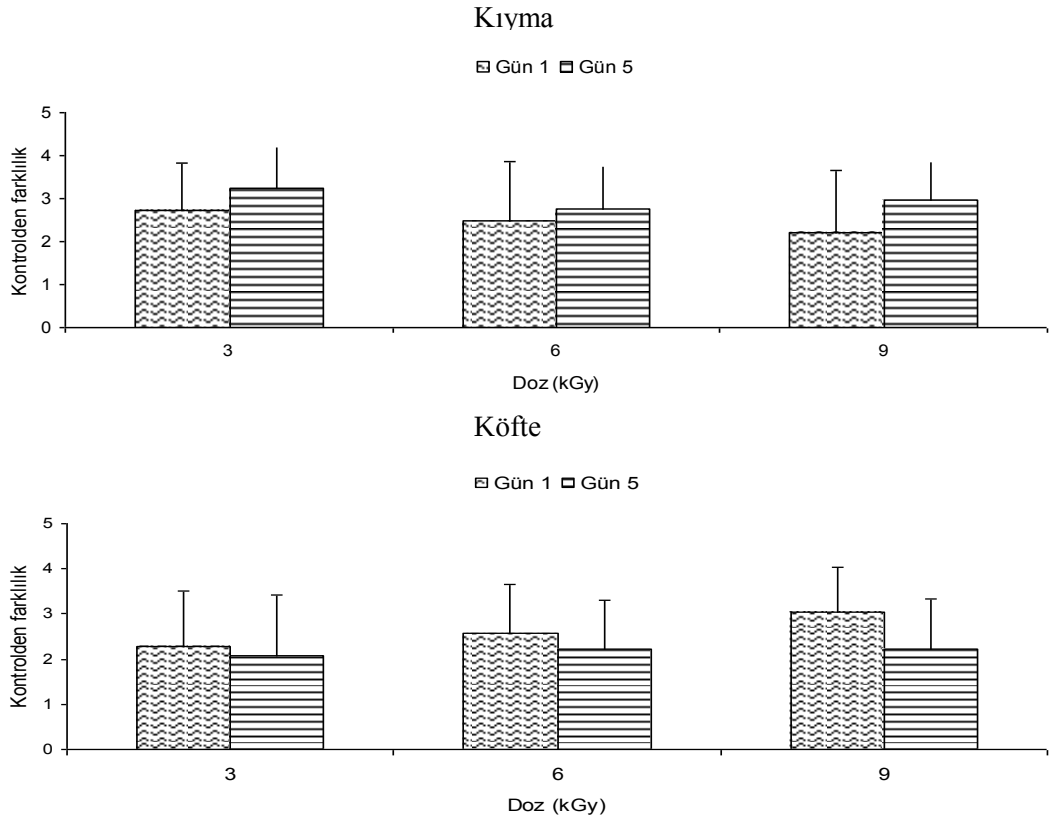
Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerine depolamanın 1. ve 5. günlerinde duyusal değerlendirme olarak kontrolden farklılık testi yapılarak örneklerin renk ve koku açısından kontrolden ne kadar farklı olduğu değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sırasında depolamanın 1. ve 5. gününde aynı kontrol örnekleri kullanılmıştır. Bu test sırasında panelistlerden örnekler arasındaki farklılığı olumlu veya olumsuz şeklinde yorumlamaları istenmiştir.

Duyusal değerlendirmelerin ikincisinde farklı dozlarda ışılandıktan sonra $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde ışınlamanın 3. ve 10. gününde, her dozda ışınlanan örnek kontrol ile ve 3 ile 9 kGy dozda ışınlanan örnekler de kendi aralarında renk ve koku açısından üçgen testi ile karşılaştırılmıştır. Doğru bilen panelistlerin sayısına göre örnekler arasındaki farklılığın önemli olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bu test sırasında her iki duyusal analiz gününde aynı formülasyon ile hazırlanan taze köfte ve kıyma örnekleri kontrol olarak sunulmuştur. Üçgen test sırasında aynı zamanda panelistlerden örnekler arasındaki farklılığı olumlu, olumsuz ve çekimser şeklinde yorumlamaları istenmiştir. Test sırasında farklı örneği doğru bilen panelistlerin yorumları dikkate alınmıştır.

8.3.1. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Kokusuna Etkisi

Koku açısından ışınlanan örneklerin kontrolden ne kadar farklı olduğuna dair yapılan değerlendirmelerde, dozun ($p=0,000$), kıyma ve köfte arasındaki farklılığın ($p=0,008$), depolama günü ile örneğin kıyma ve köfte oluşu arasındaki interaksiyonunun ($p=0,019$), etkisi önemlidir (Şekil 8.3). Işınlanan tüm dozlar kontrolden önemli miktarda yüksektir.

Kıyma örneğinde farklılık depolamanın 1. gününde 5. güne göre daha az hissedilirken, köftede ise depolamanın 1. gününde farklılık daha fazla hissedilmiştir. Kıyma örneğinde dozlar arasında farklılık önemli değil iken köftede ise 9 kGy dozla ışınlanan örneklerde farklılık 3 kGy ($p=0,0313$) 'e göre önemli miktarda yüksektir.



Şekil 8.3. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinin depolamanın 1. ve 5. gününde koku açısından kontrolden farklılık derecesi

Işınlanmış ve ışınlanmamış kıymalar arasında depolamanın 1. gününde koku açısından fark olduğunu düşünen panelistlerin %71'i 3 kGy dozla ışınlanan kıyma örneklerinin kontrolden farkını olumsuz bulurken 6 ve 9 kGy dozla ışınlanmış örneklerde bu oran %57'e gerilemiştir. Köftede ise panelistler her dozda hemen hemen aynı oranda dağılım göstermişlerdir. 3 kGy dozda panelistlerin %71'i, 6 ve 9 kGy de ise %86 sı örnekler ile kontrol arasındaki farklılığın olumsuz olduğunu düşünmüşlerdir. (Tablo 8.2)

Depolamanın 5. gününde kıymada bütün dozlar için panelistlerin yaklaşık %60'ı ışınlanmış örneklerin kontrole göre daha iyi olduğunu savunmuşlardır. Köftede ise 5. günde ise olumsuz bulanların oranı azalmış, sırasıyla 3 kGy dozda panelistlerin %65'i, 6 kGy de %61'i ve 9 kGy dozda %22 si olumsuz bulmuştur. Ancak 5. günde kontrol olan örnekler mikrobiyal olarak bozulmuş durumdadırlar. Bu durum mikrobiyolojik analiz sonuçlarında da görülmektedir (Şekil 8.1.) Panelistler değerlendirmelerini bu kontrole göre yapmışlardır.

Işınlama ile birlikte kıymalarda oluşan kokunun hissedilmesiyle ilgili bulunan sonuçlar literatürde bulunan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Kötü koku değerlendirmesi açısından vakum ambalajlarda paketlenerek 2 kGy gibi düşük dozla ışınlanan sığır eti kıymalarında hem depolamanın ilk günü hem de 6. gününde kötü koku açısından kontrolden önemli derecede yüksek sonuçlar elde edilmiştir (Montgomery ve diğ., 2003). Kim ve diğ.(2002), 3 kGy dozla ışınlanan sığır eti kıymaları koku açısından değerlendirdiklerinde en az beğenilme skoruna sahip olmuştur. Lefebvre ve diğ. (1994), 1, 2,5 ve 5 kGy dozla ışınlanan kıyma örneklerini 4 °C de depolamış ve 10 kişilik eğitimsiz panelist grubu her dozda farklı bir koku hissetmiştir. Wheeler ve diğ. (1999), dondurulmuş sığır eti kıymalarını vakum paketledikten sonra 3 ve 4,5 kGy dozda ışınlanmışlardır. -28 °C’ de 27 gün depolandıktan sonra 7 kişilik eğitimli panelist grubu tarafından değerlendirilmişlerdir. Kötü koku açısından her iki dozda ışınlanan örnekler kontrolden önemli derecede yüksek çıkarken ışınlanan dozlar arasında ise fark olmamıştır.

Tablo 8.2. Panelistlerin farklı dozlarda ışınlanmış kıyma ve köftelerin kokusunun kontrolden farklılıkları ile ilgili değerlendirmeleri

Doz	Farklılığın Değerlendirmesi	Kıyma		Köfte	
		1. Gün	5. Gün	1. Gün	5. Gün
3 kGy	Olumlu %	19	59	5	26
	Olumsuz %	71	36	71	65
	Çekimser %	10	5	24	9
6 kGy	Olumlu %	14	59	0	35
	Olumsuz %	57	36	86	61
	Çekimser %	29	5	14	4
9 kGy	Olumlu %	14	64	0	70
	Olumsuz %	57	32	86	22
	Çekimser %	29	4	14	8

Panelistlerin bir kısmı kıyma örneklerinde 1. günde sabunumsu bir koku hissettiklerini söylemişlerdir. Panelistlerin diğer kısmı ise kokuda kayıp olduğunu ve 5. günde kontrolün çok kötü koktuğunu belirtmişlerdir.

Köfte örneklerinde panelistlerin yaptığı yorumlar arasında 1. günde doz arttıkça kokudaki rahatsız ediciliğin arttığı ve köfte kokusuna benzemeyen ek yoğun bir koku oluştuğu, baharat kokusunun hissedilmediği şeklindedir. Sadece bir panelist ışınlamış örneklerde köfteye has koku olmadığını ancak bu yeni kokunun da rahatsız edici olmadığı şeklinde fikir belirtmiştir. 5. günde ise örneklerin kokusunun kontrole göre daha hafif olduğu ama yine de istenmeyen bir koku oluştuğu ve baharat kokusunun kaybolduğu şeklinde yorumlar yapılmıştır.

Duyusal değerlendirmelerin ikincisi olan üçgen testi sonucunda ise, $p < 0,05$ önem düzeyinde depolamanın 3. ve 10. gününde kıyma örneklerinde koku açısından kontrol ile ışınlamanın her dozu arasındaki fark önemli olmuştur. 3 ve 9 kGy dozla ışınlanan örnekler arasındaki fark da önemli olmuştur. Köfte örneklerinde ise depolamanın 3. gününde kontrol ile 3 kGy dozla ışınlanan örnekler arasındaki fark önemli olmamış 10. günde ise önemli olmuştur. Diğer dozlar ile kontrol arasındaki fark ile 3 ve 9 kGy dozla ışınlanan örnekler arasındaki fark ise her iki depolama gününde önemli olmuştur.

Koku açısından depolamanın 3. gününde her dozda ışınlanan kıyma örneklerinin kontrolden farkını olumsuz bulan panelistlerin oranı yaklaşık %40 olup 10. günde bu oran 3 ve 6 kGy dozla ışınlanan örnekler için %50 ye, 9 kGy de ise %60'a yükselmiştir. 9 kGy dozda ışınlanan örneğin 3 kGy dozla ışınlanan örnekten farkını olumsuz bulanların oranı ise %43 ten %67'ye yükselmiştir (Tablo 8.3).

Panelistlerin %31'i 3 kGy dozla ışınlanan köfte örneklerini 3. ve 10. günde koku açısından kontrole göre olumsuz bulmuşlardır. 6 kGy dozla ışınlanan köftelerin kontrolden farkını 3. ve 10. günde koku açısından olumlu, olumsuz ve çekimser bulanların oranı benzerdir. Panelistlerin yaklaşık %50 si depolamanın her iki gününde de farkı olumsuz bulmuşlardır. 9 kGy de ise koku açısından olumsuz bulanların oranı 3. günde %47 iken 10. günde %63 olmuştur.

3. günde 9 kGy dozda ışınlanan örneğin kokusunun 3 kGy dozla ışınlanandan farkını panelistlerin %53'ü olumsuz bulurken 10. günde bu oran %25 e azalmıştır. Panelistlerin yaptıkları yorumlar arasında hem kıymada hem de köftede ışınlanan örneklerde farklı bir kokunun oluştuğu ve köftede baharat kokusunun azaldığı şeklindedir.

Tablo 8.3. Panelistlerin farklı dozlarda ışınlanmış kıyma ve köftelerin kokusunda üçgen test ile belirledikleri farklılıkların değerlendirmesi

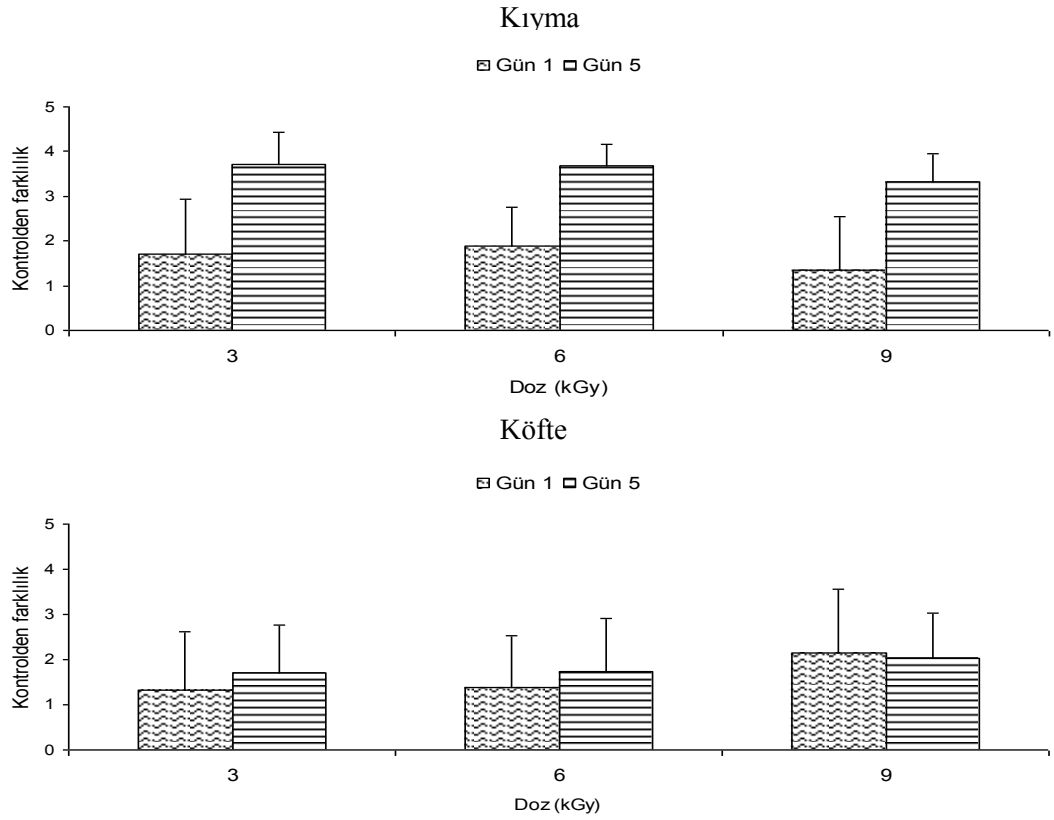
Karşılaştırılan dozlar	Farklılığın Değerlendirilmesi	Kıyma		Köfte	
		3. Gün	10. Gün	3. Gün	10. Gün
0-3 kGy	Olumlu %	19	23	8	34
	Olumsuz %	44	50	31	31
	Çekimser %	37	27	62	34
0-6 kGy	Olumlu %	12	18	10	30
	Olumsuz %	38	50	52	40
	Çekimser %	50	32	38	30
0-9 kGy	Olumlu %	35	15	16	15
	Olumsuz %	47	59	47	63
	Çekimser %	18	26	37	22
3-9kGy	Olumlu %	21	11	0	31
	Olumsuz %	43	67	53	25
	Çekimser %	36	22	47	44

8.3.2. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Rengine Etkisi

Renk açısından ışınlanan örneklerin kontrolden ne kadar farklı olduğuna dair yapılan değerlendirmelerde, dozun ($p=0,000$), depolama gününün ($p=0,000$), kıyma ve köfte arasındaki farklılığın ($p=0,000$), depolama günü ile ışınlama dozu arasındaki interaksiyonunun ($p=0,000$), etkisi önemlidir (Şekil 8.4).

Işınlamanın tüm dozları kontrolden benzer miktarda farklılık göstermişlerdir. Kıymada 1. günde tüm dozların renk açısından kontrolden farkı benzer miktarda iken, köftede ise 1. günde 9 kGy dozla ışınlanan örneğin kontrolden farkı 3($p=0,0169$) ve 6 kGy ($p=0,0274$) dozla ışınlanan örneklerle göre önemli miktarda yüksektir. 3 ve 6 kGy dozla ışınlanan köfteler arasındaki fark ise önemli olmamıştır.

Kıymada 5.günde farklılık her dozda artarken, köftede 9 kGy de farklılık değişmemiş 3 ve 6 kGy de artış kıymaya göre oldukça az olmuştur. Köfte örneklerinde farklılık depolamanın 1. gününde 9 kGy hariç olmak üzere tüm dozlarda ve depolama gününde kıymadan daha azdır.



Şekil 8.4. : Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyırma ve köfte örneklerinin depolamanın 1. ve 5. gününde renk açısından kontrolden farklılık derecesi

İşinlanmış ve işinlanmamış kıymalar arasında depolamanın 1. gününde renk açısından fark olduğunu düşünen panelistler bu farkı her dozda ortalama %40 oranında olumsuz bulmuşlardır. 5. günde ise panelistler gözlemledikleri bu farkı 3 kGy de %95, 6 ve 9 kGy de %100 oranında olumsuz olarak değerlendirmişlerdir (Tablo 8.4).

Köftede ise depolamanın 1. gününde renk açısından fark olduğunu düşünen panelistler her dozda %57 oranında bu farkı olumsuz olarak değerlendirmişlerdir. 5. günde ise olumsuz düşününenlerin oranı 3 kGy de %43'e, 6 kGy de %48'e 9 kGy de ise %52 ye gerilemiştir (Tablo 8.4).

Panelistlerin genelde yaptıkları yorumlar renkte kırmızılığın azalıp kahverengileşme olduğu şeklindedir. İşinlanan örneklerin dış kısmı koyu renkte iken iç kısımları hala pembe rengi korumaktaydı. Kontrol örnek renk açısından bakıldığında 5. günde ilk günkü kırmızı rengine sahipti.

Tablo 8.4. Panelistlerin farklı dozlarda ışınlanmış kıyma ve köftelerin renginin kontrolden farklılıkları ile ilgili değerlendirmeleri

Doz	Farklılığın Değerlendirilmesi	Kıyma		Köfte	
		1. Gün	5. Gün	1. Gün	5. Gün
3 kGy	Olumlu %	24	5	5	22
	Olumsuz %	38	95	57	43
	Çekimser %	38	0	38	35
6 kGy	Olumlu %	29	0	5	13
	Olumsuz %	48	100	57	48
	Çekimser %	23	0	38	39
9 kGy	Olumlu %	10	0	5	26
	Olumsuz %	38	100	57	52
	Çekimser %	52	0	38	22

Duyusal değerlendirmelerin ikincisi olan üçgen testi sonucunda ise, $p < 0,05$ önem düzeyinde depolamanın 3. ve 10. gününde kıyma ve köfte örneklerinde renk açısından kontrol ile ışınlamanın her dozu arasındaki fark önemli olmuştur. 3 ve 9 kGy dozla ışınlanan kıymalar arasındaki fark 3. ve 10. günde önemli iken köfte örneklerinde sadece 3. günde önemli olmuştur.

İşinlamanın tüm dozları renk açısından kontrol açısından farklılık göstermişlerdir. Nam ve Ahn (2004), 2,5 kGy dozda ışınlamanın sığır eti kıymalarında kırmızılık a^* değerini 5 birim düşürdüğünü belirtmiştir. 4°C de oksijen geçiren ambalajlarda depolanan kontrol örneğinde depolamanın 7. gününde a^* değeri 2 birim azalırken, ışınlanan örneklerde ise 4 birim azalmıştır. Montgomery ve diğ. (2003), 2 kGy dozla ışınlanan sığır eti kıymalarının a^* değerlerini azalttığını ve panelistlerin ışınlanan örneklerin renginin daha koyu olarak değerlendirdiğini belirtmişlerdir.

Renk açısından depolamanın 3. gününde panelistler en düşük %24 oranla 6 kGy dozla ışınlanan kıyma örneklerinin kontrolden farkını olumsuz bulmuşlardır. Bu oran en yüksek %53 ile 9 kGy dozla ışınlanan örneklere ait olmuştur. 10. günde ise her dozda olumsuz bulanların oranı artmış ve yaklaşık %80 olmuştur. 9 kGy dozla ışınlanan örneklerin 3 kGy dozla ışınlananlardan farkını 3. günde olumsuz bulanların oranı %35 iken bu oran 5.günde %15'e gerilemiştir (Tablo 8.5).

3 kGy dozla ışınlanan köfte örneklerini 3. günde panelistlerin sadece %25'i olumsuz bulurken bu oran 10. günde %52'ye ulaşmıştır. 6 ve 9 kGy dozla ışınlanan köftelerin kontrolden farkını panelistlerin yaklaşık %50 si depolamanın her iki gününde de olumsuz bulmuşlardır.

9 kGy dozla ışınlanan köftelerin 3 kGy dozla ışınlananlardan farkını, 3. günde olumsuz bulanların sayısı %50 iken 10. günde bu oran %18'e kadar azalmıştır. Panelistlerin en fazla yaptıkları yorum renkte koyulaşma olduğu şeklindedir. Ancak bazı panelistler köftede koyu rengin köftelerin pişirilerek tüketileceği için olumsuz bir özellik olarak değerlendirilmemesi gerektiğini belirtmişlerdir (Tablo 8.5)

Tablo 8.5. Panelistlerin farklı dozlarda ışınlanmış kıyma ve köftelerin renginde üçgen test ile belirledikleri farklılıkların değerlendirmesi

Karşılaştırılan dozlar	Farklılığın Değerlendirilmesi	Kıyma		Köfte	
		3. Gün	10. Gün	3. Gün	10. Gün
0-3 kGy	Olumlu %	19	14	6	26
	Olumsuz %	44	79	25	52
	Çekimser %	37	7	69	23
0-6 kGy	Olumlu %	18	13	11	30
	Olumsuz %	24	84	53	50
	Çekimser %	58	3	37	20
0-9 kGy	Olumlu %	29	10	0	24
	Olumsuz %	53	72	52	45
	Çekimser %	18	18	48	31
3-9kGy	Olumlu %	12	15	6	27
	Olumsuz %	35	15	50	18
	Çekimser %	53	70	44	55

8.4. Işınlamanın Kıyma ve Köftelerin Uçucu Bileşikleri Üzerine Etkileri

Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ ' de depolanan kıyma ve köfte örneklerinin depolamanın 1., 7., ve 14. günlerinde GC-headspace analizleri yapılmış ve 3,6., 8., 12,3. ve 14,5. dakikada gelen ortak piklerin alanları ışınlama dozu, depolama günü ve örneğin çeşidine yani kıyma veya köfte oluşuna göre istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Literatürde ışınlamadan kaynaklanan uçucu maddelerin belirlenmesi ile ilgili olarak kullanılan yöntem sadece Gaz kromatografisi ile birlikte purge-trap sisteminin de kullanılması şeklindedir. Uçucu maddeler Helyum gazı ile tutulduktan sonra Tenax kolonda yakalanmış ve GC ye enjekte edilmiştir. Lipid oksidasyona sebebiyet veren uçucu maddelerin örnekten ekstraksiyonu ve daha sonra distilasyonu şeklinde uygulanan yöntemin de en büyük dezavantajı düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin kaybolması şeklindedir. İlgilenilen ışınlamaya bağlı uçucu maddeler de düşük molekül ağırlıklı olduklarından, Gaz kromatografisi ile birlikte statik tepe boşluğu analizi birlikte gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Kullanılan kolonun düşük karbonlu bileşiklerde verdiği piklerin yayvan olması (Şekil B1 ve B2) dolayısıyla ardarda gerçekleştirilen iki enjeksiyonda dahi aynı sırayla gelen pikler, birbirine yakın olmuşlar ancak tamamiyle aynı dakikada gelmemişlerdir. Bu sebeplerde dolayı pikler geliş sürelerine göre değerlendirilmiştir.

Literatürde ışınlanan etlerde olduğu belirtilen bazı uçucu maddelerin gelme süreleri belirlenmiştir (Tablo 8.6).

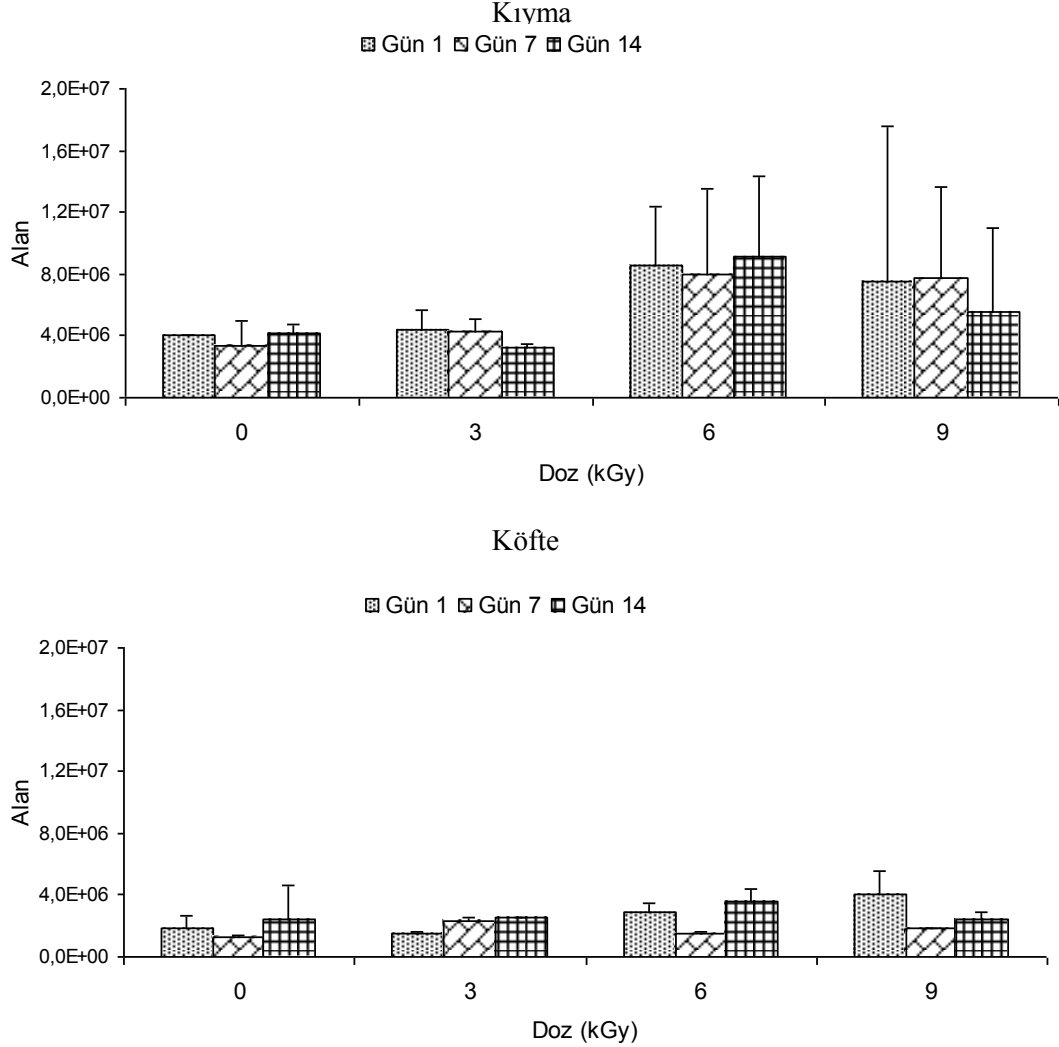
Tablo 8.6. Bazı standart uçucu maddelerin gaz kromatografisinde dedektöre geliş süreleri

Uçucu madde	Geliş süresi (dakika)
Pentan	3,54
Hegzan	3,72
Heptan	4,06
Dimetilsülfid	4,23
Hepten	4,4
Oktan	5,05
Benzen	7,89
Toluen	12,43
Dimetildisülfid	14,00
Hekzanal	14,61

8.4.1. Kıyma ve Köftelerde Ortak Gelen Piklerin Değerlendirilmesi

Kıyma ve köftede 3,6. dakikada gelen pike ait veriler önem düzeyinde değerlendirildiği zaman pik alanı üzerinde dozun ($p=0,003$) ve köfte ve kıyma arasındaki farkın ($p=0,000$) etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Günün etkisi ($p=0,053$) ise önemli olmamıştır. Dozlar kendi aralarında değerlendirildikleri zaman kontrolde pik alanı 6 ($p=0,0409$) ve 9 kGy ($p=0,0131$) dozla ışınlanan örneklerden önemli derecede düşük olmuştur (Şekil 8.5). 3 kGy dozla ışınlanan örneklerde pik alanı 9 kGy ($p=0,0222$) dozla ışınlanan örneklerden önemli derecede düşük iken

kontrolün pik alanının 3 kGy dozla ışınlanan örneklerden farkı ve 6 ve 9 kGy dozla ışınlanan örneklerin pik alanlarının birbirinden farkı önemli olmamıştır. Depolamanın her gününde tüm dozlarda köfte örneklerindeki 3,6. dakikadaki pikin alanı kıymadan daha az olmuştur (Şekil 8.5).



Şekil 8.5. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde 3,6. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı

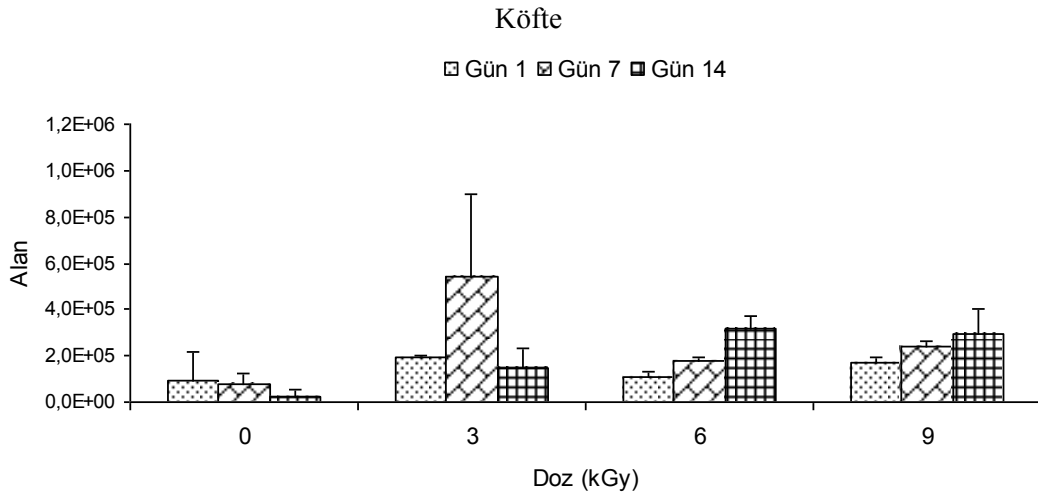
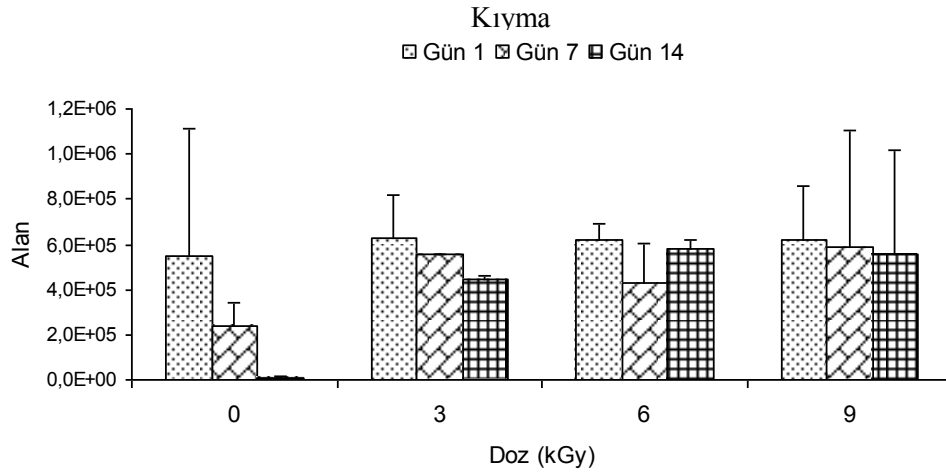
Kıymada ve köftede 3,6. dakikada gelen pikin alanı diğer ortak olan piklere göre daha fazla olduğundan dolayı bu pikin örneklerdeki koku değerleri üzerine etkisinin daha önemli olduğu düşünülebilir. Bu pike ait GC analizleri sonucunda kontrol ve 3 kGy dozla ışınlanan örnekler arasında pik alanı açısından fark olmadığı, kontrolün 6 ve 9 kGy den önemli miktarda farklı iken ışınlama dozları arasında ise sadece 3 ve 9 kGy dozla ışınlanan örneklerin birbirlerinden önemli derecede farklı olduğu açığa çıkmıştır.

Bu sonuç, duyuşal değerlendirmelerden üçgen testin sonucuna sadece köfte örneği ile uyum göstermektedir. Köfte örneğinde koku açısından kontrol ve 3 kGy dozla ışınlanan örnekler arasındaki fark önemli olmamıştır. Kontrolde farklılık testine göre ise, koku açısından depolamanın 1. gününde ışınlama dozları arasında sadece 3 ve 9 kGy dozla ışınlanan örnekler arasındaki fark önemli olmuştur. Köftede kontrol ve 3 kGy dozla ışınlanan örneklerin TBA değerleri birbirinden farklı çıkmamıştır. Kıymada ise 3 kGy dozla ışınlanan örneklerin TBA değerleri 9 kGy den önemli derecede düşük olmuştur.

GC analizleri sonucunda ışınlama ile 3,6. dakikada gelen pikin alanında hem kıyma hem de köfte örneklerinde artış olmuş ancak artış kıymada daha belirgin şekilde gözükmeğtedir. Bu sonuçta ışınlanan kıyma örneklerinde duyuşal analizler sonucu her dozun kontrolden önemli derecede farklı olması ile uyum içinde görülebilir.

3,6. dakikada gelen pikin tanımlanması için elde bulunan standartların geliş süreleri ile karşılaştırılmıştır. Pentanın geliş süresi 3,54. dakika, hegzaninki ise 3,72. dakikadır. Kolonda düşük moleköl ağırlıklı piklerin daha yayvan şekilde gelmesinden ve geliş süresinin yakınlığından dolayı ilgili bu pikin pentan veya hegzan olabileceği düşünülebilir. Literatürdeki verilere göre bu iki bileşikte sadece ışınlamaya özgü bileşikler olmayıp ışınlanmayan örneklerde de bu bileşikler tespit edilmiştir. Lipid oksidasyon sonucu oluşabilen bu bileşiklerin ışınlanan örneklerde pik alanlarının artmasının sebebi ışınlamanın lipid oksidasyonu hızlandırması ile ilgili olabilir.

Kıyma ve köftede 14,5. dakikada gelen pike ait veriler değerlendirildiği zaman pik alanı üzerinde dozun ($p=0,000$), depolama gününün ($p=0,014$), kıyma ve köfte arasındaki farkın ($p=0,000$) ve doz ile gün ($p=0,001$) arasındaki interaksyonun etkisinin önemli olduğu görölmüştür. Dozlar kendi aralarında karşılaştırıldıkları zaman kontrol örneğinin pik alanı tüm dozlarda ışınlanan örneklerden önemli miktarda düşük olmuştur (Şekil 8.6). Işınlanan örneklerin pik alanlarının kendi aralarında gösterdiği farklılık ise önemli olmamıştır. 14. günde örneklerin pik alanları, 1. ($p=0,0279$) ve 7. ($p=0,0229$) depolama günlerinden önemli miktarda yüksek çıkmıştır, Köfte örneklerinde pik alanı depolamanın tüm günlerinde ve tüm ışınlama dozlarında kıymadan daha düşüktür (Şekil 8.6).



Şekil 8.6. . Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde 14,5. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı

Pikin alanı ışınlama ile arttığı için depolamanın 1. gününde ışınlamanın etkisinden söz etmek mümkün. Depolama ile kıymada hem kontrolde hem de ışınlanan örneklerde pik alanı azalmıştır, köfte örneklerinde ise depolamanın 7. gününde 3 kGy de pik alanında artış görülse de 14. günde alan 1. güne göre azalmıştır. Diğer ışınlama dozlarında ise depolamanın 7. gününde artan pik alanı 14. günde fazla değişmemiştir. Kontrolde ise pik alanı köftele benzer yaklaşım göstermiş ve depolama boyunca azalmıştır.

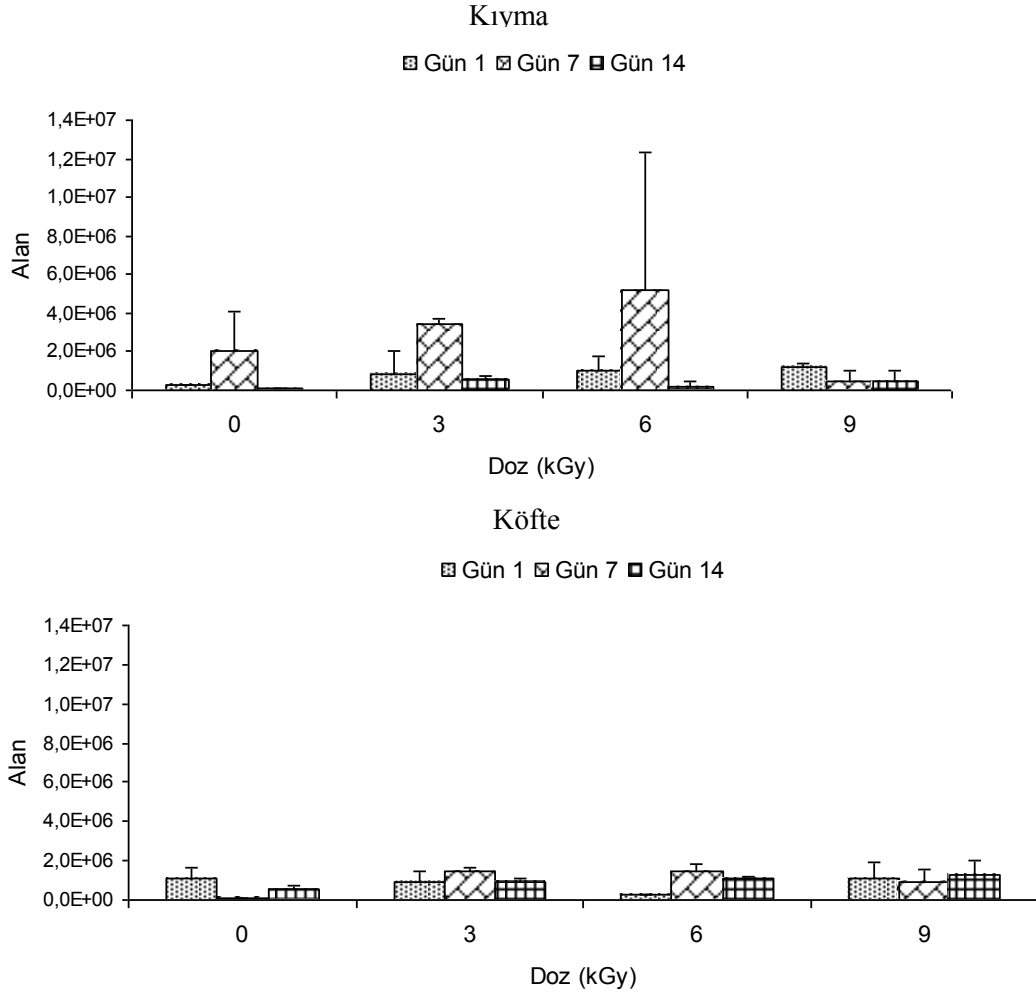
Belirlenen piklerden 14,5. dakikada gelen pikin tanımlanması için elde bulunan standartların geliş süreleri ile karşılaştırılmıştır. Dimetil disülfid'in geliş zamanı 14. dakika, hekzanalinki ise 14,6. dakikadır. Geliş süresinin yakınlığından dolayı ilgili bu pikin dimetil disülfid ya da hekzanal olabileceği ya da piklerin yeterince ayrılmadığı düşünülebilir.

Kim, ve diğ. (2002), dimetil disülfidin ışınlanmayan sığır eti kıyması örneklerinde bulunmadığını, ışınlama ile oluşunca da aerobik ortamda paketlenen ve ışınlanan örneklerde depolama ile birlikte miktarının azaldığını belirtmektedirler. Ancak Kim ve diğ. (2005) tarafından yapılan bir başka çalışmada toz halindeki kıyma ekstraktı 1, 3, 5 ve 10 kGy dozlarla ışılandıktan sonra uçucu maddelerini analizlediklerinde dimetildisülfidin ışınlanmayan örneklerde de tespit edildiği görülmüştür. Her ne kadar iki ürün tamamıyla aynı olmasa da bu durumda dimetildisülfidin et ürünlerinde sadece ışınlamaya özgü bir bileşik olduğunu söylemek de güçleşmektedir.

Hekzanal aynı zamanda lipid oksidasyonu ölçmek için de belirlenmektedir. Bu durumda depoalama boyunca kontrol örneğinde ve ışınlanan örneklerde pik alanında artış beklenilmeliydi. Ancak hekzanalin depoalama boyunca azaldığına uzun zincirli aldehit ve ketonların daha kısa zincirli maddeler dönüşebileceği ile ilgili yorumlarda bulunmaktadır. Brewer ve ark.(1992), yaptıkları çalışmada domuz etlerinin dondurularak muhafazası sırasında hekzanalin ilk 13 hafta içerisinde arttığını 26. ve 39. haftada ise azaldığını belirtmişlerdir. Ajuyah ve ark.(1993), yürüttüğü benzer bir başka çalışmada tavuk etlerinin 4-6 °C de depolanması süresince 10. ve 15. günlerde TBA değerleri ile birlikte hekzanal içerikleri de ölçülmüştür. TBA değerlerinde depoalama ile birlikte artış olmasına rağmen depoalama boyunca hekzanal değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

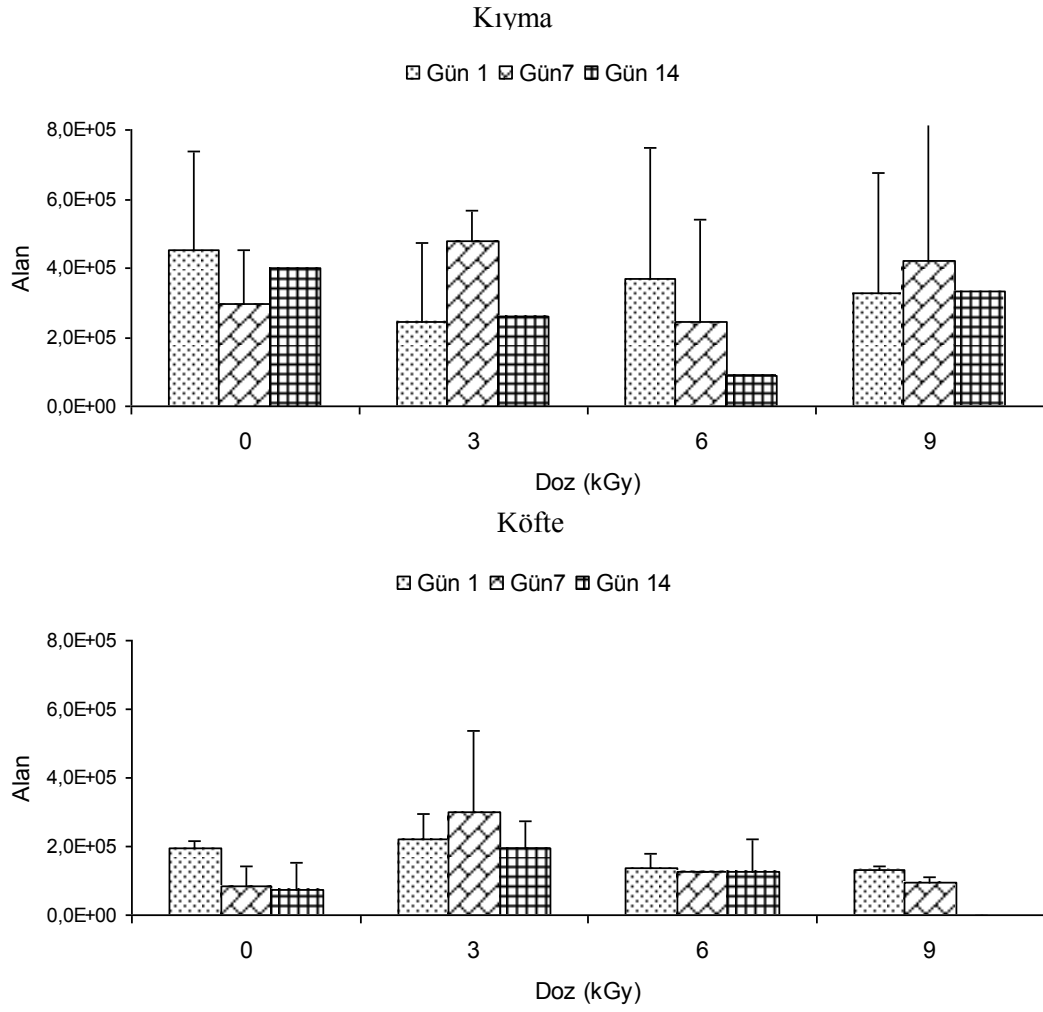
Kıyma ve köftede 8. dakikada gelen pike ait veriler değerlendirildiği zaman pik alanı üzerinde dozun ($p=0,000$), depoalama gününün ($p=0,000$), kıyma ve köfte arasındaki farkın ($p=0,027$) ve bu farkın depoalama gününe göre interaksyonunun ($p=0,004$) etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Dozlar kendi aralarında değerlendirildikleri zaman kontrol örneğinin pik alanı, 3 ($p=0,0167$), ve 9 kGy ($p=0,001$) dozla ışınlanan örneklerin pik alanlarından önemli miktarda yüksek çıkmıştır (Şekil 8.7). 3 ve 9 kGy dozla ışınlanan örneklerin pik alanları arasındaki fark ise önemli olmamıştır.

Günler kendi aralarında karşılaştırıldıklarında depolamanın 14. gününde pik alanı 1. ($p=0,000$) ve 7. ($p=0,0011$) günlerden önemli derecede yüksek çıkmıştır. 14. günde kontrol köfte ve kıyma örneklerinde pik alanı aynı düzeydedir. Köftede pik alanı 7. ve 14. günde 3 ve 6 kGy de fazla değişmemiştir. Kıymada ise önemli miktarda artış görülmektedir. (Şekil 8.7).



Şekil 8.7. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde 8. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı

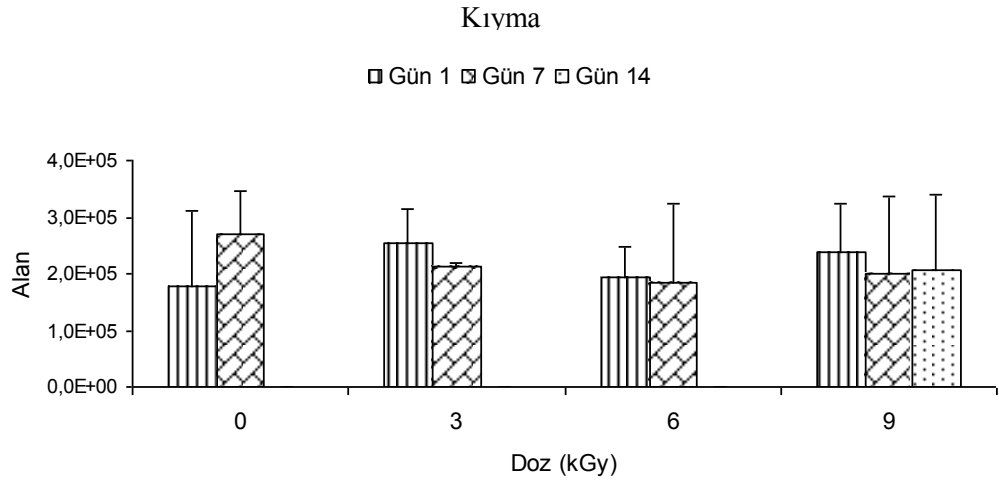
Kıyma ve köftede 12,3. dakikada gelen pike ait veriler değerlendirildiği zaman pik alanı üzerinde köfte ve kıyma arasındaki farkın ($p=0,001$) etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Depolamanın her gününde tüm dozlarda pikin alanı köfte örneklerinde kıymadan daha düşüktür. Depolamanın 1. gününde ışınlama ile beraber kıyma örneklerinde doza bağlı olmaksızın alan azalırken köfte örneklerinde kontrol ve 3 kGy de alan benzer seviyede kalırken 6 ve 9 kGy dozla ışınlanan örneklerde daha düşüktür (Şekil 8.8).



Şekil 8.8. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm1^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan kıyma ve köfte örneklerinde 12,3. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı

8.4.2. Kıymaya Ait Piklerin Değerlendirilmesi

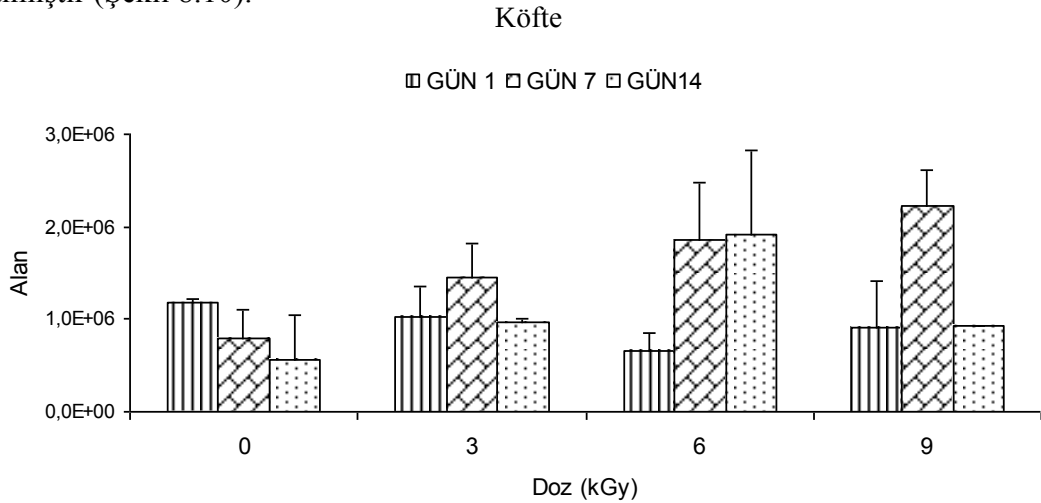
Kıymada 9,5. dakikada gelen pike ait verilerin değerlendirilmesi sonucunda pik alanı üzerinde sadece depolama gününün ($p=0,002$) etkisinin önemli olduğu görülmüştür. Günler kendi aralarında karşılaştırıldıklarında depolamanın 14. gününde örneklerin pik alanlarının 1. ($p=0,0071$) ve 7. ($p=0,0037$) depolama günlerinden önemli derecede düşüktür (Şekil 8.9). 9 kGy dozla ışınlanan örnek haricinde diğer dozlarda ışınlanan örneklerde ve kontrolde 14. günde pik alanı görülmemiştir. 9,5. dakikada kıymada gelen pikin alanı ışınlama işlemi ile doza bağılı olmaksızın artmıştır (Şekil 8.9).



Şekil 8.9 . Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan kıyma örneklerinde 9,5. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı

8.4.3. Köfteye Ait Piklerin Değerlendirilmesi

Köftede 6,5. dakikada gelen pike ait verilerin değerlendirilmesi sonucunda pik alanı üzerinde sadece depolama gününün etkisinin ($p=0,027$) önemli olduğu görülmüştür. 7. günde pik alanı 1.günden önemli ($p=0,0274$) miktarda farklıdır. Diğer depolama günleri ise kendi aralarında farklı değildir. 7. günde pik alanı kontrol örneğinde azalırken ışınlanan örneklerde ise artmıştır. 14. günde ise kontrolde alan azalmaya devam ederken 3 ve 9 kGy de alan 1.güne benzer hal alırken 6 kGy de 7. günle aynı kalmıştır (Şekil 8.10).



Şekil 8.10. Farklı dozlarda ışınlanan ve $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de depolanan köfte örneklerinde 6,5. dakikada gelen pikin depolama günlerindeki alanı

9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında kıyma ve köfteler, 0-9 kGy aralığındaki çeşitli dozlarda gama ışınlarına maruz bırakılmışlardır. Duyusal analizler, lipid oksidasyon ölçme analizleri, toplam bakteri analizleri ve GC-headspace analizleri paralel şekilde gerçekleştirilerek hem kıyma hem de köfte kalitenin doza ve depolamaya bağlı değişimi incelenmiştir. Aynı zamanda kıyma ve köfte formülasyonundaki fark olan baharat karışımının sonuçlara etkisi değerlendirilmiştir. Bulgular çalışmada uygulanan minimum doz olan 3 kGy de ve üzerindeki dozlarda tespit edilebilir koku ve renk değişimlerinin olduğu, toplam bakteri sayısının ise artan dozla azaldığını göstermiştir.

Kalite açısından soğutulmuş etlerin ışınlanabileceği maksimum doz standartlarda 4,5 kGy olarak belirtilmiştir. Bu çalışma neticesinde herhangi bir ilave işlem yapılmaksızın ışınlanan kıymaların kontrolden farklılığının 3 kGy ve daha yüksek dozlarda anlaşıldığı ancak ışınlamanın ilk gününde farkın koku (%60) ve renk (%50) açısından kabul edilebilir olduğu görülmüştür.

Köfte formülasyonunda kullanılan baharat karışımı ise hem lipid oksidasyon hem de koku açısından örneklerin ancak 3kGy doza kadar kontrolden farklılık göstermesine engel olabilmektedir. Yine köfte fark, 6 ve 9 kGy de hem koku(%50) hem de renk(%50) açısından kabul edilebilir durumdadır.

İşinlanan et ürünlerindeki kalite değişimleri radyasyon dozu, doz hızı, sıcaklık, ışınlama esnasında ürünün bulunduğu atmosferin gaz kompozisyonu, ışınlama sonrası depolama koşulları, ışınlamadan önceki etin durumu gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Hissedilen bu kalite değişimini minimuma indirebilmek amacıyla et ürünleri mikrobiyel olarak güvenliğinin sağlandığı minimum dozda ışınlanmalı ve modifiye atmosfer koşullarında muhafaza edilerek, ışınlama ve depolama birlikte düşünülmelidir.

KAYNAKLAR

- Ahn, D.U., Olson, D.G., Jo, C., Chen, X., Wu, C. and Lee, J.,** 1998. Effect of muscle type, packaging and irradiation on lipid oxidation, volatile production and color in raw pork patties, *Meat Science*, **49**(1), 27-39.
- Ahn, D.U., Jo, C., Du, M., Olson, D.G., and Nam, K.C.,** 2000. Quality characteristics of pork patties irradiated and stored in different packaging and storage conditions, *Meat Science*, **56**(2), 203-209.
- Ahn, D.U., Jo, C., Du, M., Olson, D.G., and Nam, K.C.,** 2000 a. Analysis of volatile components and the sensory characteristics of irradiated raw pork, *Meat Science*, **54**, 209-215.
- Ahn, D.U., and Nam, K.C.,** 2004. Effects of ascorbic acid and antioxidants on color, lipid oxidation and volatiles of irradiated ground beef,. *Radiation Physics and Chemistry*, **71**, 149-154.
- Ajuyah, A.O., Fenton, T.W., Hardin, R.T. and Sim, J.S.,** 1993. Measuring lipid oxidation volatiles in meats, *Journal of Food Science*, **58** (2), 270-273.
- Alkan, H.,** 2005. Kişisel görüşme.
- Anonim,** 2002. Gıda ışınlama yönetmeliği, Resmi Gazete. Tarih: 15.10.2002, sayı:24907
- Anonim,** 2003. <http://www.gammapak.com/hakkimizda.html>
- Brewer, M.S., Ikins, W.G. and Harbers, C.A.Z.,** 1992. TBARS values, sensory characteristics and volatiles in ground pork during long-term frozen storage: Effects of Packaging, *Journal of Food Science*, **57**(3), 558-563.
- Brewer, M.S.,** 2004. Irradiation effects on meat color-a review, *Meat Science*, **68**, 1-17.
- Buzby, J.C. and Roberts, T.,** 1997. Economic costs and trade impacts of microbial foodborne illness., *World Helath Statististical Quarterly*, **50**, 57-66.

- Buzby, J.C., Roberts, J.A., Roberts, T. and Upton, P.A.,** 2000. Foodborne Escherchia O157:H7 Disease costs in the United States and Scotland, www.Isthm.ac.uk/hsru/coeid/ecolijfpj01.pdf
- Cassens, R.G.,** 1994. Meat Preservation. Preventing losses and assuring safety, Food & Nutrition Press, Inc. Connecticut, USA.
- Chen, X., Jo, C., Lee, J.L. and Ahn, D.U.,** 1999. Lipid oxidation, volatiles, and color changes of irradiated pork patties as affected by antioxidants, *Journal of Food Science*, **65**(4), 612-616.
- Crutchfield, S., Buzby, J., Frenzen, P., Allshouse, J. and Roberts, D.,** 2000. The Economics of Food Safety and International Trade in Food Products, www.oregonstate.edu/dept/IIFET/2000/papers/crutchfield1.pdf
- Fernandez, J., Alvarez, J. A., and Lopez, J.A.,** 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat, *Food Chemistry*, **59**(3), 345-353.
- Frenzen, D.P., Majchrowicz, A., Buzby, J.C. and Imhoff, B.,** 2000. Consumer Acceptance of Irradiated Meat and Poultry Products. *Agriculture Information Bulletin No.757/August*.
- Giroux, M., and Lacroix, M.,** 1998. Nutritional adequacy of irradiated meat- a review. *Food Research International*. **31**, 257-264.
- Gezgin, Z., ve Güneş, G.,** 2003. Gıdaların gama ışınları ile muhafazası, *Gıda, Aralık*, 82-87
- Güneş, G. ve Tekin, M.D.,** 2005. Consumer awareness and acceptance of irradiated foods: Results of survey conducted on Turkish consumers. *LWT*, (in Press).
- Gomes, H.A., Silva, E.N., Nascimento, M.R.L. and Fukuma, H.T.,** 2003. Evaluation of the 2-thiobarbituric acid method for the measurement of lipid oxidation in mechanically deboned gamma irradiated chicken meat. *Food Chemistry*, **80**, 433-437.
- Grohs, B.M., Kunz, B.,** 2000. Use of spice mixtures for the stabilisation of fresh portioned pork. *Food Control*, **11**, 433-436.
- Hoyland, D.V. and Taylor, A.J.,** 1991. A review of the methodology of the 2-Thiobarbituric acid test, *Food Chemistry*, **40**, 271-291.

- Javanmard, M., Rokni, N., Bokaie, S. ve Shahhosseini, G.,** 2005. Effects of gamma irradiation and frozen storage on microbial, chemical and sensory quality of chicken meat in Iran, *Food Control*, (in Press).
- Jo, C., and Ahn, D.U.,** 1999. Fat reduces volatiles production in oil emulsion system analyzed by purge-and-trap dynamic headspace gas chromatography, *Journal of Food Science*, **64**, 641-643.
- Jo, C., and Ahn, D.U.,** 2000. Production of volatile compounds from irradiated oil emulsions containing amino acids or proteins, *Journal of Food Science*, **64**(1), 16-19.
- Kaeri,** 2002. International assement on wholesomeness of irradiated foods. [www.Kaeri, re.kr/food/english/frame/new-body/body_3/1_4/intro3.htm](http://www.Kaeri.re.kr/food/english/frame/new-body/body_3/1_4/intro3.htm)
- Kanner, J.,** 1994. Oxidative process in meat and meat products: Quality Implications, *Meat Science*, **36**, 169-189.
- Kim, Y.H., Nam, K.C., and Ahn, D.U.,** 2002. Volatile profiles, lipid oxidation and sensory characterstics of irradiated meat from different animal species, *Meat Science* **61**, 257-265.
- Kim, Y.H., Nam, K.C., and Ahn, D.U.,** 2002a. Color, oxidation-reduction potential and gas production of irradiated meats from different animal species, *Journal of Food Science*, **67**(5), 1692-1695.
- Lacroix, M. and Ouattara, B.,** 2000. Combined industrial process with radiation to assure innocuity and preservation of food products-a review, *Food Research Inernational.*, **33**, 719-724.
- Lee, J.W., Yook, H.S., Kim, S.A., Lee, K.-H., Byun, M.-W.,** 1999. Effects of antioxidants and gamma irradiation on the shelf life of beef patties. *Journal of Food Protection*, **62**, 619-624.
- Lee , E.J. and Ahn, D.U.,** 2003. Production of volatiles from fatty acids and oils by irradiation, *Journal of Food Science*, **68**(1), 70-75.
- Lee, J.W., Park., K.S., Kim, J.G. and Byun, M.W.,** 2005. Combined effects of gamma irradiation and rosemary extract on the shelf-life of a ready to eat hamburger steak, *Radiation Physics and Chemistry*, **72**, 49-56.
- Lefebvre, N., Thibault, C., Charbonneau, R. ve Piette, J.P.G.,** 1994. Improvement of shelf-life and wholesomeness of ground beef by irradiation-2. Chemical analysis and sensory evaluation. *Meat Science*, **36**, 371-380.

- Manuel, C., and Lagunas, S.,** 1995. Radiation processing of foods: An overview of scientific principles and current status, *Journal of Food Protection*, **58**,186-192.
- Meilgaard, M. ve Civille, G.V. ,** 1999. Sensory Evaluation Techniques. Third Edition, Chapter 6: Overall Difference Tests. CRC Press, Florida.
- Millar, S.J., Moss, B.W. and Stevensson, M.H.,** 2000. The effect of ionising radiation on the colour of beef, pork and lamb, *Meat Science*, **55**, 349-360.
- Mahrour, A., Lacroix, M., Nketsa-Tabiri, J., Calderon, N. ve Gagnon, M.,** 1998. Antioxidant properties of naturally substances in irradiated fresh poultry. *Radiation Physics and Chemistry*, **52**, 77-80.
- Morehouse, K.M.,** 2002. Food Irradiation-US regulatory considerations, *Radiation Physics and Chemistry*, **63**, 281-84.
- Montgomery, J.L., Parrish, F.C., Olson, D.G., Dickson, J.S. ve Niebuhr, S.** 2003. Storage and packaging effects on sensory and color characteristics of ground beef, *Meat Science*, **64**, 357-363.
- Morrison, Buzby and Lin,** 1997. Irradiating ground beef to enhance food safety, *Food Review*, **January-April**, 33-37.
- Nam, K.C. and Ahn, D.U.,** 2002. Carbon monoxide-heme pigment is responsible for the pink color in irradiated raw turkey breast meat, *Meat Science*, **60**, 25-33.
- Nam, K.C. and Ahn, D.U.,** 2003. Use of antioxidants to reduce lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated pork homogenates and patties, *Meat Science*, **63**, 1-8.
- Nam, K.C. and Ahn, D.U.,** 2003a. Combination of aerobic and vacuum packaging to control lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated raw turkey breast, *Meat Science*, **63**, 389-395.
- Olson, D.G.,** 1998. Scientific status summary:irradiation of food, *Food Technology*, **52**(1), 56-62.
- Pikul, J., Leszczynski, E.D. ve Kummerow, F.A.,** 1983. Elimination of sample autooxidation by butylated hydroxytoluene additions before thiobarbituric acid assay for malonaldehyde in fat from chicken meat, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **31**, 1338-1342.

- Pikul, J., Leszczynski, E.D. ve Kummerow, F.A.,** 1989. Evaluation of three modified TBARS methods for measuring lipid oxidation in chicken meat, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **37**, 1309-1313.
- Quattara, B., Giroux, M., Yefsah, R., Smoragiewicz, W., Saucier, L., Borsa, J. ve Lacroix, M.,** 2002. Microbiological and biochemical characteristics of ground beef as affected by gamma irradiation, food additives and edible coating film. *Radiation Physics and Chemistry*, **63**, 299- 304.
- Raharjo, S., Sofos, J.N. ve Schmidt, G.R.,** 1992. Improved spesificity, and limit of determination of an aqueous acid extraction thiobarbituric acid-C₁₈ method for measuring lipid peroxidation in beef, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **40**, 2182-2185.
- Roberts, T.W. ve Weese, J.O.,** 1998. Shelf life of ground beef patties treated by gamma irradiation, *Journal of Food Protection*, **61**, 1387-1389.
- Roessler, E.B., Pangborn, R.M., Sidel, J.L. ve Stone, H.,** 1978. Expanded Statistical Tables for Estimating Significance in Paired Preference, Paired Difference, Duo-Trio and Triangle Tests. *Journal of Food Science*, **43**, 940-947.
- Shahidi, F., Pegg, R.B. and Saleemi, Z.O.,** 1995. Stebilization of meat lipids with ground spices, *Journal of food Lipids*, **2**, 145-153.
- Tarladgis, B.G., Watts, B.M., Younathan, M.T. ve Dugan, L.Jr.,** 1960. A destillation method for the quantitative determination of malonaldehyde in rancid foods, *Journal of American Oil Chemical Society*, **37**, 44-48.
- Tauxe, R.,** 2001. Food Safety and Irradiation: Protecting the public from foodborne infections, *Emerging Infectious Diseases*, **7** (3), 516-521.
- Ulu, H.,** 2004. Evaluation of three 2-thiobarbutiric acid methods for the measurement of lipid oxidation in various meats and meat products. *Meat Science*, **67**, 683-687.
- Üstün, Ş. ve Turhan, S.,** 1999. Yağ Oksidasyonu ve antioksidanlar. Ondokuz Mayıs Üniversitesi yayınları, no:11.
- Viollavicencio, A.L.C.H, Mancini-Filho, J. and Delincee, H.,** 2000., Effet of gamma irradiation on thiamine, riboflavin and vitamin B6 content in

two varieties of brazilian beans, *Radiation Physics and Chemistry*, 57, 599-603.

Vural, A., 2002. Farklı dozlardaki gamma ışınlarının köftelerin mikrobiyolojik kalitesi ve raf ömrü üzerine etkisi, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Besin hijyeni ve Teknolojisi anabilim Dalı, İstanbul.

Wheeler, T.L., Shackelford, S.D. ve Koohmaraie, M., 1999. Trained sensory panel and consumer evaluation of gamma irradiation on palatability of vacuum-packaged frozen ground beef patties. *Journal of Animal Science*, 77, 3219-3224.

WHO, 1994. Safety and nutritional adequacy of irradiated food.

WHO, 1999 High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy, Technical report series 890, Geneva.

EKLER

EK A: DUYUSAL ANALİZ FORMLARI

KONTROLDEN FARKLILIK TESTİ																													
<i>Score sheet</i>																													
İsim: _____ Tarih: _____																													
Talimatlar 1. Öncelikle kontrol olarak adlandırılan örneği değerlendirin. 2. 3 farklı rakamla kodlanmış örneği değerlendirin. 3. Her örnek arasındaki duyuşal farklılığı değerlendirerek için aşğıdaki skalayı kullanın. 4. Farklılığın boyutunu değerlendirmek için skaladan işaretleyin. (1= Fark Yok 2= Farklı 4=Çok Farklı) 5. Dokuyu değerlendirirken örneklerin yumuşaklık-sertlik, kolay dağılma-kıvam gibi özelliklerini karşılaştırınız. Farklı bulduğunuz ürünlerde, farklılığın boyutunu değerlendirmenin yanında sağdaki yüzlerden birini işaretleyerek farklılığın olumlu mu yoksa olumsuz yönde mi olduğunu belirtiniz (Mesela , örneğin kokusunun kontrolden farkı olumlu yönde ise ☺, olumsuz yönde ise ☹ işaretleyiniz.																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><thead><tr><th></th><th>KOKU</th><th>RENK</th><th>DOKU</th><th>GENEL</th></tr></thead><tbody><tr><td>Kontrol vs 842</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td></tr><tr><td>Kontrol vs 316</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td></tr><tr><td>Kontrol vs 245</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td></tr><tr><td>Kontrol vs 798</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td><td>1 2 3 4 ☺☹</td></tr></tbody></table>						KOKU	RENK	DOKU	GENEL	Kontrol vs 842	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	Kontrol vs 316	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	Kontrol vs 245	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	Kontrol vs 798	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹
	KOKU	RENK	DOKU	GENEL																									
Kontrol vs 842	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹																									
Kontrol vs 316	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹																									
Kontrol vs 245	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹																									
Kontrol vs 798	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹	1 2 3 4 ☺☹																									
ÖRNEKLERİN BAZILARININ KONTROL İLE AYNI OLABİLECEĞİNİ UNUTMAYINIZ.																													
YORUMLAR: _____																													

Şekil A.1. Kontrolden farklılık testinde kullanılan duyuşal form örneğı

Örnek: Köfte İsminiz: _____ SEÇENEKLERDEN BİR TANESİNİN İŞARETLENMESİ GEREKMEKTEDİR. Sadece KOKU açısından farklı olan örneğı işaretleyiniz. ☐ 512 ☐ 148 ☐ 715 Farklılık olumlu ☺ , olumsuz ☹ , diğerk ☹ Farklılık hakkındaki yorumunuz: Sadece RENK açısından farklı olan örneğı işaretleyiniz. ☐ 512 ☐ 148 ☐ 715 Farklılık olumlu ☺ , olumsuz ☹ , diğerk ☹ Farklılık hakkındaki yorumunuz:	No: _____
---	------------------

Şekil A.2. Üçgen test sırasında kullanılan duyuşal form örneğı

EK B. GC-Headspace Analizi Sonucu Elde Edilen Bazı Kromotogramlar

Şekil B.1. 9 kGy dozla ışınlanan ve 3-5°C de 14 gün depolanan kıyma örneğine ait GC kromotogramı

Şekil B.2. 3 kGy dozla ışınlanan ve 3-5°C de 14 gün depolanan kıyma örneğine ait GC kromotogramı

EK C. DOZİMETRE ÖLÇÜM SONUÇLARI

Tablo C.1. 3 kGy dozla ışınlanan örneklerin dozimetre sonuçları

Tablo C.2. 6 kGy dozla ışınlanan örneklerin dozimetre sonuçları

Tablo C.3. 9 kGy dozla ışınlanan örneklerin dozimetre sonuçları

EK D. TBA Analiz Yönteminin Değerlendirilmesi

Tablo D.1: Köfte örneğinde su banyosundaki farklı inkübasyon koşullarında maksimum absorbans için dalga boyunun tespiti

Sıcaklık (°C)	Süre (dak)	Dalga boyu (nm)			
		525	530	531	532
80	20	0,035	0,038	0,039	0,040
80	40	0,058	0,062	0,063	0,064
80	50	0,075	0,075	0,079	0,080
80	60	0,102	0,105	0,106	0,110
100	20	0,075	0,079	0,080	0,085
100	40	0,122	0,122	0,128	0,132
100	50	0,155	0,165	0,166	0,168
100	60	0,192	0,203	0,204	0,208

Tablo D.2: Farklı sıcaklık ve sürede bekletilen kıyma ve köfte örneklerinin 532 nm deki absorbans değerleri

KIYMA				KÖFTE		
Doz (kGy)	Oda sıcaklığı 17 saat	80°C, 20 dak	90°C, 15 dak	Oda sıcaklığı 17 saat	80°C, 20dak	90°C, 15 dak
0	0,161	0,162	0,175	0,038	0,039	0,057
3	0,111	0,114	0,135	0,053	0,054	0,060
6	0,154	0,152	0,172	0,043	0,044	0,053
9	0,230	0,233	0,256	0,057	0,060	0,086

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında İstanbul da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Kadıköy de tamamladı. 2001 yılında Yıldız Teknik Üniveristesi Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra, aynı yıl İ.T.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendilsği anabilim Dalı, Gıda Mühendilsği programında Yüksek Lisansa başladı. 2004 yılında derslerini tamamlayarak yüksek lisans tez çalışmasına başladı.

