

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIL İŞLEM GÖREN BAZI ET ÜRÜNLERİNİN LİPİT
FRAKSİYONLARINDA MEYDANA GELEN BAZI DEĞİŞİMLERİN
BELİRLENMESİ

KÜBRA ŞİŞLIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MALATYA

2012

Tezin Başlığı: Isıl İşlem Gören Bazı Et Ürünlerinin Lipit Fraksiyonlarında Meydana Gelen Bazı Değişimlerin Belirlenmesi

Tezi Hazırlayan: Kübra ŞİŞLİOĞLU

Sınav Tarihi: ../ .. / 2012

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi Üyeleri

Doç. Dr. İhsan Karabulut (Danışman)

.....

Yrd. Doç. Dr. Gökhan Durmaz

.....

Yrd. Doç. Dr. İncilay Gökbulut

.....

İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Onayı

Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “**Isıl İşlem Gören Bazı Et Ürünlerinin Lipit Fraksiyonlarında Meydana Gelen Bazı Değişimlerin Belirlenmesi**” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım tüm kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Kübra ŞİŞLİOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ISIL İŞLEM GÖREN BAZI ET ÜRÜNLERİNİN LİPİT FRAKSİYONLARINDA MEYDANA GELEN BAZI DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ

Kübra ŞİŞLIOĞLU

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Bölümü

63 + xii sayfa

2012

Danışman Doç. Dr. İhsan KARABULUT

Bu çalışma ile geleneksel olarak üretimleri yapılan et ürünlerinden et/tavuk döneri, Adana Kebap ve köfte örneklerinde pişirme işlemine bağlı olarak bu ürünlerin lipit fraksiyonlarında meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Isıl işlem öncesi ve sonrasında lipit fraksiyonları Folch ekstraksiyon yöntemiyle ekstrakte edilmiştir. Ürünlerin oksidasyon düzeylerinin belirlenmesi için konjuge dien, peroksit, tiyobarbütirik asit sayıları ve hegzanal miktarları (SPME-GC-MS) belirlenmiştir. Lipit fraksiyonlarının *trans* yağ asitlerini de içeren yağ asidi bileşimi, GC-FID ile belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, pişirme işleminin oksidatif stabiliteye etkisinin, ısıl işlemin derecesine ve örnek formulasyonuna bağlı olduğu tespit edilmiştir. Köz ateşinde pişirmenin uygulandığı Adana Kebap ve köfte örneklerinin yağ asidi bileşimlerinde genel olarak önemli değişimlerin olmadığı (bir Adana Kebap örneği hariç) saptanmıştır. Diğer yandan doğrudan gaz aleviyle pişirmenin uygulandığı et ve tavuk döneri örneklerinin ise lipit fraksiyonlarının yağ asidi profillerinde, özellikle de major yağ asitlerinde önemli değişimler meydana geldiği saptanmıştır. Tavuk dönerlerinde yüksek sıcaklık uygulamasına bağlı olarak *trans* yağ asidi oranlarında artışlar tespit edilirken, et döneri örneklerinde vaksenik asit oranındaki azalmaya bağlı *trans* yağ asidi azalması tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELE: Et, döner, köfte, pişirme, yağ asidi, oksidasyon, *trans* yağ asidi.

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF SOME CHANGES OCCURRING IN LIPID FRACTIONS OF SOME MEAT PRODUCTS DURING THERMAL PROCESS

Kübra ŞİŞLIOĞLU

Inonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

63 + xii pages

2012

Supervisor: Assoc.Prof. Ihsan KARABULUT

The aim of this study was to determine the changes occurring in the lipid fractions of Adana Kebab, meat ball, meat doner and chicken doner samples produced traditionally depending on the cooking process. The lipids were extracted by Folch extraction before and after thermal process. The oxidation level of the samples was followed by measuring conjugated diene, peroxide and thiobarbutiric acid values, and hexanal (SPME-GC-MS). Fatty acid composition including *trans* fatty acids were determined by GC-FID.

Based on the outcomes of the study, the effect of cooking on the oxidative stability of the samples was found to be dependent on the degree of thermal process and the formulations of the samples. Fatty acid compositions of the Adana Kebab and the meat ball samples did not change under coal fire cooking condition with the exception of the one Adana Kebab sample. On the other hand, a significant change was observed in fatty acid profile (especially major fatty acids) of the lipid fraction of meat and chicken doners which were cooked with direct gas fire. Depending on the high temperature applied during cooking, the *trans* fatty acid percentage increased in chicken doner samples. On the contrary, the *trans* fatty acid level decreased due to the reduction in the level of vaccenic acid in meat doner.

KEYWORDS: Meat, Doner, meat ball, cooking, fatty acid, oxidation, *trans* fatty acid.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmanın her aşamasında ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca yardım, öneri ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. İhsan KARABULUT'a;

Tezin deneysel aşamalarında bana büyük yardımları olan Yrd. Doç. Dr. Gökhan DURMAZ'a ve Yrd. Doç.Dr. İncilay GÖKBULUT'a,

Hayatımın her alanında bana destek olan sevgili aileme,

Bu çalışmayı 2010/113 proje numarası ile maddi olarak destekleyen ve olanak sağlayan İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne

En içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Kübra ŞİŞLIOĞLU

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE UYGULAMALAR	3
2.1. Et ve Et Ürünlerinde Isıl İşlemin Etkisi.....	3
2.2. Isıl işlemin lipit oksidasyonu ve izomerizasyonu üzerine etkisi	3
2.3. Lipitlerin Oksidasyonu	4
2.3.1. Oto-oksidasyon mekanizması	5
2.3.2. Lipit oksidasyonunun hızını etkileyen faktörler	8
2.3.2.1. Sıcaklığın etkisi	8
2.3.2.2. Yağ asidi bileşiminin etkisi	8
2.3.2.3. Antioksidan maddelerin etkisi.....	9
2.3.2.4. Metallerin etkisi	9
2.3.2.5. Enzimlerin katalize ettiği reaksiyonlar	10
2.4. TYA'nin Yapısı ve Oluşumu	10
2.4.1. TYA'nin yapısı.....	10
2.4.2. TYA'lerinin oluşumu	12
2.4.2.1. Biyohidrojenasyon	12
2.4.2.2. Kimyasal hidrojenasyon	15
2.4.2.3. Yüksek sıcaklık etkisiyle <i>trans</i> dönüşümü.....	16
2.4.3. Et ve et ürünlerinin TYA ve KLA içerikleri.....	17
2.4.4. TYA'lerinin insan sağlığına olan etkileri	19
2.4.4.1. TYA ve koroner kalp hastalığı	19

2.4.4.2. TYA ve diğer hastalıklarla ilişkisi	20
2.4.5. TYA ile ilgili yasal düzenlemeler	21
2.5. Çalışmada Analiz Edilen Et Ürünleri	21
2.5.1. Döner	21
2.5.2. Adana Kebap	22
2.5.3. Köfte	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1. Örneklerin Toplanması	24
3.2. Merkez Sıcaklık Değerlerinin Ölçülmesi	24
3.3. Toplam Lipit İçeriğinin Belirlenmesi.....	24
3.4. Nem İçeriğinin Belirlenmesi	25
3.5. Örneklerin Lipit Oksidasyon Düzeyinin Ölçülmesi	25
3.5.1. Konjuge dien miktarının belirlenmesi	25
3.5.2. Peroksit sayısı (ferrik tiyosiyanat metodu)	25
3.5.3. Tiyobarbütirik asit sayısı.....	26
3.5.4. Hegzanal belirlenmesi.....	27
3.6. Yağ Asidi Bileşiminin Belirlenmesi.....	27
3.6.1. Metil esterlerinin oluşturulması	27
3.6.2. GC ile yağ asidi bileşiminin belirlenmesi (%).....	28
3.6.3. Sonuçların Değerlendirilmesi	28
3.7. İstatistiksel Analiz.....	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	29
4.1. Örnek Formülasyonları ve Isıl İşlem	29
4.2. Nem Miktarı.....	29
4.3. Lipit Miktarları.....	32
4.4. Yağ Asidi Bileşimi Sonuçları	34

4.5. Oksidatif Bozulma Test Sonuçları	48
4.5.1. Konjuge dien	48
4.5.2. Peroksit sayısı.....	49
4.5.3. TBA sayısı	51
4.5.4. Hegzanal sonuçları.....	53
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
6. KAYNAKLAR.....	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Lipit oksidasyonu sırasında indüksiyon periyodunu (IP) gösteren değişim eğrisi	5
Şekil 2.2.	Oto-Oksidasyon Mekanizması.....	6
Şekil 2.3.	Hidroperoksitlerin parçalanmasıyla ikincil oksidasyon ürünlerinin oluşumu.....	7
Şekil 2.4.	Linoleik asidin dekompozisyonu ile hegzanal oluşumu.....	7
Şekil 2.5.	Metallerin prooksidan mekanizması.....	9
Şekil 2.6.	Geometrik izomer kesitleri.....	11
Şekil 2.7.	Doymuş yağ asidi kesiti.....	11
Şekil 2.8.	<i>Trans</i> yağ asidi kesiti.....	11
Şekil 2.9.	<i>Cis</i> yağ asidi kesiti.....	11
Şekil 2.10.	<i>Cis</i> -9-oktadesenoik asit (oleik asit) ile <i>trans</i> -9- oktadesenoik asidin (elaidik asidin) 3 boyutlu görünümü.....	11

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1.	Linoleik asit oksidasyon ürünlerinin tat algılanma eşik değerleri..	8
Çizelge 4.1.	Adana Kebap, köfte, tavuk döneri, et döneri örneklerinin formülasyonları ve son ulaştıkları merkez sıcaklık değerleri.....	29
Çizelge 4.2.	Isıl işlem öncesi ve sonrasında örneklerin nem miktarları.....	31
Çizelge 4.3.	Örneklerin Folch ekstraksiyonu ile belirlenen lipid miktarları.....	33
Çizelge 4.4.	Çiğ ve pişmiş Adana Kebap örneklerinden ekstrakte edilen lipidlerin yağ asidi bileşimi.....	38
Çizelge 4.5.	Çiğ ve pişmiş köfte örneklerinden ekstrakte edilen lipidlerin yağ asidi bileşimi.....	40
Çizelge 4.6.	Çiğ ve pişmiş tavuk döneri örneklerinden ekstrakte edilen lipidlerin yağ asidi bileşimi.....	43
Çizelge 4.7.	Çiğ ve pişmiş et döneri örneklerinden ekstrakte edilen lipidlerin yağ asidi bileşimi.....	46
Çizelge 4.8.	İncelenen örneklerinin toplam doymuş, doymamış ve TYA oranları.....	47
Çizelge 4.9.	İncelenen örneklerin Konjuge dien, Peroksit ve TBA sayısı değerleri.....	49
Çizelge 4.10.	Çeşitli et ürünlerinin ısıl işlem öncesi ve sonrasında hegzanal miktarları (µg/kg).....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

TYA	<i>Trans</i> Yağ Asidi (<i>Trans</i> Fatty Acid)
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç Kurumu (Food and Drug Administration)
HDL	High Density Lipoprotein
LDL	Low Density Lipoprotein
Et al.	Ve diğerleri (et alii)
α	Alfa
IP	İndüksiyon Periyodu (Induction Period)
R*	Alkil
R-OO*	Peroksi
R-O*	Alkoksi
mg	Miligram
kg	Kilogram
g	Gram
C	Karbon
H	Hidrojen
KLA	Konjuge Linoleik Asit (Conjugated Linoleic Acid)
Δ	Delta
<i>t</i>	<i>Trans</i>
<i>c</i>	<i>Cis</i>
°C	Santigrat Derece
-COOH	Karboksil Radikali
pH	Hidrojenin Gücü (Power of Hydrogen)
mm-Hg	Milimetre Civa
Dk	Dakika
ml	Mililitre
NaCl	Sodyum Klorür
γ	Gama
UK	Birleşik Krallık (United Kingdom)
RE	Dönen Buharlaştırıcı (Rotary Evaporator)
Ltd	Limited
AOCS	Amerikan Yağ Kimyacıları Derneği (American Oil Chemists' Society)
TBA	Tiyobarbütirik Asit (Thiobarbituric Acid Reactive Substances)

UV	Ultra Viole
Nm	Nanometre
Cm	Santimetre
FIL-IDF	Uluslararası Süt Federasyonu (Federation Internationale de Laiterie; International Dairy Federation)
NH ₄ SCN	Amonyum Tiyosiyanat
Fe	Demir
Cu	Bakır
µL	Mikrolitre
Meq	Milliequivalent
Rpm	Dakikadaki dönüş sayısı (Returns per minute)
TEP	1,1,3,3-tetraethoxypropane
TCA	Trikloroasetik asit
HCl	Hidroklorik asit
GC-MS	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrofotometresi (Gas chromatography-Mass Spectroscopy)
HS-SPME	Headspace Katı Faz Mikroekstraksiyon (Headspace-Solid Phase microextraction)
NIST	National Institute of Standards and Technology
DVB/CAR/ PDMS	Divinylbenzene/carboxen/poly(dimethylsiloxane)
RI	Alıkonma İndeksi (Retention Index)
FAME	Yağ Asidi Metil Esteri (Fatty Acid Methyl Ester)
N	Normal
KOH	Potasyum Hidroksit
GC-FID	Gaz Kromatografi-Alev İyonlaşma Dedektörü (Gas chromatography flame ionization detector)
ANOVA	Tek Yönlü Varyans Analizi (Analysis of Variance)
SPSS	Sosyal Bilimler için İstatistik Paketi (Statistical Package for the Social Sciences)
min	Minimum
max	Maximum
MDA	Malondialdehit (Malondialdehyde)

1. GİRİŞ

Trans yağ asitleri (TYA), inek ve koyun gibi geviş getiren hayvanların sütlerinde ve yağlarında az miktarda bulunmakta ve çok eski çağlardan bu yana insan beslenmesinde yer almaktadır. Buna karşılık, TYA içeriği yüksek yağların büyük çaplı ticari üretimleri, gelişen margarin endüstrisiyle başlamıştır. Margarin ve şorteningler, genellikle kısmi hidrojenasyon yöntemleriyle elde edilen bitkisel yağlardan üretilmektedir. Endüstriyel hidrojenasyon işleminde, çoklu doymamış yapıdaki yağ asitlerinin hidrojen ile doyurulması esnasında geometrik izomer dönüşümlerinin oluştuğu ve elde edilen katı yağlarda, TYA'nın bulunduğu belirlenmiştir [1, 2].

Doğal olarak TYA izomerlerini içeren süt ve süt ürünlerinin yanında, çeşitli teknolojik işlemlerden geçen gıdalardaki TYA diyet yolu ile insan bünyesine geçmektedir. Teknolojik uygulamalarda TYA oluşumuna etki eden başlıca parametrelerden birisinin sıcaklık olduğu belirlenmiştir. Gıdaların işlenmesinde sıcaklık uygulaması ile TYA'nın oluşmasının kaçınılmaz olduğu bildirilmiştir [3].

Ham yağların rafinasyon işlemleri esnasında da yüksek sıcaklıklara maruz kalmalarının sonucu olarak, rafine yağlardaki TYA miktarının ham yağa göre fazla olduğu da saptanmıştır [4, 5].

TYA'nın insan sağlığı ve beslenme üzerindeki etkileri tartışmalara neden olan başlıca konulardır. Çeşitli bilimsel çalışmalarda, *trans* izomerlerinin insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerinin bulunduğu belirtilmektedir. FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Kurumu), 1 Ocak 2006'dan itibaren bütün gıda etiketlerinde TYA içeriğine ait bilgilerin bulundurulmasıyla ilgili kriterleri açıklamıştır [6].

Metabolik çalışmalarda TYA'nın doğal formlarına kıyasla plazmadaki düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol seviyesini (LDL) arttırdığı ve yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterol seviyesini (HDL) azalttığı kesinlik kazanmıştır [7]. Bu etkinin doymuş yağ asitlerinin etkisinden daha zararlı olduğu ve koroner kalp rahatsızlıklarına sebebiyet verdiği saptanmış durumdadır [8]. Ayrıca, TYA'nın fetus ve bebek gelişimine olumsuz etkide bulundukları da bildirilmektedir [9].

Et yemeklerinin çoğu tüketilmeden önce farklı düzeylerde pişirilirler ve böylelikle sindirilmeleri daha kolay hale gelir. Farklı pişirme yöntemleri ülkeler arasındaki kültür

farklılıklarıyla doğrudan ilgili olup, bu farklı yöntemler genellikle etin pişmesi sırasında ulaştığı sıcaklık derecesinin geniş bir aralıkta farklılık göstermesine sebep olur. Sıcaklık ve oksijen lipid oksidasyonunu ilerleten faktörler olduğundan, pişirme işlemi lipid oksidasyonuna bağlı olarak besin değerinin kaybolması gibi istenmeyen modifikasyonlara sebep olabilmektedir [10].

Üretiminin ülkemizde başladığı ve dünyaya yayıldığı kabul edilen et ürünlerinden başta döner olmak üzere Adana Kebap gibi doğrudan gaz veya odun alevi ile pişirilen et ürünlerinde uygulanan ısıt işleme bağılı olarak söz konusu ürünlerin oluştuğı düşünölmektedir. Önerilen bu çalışmada Malatya'daki yerel lokantalardan temin edilen geleneksel et ürünlerinden et döneri, tavuk döneri, Adana Kebap ve köfte örneklerinin lipid fraksiyonunda ısıt işleme bağılı olarak oluştuğı varsayılan bu bileşikler belirlenmiştir. Bu kapsamda ısıt işlem öncesi ve sonrasında ürünlerin lipid fraksiyonunun oksidatif durumu ve TYA içeriğı belirlenmiş ve yapılan ölçümlerde ısıt işlem öncesi ve sonrası değışimler kıyaslanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE UYGULAMALAR

2.1. Et ve Et Ürünlerinde Isıl İşlemin Etkisi

Et ve et ürünleri farklı ısı işlemleriyle geçirilerek yenilebilir ürünlere dönüştürülmektedir. Uygulanan ısı işlemi ile besin öğelerinin biyo-yararlılıkları artırılırken, pişirme esnasında kazandırılan aroma gibi duyu özelliklerine ek olarak uygun tekstürel yapının oluşumu sağlanmaktadır. Günümüzde tükettiğimiz gıdaların birçoğu farklı sıcaklık derecelerinde bir ya da birden fazla aşamalarda pişirme, fırınlama, ızgarada kızartma, yağsız kızartma, fırında kızartma, konserve yapma, konsantre etme, pastörize etme, kurutma ya da yağda kızartma gibi işlemlerle tüketime hazır hale getirilmekte ve depolama ömürleri uzatılmaktadır. Bununla beraber, uygulanan ısı işlemi sürecinde et bileşiminde farklı kimyasal tepkimelere bağlı olarak bazı arzu edilmeyen veya insan sağlığına olumsuz etkileri bilinen ürünlerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bu bileşenlerin oluşumu da uygulanan ısı işleminin şekli (direk veya dolaylı), değişimlerin hızı ve ürünlerin çeşitliği şekillendirmektedir [11, 12].

Bu değişimler etin lipit fraksiyonunda; yağ asitlerinde izomerizasyon ve oksidasyon tepkimelerine bağlı olarak ortaya çıkan ürünlerle kendini göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda lipit fraksiyonunda yer alan özellikle doymamış yağ asitleri üzerinde gerçekleşen bu değişimler sonucunda *cis* yapının *trans* forma dönüşmesi ile ette doğal olarak bulunan TYA miktarında ve oksidasyona bağlı olarak konjuge dien-trien miktarlarında artışlar gözlemlenmektedir. Yüksek sıcaklık ve oksijen varlığının söz konusu olduğu koşullarda, doymamış yağ asitleri üzerinde otokatalitik olarak gelişen oksidasyon tepkimesinin birincil oksidasyon ürünlerinden peroksitler ve tepkimenin ilerlemesine bağlı olarak sekonder ürünler olarak adlandırılan karbonilli bileşenlerin (aldehit-keton gibi) oluşumu ve polimerizasyon gibi değişimler meydana gelmektedir. Lipit oksidasyonunun ürünlerde acılaştırmanın gelişiminden sorumlu olduğu ve doğrudan karsinogenik ve mutajenik işlemlerle ilişkili olduğu bilinmektedir [11, 13].

2.2. Isıl İşlemin Lipit Oksidasyonu ve İzomerizasyonu Üzerine Etkisi

Et ve et ürünlerinde pişirme sırasında oksidasyon tepkimelerinin gerçekleşmesi uygulanan sıcaklık ve süre ile yakından ilişkilidir [14]. Sıcaklık artışına bağlı olarak gıdalarda daha büyük nitelendirici değişimlerin olduğu bilinmektedir [15]. Daha da

önemlisi uzun süren yüksek sıcaklık derecelerinde gıdanın kalitesine olumsuz etkide bulunan oksidatif değişimler meydana gelmektedir [16].

Yağlara ısıtıl işlem fırınlama, kızartma ya da derin yağda kızartma gibi pişirme esnasında uygulanmaktadır [11]. Hernandez et al. [17] ve Rodriquez-Estrada et al. [18] tarafından yürütülen bazı çalışmalarda uzun süreli yüksek sıcaklıkta fırında kızartma işleminde diğer metotlara kıyasla lipit oksidasyonunda artış belirlenmiştir.

Kısmi hidrojene yağlar insan diyetinde en temel TYA kaynağı olarak dikkate alınabilir. Bununla birlikte yemeklik yağlar da gıdaların ısıtıl işlemi sırasında *cis* formun *trans* forma dönüşmesiyle diğer bir TYA kaynağı olarak görülebilirler. Standart yağ profili olarak triolein, trilinolein ve trilinoleninin kullanılarak termal işlem etkisiyle *cis-trans* dönüşümünün araştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar *cis* formundan *trans* formuna dönüşen yağ asitlerinin sıcaklık, süre ve yağ asidi kompozisyonuna bağlı olduğunu göstermiştir [19]. Ayrıca yapılan çalışmalarda yemeklik yağlarda 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklardaki ısıtıl işlem uygulamalarında TYA oluşumunun arttığı ve bu artış doymamış yağ asitlerinin miktarının azalmasıyla ilişkilendirilerek bazı çoklu doymamış yağ asitlerinin TYA'lerine dönüştüğü tespit edilmiştir [20].

2.3. Lipitlerin Oksidasyonu

Lipit kavramının tam bir tanımı olmamakla birlikte genel olarak yağ asitleri ve türevlerini, steroidleri, terpenleri, karotenoidleri ve safra asitleri gibi uzun zincirli hidrokarbon grupları içeren; suda çözünmemekle birlikte dietileter, hegzan, benzen, kloroform ya da metanolde iyi çözünen geniş çeşitlilikteki doğal ürünler olarak tanımlanmaktadır [10].

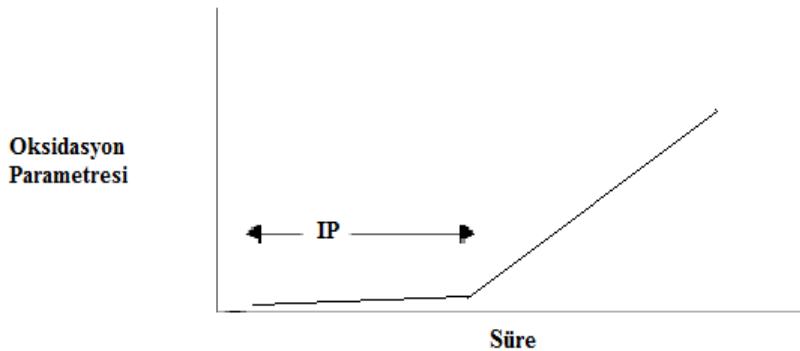
Lipitler bitki ve hayvanların yağ depo hücrelerinde trigliseritler (diğer adıyla triağılgliceroller) olarak ve biyolojik membranlarında ise fosfolipidler olarak iki temel şekilde bulunan yapılardır. Lipitlerin oksidasyonu birçok gıdanın raf ömrünü sınırlayan önemli bir reaksiyondur. Yağlar gıdalara formülasyonlarının bir parçası olarak çeşitli işlem basamaklarında eklenebilirler. Gıdaların doğal yapısında bulunan ya da sonradan eklenen yağlar hemen hemen tamamen trigliseritlerdir ve bu gıdalarda oksidasyon ürünü olarak ortaya çıkan kötü tat ve kokuların potansiyel kaynakları olarak bilinirler. Oksidasyon hem trigliseritlerde hem de dokulardaki fosfolipitlerde gerçekleşir. Gıda

olarak kullanılan bitki ya da hayvanların dokularında ve bütün biyolojik membranlarda bulunan fosfolipitler de oksidatif bozulmalar bakımından önemli bir substrat olabilirler [12, 21].

2.3.1. Oto-oksidasyon mekanizması

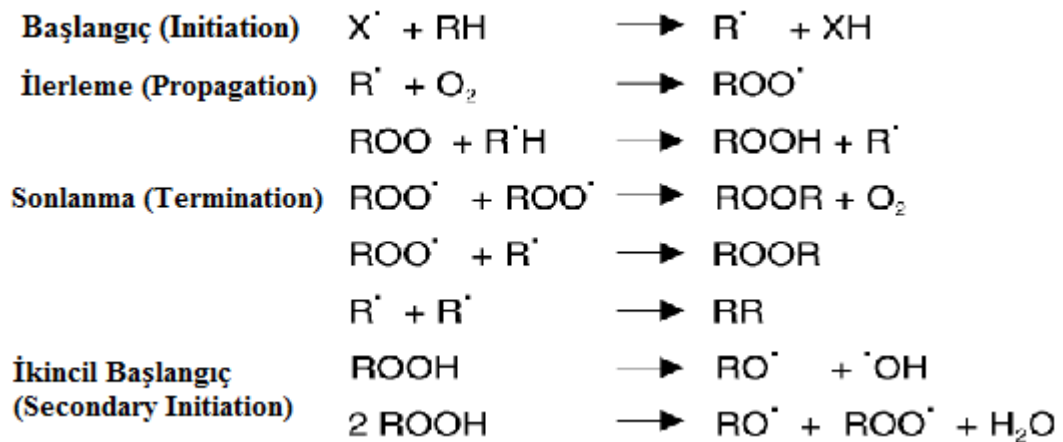
Mikrobiyolojik bozulmanın yanı sıra, lipit oksidasyonu gıdalardaki başlıca bozulma türlerinden birisidir. Lipit oksidasyonuna rol alan başlıca faktörler doymamış yağ asitleri ve oksijendir. Lipit oksidasyonunu, atmosferden gelen oksijenin doymamış yağ asitlerine bağlanmasıyla stabil olmayan ara ürünlerin oluşması ve bu ara ürünlerin sonradan parçalanarak arzu edilmeyen aroma ve tat bileşenlerine dönüşmesi şeklinde kısaca özetlemek mümkündür [10, 21].

Gıdaların lipit oksidasyonuyla bozulması genellikle başlangıçta oksidasyonun çok az düzeyde gerçekleştiği bir indüksiyon periyodu sergiler ve bu aşamayı bozulmanın hızla ilerlediği bir basamak takip eder (Şekil 2.1.). İndüksiyon periyodunun uzunluğunu çok düşük konsantrasyonlarda bulunan Demir (Fe) ve Bakır (Cu) gibi bazı metaller önemli ölçüde kısaltır ve bundan dolayı bu maddelere pro-oksidant maddeler denir. Diğer yandan düşük konsantrasyonlarda dahi çok yüksek etki gösteren α - tokoferol gibi antioksidan maddelerle indüksiyon periyodunu önemli ölçüde uzatmak mümkündür. Sıcaklığın artmasıyla bozulma hızı kayda değer ölçüde artmaktadır. Bu özelliklerin, doymamış yağ asitleriyle oksijenin verdiği reaksiyonun serbest radikal zincir reaksiyonu olduğunu gösteren özellikler olduğu hususunda araştırmacılar hemfikirdir [10, 12, 21].



Şekil 2.1. Lipit oksidasyonu sırasında indüksiyon periyodunu (IP) gösteren değişim eğrisi [21]

Çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu ısı, ışık, iz metaller ya da enzimler tarafından katalizlenir ve serbest radikaller oluşur [11]. Serbest radikal reaksiyonu olarak oto-oksidasyon üç ayrı basamakta gerçekleşir. İlk basamak lipid moleküllerinden lipid radikallerinin oluştuğu başlangıç (initiation) aşamasıdır. Hidroksil radikalleri gibi reaktif türler tarafından lipid moleküllerinden bir hidrojen atomunun koparılması lipid oksidasyonunu başlatabilir. Bunun yanı sıra yağlarda genellikle lipoksigenaz enziminin aktivitesiyle de lipid oksidasyonu başlatılabilir. Ayrıca ve yağların ekstraksiyonu sırasında iz miktarda oluşan hidroperoksitler bulunmaktadır. Bu hidroperoksitlerin homolitik parçalanmasıyla gerçekleşen ikincil başlangıç reaksiyonları nispeten düşük enerjiyle gerçekleşen bir reaksiyonlardır. İkincil başlangıç reaksiyonları genellikle metal iyonları tarafından katalizlenir. Başlangıç reaksiyonlarının ardından, bir lipid radikalinin başka bir lipid radikaline dönüştüğü ilerleme (propagasyon) reaksiyonları başlar. Bu reaksiyonlar genellikle bir lipid molekülünden bir hidrojen atomunun ayrılmasını ya da bir alkil radikaline oksijen bağlanmasını içerir. Başlangıç reaksiyonlarıyla karşılaştırıldığında propagasyon reaksiyonlarının entalpisi düşüktür ve bundan dolayı propagasyon reaksiyonları başlangıç reaksiyonlarına kıyasla daha hızlı gerçekleşir. Normal atmosfer basıncında, alkil radikallerinin oksijenle reaksiyonu çok hızlıdır ve peroksil radikallerinin konsantrasyonu alkil radikallerden daha yüksektir [21].



Şekil 2.2. Oto-Oksidasyon Mekanizması [21]

Hidroperoksitlerin parçalanmasıyla oluşan alkoksi radikaller parçalanarak yağ asidinin gliserit şeklinde bulunduğu gliserol iskeletine bağlı olmayan uçucu

$$\begin{array}{c}
 \text{R}''\text{CHR}' \\
 | \\
 \text{O}-\text{OH}
 \end{array}
 \longrightarrow
 \begin{array}{c}
 \text{R}''\text{CHR}' \\
 | \\
 \text{O}^\bullet
 \end{array}
 + \text{OH}^\bullet$$

$$\begin{array}{c}
 \text{R}''\text{CHR}' \\
 | \\
 \text{O}^\bullet
 \end{array}
 \xrightarrow{\text{RO}^\bullet}
 \begin{array}{c}
 \text{R}''\text{CR}' \\
 || \\
 \text{O}
 \end{array}
 + \text{ROH}$$

$$\begin{array}{c}
 \text{R}''\text{CHR}' \\
 | \\
 \text{O}^\bullet
 \end{array}
 \xrightarrow{\text{R}^\bullet}
 \begin{array}{c}
 \text{R}''\text{CR}' \\
 || \\
 \text{O}
 \end{array}
 + \text{RH}$$

$$\begin{array}{c}
 \text{R}''\text{CHR}' \\
 | \\
 \text{O}^\bullet
 \end{array}
 \xrightarrow{\text{RH}}
 \begin{array}{c}
 \text{R}''\text{CHR}' \\
 | \\
 \text{OH}
 \end{array}
 + \text{R}^\bullet$$

$$\begin{array}{c}
 \text{R}''\text{CHR}' \\
 | \\
 \text{O}^\bullet
 \end{array}
 \xrightarrow{\text{R}'}
 \text{R}''\text{CHO} + \text{R}'^\bullet$$
$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_3 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 \text{ CH}(\text{O-OH}) \text{ CH} = \text{CH} \text{ CH} = \text{CH} (\text{CH}_2)_7 \text{COOH} \quad \text{13-hidroperoksit} \\
 \downarrow -\text{OH}^\bullet \\
 \text{CH}_3 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 - \text{CH}(\text{O}^\bullet) - \text{CH} = \text{CH} \text{ CH} = \text{CH} (\text{CH}_2)_7 \text{COOH} \quad \text{Alkoksi radikal} \\
 \downarrow \\
 \text{CH}_3 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 \text{ CH}_2 \text{CHO} + \text{CH} = \text{CH} \text{ CH} = \text{CH} (\text{CH}_2)_7 \text{COOH} \\
 \text{Hegzanal}
 \end{array}$$

7

Çizelge 2.1. Linoleik asit oksidasyon ürünlerinin tat algılanma eşik değerleri [21].

Bileşik	Algılanma Eşiği (mg/kg)
Hegzanal	0,08-0,6
Heptanal	0,04-0,055
Oktanal	0,04-0,6
<i>Trans</i> -2-nonenal	0,04-0,4
<i>Cis</i> -2-desenal	0,1
<i>Trans, trans</i> -2,4-nonadienal	0,46
<i>Trans, cis</i> -2,4-dekadial	0,02

2.3.2. Lipit oksidasyonunun hızını etkileyen faktörler

2.3.2.1. Sıcaklığın etkisi

İndüksiyon periyodu süresinin azalmasında sıcaklık artışının çok güçlü bir etkisi vardır. Prensip olarak sıcaklığın artmasıyla oksidasyon hızı katlanarak artar. Sıcaklığın lipit oksidasyonu üzerine etkisi karmaşık olmakla birlikte artan sıcaklıklarda oksijenin sıvılardaki çözünürlüğünün azalmasıyla ve eğer birden fazla faz varsa antioksidan maddelerin sıcaklık artışının etkisiyle bu fazlar arasında dağılımının değişmesiyle ilişkilendirilmektedir [21].

2.3.2.2. Yağ asidi bileşiminin etkisi

Otooksidasyonun propagasyon fazında hidrojenin ayrılması tercihen bağ kopma enerjisinin düşük olduğu karbon atomlarında gerçekleşir. Doymuş yağ asitleri oldukça stabildir ve önemli bir düzeyde okside olmazlar. Çoklu doymamış yağ asitlerinde komşu karbon atomundaki alken fonksiyonelliği etkisiyle C-H bağlarının kopması için gereken enerji az olduğundan iki alken grubu arasındaki metilen gruplarından hidrojenin ayrılması daha hızlı gerçekleşir. Sonuçta, eğer gıda maddesinde çoklu doymamış yağ asitleri varsa oksidasyon daha hızlı gerçekleşir.

Gıdalarda bulunan çoklu doymamış yağ asitleri oksidasyon hızını artırdıkları gibi, farklı uçucu bileşikler de meydana getirirler. Çoğunlukla, linolenik asit gibi n-3 yapıları

yağ asitleri oksidasyon sırasında linoleik gibi n-6 yapılı yağ asitlerinden oluşana göre daha düşük düzeylerde kötü tat-koku olarak algılanabilen uçucu bileşikler meydana getirirler [21].

2.3.2.3. Antioksidan maddelerin etkisi

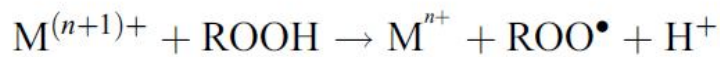
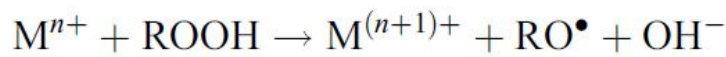
Antioksidan maddeler gıdalarda birçok mekanizmada rol alabilirler. Serbest yağ radikallerini süpürerek daha az reaktif türleri oluşturmak ve bu şekilde lipid oksidasyonunun propagasyon fazının işleyişine engel olmak α-tokoferol gibi fenolik antioksidanların rol aldığı temel antioksidan mekanizmasıdır.

Bütün bunların yanı sıra, sitrik asit gibi antioksidanlarla metal çelasyonu da antioksidan aktivitenin etkili bir mekanizmasıdır. Vitamin C gibi indirgeyici özellikteki bileşenler, gıdaların toplam antioksidan potansiyellerine de katkıda bulunurlar [21].

Ambalajlanmış çiğ etler ve pişirilmiş konserve et ürünlerinin tüketimlerinin artmasıyla oksidasyonun kontrolü önem kazanmıştır ve bu ürünlerde lipid oksidasyonunu antioksidan ve çelat ajanlarıyla etkin bir şekilde inhibe etmek mümkündür [22].

2.3.2.4. Metallerin etkisi

Bakır ve demir gibi metaller, milyonda bir ya da bundan daha az düzeylerde bulunsalar dahi çok etkili pro-oksidan maddelerdir.



Şekil 2.5. Metallerin prooksidan mekanizması [21]

Metaller özellikle bir elektron transferini içeren mekanizmayla hidroperoksitlerin dekompozisyonunu katalize etmede etkilidirler [21].

2.3.2.5. Enzimlerin katalize ettiği reaksiyonlar

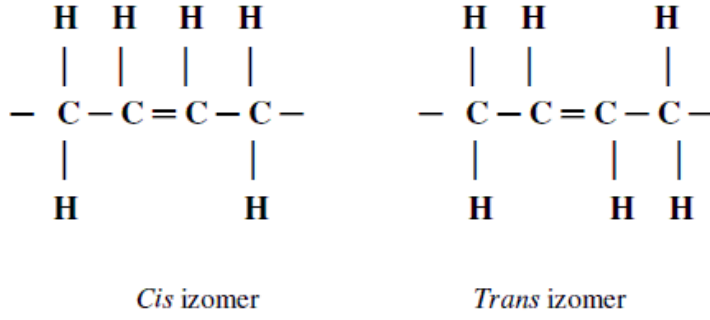
Lipoksigenaz, balıklarda ve hayvanlarda bulunduğu gibi; soya, bezelye, domates gibi bitki dokularında da bulunur. Lipoksigenaz enzimi hidroperoksitlere dönüştürmek üzere çoklu doymamış yağ asitleriyle oksijen arasındaki reaksiyonu katalizler. Bitki ya da hayvan dokularında bulunan enzimler depolama sırasında hidroperoksitlerden uçucu bileşenlerin oluşumunu destekleyebilirler. Lipoksigenaz enzimi balıkların ya da bitkisel gıdaların raf ömürlerini uzatmak için ısıtıl işlem etkisiyle denatüre edilebilirler [21].

2.4. TYA'nin Yapısı ve Oluşumu

Yağ asitleri yağların temel bileşenlerdir ve doymuş ve doymamış olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doymamış yağ asidi tek çift bağa sahip ise tekli doymamış yağ asidi, birden fazla çift bağa sahipse çoklu doymamış yağ asidi denir. Çift bağlar *cis* ya da *trans* konfigürasyonuna sahip olabilmektedir. En genel şekilde TYA'ni *trans* konfigürasyonunda çift bağ içeren ve konjuge yapıda olmayan yağ asitleri olarak tanımlamak mümkündür [23]. *Cis* çift bağların yapısında karbon zincirleri çift bağın aynı tarafında iken, *trans* çift bağlarda karbon zincirleri karşı tarafındadır. Çift bağların varlığı karbon zincirindeki hareketliliği sınırlamaktadır. *Cis* çift bağlı yağ asitleri, hacimli, yayvan bir kütleye sahip olduğundan moleküler sıkışmayı önlemekte, bu da erime noktasını düşürmektedir. Öte yandan *trans* çift bağa sahip bir yağ asidi aynı karbon atom sayısındaki doymuş yağ asidinin yapısına benzemektedir [24].

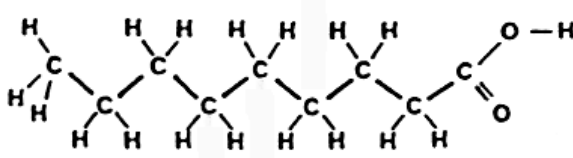
2.4.1. TYA'nin yapısı

Organik bileşiklere özgü olan izomeri terimi, kısaca “aynı kapalı formüllü bileşiklerin düzlemde veya üç boyutlu halde farklı molekül yapılarına sahip olması” dır. Yağ asitlerinde de, fiziksel ve kimyasal özellik farklılıklarına neden olan izomeri şekilleri söz konusudur. Doymamış yağ asitlerindeki izomeri çeşitleri yerel (pozisyonel) ve uzay (geometrik) ikiye ayrılmaktadır. Geometrik izomeri, çift bağlar ucundaki karbon atomlarına bağlı hidrojen atomlarının konfigürasyonuna göre şekillenir; *cis* ve *trans* olarak iki izomer oluşur. Hidrojen atomları karbon zincirinin aynı tarafında ise *cis*, aksi yönlerde ise *trans* izomerler olarak adlandırılır (Şekil 2.6). Pozisyon izomeri ise, molekül içinde çift bağların yer değiştirmesidir [8, 25].

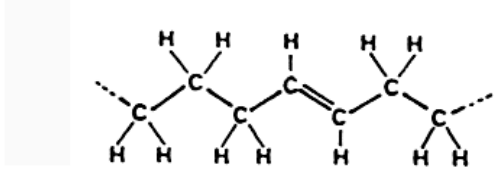


Şekil 2.6. Geometrik izomer kesitleri [26]

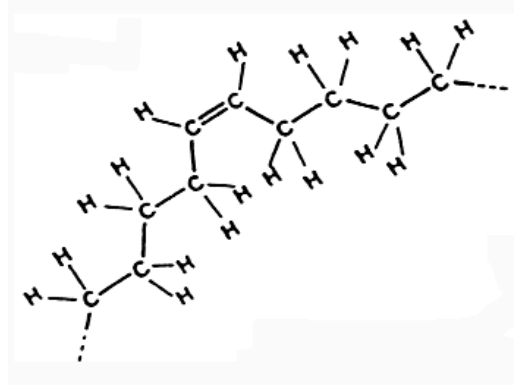
Cis formu molekülde bükülmeye yol açarken, *trans* formu doymuş yağ asitlerinin düz zincirine benzerlik göstermektedir (Şekil 2.6, 2.7 ve 2.8).



Şekil 2.7. Doymuş yağ asidi kesiti

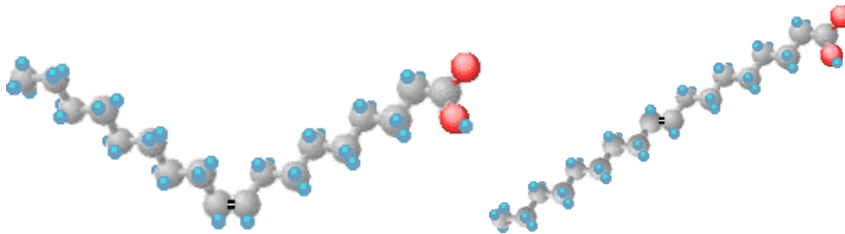


Şekil 2.8. *Trans* yağ asidi kesiti



Şekil 2.9. *Cis* yağ asidi kesiti

Trans konfigürasyonu *t* harfiyle belirtilir. Bu harf, yağ asidinin karboksil ucundan itibaren sayılmak üzere çift bağın moleküldeki pozisyonunu belirtir. *Cis* izomeri ise *c* harfiyle gösterilir. Buna göre, 18:1 9*t* elaidik aside (*trans*-Δ-9-oktadesenoik asit) karşılık gelmektedir. 18:1 9*c* ise, oleik asidi (*cis*-Δ-9-oktadesenoik asit) göstermektedir [25, 27].



Şekil 2.10. *Cis*-9-oktadesenoik asit (Oleik asit) ile *Trans*-9- oktadesenoik asidin (Elaidik asidin) 3 boyutlu görünümü

TYA'nin çift bağ açısı daha küçük, açıl zinciri daha doğrusaldır. Böylece aynı sayıda karbon, hidrojen ve oksijen atomlarına sahip olan 2 izomer, farklı 3 boyutlu yapılara sahip olmaktadır (Şekil 2.9). Bu durum, farklı fiziksel özelliklere sahip (örneğin erime noktası ve termodinamik stabilitesi daha yüksek) daha sert bir molekül oluşumuna yol açmaktadır [25, 28]. Örneğin; oleik asit (*cis*- C18:1 n-9) ve elaidik asit (*trans*- C18:1 n-9) geometrik izomerlerdir. Her 2 molekülde de 18 karbon atomu, 34 hidrojen atomu, 2 oksijen atomu ve (n-9) pozisyonunda 1 tek çift bağ bulunmaktadır. Oleik asidin erime noktası 13 °C, elaidik asidin 44 °C, ve C18 serisinden doymuş bir yağ asit olan stearik asidin (C18:0) erime noktası 70 °C'dir. Bu yüksek erime noktası, *trans* izomerlerini yarı-katı yağlardan margarin ve şorteninglerin üretimi için cazip hale getirmektedir [26].

2.4.2. TYA'lerinin oluşumu

TYA'leri biyokimyasal hidrojenasyon, kısmi hidrojenasyon ve yüksek sıcaklık uygulamaları olmak üzere üç şekilde meydana gelmektedir [28].

İnsan diyetinde TYA'nin başlıca kaynakları; bakteriyel hidrojenasyon, kısmi hidrojene yağlar ve yüksek sıcaklık uygulanan yağlardır. Ruminant aktiviteye sahip yani geviş getiren hayvanların rumenlerinde bulunan bakteriler tarafından gerçekleştirilen hidrojenasyon *trans* yağların doğal kaynaklarını oluşturur [29].

2.4.2.1. Biyohidrojenasyon

Çoklu doymamış yağ asitlerinin biyohidrojenasyonu inek, koyun ve diğer ruminantların rumenlerinde de gerçekleşmektedir. Biyohidrojenasyon işleminde hayvan tarafından alınan besinlerdeki doymamış yağ asitlerine ait çift bağların oksijensiz ortamda bakteriler tarafından hidrojenle doyurulmasıyla TYA oluşmaktadır. Oksijensiz ortamda, bakteriler yağ asitlerinin çift bağlarını metabolizma sırasında üretilen hidrojen için akseptör olarak kullanır. Bu işlem, doymamış yağ asitlerinin doymasına ve TYA'nin oluşumuna yol açmaktadır [30].

TYA'leri bakteriler tarafından anaerobik koşullar altında oluşturulurlar. Bakterilerin hücre membranlarında TYA dönüşümünün ortamdaki sıcaklığa, solventlerden kaynaklanan strese ya da membran geçirgenliğini etkileyen diğer lipofilik bileşenlere karşı membran geçirgenliğini azaltmak için oluşturulan bir adaptasyon mekanizması

olabileceği düşünülmektedir. Bütün bakteriler ölçülebilir düzeylerde *trans* dönüşümü gerçekleştiremezler. Bu dönüşümü yapan bakterilerin büyük çoğunluğu gram negatiftir ve TYA'ni anaerobik koşullarda üretirler. Yağ asitlerinin TYA'e biyohidrojenasyon olarak adlandırılan bu doğal dönüşümüyle, süt yağlarında TYA toplam yağ asitlerinin % 2-6'na ulaşmaktadır. Biyohidrojenasyon yoluyla oluşan TYA'nin büyük çoğunluğu $\Delta 11$ pozisyonunda olmakla birlikte, az miktarlarda $\Delta 9$, $\Delta 10$, $\Delta 13$ ve $\Delta 14$ *trans* izomerleri de oluşmaktadır [10].

TYA'leri günlük olarak tüketilen gıda maddelerinde ve geviş getiren hayvanların midesinde doğal olarak meydana geldiğinden bu hayvanların vücut yağlarında bulunmaktadır [31]. KLA izomerleri ruminant hayvanların rumenlerinde linoleik ve linolenik gibi çoklu doymamış yağ asitlerinin rumen bakterileri tarafından biyohidrojenasyonu esnasında meydana gelen ara ürünlerdir. KLA'nın çift bağları cis yada trans formunda bulunabilir [32]. Doğal ve fonksiyonel bileşenler olan konjuge linoleik asit (KLA) izomerleri, çoğunlukla ruminantlardan elde edilen et, süt ve bunların ürünlerinde bulunur. Geviş getiren hayvanların rumeninde biyohidrojenasyon sonucu oluşan TYA'lerinin bu hayvanların günlük beslenmemizde tükettiğimiz et, süt ve yağlarındaki miktarları da, hayvanların çayırda otlanma süresi ve zamanına göre doğru orantılı olarak değişebilmektedir [33].

KLA, linoleik asidin (*c9*, *c12-18:2*) geometrik ve pozisyonel izomerlerini içeren bir grup yağ asidinin ismidir. Bu grup yağ asitlerindeki çift bağlar izolen yerine konjuge çift bağ yapısında bulunduklarından bu isimle genel bir adlandırma yapılmıştır. Bu çift bağlar *trans* ya da *cis* konfigürasyonunda bulunabilirler ve çift bağlar pozisyon (7,9; 8,10; 9,11; 10,12 ya da 11,13) ve geometri (*c/c*; *c/t*; *t/t* ya da *t/c*) olarak geniş bir spektrumda değişkenlik gösterirler. KLA bakımından zengin gıdalardan et ve süt ürünlerinde izomerlerin yaklaşık olarak %80'ini rumenik asit (*c9*, *t11-18:2*) oluşturur [34].

Doğal yolla KLA, rumende izomerizasyon ve /veya biyohidrojenasyon esnasında ara ürün olarak ya da memeli salgı bezi ve yağ dokularında $\Delta 9$ -desaturaz enzimi aracılığıyla *trans* vaksenik asidin KLA izomerlerine desaturasyonu ile sentezlenir. KLA izomerleri sağlık üzerine antikarsinogenik, antiaterojenik, antiobezitik ve antidiyabetik gibi etkilere sahiptir [35].

Ruminal mikroorganizmaların lipid metabolizmasında çoklu doymamış yağ asitlerinin izomerizasyonunda ve biyohidrojenasyonunda doğrudan KLA oluşumu ve KLA oluşumuna öncülük eden ve son ürünü stearik asit olan bileşiklerin oluşumu söz konusudur. Örneğin, linoleik asidin çoğunlukla gerçekleşen metabolik yolunda izomerizasyon sonucunda rumenik asit (c9, t11-18;2) oluşur ve ileri hidrojenasyonla stearik aside kadar doyarken ara ürün olarak vaksenik asit (t11-18;1) oluşur. Genel olarak bir mikroorganizma çoklu doymamış yağ asitlerinden başlayarak son ürün stearik aside kadar olan metabolizmanın tamamını gerçekleştiremez, sadece bir bölümünden sorumlu olur. *Butyrivibrio fibrisolvens*'in de içinde bulunduğu bazı bakteriler konjuge yağ c/t çift bağa dönüştürmek ve bu konjuge asitleri hidrojene etmek üzere sahip oldukları linoleat izomeraz ve KLA redüktaz enzimleri sayesinde çoklu doymamış yağ asitlerinin cis çift bağlarını izomerize ederler. Bu prosesin son ürünü vaksenik asittir ve vaksenik asit daha sonra diğer ruminal bakteriler tarafından hidrojene edilerek stearik aside dönüştürülür. Çoklu doymamış yağ asitlerinden diğer α ya da γ -linolenik asitlerin metabolizmasında da vaksenik asit ve sonrasında stearik aside dönüşüm gerçekleşir, ancak ara ürün olarak KLA oluşumu söz konusu değildir.

Ruminal aktivite ile süt ve kas yağlarının KLA içeriği arasında güçlü bir ilişki bulunmasına rağmen rumen ve ince bağırsaktan doğrudan absorbe edilen KLA ların miktarının azdır. Süt ve et lipidlerinde bulunan KLA içeriğinin yüksek olması $\Delta 9$ -desaturaz enziminin aktivitesiyle vaksenik asidin rumenik aside desature edilmesinden kaynaklanmaktadır. KLA ve vaksenik asit arasındaki yüksek korelasyona bağlı olarak vaksenik asidin desaturasyonunun doku yağlarındaki KLA'nın temel kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Diğer KLA izomerleri de yine $\Delta 9$ -desaturaz enziminin aktivitesiyle diğer t18;1 izomerlerinden meydana gelmiştir [34].

TYA'leri inek koyun, geyik ve keçi eti ile tüm süt ürünlerinde bulunduğu gibi, ayrıca kümes hayvanları ile domuz etinde de, TYA'lerini içeren yemlerin tüketimi sonucu, düşük seviyelerde de rastlanabilmektedir [19]. KLA'ların dokularda sentezi ruminant hayvanlarda ve ruminant olmayanlarda da gerçekleşmesine rağmen ruminal hidrojenasyona bağlı olarak ruminant hayvanlarda vaksenik asit oluşumu çok daha fazladır. KLA'nın dokularda ki bu oluşumu insanlarda da gerçekleşmekle birlikte insan diyetinde KLA'nın temel kaynağını et ve et ürünleriyle birlikte ve özelliklede süt ve süt ürünleriyle alımı oluşturur [34].

2.4.2.2. Kimyasal hidrojenasyon

Sıvı bitkisel yağlar, doğal olarak sadece eser miktarda TYA'ni bulundurmakta iken, bunların kısmi hidrojenasyona uğraması sonucu, doymamış yağların yüksek sıcaklıkta oksidatif stabilitesi artmakta ve ticari olarak kullanılma ömrünü uzatmaktadır. Üreticiler de bu nedenle, daha uzun raf ömrü ve oda sıcaklığında katı halde bulunan ürünleri üretmek için kısmi hidrojenasyona uğramış yağları tercih etmektedir [21, 24, 36].

Kimyasal hidrojenasyon doymamış yağ asitlerindeki çift bağların sayısını azaltmak için bu yağ asitlerindeki çift bağların olduğu karbon atomlarına hidrojen atomlarının eklenerek doyurulduğu bir prosestir. Bu reaksiyon gıda endüstrisinde kısmi hidrojenasyon uygulamalarıyla kullanılmakta olup, işlem bitkisel yağların ya da balık yağlarının hidrojen atomu ve katalizör varlığında ısıtılmasıyla gerçekleştirilir. Kısmi hidrojenasyon işlemi termal izomerizasyonla çift bağların tamamen doyurulmadığı bazı çift bağların kaldığı ancak belki karbon zincirinde yer değiştirdiği ve birçok geometrik ve yerel izomerin yan ürün olarak oluştuğu bir uygulamadır [36].

Hidrojenasyon koşullarına (hidrojen basıncı, sıcaklık, kullanılan katalizör tipi ve karıştırma hızı) bağlı olarak 3 çeşit reaksiyon görülebilmektedir. Hidrojen *cis* karbon-karbon çift bağlarına katılmasıyla bağlar hidrojen ile doyurulmaktadır. Örneğin, linoleik asidin (*cis, cis* – C18:2n-6) ya da α -linolenik asidin (*cis, cis, cis*-C18:3n-3) tamamlanmış hidrojenasyonu ile geride hiç çift bağ bırakmadan stearik asit oluşmaktadır. Alternatif olarak *cis* konfigürasyonu *trans* konfigürasyonuna hidrojen almadan dönüşebilmektedir. Son olarak pozisyonel izomerler çift bağların molekül boyunca uzaklaşması nedeniyle oluşabilmektedir. Bu son 2 proseste sıvı yağlar daha katı bir forma geçmiş olmasına rağmen yağ asidi molekülüne hidrojen katılmadığından bunlara hidrojenasyon yerine izomerizasyon demek daha doğru olur. Yemelik yağlar endüstrisinde yaygın olarak uygulanan bitkisel yağların kısmi hidrojenasyonu yağ asitlerinin kompleks bir karışımıdır. Kısmen hidrojenize edilecek bitkisel yağ sertleştirme koşulları prosesten çıkan ürünün kompozisyonunu belirlemektedir [25].

Karabulut ve Turan'ın [37] 2006 yılında yaptıkları çalışmada Türkiye'de marketlerde satışa sunulan margarin ve şorteninglerin TYA'lerini de içeren yağ asidi profilini, katı yağ içeriklerini (solid fat content), erime noktalarını (slip melting point)

incelemişlerdir. Margarin ve şorteninglerin TYA içeriklerininin sırasıyla % 0,4-39,4 ve % 2,0-16,5 aralıklarında değiştiğini belirlemişlerdir.

2.4.2.3. Yüksek sıcaklık etkisiyle *trans* dönüşümü

TYA'lerinin temel kaynağı kısmi hidrojene yağlar olmakla birlikte yüksek sıcaklıklarda deodorize edilmiş ve yüksek sıcaklıklara ısıtılmış yağlar da TYA'lerini içermektedir [23].

Kimyasal rafinasyonun son aşamasını oluşturan deodorizasyon işlemi, yağa istenmeyen tat ve koku maddelerin yüksek sıcaklık ve düşük basınç etkisiyle aynı zamanda su buharının da sürükleyici etkisiyle yağdan uzaklaştırılması amacıyla uygulanır. Kesikli ve sürekli sistemlerde yapılabilen deodorizasyon işleminde vakum altında deodorizasyon tankına alınan ağartılmış yağ 180-250 °C'ye kadar ısıtılır. Isıtılan yağa buhar enjekte edilir. Deodorizasyon aşamasında uygulanan sıcaklık derecesi ve süresi, basınç miktarı ve kullanılan buhar oranı etkileriyle yağın içeriğindeki yağ asitleri *trans* izomerlerine dönüşmektedir. *Trans* izomer oluşumu deodorizasyon sıcaklığının 240°C'nin üzerinde olduğu durumlarda üstel bir ifadeyle artmakta olduğu belirtilmektedir. Yaklaşık 220 °C sıcaklıkta ise *trans* izomer oluşumu ihmal edilebilecek düzeydedir [38].

Rafine bitkisel sıvı yağlar düşük miktarlar olsa da TYA alım kaynağı olabilmektedir. Kellens [39] tarafından yürütülen çalışmada deodorize edilmiş yağlarda düşük TYA seviyesinin (< %1) sağlanması için; sıcaklık derecesi (kimyasal rafinasyonda 230-235 °C, fiziksel rafinasyonda ise 235-240 °C limit değerler), süresi (30 dk civarı) ve basınç (1-6 mmHg) değerleri sınırının aşılması gerektiğini bildirilmiştir [40].

Ayrıca yapılan çalışmalar yemeklik yağlarda 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklardaki ısıtım işlem uygulamalarında TYA oluşumunun arttığı ve bunun doymamış yağ asitlerinin miktarının azalmasıyla ilişkilendirilerek bazı çoklu doymamış yağların TYA'lerine dönüştüğü tespit edilmiştir [20].

Rafine sıvı yağlarda *trans* izomerler kısmi hidrojene edilmiş yağlardaki izomerlerden tip ve miktar bakımından farklıdır. Kısmi hidrojene yağlarda başlıca monoenoik TYA'leri rafine sıvı yağlarda ise daha çok *trans* di (*trans*-18:2) ve trienoik (*trans*-18:3) yağ asitleri bulunmaktadır [25].

2.4.3. Et ve et ürünlerinin TYA ve KLA içerikleri

TYA'leri, çok eski çağlardan bu yana insan beslenmesinde yer almaktadır. Çünkü inek ve koyun gibi geviş getiren hayvanların sütlerinde ve yağlarında az miktarlarda bulunmaktadır [25].

TYA'leri yalnızca geviş getiren hayvanların rumenlerinde bulunan flora aracılığı ile oluşmakta ve dolayısıyla bu hayvanların yağlarının bileşimlerinde doğal olarak düşük miktarlarda bulunmaktadır. Ruminant hayvanların etlerinde TYA oranı %1-11 arasında değişmektedir. Hayvansal yağlarda bulunan *trans* izomerlerin miktarları ve çeşitleri endüstriyel olarak kısmi hidrojenize edilmiş yağlar kadar farklılıklar göstermemektedir [25]. Gıdalarda genellikle miktar bakımından en önemli *trans* oktadesenoik asit olmakla birlikte; ruminant hayvanların yağlarında *trans*-11 C18:1(vaksenik asit) izomeri çoğunlukla bulunurken, hidrojene bitkisel yağlarda *trans*-9 C18:1 (elaidik asit) izomeri en çok bulunan yağ asididir [31].

TYA'leri, inek, koyun, geyik ve keçi eti ile tüm süt ürünlerinde bulunduğu gibi, ayrıca kümes hayvanları ile domuz etinde de, TYA'lerini içeren yemlerin tüketimi sonucu, düşük seviyelerde rastlanabilmektedir. Rumende ortak olarak oluşan yağ asidi vaksenik asittir (11*t*-18:1) [36].

Fritsche ve Steinhart [5] tarafından Almanya'da sıklıkla tüketilen 139 gıdanın analiz edilerek TYA oranlarının ve günlük TYA tüketim miktarının hesaplandığı çalışmada işlem görmemiş etlerde; domuz filetosu, kuzu, hindi, sığır bifteği, sığır ciğeri, tavşan ve tavuk etinde sırasıyla %0,56, %8,60, %0,99, %2,92, %2,41, %0,26 ve %0,73 oranlarında toplam TYA miktarları bulunmuştur. Ülkeye özgü çeşitli et ürünlerinin de analiz edildiği aynı çalışmada et ürünlerinin toplam TYA miktarlarının %0,21-0,67 si arasında değiştiği bildirilmiştir.

Yılmaz ve Geçgel tarafından 2009 yılında yapılan Türkiye'de üretilen çeşitli et ürünlerinin toplam TYA oranlarının analiz edildiği bir çalışmada [29], salam örneklerinin %2,69-5,74, sosis örneklerinin %2,28-3,64, pastırma örneklerinin %5,11-5,91, sucuk örneklerinde %3,27-4,52, kavurma örneklerinde %5,15-7,95, köfte örneklerinin %2,32-3,03 aralıklarındaki değerlerde toplam TYA içerdikleri tespit edildiği bildirilmiştir.

Karabulut tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada [41] Türkiye’de sıklıkla tüketilen et ürünleri, çikolatalar, fırıncılık ürünleri ve diğerleri şeklinde katagorize edilen çeşitli ürünlerin TYA miktarları ile birlikte yağ asidi bileşimlerini belirlemiştir. Çalışmada analiz edilen et ürünlerinden sucuk, sosis, salam, pastırma, sığır jambon, Adana Kebap, et döner, köfte, kızarmış sığır burger, tavuk jambon ve tavuk döner örneklerinin TYA içeriklerini %0,42-2,33 aralığında bulunmuştur. Ürünler arasında en yüksek TYA oranına kızarmış sığır burgerin, en düşük TYA içeriğine de ruminant özellikten yoksun olduğu için tavuk etinden üretilen jambonun sahip olduğunu saptamıştır.

Et, süt ve bunların ürünleri temel KLA kaynaklarıdır. Ruminantlar, monogastriklere göre daha yüksek oranda KLA içerirler. Monogastriklerde KLA miktarının düşük oluşu rumenlerindeki bakteri faaliyetinin düşük oluşuna bağlanmıştır [42].

Etlerin KLA içeriği elde edildiği hayvanın türüne göre değişmekle birlikte, ruminantlar arasında kuzu eti 5,6 mg/g lipid ile en yüksek KLA içeriğine sahiptir. Monogastriklerden elde edilen etler 1 mg/g lipitten daha az KLA içerirken, hindi eti 2-2,5 mg/g lipid, su ürünleri de ihmal edilebilir düzeyde KLA içerir. Yağ içeriği yüksek etlerin KLA miktarı (960-1310 mg/100 g) da yağsız etlere göre (6-43 mg/100 g) oldukça yüksektir. Et ürünleri üretildiği etin KLA miktarına yakın düzeyde KLA içerir ve pişirme metodunun, süresinin, fermentasyonun ve depolamanın et ürünündeki KLA miktarını değiştirmediği bilinmektedir [42].

Etlerin yapısında bulunan KLA miktarı 1,2-9,9 mg/g yağ arasındaki değerlerde değişkenlik göstermektedir. Ruminant hayvanların etleri ve yağları KLA’ların doğal kaynağı olarak çok zengindir ve kuzu, dana ve sığır etlerinin KLA içerikleri 2,7-5,6 mg/g yağ arasındaki miktarlardadır. Fritsche ve Fritsche’nin yaptığı çalışmada [42] *c*9, *t*11, 18:2 izomerinin boğa etlerinde yağ örneklerinin yağ asidi metil esterlerinin ortalama %0,76 ve dana etlerinde yağlarının ortalama %0,86 oranında bulunduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca etlerin yağ örneklerinde *t*9;*c*11, *c*9;*c*11 ve *t*9;*t*11 gibi minör izomerlerinde bulunduğunu bildirmişlerdir [10]. Diğer bir çalışmada *c*9, *t*11 18:2 izomerinin etlerde 1,7 ile 6,5 mg/g yağ [44] arasında değiştiğini ve sığır filetolarında toplam yağ asidi metil esterlerinin (Fatty Acid Methyl Ester; FAME) %0,65 oranında bulunduğunu bildirilmiştir [10].

KLA nispeten daha düşük miktarlarda diğer gıda ürünlerinde de bulunur. Ruminant olmayan türler arasında hindi eti 2,5 mg/g yağ değeriyle en yüksek miktara sahiptir. Tavuk eti 0,9 mg/g yağ, domuz eti 0,6 mg KLA/g yağ miktarlarına sahip olup, major KLA olarak *c9*, *t11* (vaksenik asit) izomerini sırasıyla %84 ve % 82 oranlarında ihtiva etmektedir. Tavuk yumurtası lipid fraksiyonunda bulunan KLA miktarı 0-0,6 mg/g yağ değerleri arasında değişmektedir. KLA bitkisel yağlarda (0,1-0,7 mg/g yağ) ve bazı deniz ürünlerinde (0,3-0,6 mg/g yağ) düşük miktarlarda belirlenmiştir. Ruminat kaynaklı gıdalarda vaksenik asit önde gelen izomerken, bitkisel yağlarda toplam KLA'ların sadece %38-47 aralığında bir oranda bulunmakta ve deniz ürünlerinde bulunmamaktadır. Banni ve ark.'nın [45] kısmi hidrojene yağlarda (kısmi hidrojene soya ve palm yağı karışımı) KLA de içeren TYA'lerini tanımlamak için bir seri analiz yaptıkları ve bu yağlarda KLA izomerlerinin bulunduğunu doğruladıkları bildirilmiştir. Bununla birlikte Mossoba ve ark. [46] konjuge *cis*, *trans* ve *trans*, *trans* 18:2 izomerlerinin hidrojene soya yağında ve margarinlerde bulunduğunu bildirmişlerdir [10].

2.4.4. TYA'lerinin insan sağlığına olan etkileri

Çeşitli bilimsel çalışmalarda, yağların tüketimi ile insan sağlığı arasında önemli ilişkilerin olduğu, koroner kalp ve damar hastalıklarının meydana gelmesinde doymuş yağ asitlerinin yanı sıra, *trans* izomerlerinin de risk oluşturduğu belirlenmiştir [47].

İlk olarak 1990 yılında yapılan bir çalışmada TYA'lerinin toplam kolesterol ve LDL kolesterol değerlerini artırırken, HDL kolesterol değerini düşürdüğü bildirilmiştir. Doymuş yağların LDL ve HDL kolesterol değerlerini artırdığı düşünüldüğünde TYA'lerinin LDL/HDL oranı üzerinde sağlık üzerine doymuş yağlara kıyasla iki kat etkili olduğu bildirilmiştir [36].

2.4.4.1. TYA ve koroner kalp hastalığı

Yağların büyük bir kısmı tigliseritlerin karışımı şeklindedir. Trigliseritler ve kolesterol proteinlere tutunarak lipoproteinleri meydana getirirler. Bu lipoproteinler de, vücuda besin maddelerini getiren yağ-protein paketleri olarak kanda görev yapmaktadırlar.

LDL %75 civarında kolesterol içermektedir. Aslında kanda dolaşmakta olan kolesterolün %60-75'i kadarı LDL formundadır. HDL ise LDL'ye göre daha fazla miktarda protein içermekte olup; sadece %20-30 civarında kolesterol içermektedir. LDL'nin tam tersine kanda fazla kolesterolün hücre ve damarlarına ait duvarlarda birikmesini önlemekte ve bunun uzaklaşması için karaciğere atık olarak göndermektedir. Bu yüzden HDL iyi kolestrol, LDL ise kötü kolesterol olarak adlandırılmaktadır [47].

Kandaki toplam kolesterol ve kolesterol taşıyıcılarının HDL ve LDL'nin düzeyi koroner kalp hastalıklarının oluşmasında önemli etkiye sahiptir. LDL seviyesinin yüksek olması damarlarda kolesterol birikimini hızlanmasına sebep olurken kanda yüksek düzeyde HDL bulunması ise damarlarda kolesterolün birikmesini önleyici hatta uzaklaştırıcı etkiye sahiptir. Bu sebeple LDL'nin kalp hastalıkları üzerinde olumsuz HDL'nin ise olumlu etkisi söz konusudur. TYA'lerini *cis* izomer oleik asit ile karşılaştırarak, kan kolesterol düzeyleri üzerinde etkilerinin belirlenmesi ile ilgili olarak birçok araştırma yapılmıştır. TYA'lerinin LDL kolesterol düzeyini arttırdığı, bununla birlikte HDL kolesterol düzeyini düşürdüğü pek çok çalışmada gösterilmiştir. Bu açıdan TYA'lerinin doymuş yağ asitlerinden çok daha zararlı olduğu belirtilmektedir. Ayrıca bazı çalışmalarda koroner kalp hastalığının kalıtsal bir risk faktörü olan lipoprotein (a)'yı yükselttiği de gösterilmiştir [8, 48].

Avrupa Birliği FAIR Projesi koroner kalp rahatsızlığı ile faktörler üzerine TYA'lerinin etkisini değerlendirmiş ve sonuç olarak TYA'lerinin *cis* forma kıyasla daha fazla negatif etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek miktarda TYA alımı ile lipoprotein (a) düzeyi artmakta ve bu artış da koroner kalp rahatsızlarının oluşmasına neden olmaktadır [49].

2.4.4.2. TYA ve diğer hastalıklarla ilişkisi

TYA'lerinin koroner hastalıklar haricinde birçok hastalıkla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Esansiyel yağ asitleri özellikle büyüme ve gelişmede önemli role sahiptir. TYA vücutta gerçekleşen bazı reaksiyonlarda esansiyel yağ asitleriyle rekabete girerek büyüme ve gelişme üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca TYA'leri immün sistemde prostaglandin üretimini azaltarak

olumsuz etkileyebilmektedir. Bunlardan başka TYA alımıyla yaygın alerjik semptomlar arasında pozitif bir ilişki olduğu da düşünülmektedir [36].

2.4.5. TYA ile ilgili yasal düzenlemeler

TYA tüketiminin azaltılmasının insan sağlığını korumak için gerekliliğinden dolayı çeşitli ülkeler TYA alımını sınırlayan bazı durumlarda da yasaklayan yasal düzenlemeler yayınlamıştır. Kanada 2003 yılında gıdalardaki TYA içeriğinin etiketlerinde bildirilmesi kuralını yürürlüğe koymuştur. Benzer bir şekilde Danimarka, TYA içeren gıdalarla ilgili hangi gıda ürünü olursa olsun toplam yağ miktarının %2'sinden fazla TYA içermesini sınırlayan kanun yayınlamıştır. Birleşmiş Milletler FDA 1 Ocak 2006'dan itibaren bütün gıda etiketlerinde *trans* yağ asidi içeriğine ait bilgilerin bulundurulmasıyla ilgili kriterleri açıklamış, tüketicilere mümkün olduğunca *trans* yağ asidi düşük gıdaları tercih etmelerini tavsiye etmiştir. Bunun yanı sıra Kaliforniya ve Konnektikut eyaletleride suni TYA ürünlerinin gıda ürünlerinde ve restaurantlarda kullanımını yasaklayan devlet düzenlemesini yayınlamıştır [50].

Ülkemizde de 23 Ağustos 2007 tarihinde Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerinin Genel Etiketleme ve Beslenme Yönünden Etiketleme Kuralları Tebliği'nde Değişiklik Yapılması Hakkında Tebliğ'de ürün içindeki toplam yağın 100 gramında 1 gramdan az olduğunda “*trans* yağ asidi içermez” şeklinde yazılabileceği belirtilmektedir [51].

Gıda endüstrisindeki etiketlerin üzerinde *trans* yağ asitlerine ait miktarların belirtilme zorunluluğu ile tüketicilerin TYA düşük gıdaları tercih etmesine neden olmuştur. Toplum bilinçlendiği zaman da firmalar, TYA içermeyen gıdaları üretmeye başlamıştır. Çeşitli gıdalar üreten firmalar, “*trans* yağ içermemektedir” ibaresiyle yeni ürünlerini tanıtmaya başlamışlardır [47].

2.5. Çalışmada Analiz Edilen Et Ürünleri

2.5.1. Döner

Döner; dünyanın birçok yerinde sıklıkla tüketilen, gyro, dona kebab, döner kebab, chaworma ya da shawirma isimleriyle de tanınan Orta Doğuya özgü geleneksel bir et ürünüdür [52].

Dönerde kullanılan et, ince dilimlenmiş yaprak et ya da kıyılmış et olup, kuzu, dana, sığır ya da tavuk eti şeklinde olmaktadır. Döner üretiminde; tercihe göre kırmızı biber ya da karabiber, tuz, doğranmış soğan ya da soğan tozu, küp şeklinde doğranmış domates ya da domates sosu, zeytinyağı, limon suyu, sirke, süt ya da süt tozu, yoğurt ve yumurta gibi malzemelerle terbiye edilen et dilimleri, kıyılmış et ya da bunların her ikisinin karışımından oluşan et, 4°C sıcaklıkta 12 saat marine edilir. Et yaprakları ya da kıyılmış et koni şeklini alacak şekilde demir döner kebab çubuğuna yerleştirilir. Döner kebabların yağ içerikleri % 20 ile % 40 arasında toplam ağırlıkları ise 10 kg ile 15 kg arasında değişmektedir. Çiğ döner kebab bloğu yüzeyden pişirilmek üzere, çubuğun dönebileceği gaz ya da elektrik ocağı karşında bulunan düzeneğe yerleştirilir. Et yüzeyi piştiği zaman tıraşlanarak kesilir ve dilimlenmiş domates, soğan ve marulla birlikte genellikle ekmek arasına yerleştirilerek servis edilir [52, 53].

Döner restaurantlarda ve fast food satış noktalarında tüketime sunulan Türkiye ve Orta Doğu ülkelerinde oldukça popüler bir ürün olmakla birlikte Avrupa, Kanada ve Amerika'da da tanınmaktadır. Ayrıca ısıtılıp yemeye hazır bir ürün olarak marketlerde dondurulmuş ürünler reyonlarında satışa sunulmaktadır [52].

2.5.2. Adana Kebab

Adana Kebabı, Adana ilimize özgü olan, satıra benzer bir bıçakla elde kıyılan parça etten yapılan bir kebab çeşididir.

En az bir yaşındaki erkek koyundan elde edilen et, yağ, sinir, damar ve zarlarından ayrılır ve ayıklanan et parçalar halinde bir gün dinlendirilir. Dinlenmiş et zırh tabir edilen ve iki elle kullanılan keskin bıçakla kıyılır. Kıyılmış et miktarının % 30'u kadar kuyruk yağı zırh ile ayrıca kıyılır. Kıyılmış et ile kıyılmış kuyruk yağı, kırmızı pul biber ve tuz ilave edilerek yoğrulur. Karışım Adana Kebabının ana unsurunu oluşturur. Yoğrulmuş karışım ikinci kez zırh ile kıyılır. En az 4-5 saat buzdolabında dinlendirilir. Hazırlanan karışım, 0,5 cm kalınlığında, 3 cm eninde 90-120 cm uzunluğunda şişlere sıvanır gibi saplanır. Şişlendikten sonra 1 saat kadar şişte dinlendirilir. Bir porsiyon Adana Kebabı yaklaşık 180 gramdır. Pişirme derecesi etin kırmızıdan koyu kahverengine dönmesine kadar devam eder [54].

2.5.3. Köfte

Köfte Farsça bir sözcük olan “küfte” den türemiştir ve temel hammaddesi kıymadır. Kıyma içine farklı katkıları eklenerek ve farklı pişirme teknikleri uygulanarak yüzlerce çeşit köfte üretilip tüketilmektedir.

Köfte döner kebabla birlikte günümüzde en fazla tüketilen et ürünlerimizden birisidir. Endüstriyel ölçekte üretilip satışa sunulmasının yanında, tüketiciler kendi evlerinde damak tatlarına uygun olarak kendi köftelerini hazırlayıp tüketmektedirler. Genel olarak köfte, kıyma içine çeşitli baharatların ve isteğe göre ekmek ve yumurtanın eklenerek iyice yoğrulup dinlendirilmesiyle elde edilir. Izgara veya kızartma olabileceği gibi sebzeli olarak da tüketilmektedir [55].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Örneklerin Toplanması

Bu çalışmada çiğ ve pişmiş olmak üzere Adana Kebap, köfte, tavuk döneri ve et döneri örnekleri en az üç farklı yerden olmak üzere Malatya ilinde bulunan satış yerlerinden, toplanmıştır. Bu örnekler hijyenik koşullara uygun olarak alınarak, içersinde buz bulunan kutularla laboratuara taşınmıştır. Her bir örnek ev tipi parçalayıcı ile homojen hale getirildikten sonra analiz edilmek üzere -18°C’de muhafaza edilmiştir.

3.2. Merkez Sıcaklık Değerlerinin Ölçülmesi

Her bir örnek için pişme sonrası ulaştıkları iç sıcaklık değerleri civalı termometre ile kaydedilmiştir.

3.3. Toplam Lipit İçeriğinin Belirlenmesi

Çalışmada ısıtıl işlem sırasında lipit fraksiyonunda meydana gelen değişimlerin saptanması amaçlandığı için, homojen hale getirilen çiğ ve pişmiş et örneklerinin lipit fraksiyonları her bir örnek için üç kez olmak üzere Folch et. al. ekstraksiyon metodu’nda [56] öngörüldüğü şekilde klorform: metanol (2:1, v/v) karışımı kullanılarak ekstrakte edilmiştir.

Yaklaşık 5 g örnek 50 mL solvent karışımı kullanılarak 1dk süresince homojenize edilmiş ve süzgeç kâğıdından süzülerek ayırma hunisine aktarılmıştır. Toplam 50 mL solvent karışımı ile ikinci bir ekstraksiyon daha gerçekleştirilerek ayırma hunisine ilave edilmiştir. Filtrat üzerine 12 mL %1 NaCl çözeltisi eklenmiş, kuvvetli bir çalkalamadan sonra yaklaşık 20 dk süresince beklenmiştir. Alttaki organik faz alındıktan sonra 20 mL solvent karışımı kullanılarak ikinci ekstraksiyon gerçekleştirilmiş ve elde edilen ekstraktlar birleştirilmiştir. Susuz sodyum sülfat ile suyu giderildikten sonra Rotary evaporatör RE 100 (Bibby Sterilin Ltd., UK) kullanılarak 60°C’de organik çözücü uzaklaştırılmıştır. Ardından 60°C’deki etüvde bekletilerek kalan çözücünün uzaklaşması sağlanmış ve elde edilen lipit fraksiyonu desikatörde sabit tartıma getirilerek gravimetrik olarak toplam lipit miktarı belirlenmiştir. Elde edilen lipitler cam şişelere alınarak kodlanmış sonraki analizlerde kullanılmak üzere -18°C’de depolanmıştır.

3.4. Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Et rneklerinin nem içeriğı AOCS 950.46 nolu [57] metoda göre belirlenmiştir. Buna göre yaklaşık 3 g rnek 102±2°C’de ki etüvde sabit tartıma ulaşana dek bekletilmiş ve ağırlık kaybı nem miktarı olarak ölçülerek, yüzde nem miktarları hesaplanmıştır. Her bir örnek için iki paralelli çalışılmıştır.

3.5. Örneklerin Lipit Oksidasyon Düzeyinin llmesi

Örneklerin lipit fraksiyonlarının oksidasyon düzeyi belirlenirken, başlangıç ürünlerinin belirlenmesinde Konguje dien ve peroksit sayısı; İkincil oksidasyon ürünlerinin belirlenmesinde de TBA sayısı değeri ve Hegzanal analizleri uygulanmıştır.

3.5.1. Konjuge dien miktarının belirlenmesi

Konjuge dienoik asitlerin spektrofotometrik olarak belirlenmesinde AOCS 1a–64 metodunda [58] önerilen prosedür uygulanmıştır. Yaklaşık 25 mg örnek izooktanla çözülerek hacmi 25 mL’ye tamamlanmıştır. Örnekler için gerekli seyreltmeler yapılarak UV spektrofotometrede kuvarts kvetle 233 nm’de absorbansları llmřtir. Yüzde konjuge dienoik asit miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Her bir örnek için iki ölçüm yapılmıştır.

$$\% \text{ Konjuge dienoik asit} = 0.84 \left(\frac{A_s}{bc} - K_0 \right)$$

K_0 : Ester gruplar için absorbsiyon sabiti: 0.07

A_s : 233 nm’de okunan absorbans

b : küvet uzunluėu (cm)

c : Örneğin konsantrasyonu, en son seyreltmenin konsantrasyonu (g/L)

3.5.2. Peroksit sayısı (ferrik tiyosiyanat metodu)

Ferrik tiyosiyanat yöntemi ile peroksit sayısı, FIL-IDF 74A:1991 metodunda [59] önerilen prosedüre göre spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Metodun ilkesi, amonyum tiyosiyanatın (NH₄SCN) varlığında Fe II iyonlarının ortamdaki

hidroperoksitlerle oksidasyonu sonucunda oluşan Fe III iyonlarının spektrofotometrik olarak belirlenmesine dayanmaktadır.

Yaklaşık 20 mg Folch ekstraksiyonu ile elde edilen lipit örnekleri 3 mL kloroformda tamamen çözülmüş, buradan 0,25 mL başka bir deney tüpüne alınarak üzeri; %70 metanol ve %30 kloroform içerecek şekilde 4.9 mL'ye tamamlanmıştır. Daha sonra 50 µL %30'luk amonyum tiyosiyanat eklenerek karıştırılmış ve reaksiyon karışımına 50 µL %3,5'lik HCl'de hazırlanmış 20 mM ferrik klorit eklenerek reaksiyon başlatılmıştır (toplam hacim 5 mL'ye tamamlanmış olmaktadır). Her bir örnek 20 dk reaksiyonun gerçekleşmesi için bekletilerek oluşan rengin absorbansı 500 nm'de kör olarak çözücü solüsyonuna karşı okunmuştur. Peroksit sayısının ölçülmesi için kümene hidroperoksit kullanılarak kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Sonuçlar, milieşdeğer (meq) peroksit/kg yağ şeklinde ifade edilmiştir. Her bir ölçüm iki paralelli olarak yapılmıştır.

3.5.3. Tiyobarbütirik asit sayısı

İkincil oksidasyon ürünleri modifiye tiyobarbütirik asit-reactive substance (TBA Sayısı) yöntemiyle [60] belirlenmiştir. Buna göre yaklaşık 5 g et örneklerine 25 mL deiyonize su eklenmiş, 1 dk homojenize edildikten sonra 2 dk 2000 rpm hızla santrifüj edilmiştir. Whattman No:1 süzgeç kağıdından süzülen ekstraktlardan deney tüplerine 1 mL alınmıştır.

Standartlar için 100 µL TEP (1,1,3,3-tetraethoxypropane) önce 10 mL etanolde çözülmüş daha sonra deiyonize suyla 10.000 kat seyreltilmiştir. Hazırlanan bu stoktan 100, 200, 300, 400 ve 500 µL farklı tüplere alınıp her birinin hacmi 1 mL'ye tamamlanmıştır. Bu noktadan sonraki işlemler örneklerle ve standartlara aynı şekilde uygulanmıştır.

Bir mL örneğe ve standart çözeltilerine 2 mL tiyobarbütirik asit (TBA) çözeltisi (TBA çözeltisi için 7,5 g trikloroasetik asit (TCA), 187,5 mg TBA, 10,56 mL 1N HCl ve 32,35 mL su karıştırılır ve gerekliyse ısıtılır) eklenmiştir. Daha sonra tüpler 80°C'ye ayarlanan su banyosunda 60 dk bekletilmiş ve süre sonunda tüpler buzlu suda hızla soğutulularak reaksiyon sonlandırılmıştır. 2000 rpm de 5 dk santrifüj edilen tüplerden üstte kalan kısım alınarak 532 nm'de absorbansları ölçülmüştür.

3.5.4. Hegzanal belirlenmesi

Bu amaçla katı faz mikro ekstraksiyon tekniği (SPME) kullanılarak divinylbenzene/carboxen/poly(dimethylsiloxane) (DVB/CAR/ PDMS) 50/30 µm kaplı fibere adsorbe edilen aroma bileşenleri gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) tekniği ile saptanmıştır [61]. Yaklaşık 3 g et örneği 5 mL hacimli vidalı kapaklı aroma şişelerine tartılmıştır. Tepe boşluğuna daldırılan fiber 50°C’de 30 dakika bekletilmiş, süre sonunda fiber alınarak GC-MS sisteminin enjeksiyon bloğuna daldırılarak 220°C’de aroma bileşenlerinin desorpsiyonu sağlanmıştır. GC-MS sisteminde (Shimadzu GC-2010 gaz kromatografisi sistemi ve buna bağlı Shimadzu QP-2010 kütle spektrometresi sistemi) helyum taşıyıcı gaz olarak kullanılmış, uçucu bileşenlerin ayrımı DB-5 (5% phenyl-95% dimethylpolysiloxane) (30 m- 0.25 mm i.d., 1.0 µm film thickness) kolonunda gerçekleştirilmiştir. *n*-Alkanes (Sigma R-8769) serisi hidrokarbon standardı kullanılarak bileşenlerin retention index’leri (RI) belirlenmiştir. Bileşenlerin tanımlanmasında GC-MS sistemini komuta eden software’e yüklü bulunan Wiley ve Nist kütüphaneleri ve literatür RI değerleri kullanılmıştır.

3.6. Yağ Asidi Bileşiminin Belirlenmesi

Örneklerin lipit fraksiyonlarının yağ asidi bileşimleri gaz kromatografisi (GC) ile belirlenmiştir. GC ile bir maddenin kalitatif veya kantitatif olarak belirlenebilmesi için bileşenlerin uçucu formda olması taşıyıcı gazla kolondan taşınabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle örneklerin analiz öncesinde uçucu forma dönüştürülmesi için türevlendirilmesi gerekir. Yağ asitleri söz konusu olduğunda bu işleme metil esterlerinin oluşturulması denmektedir. Metil esterlerinin oluşturulmasıyla yağ asitleri düşük molekül ağırlıklı polar olmayan moleküllere dönüştürülmektedir.

3.6.1. Metil esterlerinin oluşturulması

Yağ asidi metil esterleri (FAMES) Huber et. al. [60]’nın uyguladığı yönteme göre hazırlanmıştır. Amber renkli cam viallere tartılan yaklaşık 20 mg lipit 2 mL hegza da çözülmüş, üzerine 2 N metanolde hazırlanmış KOH çözeltisinden 200 µL eklenmiştir. Vialler 30 sn vortekslenmiş ve 2000 rpm’de 5 dk süreyle santrifüjlenmiştir. Üst kısımdaki hegza fazı susuz sodyum sülfat içeren tüplere aktarılmış ve çözeltinin berrak kısmı analiz edilmek üzere şişelere alınmıştır.

3.6.2. GC ile yağ asidi bileşiminin belirlenmesi (%)

Türevlendirme işlemiyle uçucu forma dönüştürülerek elde edilen yağ asidi metil esterleri; Agilent 7890A GC sistemi, 7683B serisi otoenjektör ve alev iyonizasyonu dedektörü (FID) ile analiz edilmiştir. Kromatografik ayırım için HP-88 kapılar GC kolonu (100 m×0.25 mm, 0.20 µm film kalınlıklı; J&W Scientific, USA) kullanılmıştır. Her bir yağ asidinin alıkonma zamanının belirlenmesinde 37 FAME Mix (Supelco) kullanılmıştır. Taşıyıcı gaz olarak helyum (30 mL/dk) kullanılmıştır ve 1/50 split modu seçilmiştir. HP-88 kapılar GC kolonu için Agilent Teknolojileri [62] tarafından uygulanan analiz koşulları seçilmiştir. Fırın başlangıç sıcaklığı 120 °C'de 1 dk, 10 °C/dk artışla 175 °C ve bu sıcaklıkta 10 dk, 5 °C/dk artışla 210 °C ve bu sıcaklıkta 5 dk, 5 °C/dk artışla 230 °C ve bu sıcaklıkta 5 dk bekleyecek şekilde programlanmıştır. Enjektör ve dedektör sıcaklıkları sırasıyla; 250 °C ve 280 °C'dir.

3.6.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yağ asitlerinin metil esterlerinin tanımlanmasında Chemstation yazılımı kullanılmıştır. Piklerin tanımlanmasında 37 FAME mix bileşimindeki yağ asitlerinin alıkonma süreleri ile literatürde bulunan ve aynı koşullarda gerçekleştirilen analiz sonuçları göz önüne alınmıştır.

Yağ asitleri % oranları, tanımlanan her bir yağ asidi pik alanının toplam yağ asidi pik alanına oranının ifadesi şeklinde belirlenmiştir.

3.7. İstatistiksel Analiz

Araştırma sonuçları One-Way ANOVA (tek yönlü varyans analizi) ile incelenmiştir. Örneklerin ortalamalarının birbirinden farklı olup olmadıkları, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre belirlenmiştir. Sonuçlar ($P < 0,05$) önem seviyesinde değerlendirilmiştir. Farklı grupların istatistiksel olarak önem düzeyleri a,b,c...şeklinde indislerle gösterilmiştir. Tüm istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesinde SPSS paket programı (sürüm16.0) kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Örnek Formülasyonları ve Isıl İşlem

Çalışmada kullanılan örnekler et ve et yağları başlıca bileşen olmak üzere çeşitli tat/lezzet verici bileşenleri içermektedir. Farklı yerlerden temin edilen örneklerin formülasyonları ve pişirme esnasında merkez noktalarında erişilen merkez sıcaklık dereceleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Çizelgeden de görülebileceği gibi pişirme sıcaklıkları 55-80°C arasında değişmektedir.

Çizelge 4.1. Adana Kebap, köfte, tavuk döneri, et döneri örneklerinin formülasyonları ve son ulaştıkları merkez sıcaklık değerleri

Örnekler		Formulasyonları	Merkez Sıcaklık Aralıkları (°C)
Adana	A1	Koyun eti, kuyruk yağı, tuz.	75 - 80
	A2	Koyun eti, kuyruk yağı, tuz.	75 - 80
Kebap	A3	Koyun eti, kuyruk yağı, tuz.	80 - 85
	K1	Dana eti, tuz.	70 - 75
Köfte	K2	Dana eti, tuz.	75 - 80
	K3	Dana eti, bayat ekmek, sarımsak, iç yağı, tuz.	75 - 80
Tavuk Döneri	T1	Tavuk eti, tuz, soğan, domates, yoğurt, baharat.	60 - 65
	T2	Tavuk eti, tuz, salça, soğan suyu, süt, baharat.	60 - 65
	T3	Tavuk eti, tuz, salça, soğan suyu, yoğurt, baharat.	60 - 65
Et Döneri	E1	Dana eti, baharat, süt, soğan, tuz, domates.	55 - 60
	E2	Dana eti, baharat, süt, soğan, tuz, yoğurt.	55 - 60
	E3	Dana eti, baharat, süt, soğan, tuz, domates.	55 - 60

4.2. Nem Miktarı

Tüm örneklerin pişme öncesi ve sonrası nem değerlerindeki değişim Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Çizelge 4.2 de verildiği üzere örneklerin nem değerleri ısı işlem öncesinde en yüksek tavuk örneklerinden T2 kodlu örnekte (çiğ %68,24), en düşük ise Adana Kebap örnekleri arasından A1 kodlu örnekte (çiğ %50,78) hesaplanmıştır. Isıl işlem sonrasında örneklerin formülasyonlarındaki çeşitli etlerin yapısında bulunan suyun uzaklaşmasına bağlı olarak tüm örneklerde nem kaybı gerçekleşmiş hesaplanan bu değerler azalmıştır. Pişmiş ürünler arasında en yüksek neme köfte örnekleri arasından

K1 kodlu örnek (pişmiş %54,64) sahipken, en düşük neme et dönerleri arasında E2 kodlu örneğin (pişmiş %33,97) sahip olduğu hesaplanmıştır.

Adana Kebap örneklerinde ısı işlem etkisiyle nem miktarındaki değişimler incelendiği zaman yalnızca A2 kodlu örnekte pişirme işleminin nem kaybı üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi olduğu görülmektedir ($P > 0,05$). Formülasyonları aynı olan örneklerin nem kaybı üzerine etkili olan unsurlar değerlendirildiği zaman bu durum çeşitli kaynaklarda gıda örneğindeki ısı değişimin hızı ile ilişkilendirilmektedir [63, 64, 65].

Köfte örnekleri nem kaybı bakımından değerlendirildiğinde, K1 ve K2 kodlu örneklerde pişirme işlemi sonrasında değişim istatistiksel olarak önemliyken ($P > 0,05$), K3 kodlu örnekte ağırlık kaybı önemli düzeyde olmamıştır ($P < 0,05$). Formülasyonu incelendiği zaman bu örneğin diğer örneklerden farklı olarak yapısındaki suyun uzaklaşmasını önleyen çeşitli bileşenler içerdiği görülmektedir. Cheng ve Sun tarafından (2008) yayınlanan çalışmada [63] bu durum et ürünlerine katılan iyonik güçlerini ve pH değerlerini destekleyici (sodyum klorit, sodyum fosfat gibi) ya da jelasyon destekleyici (modifiye edilmiş nişastalar gibi) özelliğe sahip et harici bileşenlerin et ürünlerinin su tutma kapasitesini artırmalarıyla açıklanmaktadır.

Formülasyonları yönünden daha fazla çeşitlilik içeren et ve tavuk dönerleri örneklerinin her birinde gözlemlenen nem kaybı istatistiksel olarak önemlidir ($P > 0,05$). Bu örnekler ortak olarak bileşimlerinde süt ya da yoğurt ve tuz içermektedirler. Medy'nski ve ark tarafından [66] yapılan bir çalışmada sodyum klorit (tuz) ve laktik asidin etlere ısı işlem öncesi aynı anda uygulanmasının bu iki bileşenin ayrı uygulamalarına kıyasla ısı işlem sonrası nem kaybını artırdığı bildirilmektedir [63]. Bunun yanı sıra Adana Kebap ve Köfte üretimlerinde parçalanmış etler ve pişirme öncesi bileşenlerin homojen dağılımını sağlamak için mekanik bir yolla ya da elle yoğrulmaktadır. Sodyum klorür yani tuz uygulaması etlerde kas dokusunda bulunan ve kasılıp gevşemeyi sağlayan miyofibril denilen protein iplikçiklerinin şişerek su tutma kapasitesinin artmasına neden olur. Yoğurma işleminde sürtünmenin etkisiyle hücreler deforme edilerek şişmeyi kısıtlayan yapıların indirgenmesi ve böylece miyofibrillerin şişmesi sağlanır. Sonuç olarak tuz uygulamasıyla birlikte hücrelerin parçalanması su tutma kapasitesini geliştirir [63]. Nem kaybının Adana Kebap ve köfte örneklerine

kıyasla et ve tavuk dönerlerinde daha fazla ve önemli düzeyde olması bu durumlarla açıklanabilir.

Piştirme işleminin et ve et ürünlerinde piştirme kaybı olarak da tabir edilen sıvı ve çözünür haldeki maddelerin uzaklaşmasına dolayısıyla kütleli azalmalara neden olduğu bilinen bir gerçektir [63]. Bu işlem kimyasal birçok modifikasyonun yanı sıra, çoğunlukla nem kaybından kaynaklanan ağırlık azalmasına neden olur [18]. Ağırlık değişimini su kaybına göre nispeten daha az etkileyen diğer bir unsur da yağ kaybıdır [67].

Çizelge 4.2. Isıl işlem öncesi ve sonrasında örneklerin nem miktarları

Örnekler			Nem Miktarı (%)	
Adana Kebap	A1	Çiğ	50,78	± 1,01b
		Pişmiş	50,89	± 0,79b
	A2	Çiğ	52,41	± 2,10b
		Pişmiş	45,75	± 0,75a
	A3	Çiğ	53,11	± 0,17b
		Pişmiş	50,62	± 0,60b
Köfte	K1	Çiğ	58,19	± 0,15c
		Pişmiş	54,64	± 0,01b
	K2	Çiğ	57,35	± 1,70c
		Pişmiş	51,38	± 1,54a
	K3	Çiğ	54,54	± 0,14b
		Pişmiş	53,95	± 0,77b
Et Döneri	E2	Çiğ	63,77	±0, 49f
		Pişmiş	40,59	±0,88b
	E3	Çiğ	53,83	±0,47d
		Pişmiş	33,97	±0,51a
	E4	Çiğ	59,15	±0,17e
		Pişmiş	44,01	±0,95c
Tavuk Döneri	T3	Çiğ	53,04	±0,91b
		Pişmiş	49,08	±0,87a
	T4	Çiğ	68,24	±0,67c
		Pişmiş	48,86	±0,64a
	T5	Çiğ	67,58	±2,65c
		Pişmiş	52,74	±0,24b

Küçük harfler aynı sütunda her bir et örneği grubunda çiğ-pişmiş örnekler arasındaki farklılığı $P > 0,05$ düzeyinde göstermektedir.

Isıl uygulama et örneklerinde su kaybına neden olmaktadır. Su kaybı yüksek olasılıkla ısının neden olduğu protein denatürasyonu ile ilgilidir. Protein denatürasyonu

kapiler kuvvetle protein yapısına tutunan suyun azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca pişirme kaybı ısı uygulama sırasındaki kütle transferine bağlıdır ve ısı işlemin türüne göre değişiklik göstermektedir. Pişirme kaybını etkileyen çiğ et kalitesi, pişirme işlemi öncesi uygulamalar, pişirme tekniği, ısıtma hızı, pişirme sıcaklığı ve son merkez sıcaklığı gibi birçok faktör vardır [63].

4.3. Lipit Miktarları

Adana Kebap, et döneri, tavuk döneri ve köfte örneklerinden Folch ekstraksiyonu yöntemiyle 3 seferde elde edilen lipitlerin ortalama yüzde miktarları Çizelge 4.3. de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre örneklerin % lipit miktarları ısı işlem öncesinde en yüksek Adana Kebap örnekleri arasından A3 kodlu örnekte (çiğ %25,83), en düşük ise tavuk döneri örnekleri arasından T3 kodlu örnekte (çiğ %10,42) hesaplanmıştır. Isıl işlem sonrasında örneklerin temel bileşenini oluşturan çeşitli etlerin yapısında bulunan ve sonradan hayvansal yağ veya bitkisel yağ olarak formülasyonlarına eklenen yağın ısı işlemin değişen parametrelerine bağlı olarak tüm örneklerde lipit miktarlarında önemli değişimler saptanmıştır ($P > 0,05$). Pişmiş ürünler arasında en yüksek % lipit oranına Adana Kebap örnekleri arasından A2 kodlu örnek (pişmiş %27,27) sahipken, en düşük ise köfte örnekleri arasından K3 kodlu örneğin (pişmiş %13,35) sahip olduğu hesaplanmıştır.

İstatistiksel değerlendirmesi yapılan sonuçlarda Adana Kebap örneklerinde ısı işlem sonrasında ortalama lipit miktarlarında A1 ve A3 kodlu örnekleri için önemli bir azalma gözlemlenirken A2 örneği için durum tam tersidir, artış gözlemlenmiştir ($P > 0,05$). Bu durumu Çizelge 4.2’de verilen örneklerin yüzde nem oranlarının verildiği üzere ısı işlem sonrasında A2 örneğinin diğer Adana Kebap örneklerine kıyasla önemli ölçüde nem kaybetmesi sonucunda lipit miktarının nispi oranının değişmesiyle açıklamak mümkündür.

Isıl işlem etkisiyle nem kaybı, protein yağ ve kül miktarında göreceli artışa neden olan en önde gelen değişimdir. Bu sebeple ısı işlem sonrası yağ miktarlarında artış gözlemlenmesi, pişirme kaybının önemli kısmını oluşturan suyun yağ oranının nispi içeriğini modifiye etmesiyle açıklanmaktadır [64].

Köfte örneklerinin lipit miktarları değerlendirildiği zaman ısıtma işlem sonrası lipit miktarlarının azaldığı görülmektedir. Bu durumu ısı uygulamasıyla köfte örneklerinin yapısındaki suyun buharlaşması ve yağ kısmının da daha akıcı hale gelip damlayarak uzaklaşmasıyla açıklamak mümkündür.

Çizelge 4.3. Örneklerin Folch ekstraksiyonu ile belirlenen lipit miktarları

Örnekler			Lipit Miktarı (%)	
Adana Kebap	A1	Çiğ	25,05	± 0,90bc
		Pişmiş	22,88	± 2,00b
	A2	Çiğ	25,06	± 1,15bc
		Pişmiş	27,27	± 0,15c
	A3	Çiğ	25,83	± 1,72c
		Pişmiş	20,53	± 0,91a
Köfte	K1	Çiğ	16,72	± 1,70cd
		Pişmiş	15,67	± 0,32bc
	K2	Çiğ	17,57	± 1,03d
		Pişmiş	14,06	± 1,06ab
	K3	Çiğ	18,36	± 0,57d
		Pişmiş	13,35	± 0,66a
Et Döneri	E1	Çiğ	18,94	±0,05a
		Pişmiş	24,93	±1,47c
	E2	Çiğ	24,35	±0,83bc
		Pişmiş	32,53	±2,80d
	E3	Çiğ	23,34	±0,48bc
		Pişmiş	22,18	±0,50b
Tavuk Döneri	T1	Çiğ	25,47	±1,15c
		Pişmiş	15,45	±0,74b
	T2	Çiğ	11,58	±1,32a
		Pişmiş	14,66	±1,48b
	T3	Çiğ	10,42	±2,78a
		Pişmiş	14,47	±1,47b

Küçük harfler aynı sütunda her bir et örneği grubunda çiğ-pişmiş örnekler arasındaki farklılığı $P > 0,05$ düzeyinde göstermektedir.

Et ve tavuk dönerlerinin lipit oranları incelendiği zaman ısıtma işlem sonrasında T1 ve E3 kodlu örnekler dışındaki örneklerin lipit miktarlarının arttığı bu iki örneğin ise azaldığı görülmektedir. Örneklerde Çizelge 4.2’den anlaşıldığı üzere nem kaybının yüksek olmasının etkisiyle lipit oranlarında artış görülmektedir ve T1 ve E3 kodlu örneklerde kendi gruplarındaki diğer örneklerle kıyasla daha az nem kaybı meydana gelmiş ve lipit miktarında da gerçekleşen azalmanın oranını çok fazla etkilememiştir.

4.4. Yağ Asidi Bileşimi Sonuçları

Isıl işlem görmeden önce çiğ haldeyken ve ısıtıl işlem sonrasında pişmiş olarak Malatya'daki yerel restaurantlardan temin edilen Adana Kebap, köfte, et ve tavuk dönerinden Folch ekstraksiyonu ile elde edilen lipid fraksiyonlarından oluşturulan metil esterleri GC ile incelenmiş ve tanımlanan her bir pik alanının toplam pik alanına oranlanması ile belirlenen yağ asitlerinin % oranları Çizelge 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'de verilmiştir. Ayrıca her bir örneğin toplam doymuş, toplam doymamış ve toplam TYA içerikleri hesaplanarak Çizelge 4.8'de verilmiştir. Yağ asitlerinin ayrımında 100 m uzunluğunda HP-88 kapiler kolonu kullanılmıştır. Söz konusu kolonda yağ asitlerinin düzgün pikler halinde ayrıldığını gösteren oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. *Trans* C18:1 ve izomerlerinin ayrımı oldukça belirgin bir şekilde gerçekleştirilmekle beraber, *trans* yapıdaki çift bağın yağ asidi zinciri üzerindeki konumu farklı olan yağ asitlerinin tamamının vaksenik asit olarak kabul edilmiştir. Ayrıca *trans* 18:2 izomerlerinin standartlarının temin edilememesi nedeniyle *trans* 18:2 izomerlerinin tam olarak teşhisi gerçekleştirilememiş olup toplam *trans* 18:2 şeklinde ifade edilmiştir. *Trans* 18:2 izomerlerinin tam bir ayrım ve teşhisinin yapılması uyguladığımız yöntemden daha kompleks denemeleri gerektirmektedir. Elde edilen yağ asidi metil esterlerinin gümüş nitrat kaplanmış ince tabaka plakalarında kromatografik ayrımları ve tanımlamalarının yapılmasından sonra GC ile incelenmesi daha doğru bir yaklaşım olmasına karşın olanak eksiklikleri bu tarzda değerlendirme yapmamızı zorunlu kılmıştır. Benzer şekilde yine standart eksikliğinden dolayı C22:1 ve C20:3 yağ asitlerinin tam teşhisi gerçekleştirilememiş olup iki yağ asidinin toplamı şeklinde değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler yapılırken literatürde erişilebilen benzer koşullarda elde edilen kromatogramlarla mukayeseler yapılmak suretiyle tanımlamalar yapılmaya çalışılmıştır [31, 68- 70].

Elde edilen sonuçlara göre tüm örneklerin genel kompozisyonu değerlendirildiği zaman ayrımı ve tanımlaması yapılabilen yağ asidi sayısı 28 olarak saptanmıştır. Tanımlanan bu yağ asitlerinin 10 ile 22 arasında C atomuna sahip olan yağ asitleri olduğu görülmektedir. Kırmızı etlerden üretilen Adana Kebap, et döneri ve köfte örneklerinde sırasıyla; oleik (C_{18:1 cis}), palmitik (C_{16:0}), stearik (C_{18:0}) en fazla oranlarda bulunurken; tavuk dönerlerinde oleik (C_{18:1 cis}), linoleik (C_{18:2}) ve palmitik (C_{16:0}) asit majör yağ asitlerini oluşturmaktadır. Ayrıca tavuk örneklerinde; stearik (C_{18:0}),

palmitoleik ($C_{16:1}$ *cis*) ve linolenik ($C_{18:3}$ *cis*) asit, ruminant aktiviteye sahip hayvanların etlerinden yapılan diğer örneklerde de miristik ($C_{14:0}$), palmitoleik ($C_{16:1}$ *cis*), linoleik ($C_{18:2}$ *cis*), heptadekanoik ($C_{17:0}$) ve elaidik ($C_{18:1}$ *tr*) asit önemli miktarlarda bulunmaktadır. Bulunan bu değerler, Karabulut'un [40] pişmiş Adana Kebap, köfte, tavuk ve et dönerlerinde bulunduğu sonuçlarla ve Yılmaz et. al. [30] köfte için bulunduğu sonuçla uyum göstermektedir.

Adana Kebap, köfte, et döneri ve tavuk döneri örnekleri arasında Çizelge 4.8'de gösterildiği üzere doymuş yağ asidi bileşimi bakımından en yüksek toplam doymuş yağ asidi ortalaması; köfte örneklerinde (pişmiş %54,06 ve çiğ %54,23), sonra Adana Kebap örneklerinde (pişmiş %51,42 ve çiğ %52,90), sonra et döneri örneklerinde (pişmiş %48,81 ve çiğ %40,52) ve en düşük toplam doymuş yağ asidi bileşimi ise tavuk döneri örneklerinde (pişmiş %28,08 ve çiğ %26,48) saptanmıştır. Isıl işlem sonrasında Adana Kebap ve köfte örneklerinin doymuş yağ asidi oranlarında azalma; et ve tavuk döneri örneklerinin doymuş yağ asidi oranlarında ise artış tespit edilmiştir. Isıl işlem sonrası köfte ve tavuk döneri örneklerinin ortalama doymuş yağ asidi oranlarındaki bu değişim istatistiksel olarak önemli değilken ($P > 0,05$), Adana Kebap ve et döneri örneklerinde önemlidir ($P < 0,05$).

Ortalama toplam doymamış yağ asidi oranı bakımından örneklerin tümü değerlendirildiği zaman en yüksek doymamış yağ asidi oranının sırasıyla tavuk döneri (pişmiş %75,00 ve çiğ %73,70), et döneri (pişmiş %51,19 ve çiğ % 59,48), Adana Kebap (pişmiş %48,58 ve çiğ %47,10) örneklerinde ve en düşük doymamış yağ asidi oranı ise köfte örneklerinde (pişmiş %45,94 ve çiğ %45,77) saptanmıştır. Doymamış yağ asidi bileşimlerinin ortalamalarındaki değişimlerden farklı olarak ısıl işlem sonrasında Adana Kebap ve köfte örneklerinin doymamış yağ asidi oranlarında artış; et ve tavuk döneri örneklerinin doymuş yağ asidi oranlarında ise azalma tespit edilmiştir. Isıl işlem sonrası köfte ve tavuk döneri örneklerinin ortalama doymamış yağ asidi oranlarındaki değişim istatistiksel olarak önemli değilken ($P > 0,05$) Adana Kebap ve et döneri örneklerinde önemlidir ($P < 0,05$).

Çizelge 4.8'deki ortalama *trans* yağ asidi oranları değerlendirildiği zaman, tavuk döneri dışındaki et ürünlerinde ruminant aktivite farkından dolayı ortalama değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir (min %1,98; max %7,69). Ayı ayrı ele alınarak

değerlendirildiği zaman koyun etinden üretilen Adana Kebap örneklerinin TYA içerikleri %3,51-6,21 aralığında, sığır etinden üretilen köfte örneklerinin TYA içerikleri %1,98-2,85 aralığında, yine sığır etinden üretilen et döneri örneklerinin TYA içeriklerinin %2,59-7,69 aralığında değerlere sahip oldukları görülmektedir. tavuk döneri örneklerinde ise bu değer aralığı nispeten daha düşük olmakla birlikte % 0,38 ile %0,90 arasındaki değerlerde değişmektedir.

Et ürünlerinin lipit fraksiyonlarının yağ asidi bileşimi üretildikleri hayvanınkine benzer sonuçlar vermektedir. Buradan yola çıkarak sonuçlar 14 Avrupa ülkesinden çeşitli et ve süt ürünlerinin yağ asidi bileşimlerinin analiz edildiği çalışmadaki [71] sonuçlarla karşılaştırıldığında örneklerin TYA içeriğinin daha düşük olmakla birlikte paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Söz konusu çalışmada sığır etlerinin %2,8-9,5, koyun etlerinin %4,3-9,2 ve tavuk etlerinin ise %0,2-1,7 aralığındaki değerlerde TYA içeriğinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Adana Kebap örneklerinin yağ asidi bileşimleri detaylı bir şekilde incelendiği zaman doymuş yağ asitleri arasında en büyük orana sahip olan yağ asidinin palmitik asit ($C_{16:0}$) olduğu saptanmıştır. Koyun eti ve kuyruk yağı karışımından üretilen Adana Kebap örneklerinin palmitik asit içeriğinin en yüksek A3 kodlu örnekte (çiğ %26,74; pişmiş %26,39), en düşük ise A2 kodlu örnekte (çiğ %24,51; pişmiş %24,07) tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde palmitik asitten sonra Adana Kebap örneklerinde önemli bir orana sahip olan diğer bir doymuş yağ asidinin stearik asit ($C_{18:0}$) olduğu görülmektedir. Örnekler arasında en yüksek stearik asit oranına A3 kodlu örnek sahipken (çiğ %21,36; pişmiş %18,55), en düşük stearik asit oranı A2 kodlu örnekte (çiğ %15,30; pişmiş %15,29) saptanmıştır. Adana Kebap örneklerinde % yağ asidi oranları diğer doymuş yağ asitlerine kıyasla açık ara fazla olan palmitik ve stearik asit doymuş yağ asidi oranlarında ısıtma işlem sonrasında genel bir azalma tespit edilmekle birlikte, istatistiksel olarak A2 kodlu örneğin palmitik asit oranında ve A3 kodlu örneğin stearik asit oranında düşüş saptanmıştır.

Adana Kebap örnekleri doymamış yağ asitleri açısından ele alındığında yağ asidi % oranı olarak tüm yağ asitleri ve doymamış yağ asitleri arasında en yüksek orana sahip olan yağ asidi oleik asit ($C_{18:1c}$) olarak tespit edilmiştir. Örnekler arasında en yüksek oleik asit oranını A1 kodlu örnekte (pişmiş %37,16; çiğ %36,73), en düşük oleik asit

oranını ise A3 kodlu örnekte (pişmiş %36,04; çiğ% 33,69) saptanmıştır. Adana Kebap örneklerinde % yağ asidi oranları doymuş ve doymamış yağ asitlerinin tamamına kıyasla önemli düzeyde fazla olan oleik asit ($C_{18:1c}$) oranında ısıtıl işlem sonrasında genel bir artış tespit edilirken sadece A3 kodlu örnekteki bu değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P > 0,05$).

Isıl işlemin *trans* izomerizasyona etkisi incelendiğinde A1 ve A2 kodlu örneklerin TYA içeriklerinde bir değişim gözlemlenmezken ($P < 0,05$), A3 kodlu örnekte TYA içeriğinde azalma gözlemlenmiştir ($P > 0,05$). Bu örneklerin yağ asidi bileşimlerindeki yukarıda da belirtilen genel değişimlere bakıldığında A1 ve A2 kodlu örneklerde ısıtıl işlemin önemli bir etkisi görülmezken ($P < 0,05$), A3 kodlu örneğin lipid fraksiyonunun bileşiminde bulunan major yağ asitlerinin FAME'lerinde stearik asidin ($C_{18:0}$) yüzde oranının azalırken oleik ($C_{18:1c}$) asidin oranında artış gözlemlenmiştir ($P > 0,05$). Benzer değişimlerin gözlemlendiği çalışmalarda [64] bu durumun doymuş yağ asitlerinin büyük çoğunluğunun nötral lipidler arasında bulunmasından ve nötral lipidlerin migrasyona daha eğilimli olmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir. Çizelge 4.3'de lipid oranındaki azalmanın diğer örneklere kıyasla daha fazla olduğunun ve Çizelge 4.1'de de daha yüksek iç sıcaklık derecesine (80-85°C) eriştiğinin görüldüğü A3 kodlu örnekte major yağ asidi oranlarında gerçekleşen bu değişim TYA içeriğinin % oranını da etkilemiş *tr* oleik ($C_{18:1t}$) ve *tr* linoleik ($C_{18:2t}$) oranlarının azalmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.4. Çiğ ve pişmiş Adana Kebap örneklerinden ekstrakte edilen lipidlerin yağ asidi bileşimi

Yağ Asitleri	A1		A2		A 3	
	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş
C10:0	0,14 ± 0a	0,16 ± 0,01a	0,32 ± 0,04b	0,22 ± 0,03a	0,15 ± 0,05a	0,17 ± 0,02a
C12:0	0,11 ± 0a	0,11 ± 0a	0,32 ± 0d	0,27 ± 0,06cd	0,15 ± 0,03ab	0,20 ± 0,02bc
C13:0	0,03 ± 0a	0,03 ± 0a	0,09 ± 0c	0,07 ± 0,02bc	0,04 ± 0,01a	0,04 ± 0ab
C14:0	3,18 ± 0,02a	3,13 ± 0,03a	4,60 ± 0,17b	4,23 ± 0,76b	3,81 ± 0,44ab	4,10 ± 0,20ab
C14:1	0,22 ± 0b	0,20 ± 0ab	0,24 ± 0,01b	0,23 ± 0,05b	0,16 ± 0,02a	0,22 ± 0,01b
C15:0	0,84 ± 0,01a	0,84 ± 0,01a	1,43 ± 0,04b	1,40 ± 0,16b	0,90 ± 0,05a	0,99 ± 0,02a
C15:1	0,10 ± 0b	0,09 ± 0,02b	0,17 ± 0,02c	0,02 ± 0a	0,12 ± 0b	0,11 ± 0,01b
C16:0	25,65 ± 0,05bc	25,55 ± 0,07bc	24,51 ± 0,29ab	24,07 ± 1,33a	26,74 ± 0,32c	26,39 ± 0,07c
C16:1	1,90 ± 0,01b	1,86 ± 0b	2,08 ± 0c	2,08 ± 0,15c	1,52 ± 0,06a	1,92 ± 0bc
C17:0	2,29 ± 0,01c	2,30 ± 0c	2,62 ± 0d	2,69 ± 0e	2,06 ± 0,02a	2,18 ± 0,02b
C17:1	1,09 ± 0,01b	1,16 ± 0,01c	1,71 ± 0,01e	1,78 ± 0,03f	0,91 ± 0,02a	1,21 ± 0d
C18:0	21,23 ± 0,01c	20,52 ± 0,02c	15,30 ± 0,07a	15,29 ± 0,85a	21,36 ± 0,46c	18,55 ± 0,10b
C18:1 _{tr}	2,36 ± 0,02a	2,49 ± 0,02a	4,23 ± 0,10d	4,65 ± 0,13e	3,24 ± 0,01c	2,67 ± 0,03b
C18:1 _c	36,73 ± 0,02b	37,16 ± 0,10b	35,99 ± 0,25b	36,79 ± 1,40b	33,69 ± 0,49a	36,04 ± 0,11b
Σ C18:2 _{tr}	0,96 ± 0,02a	1,02 ± 0,02a	1,53 ± 0,03d	1,56 ± 0,06d	1,38 ± 0,04c	1,28 ± 0,06b
C18:2 _c (n6)	1,59 ± 0a	1,70 ± 0b	2,07 ± 0,03d	2,10 ± 0,07d	1,87 ± 0,05c	2,03 ± 0,03d
C18:3(n6)	0,02 ± 0a	0,02 ± 0a	0,09 ± 0c	0,06 ± 0,01b	0,03 ± 0a	0,04 ± 0a
C20:0	0,26 ± 0,01d	0,26 ± 0,01d	0,18 ± 0,01bc	0,17 ± 0,01b	0,19 ± 0c	0,15 ± 0a
C18:3(n3)	0,57 ± 0,02a	0,64 ± 0,01b	0,85 ± 0,02d	0,69 ± 0c	0,84 ± 0,01d	0,83 ± 0,03d
C20:1	0,51 ± 0a	0,51 ± 0a	1,34 ± 0,05c	1,28 ± 0,08c	0,55 ± 0,01ab	0,64 ± 0,04b
C21:0	0,08 ± 0,04a	0,06 ± 0,03a	0,05 ± 0a	0,05 ± 0a	0,09 ± 0,08a	0,06 ± 0a
C20:2	0,03 ± 0a	0,02 ± 0a	0,14 ± 0,01c	0,13 ± 0c	0,12 ± 0c	0,08 ± 0,03b
C20:3(n6)	0,08 ± 0b	0,08 ± 0b	0,05 ± 0a	0,06 ± 0,01a	0,05 ± 0,01a	0,05 ± 0a
C22:1+C20:3(n3)	0,07 ± 0b	0,08 ± 0b	0,10 ± 0c	0,11 ± 0c	0,04 ± 0a	0,07 ± 0b

Küçük harfler aynı satırda Adana Kebap örnekleri için çiğ-pişmiş örnekler arasındaki farklılığı $P > 0,05$ düzeyinde göstermektedir.

Köfte örneklerinin Çizelge 4.5'te verilen yağ asidi bileşimleri detaylı bir şekilde incelendiği zaman Adana Kebapla benzer sonuçlar içerdiği görülmektedir. Köfte örneklerinin yağ asidi bileşimlerinde doymuş yağ asitleri arasında en büyük orana sahip olan yağ asidinin palmitik asit ($C_{16:0}$) olduğu saptanmıştır. Temel bileşen olarak dana etinden üretilen köfte örneklerinin palmitik asit içerikleri en yüksek K1 kodlu örnekte (çiğ %31,77; pişmiş %31,50), en düşük ise K3 kodlu örnekte (çiğ %28,23; pişmiş %27,90) tespit edilmiştir. Köfte örneklerinde palmitik asitten sonra önemli bir orana sahip olan diğer bir doymuş yağ asidinin stearik asit ($C_{18:0}$) olduğu görülmektedir. Örnekler arasında en yüksek stearik asit oranına K3 kodlu örnek sahipken (çiğ %18,92; pişmiş %18,79), en düşük stearik asit oranı K2 kodlu örnekte (çiğ %18,36; pişmiş %18,21) saptanmıştır. Köfte örneklerinin baskın olarak sahip olduğu doymuş yağ asitleri olan palmitik ve stearik yağ asidi oranlarında K1 ve K3 kodlu örneklerde genel bir azalma görülürken K2 kodlu örnekte istatistiksel olarak önemli bulunan bir artış gerçekleşmiştir ($P > 0,05$).

Doymamış yağ asitleri açısından değerlendirilen köfte örneklerinde oleik asidin ($C_{18:1c}$) Adana Kebap örneklerinde de olduğu gibi tüm yağ asitleri ve doymamış yağ asitleri arasında % oranı olarak en fazla bulunan yağ asidi olduğu tespit edilmiştir. Örnekler arasında en yüksek oleik asit oranı K3 kodlu örnekte (pişmiş %37,49; çiğ %37,06), en düşük oleik asit oranı ise K1 kodlu örnekte (pişmiş %35,08; çiğ% 34,67) saptanmıştır. Köfte örneklerinde doymuş ve doymamış yağ asitleri arasında önemli düzeyde fazla orana sahip olan oleik asit miktarında ($C_{18:1c}$) ısıtma işlem sonrasında K1 ve K3 kodlu örneklerde genel bir artış tespit edilirken, K2 kodlu örnek için tam tersi bir durum gerçekleşmiştir. K1 ve K2 kodlu örnekler için bu değişimlerin istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P > 0,05$).

Köfte örneklerinin TYA içerikleri incelendiği zaman, *tr* oleik ($C_{18:1t}$) ve *tr* linoleik ($C_{18:2t}$) oranlarının ısıtma işlem sonrasında istatistiksel olarak önemli bir değişime uğramadığı tespit edilmiştir ($P < 0,05$).

Çizelge 4.5. Çiğ ve pişmiş köfte örneklerinden ekstrakte edilen lipidlerin yağ asidi bileşimi

Yağ Asitleri	K 1		K 2		K 3	
	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş
C10:0	0,07 ± 0,01a	0,07 ± 0,01a	0,09 ± 0,01a	0,09 ± 0,01a	0,08 ± 0a	0,08 ± 0,01a
C12:0	0,10 ± 0,01a	0,09 ± 0,01a	0,09 ± 0a	0,10 ± 0,01a	0,08 ± 0a	0,09 ± 0,01a
C14:0	3,65 ± 0a	3,42 ± 0,17a	3,63 ± 0,03a	3,41 ± 0,15a	3,48 ± 0,11a	3,38 ± 0,16a
C14:1	0,64 ± 0a	0,61 ± 0,03a	0,76 ± 0b	0,62 ± 0,03a	0,67 ± 0,02a	0,66 ± 0,03a
C15:0	0,47 ± 0,01b	0,46 ± 0,02b	0,42 ± 0a	0,46 ± 0,01b	0,51 ± 0,01c	0,48 ± 0,01b
C16:0	31,77 ± 0,16c	31,50 ± 0,54c	30,44 ± 0,13b	31,10 ± 0,35bc	28,23 ± 0,31a	27,90 ± 0,21a
C16:1	3,10 ± 0,01a	3,13 ± 0,08a	3,32 ± 0b	3,13 ± 0,05a	3,04 ± 0,04a	3,09 ± 0,03a
C17:0	1,06 ± 0c	1,05 ± 0c	1,01 ± 0a	1,04 ± 0b	1,06 ± 0c	1,04 ± 0,01b
C17:1	0,53 ± 0a	0,53 ± 0a	0,56 ± 0b	0,58 ± 0c	0,57 ± 0c	0,58 ± 0c
C18:0	18,73 ± 0ab	18,55 ± 0,36ab	18,21 ± 0,01a	18,36 ± 0,26ab	18,92 ± 0,22b	18,79 ± 0,20b
C18:1 _{tr}	1,63 ± 0,03b	1,62 ± 0,03b	1,50 ± 0,01a	1,56 ± 0,01a	2,23 ± 0,02c	2,22 ± 0,03c
C18:1 _c	34,67 ± 0,06a	35,08 ± 0,42ab	36,26 ± 0,07c	35,49 ± 0,33b	37,06 ± 0,3d	37,47 ± 0,26d
Σ C18:2 _{tr}	0,49 ± 0,02a	0,48 ± 0,03a	0,48 ± 0,02a	0,52 ± 0,01a	0,62 ± 0,01b	0,63 ± 0,02b
C18:2 _c (n6)	2,09 ± 0,02a	2,40 ± 0,01c	2,30 ± 0,01b	2,52 ± 0,02d	2,38 ± 0,01c	2,48 ± 0,02d
C18:3(n6)	0,03 ± 0,01b	0,03 ± 0,01b	0,00 ± 0a	0,01 ± 0,02ab	0,00 ± 0a	0,00 ± 0a
C20:0	0,16 ± 0a	0,15 ± 0,01a	0,17 ± 0,01a	0,16 ± 0,01a	0,17 ± 0a	0,17 ± 0,01a
C18:3(n3)	0,24 ± 0b	0,24 ± 0b	0,18 ± 0a	0,25 ± 0b	0,17 ± 0a	0,21 ± 0,05ab
C20:1	0,34 ± 0ab	0,33 ± 0,01ab	0,35 ± 0,01ab	0,22 ± 0,17a	0,51 ± 0b	0,49 ± 0,03b
C21:0	0,05 ± 0,02a	0,04 ± 0a	0,04 ± 0a	0,18 ± 0,21a	0,04 ± 0a	0,04 ± 0,01a
C20:2	0,06 ± 0,02a	0,06 ± 0a	0,04 ± 0a	0,05 ± 0,01a	0,05 ± 0,01a	0,05 ± 0a
C20:3(n6)	0,08 ± 0a	0,09 ± 0a	0,09 ± 0a	0,09 ± 0a	0,08 ± 0a	0,09 ± 0,01a
C22:1+C20:3(n3)	0,05 ± 0a	0,07 ± 0,01b	0,06 ± 0ab	0,08 ± 0c	0,05 ± 0a	0,08 ± 0,01c

Küçük harfler aynı satırda Köfte örnekleri için çiğ-pişmiş örnekler arasındaki farklılığı $P > 0,05$ düzeyinde göstermektedir.

Tavuk döneri örneklerinin yağ asidi bileşimleri incelendiği zaman (Çizelge 4.6) doymuş yağ asitleri arasında en büyük orana sahip olan yağ asidinin yine palmitik asit ($C_{16:0}$) olduğu saptanmıştır. Palmitik asit içeriği en yüksek T1 kodlu örnekte (pişmiş %20,25; çiğ %19,12), en düşük ise T2 kodlu örnekte (pişmiş %19,07; çiğ %19,34) tespit edilmiştir. Tavuk döneri örneklerinde önemli bir orana sahip olan diğer bir doymuş yağ asidinin stearik asit ($C_{18:0}$) olduğu görülmektedir. Örnekler arasında en yüksek stearik asit oranına T1 kodlu örnek sahipken (pişmiş %7,09; çiğ %6,02), en düşük stearik asit oranı T3 kodlu örnekte (çiğ %5,70; pişmiş %6,77) saptanmıştır. Tavuk döneri örneklerinde ısıtma işlem sonrasında palmitik asit oranı T1 kodlu örnek için önemli düzeyde artarken diğer örneklerde azalma görülmüştür ($P > 0,05$). Bütün örneklerde pişmiş örneklerin çiğ haldeki bileşimlerine kıyasla stearik asit oranlarında genel bir artış tespit edilmiştir ve istatistiksel olarak önemlidir ($P > 0,05$).

Tavuk döneri örnekleri doymamış yağ asitleri açısından ele alındığında yağ asidi % oranı olarak tüm yağ asitleri ve doymamış yağ asitleri arasında en yüksek orana sahip olan yağ asidinin oleik asit ($C_{18:1c}$) olduğu tespit edilmiştir. Örnekler arasında en yüksek oleik asit oranı T2 kodlu örnekte (çiğ %38,10; pişmiş %33,11), en düşük oleik asit oranı ise T3 kodlu örnekte (pişmiş %30,49; çiğ %31,46) saptanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde tavuk döneri örneklerinde oleik asitte ($C_{18:1c}$) yaklaşık değerlerde ki diğer bir doymamış yağ asidinin linoleik asit ($C_{18:2c}$) olduğu görülmektedir. Örnekler arasında en yüksek linoleik asit oranına T1 kodlu örnek sahipken (çiğ %35,44; pişmiş %31,09), en düşük linoleik asit oranı T2 kodlu örnekte (çiğ %27, 03; pişmiş %31,58) saptanmıştır. Tavuk döneri örneklerinin yağ asidi birleşimi Adana Kebap, köfte ve et döneri gibi ruminant hayvanlardan üretilenlerden farklılık göstermektedir. Diğer ürünlere kıyasla tavuk döneri örneklerinin çoklu doymamış yapıda olan α -linolenik ($C_{18:3c-\omega3}$) asit oranı fazladır. α -linolenik asit oranı tavuk döneri örneklerinde en çok T1 kodlu örnekte bulunurken (çiğ %3,55; pişmiş %2,89), en az T2 kodlu örnekte (çiğ %1,68; pişmiş %2,33) saptanmıştır. Isıtma işlem sonrasında T1 kodlu örneğin oleik asit oranında artış gözlemlenirken, linoleik ve α -linolenik gibi çoklu doymamış yağ asitleri oranlarında azalma meydana gelmiştir ($P > 0,05$). T2 kodlu örnek incelendiği zaman T1 kodlu örneğin aksine oleik asit oranında azalma gözlemlenirken, linoleik ve α -linolenik gibi çoklu doymamış yağ asitleri oranları artmıştır ($P > 0,05$). T3 kodlu örnekte ise

oleik asit oranında azalma ($P > 0,05$) görülürken linoleik ve linolenik asit oranlarında değişim gözlemlenmemiştir ($P < 0,05$).

Tavuk dönerleri ısıtma işlemiyle TYA oranlarında meydana gelen değişimler bakımından ele alındığında, T1 ve T3 kodlu örneklerinin TYA içeriğinin de *tr* oleik ($C_{18:1t}$) ve *tr* linoleik ($C_{18:2t}$) oranlarının arttığı ($P > 0,05$), T2 kodlu örnekte ise önemli bir değişim olmadığı tespit edilmiştir ($P < 0,05$). Ruminant aktivite göstermeyen ve biyohidrojenasyon sonucu oluşan *tr* vaksenik asit ($C_{18:1t11}$) içeriği diğer *tr* oleik asit izomerleri gibi düşük olan tavuklardan elde edilen bu ürünlerin, TYA'larındaki değişimlere bakıldığında yüksek sıcaklıklarda ısıtma işlem uygulamasının TYA içeriğini artırdığı daha net görülmektedir.

Çizelge 4.6. Çiğ ve pişmiş tavuk döneri örneklerinden ekstrakte edilen lipidlerin yağ asidi bileşimi

Yağ Asitleri	T 1		T 2		T 3	
	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş
C10:0	0,02 ± 0,01a	0,09 ± 0,01b	0,01 ± 0a	0,02 ± 0,01a	0,01 ± 0,00a	0,04 ± 0,00a
C12:0	0,04 ± 0a	0,10 ± 0a	0,19 ± 0,01ab	0,25 ± 0,15b	0,03 ± 0,00a	0,05 ± 0,00a
C14:0	0,46 ± 0,02a	0,92 ± 0,04e	0,64 ± 0,02c	0,64 ± 0,04c	0,54 ± 0,01b	0,80 ± 0,02d
C14:1	0,07 ± 0a	0,12 ± 0c	0,14 ± 0,01d	0,09 ± 0b	0,12 ± 0,00c	0,14 ± 0,00d
C15:0	0,10 ± 0ab	0,22 ± 0d	0,11 ± 0,00b	0,11 ± 0b	0,10 ± 0,00a	0,16 ± 0,01c
C16:0	19,12 ± 0,65a	20,25 ± 0,25c	19,34 ± 0,31ab	19,07 ± 0,19a	20,13 ± 0,02bc	19,54 ± 0,24abc
C16:1	2,46 ± 0,08a	2,65 ± 0,03b	3,98 ± 0,08e	2,48 ± 0,03a	3,61 ± 0,04d	2,96 ± 0,03c
C17:0	0,18 ± 0,01b	0,40 ± 0e	0,20 ± 0,00c	0,21 ± 0,01c	0,16 ± 0,01a	0,29 ± 0,01d
C18:0	6,02 ± 0,06a	7,09 ± 0,04b	5,91 ± 0,06a	6,76 ± 0,03b	5,70 ± 0,46a	6,77 ± 0,20b
C18:1 _{tr}	0,27 ± 0,03a	0,66 ± 0,02d	0,60 ± 0,01c	0,57 ± 0,04c	0,26 ± 0,01a	0,45 ± 0,00b
C18:1 _c	30,53 ± 0,25a	31,25 ± 0,14b	38,11 ± 0,24d	33,10 ± 0,19c	31,46 ± 0,23b	30,49 ± 0,25a
Σ C18:2 _{tr}	0,11 0,00a	0,24 0,00d	0,21 0,01c	0,21 0,00c	0,13 0,01a	0,18 0,01b
C18:2 _c (n6)	35,44 ± 0,35d	31,09 ± 0,14b	27,03 ± 0,10a	31,58 ± 0,2b	32,32 ± 0,22c	32,32 ± 0,21c
C18:3(n6)	0,19 ± 0a	0,18 ± 0a	0,22 ± 0,00b	0,24 ± 0d	0,23 ± 0,00c	0,22 ± 0,00b
C20:0	0,11 ± 0bc	0,11 ± 0c	0,10 ± 0,00b	0,11 ± 0c	0,09 ± 0,00a	0,10 ± 0,00b
C18:3(n3)	3,55 ± 0,08e	2,89 ± 0,01c	1,68 ± 0,00a	2,33 ± 0,03b	3,00 ± 0,03d	3,00 ± 0,00d
C20:1	0,25 ± 0,01a	0,32 ± 0,01d	0,31 ± 0,00cd	0,32 ± 0d	0,28 ± 0,00b	0,30 ± 0,00c
C21:0	0,02 ± 0ab	0,04 ± 0a	0,05 ± 0,00b	0,05 ± 0b	0,06 ± 0,01c	0,06 ± 0,01b
C20:2	0,26 ± 0,01b	0,27 ± 0,02bc	0,18 ± 0,00a	0,30 ± 0c	0,30 ± 0,01c	0,33 ± 0,00d
C20:3(n6)	0,20 ± 0,01ab	0,23 ± 0,01b	0,20 ± 0,00a	0,27 ± 0c	0,29 ± 0,03c	0,28 ± 0,01c
C20:3 n3	0,03 ± 0c	0,03 ± 0c	0,01 ± 0,00a	0,02 ± 0b	0,03 ± 0,00c	0,03 ± 0,00c
C22:1	0,47 ± 0,03a	0,70 ± 0,01b	0,70 ± 0,01b	1,06 ± 0d	0,92 ± 0,01c	1,21 ± 0,01e
C20:5(n3)	0,06 ± 0,01ab	0,08 ± 0,04b	0,03 ± 0,00a	0,07 ± 0ab	0,09 ± 0,00b	0,09 ± 0,00b
C22:6(n3)	0,04 ± 0a	0,08 ± 0,02ab	0,05 ± 0,01a	0,13 ± 0bc	0,15 ± 0,04c	0,19 ± 0,04c

Küçük harfler aynı satırda tavuk döneri örnekleri için çiğ-pişmiş örnekler arasındaki farklılığı $P > 0,05$ düzeyinde göstermektedir.

Et döneri örneklerinin yağ asidi bileşimleri incelendiği zaman (Çizelge 4.7) doymuş yağ asitleri arasında en büyük orana sahip olan yağ asidinin palmitik asit ($C_{16:0}$) olduğu saptanmıştır. Palmitik asit içeriği en yüksek E2 kodlu örnekte (pişmiş %25,59; çiğ %23,03), en düşük ise E3 kodlu örnekte (pişmiş %24,09; çiğ %20,17) tespit edilmiştir. Et döneri örneklerinde önemli bir orana sahip olan diğer bir doymuş yağ asidinin stearik asit ($C_{18:0}$) olduğu görülmektedir. Örnekler arasında en yüksek stearik asit oranına E1 kodlu örnek sahipken (pişmiş %20,45; çiğ %11,46), en düşük stearik asit oranı E3 kodlu örnekte (pişmiş %9,93; çiğ %14,38) saptanmıştır. Et Döneri örneklerinde ısıtıl işlem sonrasında palmitik ve stearik asit oranlarında bütün örneklerde önemli düzeyde artış gözlemlenmiştir ($P > 0,05$).

Et döneri örneklerinde de diğer et ürünlerindeki gibi majör yağ asidi oleik asit ($C_{18:1c}$) olarak tespit edilmiştir. Örnekler arasında en yüksek oleik asit oranını E3 kodlu örnekte (çiğ % 45,66; pişmiş % 42,56), en düşük oleik asit oranını ise E1 kodlu örnekte (pişmiş % 38,79; çiğ % 41,54) saptanmıştır. Et döneri örneklerinde yağ asidi oranları doymuş ve doymamış yağ asitlerinin tamamına kıyasla önemli düzeyde fazla olan oleik asit ($C_{18:1c}$) oranında ısıtıl işlem sonrasında genel bir azalma tespit edilirken bu değişimin bütün örnekler için istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P > 0,05$).

Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere ısıtıl işlem sonrasında Et döneri örneklerinin yapısından çoğunlukla suyun uzaklaşmasının etkisiyle doymuş yağ asidi oranlarında tüm örneklerde azalma yerine artış gözlemlenmiştir. Bu örneklerde doymuş yağ asidi oranlarının bu şekilde değişimine etki eden asıl unsuru Çizelge 4.8’de görüldüğü üzere doymamış yağ asidi oranlarındaki azalmanın doymuş yağ asidi oranlarını modifiye etmesiyle açıklamak mümkündür. Doymamış yağ asidi oranlarındaki bu azalma köz ateşte pişirilen Adana Kebap ve köfte örneklerinin aksine doğrudan gaz alevine maruz kalan dönerlerin doymamış yağ asitlerinin daha hızlı oksidasyona uğrayarak ikincil oksidasyon ürünlerine dönüşmesiyle açıklanabilir.

Isıl işlemin *trans* izomerizasyona etkisi incelendiğinde et döneri örneklerinin tümünde TYA içeriklerinde (*tr* oleik ($C_{18:1}$) ve *tr* linoleik ($C_{18:2t}$) yağ asidi oranlarında) azalma gözlemlenmiştir ($P > 0,05$). Çok yüksek sıcaklıklarda doğrudan gaz aleviyle pişirilen ve TYA içeriğinin çoğunluğunu KLA izomerlerinin oluşturduğu bilinen et döneri örneklerinde TYA içeriğinde azalma meydana gelmiştir. Bu durum Precht et al.

tarafından yapılan çalışmada yüksek sıcaklık uygulamalarının KLA miktarında azalmalara neden olmasıyla gösterilmiştir [11].

Çizelge 4.7. Çiğ ve pişmiş et döneri örneklerinden ekstrakte edilen lipidlerin yağ asidi bileşimi

Yağ Asitleri	E 1		E 2		E 3	
	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş	Çiğ	Pişmiş
C10:0	0,14 ± 0d	0,06 ± 0a	0,11 ± 0c	0,06 ± 0a	0,08 ± 0b	0,06 ± 0a
C12:0	0,19 ± 0d	0,08 ± 0a	0,15 ± 0c	0,09 ± 0a	0,11 ± 0b	0,09 ± 0a
C13:0	0,06 ± 0c	0,02 ± 0a	0,05 ± 0b	0,02 ± 0a	0,11 ± 0,01d	0,04 ± 0b
C14:0	3,48 ± 0,01c	2,58 ± 0,04a	3,03 ± 0,02b	3,07 ± 0b	2,61 ± 0,04a	3,01 ± 0,05b
C14:1	0,26 ± 0b	0,37 ± 0c	0,18 ± 0a	0,38 ± 0c	0,27 ± 0b	0,71 ± 0,01d
C15:0	1,09 ± 0e	0,63 ± 0,01b	0,97 ± 0c	0,56 ± 0a	2,01 ± 0,01f	1,04 ± 0,01d
C15:1	0,02 ± 0a	0,03 ± 0,01a	0,18 ± 0,04c	0,06 ± 0ab	0,26 ± 0,01d	0,10 ± 0,02b
C16:0	20,62 ± 0,04b	25,45 ± 0,24e	23,03 ± 0,13c	25,59 ± 0,11e	20,17 ± 0,13a	24,09 ± 0,11d
C16:1	2,04 ± 0,01b	2,08 ± 0,01c	1,93 ± 0,01a	2,29 ± 0,01d	2,31 ± 0,02d	3,00 ± 0,02e
C17:0	2,27 ± 0,01d	1,51 ± 0,01b	2,40 ± 0e	1,45 ± 0,01a	3,81 ± 0f	2,02 ± 0c
C17:1	1,59 ± 0c	0,72 ± 0a	1,75 ± 0,01e	0,88 ± 0b	3,41 ± 0,01f	1,65 ± 0d
C18:0	11,46 ± 0,02b	20,45 ± 0,09f	13,23 ± 0,06c	19,39 ± 0,06e	9,93 ± 0,04a	14,38 ± 0,06d
C18:1 _{tr}	5,41 ± 0f	2,58 ± 0,01c	2,68 ± 0,05d	1,85 ± 0,02a	3,30 ± 0,02e	2,37 ± 0b
C18:1 _c	41,54 ± 0,06c	38,79 ± 0,12a	44,52 ± 0,11e	39,64 ± 0,04b	45,66 ± 0,16f	42,56 ± 0,15d
Σ C18:2 _{tr}	2,28 ± 0,02f	0,90 ± 0,01c	1,21 ± 0,02d	0,74 ± 0,01a	1,28 ± 0,02e	0,84 ± 0,01b
C18:2 _c (n6)	2,53 ± 0,02f	2,21 ± 0,09b	2,41 ± 0,02d	2,46 ± 0e	2,14 ± 0,01a	2,29 ± 0c
C18:3(n6)	0,02 ± 0a	0,02 ± 0a	0,02 ± 0a	0,01 ± 0a	0,06 ± 0,02b	0,02 ± 0,01a
C20:0	0,13 ± 0b	0,23 ± 0,01e	0,10 ± 0a	0,19 ± 0d	0,12 ± 0,01ab	0,16 ± 0c
C18:3(n3)	1,19 ± 0,01e	0,38 ± 0,01b	0,61 ± 0,02d	0,33 ± 0,02a	0,46 ± 0c	0,35 ± 0ab
C20:1	3,09 ± 0e	0,66 ± 0a	1,11 ± 0,01c	0,65 ± 0,01a	1,57 ± 0d	0,91 ± 0,01b
C21:0	0,06 ± 0,01d	0,05 ± 0c	0,03 ± 0ab	0,02 ± 0a	0,03 ± 0ab	0,04 ± 0b
C20:2	0,22 ± 0d	0,08 ± 0,01b	0,10 ± 0,01c	0,05 ± 0a	0,11 ± 0c	0,07 ± 0,01b
C20:3(n6)	0,06 ± 0c	0,07 ± 0cd	0,05 ± 0b	0,08 ± 0e	0,04 ± 0a	0,07 ± 0d
C20:3(n3)	0,03 ± 0ab	0,01 ± 0a	0,13 ± 0,03c	0,10 ± 0bc	0,08 ± 0abc	0,06 ± 0,06abc
C22:1	0,15 ± 0,01b	0,03 ± 0,02a	0,00 ± 0a	0,00 ± 0a	0,00 ± 0a	0,09 ± 0a
C20:4 n6	0,01 ± 0ab	0,02 ± 0ab	0,02 ± 0a	0,02 ± 0ab	0,05 ± 0c	0,03 ± 0b
C 20:5 n3	0,07 ± 0c	0,01 ± 0,01a	0,03 ± 0b	0,01 ± 0a	0,02 ± 0a	0,02 ± 0,01a

Küçük harfler aynı satırda Et Döneri örnekleri için çiğ-pişmiş örnekler arasındaki farklılığı $P > 0,05$ düzeyinde göstermektedir.

Çizelge 4.8. İncelenen örneklerinin toplam doymuş, doymamış ve TYA oranları

Örnekler			Toplam doymuş yağ asitleri	Yağ Asitleri (%) Toplam doymamış yağ asitleri	Toplam <i>trans</i> yağ asidi
Adana Kebap	A1	Çiğ	53,79 ±0,01b	46,21 ±0,01b	3,32 ±0,00a
		Pişmiş	52,98 ±0,09b	47,03 ±0,09b	3,51 ±0,00a
	A2	Çiğ	49,42 ±0,39a	50,58 ±0,38c	5,76 ±0,13d
		Pişmiş	48,45 ±1,51a	51,54 ±1,51c	6,21 ±0,18e
	A3	Çiğ	55,48 ±0,51c	44,52 ±0,51a	4,62 ±0,05c
		Pişmiş	52,82 ±0,21b	47,18 ±0,21b	3,95 ±0,04b
	Ortalama	Çiğ	52,90 ±3,13CD	47,10 ±3,13AB	4,56 ±1,22C
		Pişmiş	51,42 ±2,57C	48,58 ±2,57B	4,55 ±1,45C
Köfte	K1	Çiğ	56,05 ±0,12d	43,96 ±0,12a	2,12 ±0,01b
		Pişmiş	55,33 ±0,37c	44,67 ±0,37b	2,10 ±0,06b
	K2	Çiğ	54,10 ±0,09b	45,90 ±0,09c	1,98 ±0,01a
		Pişmiş	54,90 ±0,47c	45,10 ±0,47b	2,07 ±0,02b
	K3	Çiğ	52,56 ±0,23a	47,44 ±0,23d	2,85 ±0,01c
		Pişmiş	51,96 ±0,19a	48,04 ±0,19d	2,85 ±0,04c
	Ortalama	Çiğ	54,23 ±1,75D	45,77 ±1,75A	2,32 ±0,47B
		Pişmiş	54,06 ±1,83D	45,94 ±1,83A	2,34 ±0,44B
Et döneri	E1	Çiğ	39,50 ±0,03b	60,50 ±0,03e	7,69 ±0,02f
		Pişmiş	51,05 ±0,20f	48,95 ±0,20a	3,49 ±0,00c
	E2	Çiğ	43,09 ±0,09c	56,91 ±0,09d	3,89 ±0,02d
		Pişmiş	50,45 ±0,04e	49,55 ±0,04b	2,59 ±0,02a
	E3	Çiğ	38,98 ±0,15a	61,02 ±0,15f	4,58 ±0,00e
		Pişmiş	44,93 ±0,12d	55,07 ±0,12c	3,21 ±0,01b
	Ortalama	Çiğ	40,52 ±2,24C	59,48 ±2,24D	5,39 ±2,02C
		Pişmiş	48,81 ±3,37B	51,19 ±3,37C	3,10 ±0,46B
Tavuk Döneri	T1	Çiğ	26,07 ±0,62a	75,41 ±0,70c	0,38 ±0,03a
		Pişmiş	29,21 ±0,25d	72,41 ±0,34a	0,90 ±0,03d
	T2	Çiğ	26,55 ±0,28ab	74,61 ±0,28bc	0,81 ±0,02c
		Pişmiş	27,23 ±0,34bc	74,56 ±0,35bc	0,78 ±0,05c
	T3	Çiğ	26,83 ±0,49abc	75,00 ±0,59bc	0,38 ±0,03a
		Pişmiş	27,81 ±0,50c	74,12 ±0,51b	0,62 ±0,01b
	Ortalama	Çiğ	26,48 ±0,38A	75,00 ±0,22E	0,52 ±0,00A
		Pişmiş	28,08 ±1,02A	73,70 ±0,09E	0,77 ±0,02A

Küçük harfler aynı sütunda çiğ-pişmiş her bir et örneği için $P > 0,05$ düzeyinde farklılığı, büyük harfler ise aynı sütunda çiğ- pişmiş örneklerin ortalama değerleri arasındaki farklılığı $P > 0,05$ düzeyinde göstermektedir.

4.5. Oksidatif Bozulma Test Sonuçları

Et ve et ürünlerinde bozulmanın temel nedeni oksidatif acılaşmadır. Et lipitlerinin oksidatif bozulması doymamış yağ asitlerinin, özellikle de çoklu doymamış yağ asitlerinin oksidasyonunu içerir [17]. Et ürünlerinin lipit fraksiyonlarının oksidasyonu üzerine pişirme işleminin etkisi oksidasyon parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Örneklerin pişirme işlemiyle oksidatif durumu hakkında değerlendirme yapabilmek için konjuge dien ve peroksit sayısı belirlenmiş ve peroksitlerin parçalanmasıyla oluşan ikincil oksidasyon ürünlerinden olan aldehitlerin konsantrasyonu TBA sayısı ve yine ikincil oksidasyon ürünü olan hegzanal miktarı SPME-GC-MS tekniği ile belirlenmiştir.

4.5.1. Konjuge dien

Metilen grubu içeren çoklu doymamış yağ asitlerinde hidroperoksitlerin oluşum aşamalarında izomerizasyon meydana gelerek çift bağların yeri değişmekte ve sonuçta pentadien yapıdan konjuge yapıya dönüşüm gerçekleşmektedir. Oluşan bu konjuge yapının 232-234 nm dalga boylarında UV ışınları absorbe ettiği bilinmektedir [65].

Çizelge 4.9.'da verilen % Konjuge dien sonuçları incelendiğinde Adana Kebap ve köfte örneklerinin tamamında, ısıtma işlemi etkisiyle istatistiksel olarak önemli seviyede olduğu tespit edilen artışlar söz konusudur ($P < 0,05$). Et ve tavuk döneri örneklerinde ise ısıtma işlemi sonrasında et dönerleri arasında E1 ve E3 kodlu örnekte, tavuk dönerlerinden de T2 kodlu örnekte % konjuge dien miktarlarında istatistiksel olarak önemli bulunan azalma meydana gelirken diğer örneklerde artış gözlemlenmiştir ($P < 0,05$). Isıtma işlemi öncesi oksidasyon durumları incelendiğinde örnekler arasında konjuge dien miktarı en fazla E 1 kodlu örnekte (çiğ %1,80; pişmiş %0,81) ve en az da E2 kodlu örnekte (çiğ%0,54; pişmiş %0,99) tespit edilmiştir. Konjuge dien sonuçları otooksidasyonun indikatörü niteliğindedir ve oksidasyonun ilk aşamalarında doymamış yağ asitlerinin oksijenle reaksiyon sonucu peroksitlerin oluşumuyla birlikte artış göstermektedir [72]. Isıtma işlemi sonrasında sıcaklık etkisiyle oksidasyonda artış görülmesi dolayısıyla konjuge dien miktarının artması beklenen bir durumdur. Aksi durumun gözlemlendiği üç örnekte bu konjuge forma dönüşen peroksitlerin ikincil oksidasyon ürünlerine dönüşmesi sonucu miktarlarının azalmasıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir [65].

Çizelge 4.9. İncelenen Örneklerin Konjuge dien, Peroksit ve TBA sayısı değerleri

Örnekler			Konjuge dien (%)	Peroksit (meq peroksit/kg yağ)	TBA sayısı (mg MDA/ kg yağ)
Adana Kebap	A1	Çiğ	0,60 ± 0,00a	4,33 ± 0,09b	14,88 ±0,06b
		Pişmiş	0,72 ± 0,04b	4,25 ± 0,05b	14,55 ±0,67b
	A2	Çiğ	0,74 ± 0,01b	4,56 ± 0,07c	13,58 ±0,35ab
		Pişmiş	0,83 ± 0,02c	0,52 ± 0,03a	13,37 ±1,15ab
	A3	Çiğ	0,84 ± 0,01c	6,60 ± 0,08d	17,93 ±0,81d
		Pişmiş	0,99 ± 0,03d	6,53 ± 0,05d	12,43 ±0,68a
Köfte	K1	Çiğ	0,60 ± 0,02b	10,12 ± 0,29bc	11,94 ±0,56b
		Pişmiş	0,73 ± 0,02d	11,83 ± 1,70cd	10,02 ±0,52b
	K2	Çiğ	0,55 ± 0,00a	8,72 ± 0,09ab	10,80 ±1,64b
		Pişmiş	0,79 ± 0,00d	13,15 ± 0,04d	10,83 ±0,00b
	K3	Çiğ	0,57 ± 0,02ab	7,26 ± 0,52a	5,21 ±0,83a
		Pişmiş	0,66 ± 0,02c	10,89 ± 0,31c	3,51 ±0,16a
Et Döneri	E1	Çiğ	1,80 ±0,04f	1,22 ±0,03a	3,98 ±0,05c
		Pişmiş	0,81 ±0,02c	9,46 ±0,16f	5,45 ±0,30d
	E2	Çiğ	0,54 ±0,02a	2,30 ±0,00b	1,55 ±0,37a
		Pişmiş	0,99 ±0,03d	3,35 ±0,05c	7,22 ±0,18e
	E3	Çiğ	1,12 ±0,02e	3,92 ±0,04d	0,76 ±0,22a
		Pişmiş	0,71 ±0,00b	4,18 ±0,12e	2,57 ±0,60b
Tavuk Döneri	T1	Çiğ	0,88 ±0,01b	26,77 ±1,71cd	3,24 ±0,28a
		Pişmiş	0,96 ±0,01d	27,13 ±0,14d	2,50 ±0,20a
	T2	Çiğ	1,02 ±0,01f	23,79 ±2,10c	2,63 ±0,12a
		Pişmiş	0,43 ±0,01a	0,59 ±0,35a	2,16 ±0,29a
	T3	Çiğ	0,94 ±0,03c	25,53 ±0,95cd	2,21 ±0,31a
		Pişmiş	1,00 ±0,00e	17,04 ±0,54b	2,76 ±1,04a

Küçük harfler aynı sütunda her bir et örneği grubunda çiğ-pişmiş örnekler arasındaki farklılığı $P > 0,05$ düzeyinde göstermektedir.

4.5.2. Peroksit sayısı

Peroksit sayısı yağların oksidatif bozulma düzeylerini ölçmede kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Oksidasyonun birincil ürünleri olan peroksit sayısı deneyiyle ölçülen hidroperoksitler, oksidasyonun ilerleyen aşamalarında uçucu ve uçucu olmayan ürünler karışımını oluşturan bileşenlere parçalandığından peroksit sayısı ölçümü ikincil oksidasyon ürünlerinin ölçüm sonuçlarıyla birlikte değerlendirilir. Yüksek peroksit sayısı sonuçları hidroperoksit oluşumunun artışı gösterebileceği gibi ikincil ürünlere parçalanmasıyla azalan sonuçları da gösterebilir [21].

Örneklerin peroksit sayıları Çizelge 4.9’da konjuge dien ve TBA sayısı sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Adana Kebap örneklerinin sonuçları incelendiği zaman A1 ve A3

kodlu örneklerde ısıt işlem sonrasında peroksit sayısı sonuçlarında önemli bir değişim gözlenmezken ($P > 0,05$), A2 kodlu örnekte (çiğ %4,56; pişmiş %0,52) bu değer için önemli bulunan bir azalma meydana gelmiştir ($P < 0,05$).

Köfte örneklerinin her birinde ısıt işlem etkisiyle peroksit sayısı değerlerinde istatistiksel olarak önemli olan bir artış gözlemlenmiştir ($P < 0,05$). Köfte örneklerinin (min %7,26; max %10,12) ısıt işlem öncesindeki peroksit sayıları Adana örnekleriyle (min %4,33; max %6,60) kıyaslandığı zaman daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum aynı zamanda ısıt işlem öncesinde çiğ et kalitesini yansıtmakta, köfte örneklerinin oksidasyonun başlangıç aşamalarında yüksek olduğunu göstermektedir. Uygun olmayan depolama koşullarında, ortamdaki ışık, oksijen ve miyogloblin varlığının da muhtemel etkisiyle çiğ etlerde oksidasyonun ilerlemesi mümkündür [18].

Et döneri örneklerinin peroksit sayıları incelendiği zaman ısıt işlem sonrasında peroksit sayıları E1, E2 ve E3 kodlu örneklerde önemli olduğu tespit edilen artışlar saptanmıştır ($P < 0,05$). Diğer et ürünlerine kıyasla çiğ ve pişmiş olmak üzere en düşük peroksit sayısı ölçümleri et dönerlerinde tespit edilmiştir. Isıt işlem öncesinde en düşük değer E1 kodlu örnekte (çiğ%1,22; pişmiş %9,46), en yüksek değerde E3 kodlu örnekte (çiğ%3,92; pişmiş %4,18) bulunmuştur.

Parçalanmamış bütün etlere kıyasla kıyılmış etlerin toplam yüzey alanının daha fazla olması havanın oksijeniyle daha fazla teması neden olur ve bu durum oksidasyonu hızlandırır [18]. Çizelge 4.8'de verildiği üzere yağ asidi bileşimleri tavuk gibi monogastrik hayvanların lipit fraksiyonlarının yağ asidi bileşimlerine kıyasla doymuş ve doymamış yağ asitleri bakımından birbirine yakın değerler gösteren et döneri, köfte ve Adana Kebap örneklerinin peroksit sayısı değerleri değerlendirildiğinde, yaprak etten üretilen et döneri örneklerinin kıyılmış etten üretilen köfte ve Adana Kebap örneklerine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir.

Tavuk Dönerleri örneklerinde et döneri örneklerine göre durum tam tersidir. Tüm örnekler arasında en yüksek peroksit sayısı değerleri tavuk döneri örneklerinde tespit edilmiştir. Isıt işlem öncesinde çiğ et kalitesi olarak en ileri oksidasyon durumu tavuk döneri örneklerinde (min %23,79; max %26,77) ölçülmüştür. Yalnızca T1 kodlu örnekte ısıt işlem etkisiyle önemli bir değişim gözlenmezken, diğer T2 ve T3 kodlu örneklerde pişmiş durumda önemli azalmalar meydana gelmiştir ($P < 0,05$).

Çalışmalarda yüksek sıcaklık uygulamalarında başlangıç hidroperoksitlerinin oluşumunun sadece kısa süreliğine gerçekleştiği ve bu yapıların hızla uçucu olan veya uçucu olmayan ikincil ürünlere dönüştüğü bildirilmektedir. Bu durum belirtilen örneklerin peroksit sayısı değerlerinde ki azalmaları açıklamaktadır.

Tavuk filetosu insan vücudunda sentezlenemeyen çoklu doymamış yapıdaki esansiyel yağ asitleri bakımından zengindir. Bunun yanında diğer et türlerine kıyasla yüksek oranda çoklu doymamış yağ asidi ve fosfolipit fraksiyonu içerdiğinden lipit oksidasyonuna daha yatkındır [73]. Çizelge 4.8’de incelenen, döner üretilmek üzere hazırlanan tavuk formülasyonunun doymamış yağ asidi oranı ortalama %75 olarak tespit edilmiştir. Diğer et ürünlerinde bu oran daha düşüktür (Adana Kebap ortalama %47,10; Köfte ortalama %45,77; Et Döneri ortalama %59,48).

4.5.3. TBA sayısı

Lipit oksidasyon ürünleri, etlerin kalite bozulmalarıyla ve potansiyel olarak toksik olan kardiyovasküler ve diğer dejeneratif hastalıklara sebep olan bileşiklerle yakından ilişkilidir. Lipitlerin oksidasyon düzeyini belirlemede malondialdehit (MDA) konsantrasyonunun bir indeksi olan TBA sayısı değeri yaygın olarak değerlendirilir. MDA lipit oksidasyonunun en temel son ürünlerinden biridir [64].

Örneklerin TBA sayısı değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Adana Kebap örneklerinin TBA sayısı analiz sonuçları incelendiğinde bu örneklerin ısıtma işlemi öncesinde de TBA sayısı değerlerinin yüksek olduğu ve diğer örneklerle kıyasla en yüksek TBA sayısı değerlerinin Adana Kebap örneklerinde ölçüldüğü görülmektedir (çiğ örneklerde max %17,93; min %13,58). Isıtma işlem sonrasında A1 ve A2 kodlu örneklerde TBA sayısı değerlerinde istatistiksel olarak önemli bir değişim görülmezken ($P > 0,05$), A3 kodlu örnekte yüksek sıcaklık etkisiyle önemli bir azalma meydana gelmiştir.

Köfte örneklerinin analiz sonuçları incelendiği zaman pişirme işleminin TBA sayısı değerlerinde önemli bir değişim meydana getirmediği görülmektedir. K3 kodlu örneğin K1 ve K2 kodlu örneğe kıyasla TBA sayısı değeri düşük bulunmuştur.

Et ve tavuk döneri örneklerinin TBA sayısı analiz sonuçları değerlendirildiğinde tavuk döneri örneklerinde ısıtma işlemi etkisiyle istatistiksel olarak önemli bir değişim

gözlemlenmezken ($P > 0,05$), et döneri örneklerinin TBA sayısı değerlerinin tamamında önemli bulunan artış meydana gelmiştir.

Al-Kahtani et. al.'un [74] TBA sayısı analiz sonuçlarının 3 mg MDA/kg'dan düşük olduğu zaman et ürünlerinin muhafaza koşullarının iyi olduğu kararına varılabileceğini bildirilmiştir [65]. Et ve tavuk döner örnekleri bu limit değerin altında ya da bu değere yakın sonuçlara sahiptir. Diğer taraftan Adana Kebap ve köfte örnekleri ise bu limit değerin genel olarak oldukça üzerindedir.

Saptanan TBA sayısı değerlerinin ısıtma işlem öncesinde yüksek bulunmasının sebepleri araştırıldığında her örneğin formülasyonuna dahil olan tuzun pro-oksidatif etkisi öne çıkmaktadır. Çeşitli çalışmalarla et ve et ürünlerine tuz ilavesinin TBA sayısı değerini yükselttiği bildirilmiştir. O'Neill et. al. [75] tavuk etinde tuzun pro-oksidatif etki gösterdiğini bildirmiştir. Hernandez et. al.'da [76] yüksek iyonik güçteki tuzların buzdolabı koşullarında kıyılmış etlerin glutatyon peroksidaz aktivitesini düşürdüğünü ve TBA sayısı içeriğini yükselttiğini bildirmiştir. O'Sullivan et. al. [77] tuzlanmış tavuk nuggetlarında kontrol nuggetlarına kıyasla yüksek malondialdehit içeriğini tespit etmişlerdir. Tuzun lipid oksidasyonu üzerine etkisinin muhtemel sebepleri olarak katalaz, glutatyon peroksidaz ve süperoksit dismutaz gibi enzimlerin antioksidan aktivitelerini indirgemesi, klorit iyonları tarafından demir aktivasyonu ile lipid oksidasyonunun uyarılması, miyoglobin yapısındaki demirin sodyum iyonlarıyla yer değiştirmesi sonucunda lipid oksidasyonunu katalizleyen demirin serbest hale gelmesi öngörülmektedir [73].

TBA sayısı değerlerinde ısıtma işlem sonrasında artış gözlemlenmesi yüksek sıcaklığın peroksidasyonu tetikleyerek, malondialdehit seviyesinin yükselmesiyle ilgilidir. Buna karşın bazı TBA sayısı değerlerinde beklenen olmamış ve ısıtma işlem sonrasında çiğ formdaki değerlerden daha düşük değerler tespit edilmiştir. Juarez et. al. buffalo etini farklı yöntemlerle pişirdiği çalışmada kızartma uygulamasında benzer azalmalar görmüş, bu durumun MDA'ların proteinlere bağlanıp tespit edilememesiyle ilgili olabileceğini belirtmiştir [64].

4.5.4. Hegzanal sonuçları

SPME yöntemi, analiz şişesinin tepe boşluğunda biriken uçucu bileşenlerin izole edildiği ve konsantre edildiği okside yağların uçucu bileşenlerinin analizinde kullanılan ve herhangi bir solventin kullanılmadığı yaygın bir yöntemdir. Okside olmuş, kötü kokulu uçucu bileşenlerin oluşumu lipit oksidasyonunun karakteristik özelliklerinden biridir ve tüketicilerin beğenilerini olumsuz yönde etkiler. Hegzanal, linoleik asidin dekompozisyonu ile oluşan ikincil oksidasyonun temel ürünlerinden biridir [78].

Analiz sonuçları incelendiği zaman en yüksek hegzanal değerinin K1 kodlu köfte örneğinde (çiğ 1903,4; pişmiş 1658,6 µg/kg), en düşük hegzanal değerinin ise T5 kodlu tavuk döneri örneğinde (çiğ 3,1; pişmiş 21,2 µg/kg) bulunduğu tespit edilmiştir. Isıl işlemin hegzanal miktarı üzerine etkisi bakımından değerlendirme yapıldığı zaman yalnızca A2 kodlu Adana Kebap örneği ile K1 kodlu Köfte örneklerinde hegzanal miktarlarında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir ($P > 0,05$). Isıl işlem sonrasında Adana Kebap örneklerinin tamamında hegzanal miktarlarında artış gözlemlenirken, Köfte örneklerinde K2 ve K3 kodlu köfte örneklerinde ise istatistiksel olarak önemli bulunan artış meydana gelmiştir ($P < 0,05$). Döner örneklerinden et döneri örneklerinde E3 kodlu örnekte ısıtma işlemi sonrasında hegzanal miktarında artış meydana gelmiş, E1 ve E2 kodlu örneklerde ise azalma meydana gelmiştir. Tavuk dönerlerinde ise yalnızca T3 kodlu örnekte artış meydana gelirken, diğer iki örnekte hegzanal miktarlarında önemli azalmalar meydana gelmiştir ($P < 0,05$).

İkincil oksidasyon ürünlerinin, özellikle hegzanalın koku algılanma eşiği düşük olduğundan, ölçümü pişmiş ve çiğ et ürünlerinin oksidasyon düzeyini belirlemede başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [79]. Ji et al. [80] tarafından yapılan çalışmada, 50, 70 ve 90 °C'de su banyosunda 1 saat ısıtma işlemi uygulanan sığır etlerinde oluşan uçucu bileşenlerin çoğunun yağ oksidasyonundan kaynaklandığı ve sıcaklık derecesinin artmasıyla hegzanalında arasında bulunduğu aldehit yapısındaki bileşiklerin miktarında, keton yapısındaki bileşiklere kıyasla daha fazla artış olduğu saptanmıştır. Zakipour Rahimabadi et al. tarafından yapılan çalışmada [81] mikrodalgada, ızgarada, buharda ve kuyruk yağında kızartılarak pişirilen ve pişirme işlemlerinden sonra tekrar ısıtma işlemi uygulanan balık örneklerinde pişirilmiş örneklerin ısıtılması sonrasında her bir örnekte hegzanal miktarlarında artış tespit edilmiştir.

Bu açıklamalara karşın durum incelediğimiz örneklerde değişkenlik arz etmektedir. Bazı örneklerde pişirme sonrası hegzanal miktarında önemli seviyelerde azalmalar tespit edilmiştir. Bu değişimler et örneklerinin bileşimine katılan sebze, baharat vb maddelerin yapısında doğal olarak bulunan aldehidik yapıların varlığı ile, başlangıçta var olan yüksek miktarlardaki hegzanal miktarının termal olarak etkilenip uçmasıyla açıklanabilir. Oluşan aldehidik yapıdaki bileşenlerin matrikste yer alan diğer reaktif gruplarla etkileşimlerinin de hegzanal miktarındaki değişimi etkileyebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 2.1’de belirtildiği üzere hegzanalın algılanma eşiği 0,08- 0,6 mg/kg (80-600 µg/kg) aralığındadır.

Çizelge 4.10. Çeşitli et ürünlerinin ısıtıl işlem öncesi ve sonrasında hegzanal miktarları (µg/kg)

		Çiğ	Pişmiş
Adana	A1	385,6 ± 133,1aA	809,6 ± 13,4aB
	A2	619,4 ± 97,5abA	831,2 ± 176,5aA
	A3	834,8 ± 207,8bA	1148,3 ± 175,1bB
Köfte	K1	1903,4 ± 360,7cA	1658,6 ± 124,7bA
	K2	999,5 ± 101,0bA	1729,8 ± 29,7bB
	K3	267,9 ± 37,2aA	1035,4 ± 224,3aB
Et Döner	E1	353,0 ± 72,9bB	29,9 ± 0,0aA
	E2	300,3 ± 85,8bB	27,0 ± 6,1aA
	E3	33,6 ± 14,6aA	383,4 ± 87,6cB
Tavuk Döner	T1	196,9 ± 13,4aB	41,8 ± 10,7bA
	T2	64,2 ± 3,5bB	45,0 ± 3,8bA
	T3	3,1 ± 0,2aA	21,2 ± 7,3aB

Küçük harfler aynı sütunda her bir et örneği için $P > 0,05$ düzeyinde farklılığı, büyük harfler ise aynı satırda çiğ-pişmiş örnekler arasındaki farklılığı $P > 0,05$ düzeyinde göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Adana Kebap, köfte, tavuk ve et döneri örneklerinin ısıtma işlemi uygulamaya hazır formülasyonlarının ve ısıtma işlemi sonrasındaki ürünlerinin lipit fraksiyonlarında meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir.

Kısmi kompozisyonları değerlendirildiğinde et ürünlerinin yapısal proteinlerinin ısıtma işlemi etkisiyle denatürasyonu sonucunda % nem miktarlarındaki azalma Adana Kebap ve köfte örneklerinin bazılarında önemli bulunmazken, et ve tavuk döneri örneklerinde meydana gelen nem kaybının tüm örneklerde önemli olduğu tespit edilmiştir. Isıtma işlemi sonrasında lipit oranlarındaki değişimlerin tüm örnekler için önemli olduğu ($P > 0,05$) ve lipit oranlarındaki bu önemli değişimlerin bazı örneklerde artış, bazılarında ise azalma olarak gerçekleştiği saptanmıştır. Farklı yerel restoranlardan elde edilen örneklerle uygulanan ısıtma işlemi değişkenliğinden kaynaklanan bu farklılık kimi örneklerde yapısal suyla birlikte ayrılan yağın damlayarak uzaklaşması sonucunda yağ oranının değişimiyle azalma, kimi örneklerde de pişirme kaybının çoğunluğunu suyun oluşturması sonucunda yağ oranının değişimiyle artış olarak gözlemlenmiştir.

Geleneksel yöntemlerle pişirme işleminin, analiz edilen et ürünlerinin lipit fraksiyonlarının yağ asidi bileşimlerinde önemli değişimler meydana getirdiği saptanmıştır. Örneklerin yağ asidi bileşiminde değişime sebep olan etkenlerin yapısal suyla birlikte uzaklaşan yağın, Adana Kebap ve köfte örneklerinde közde ateş ve tavuk ve et döner örneklerinde doğrudan alevle olmak üzere ısıtma işlemi türünün ve oksidatif bozulmalar sürecinde doymamış yağ asitlerinin parçalanıp ikincil oksidasyon ürünlerine dönüşmesinin etkisinin olduğu saptanmıştır. Adana Kebap ve köfte örneklerinde TYA oranlarında genel olarak önemli bir değişim gözlemlenmezken, tavuk döneri örneklerinde ısıtma işlemi etkisiyle meydana gelen izomerizasyon sonucunda TYA oranlarında artışlar gözlemlenmiştir. Et döneri örneklerinde de tavuk döneri örneklerinden farklı olarak ruminant aktivite sonucunda doğal olarak bulunan ve TYA oranının çoğunluğunu oluşturan KLA içeriğinin yüksek sıcaklık etkisiyle azalmasından dolayı toplam TYA oranlarında azalmalar meydana gelmiştir.

Oksidatif değişimlerin değerlendirmelerinde analiz edilen örneklerin çoğunluğunda konjuge dien miktarlarında genel bir artış görülmüş, azalma görülen örneklerde ise oksidasyonun yüksek sıcaklık etkisiyle daha hızlı geliştiği ve konjuge yapıların hızla

ikincil oksidasyon ürünlerine dönüştüğü tespit edilmiştir. Peroksit sayılarının değerlendirmelerinde örneklerin başlangıç oksidasyon durumunun pişirme işlemi sonrasında elde edilen ürünün oksidatif durumu üzerine çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Çiğ et kalitesini gösteren başlangıç oksidatif durumunun oksijene maruz kalan yüzey alanının daha fazla olmasından dolayı kıyılmış etten (Adana Kebap, Köfte) ve bütün etten (döner örnekleri) üretilen ürünlerde farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Tavuk Döneri örneklerinde ise peroksit sayısı değerlendirmelerinde çoklu doymamış yağ asidi diğer örneklerle kıyasla fazla olduğundan peroksit sayısı değerleri çok daha yüksek bulunmuş ve yüksek sıcaklıkta pişirme işleminin etkisiyle bu yapıların bazı örneklerde hızla ikincil oksidasyon ürünlerine dönüştüğü tespit edilmiştir.

TBA sayısı analiz sonuçlarına göre et ve tavuk döner örneklerinin insan tüketimi için sınırlayıcı olan eşik değerinin (3 mg MDA/kg) altında ya da bu değere yakın, Adana Kebap ve köfte örneklerinin ise bu limit değerinin genel olarak oldukça üzerinde değerlere sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Çiğ et kalitesi açısından değerlendirildiğinde yüksek olan TBA sayısı değerleri üzerinde her örneğin formülasyonlarında bilinmeyen oranlarda bulunan tuzun pro-oksidatif etkisinin etkili olabileceği düşünülmüştür. Isıl işlem sonrasında Et Döneri Örneklerinin TBA sayısı değerlerinde artış gözlemlenirken, TBA sayısı değerlerinde azalma görülen örneklerde oksidasyon düzeyinin yüksek olması etkisiyle MDA'ların proteinlere bağlanıp tespit edilememesiyle ilgili olabileceğini belirtmiştir.

Yasal düzenlemeler gıdaların etiketlerinde TYA içeriklerinin bildirilmesini zorunlu kılmaktadır. Birçok gıda değişen miktarlarda TYA içermektedir. Bu çalışma ile ulaşılan sonuçlara göre geleneksel et ürünleri örneklerinde dikkate değer miktarlarda TYA içeriği saptanmış ve özellikle ısıl işlemin türünün TYA içeriğinin artmasında önemli olduğu tespit edilmiştir. TYA içeriğinin gıda olarak tüketilen etlerde pişirme işlemi türü, sıcaklık, süre gibi parametreler dikkate alınarak değişimlerinin etkisi araştırılması gereken konulardır. Ayrıca ısıl işlem türüne, sıcaklık derecesine, süreye, yağ asidi bileşimlerine, formülasyonlara katılan yardımcı maddelere, işlem öncesi depolama koşullarına bağlı olarak değişen oksidatif kalitenin model alınan etlerde çalışılması topluma gıda güvenliğini sağlamak açısından önemli görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] W.E. Coenen, *Hydrogenation of edible oils*, **J. Am. Oil Chem. Soc.**, 3 (1976) 382-388.
- [2] I. Karabulut, M. Kayahan, S. Yaprak, *Determination of changes in some physical and chemical properties of soybean oil during hydrogenation*, **Food Chem.**, 81 (2003) 453-456.
- [3] M.G. Enig, L.A. Pallansch, J. Sampugna, M. Keeney, *Fatty acid composition of the fat in selected food items with emphasis on trans components*, **J. Am. Oil Chem. Soc.**, 60 (1995) 1781-1795.
- [4] M. Tasan, M. Demirci, *Trans fatty acids in sunflower oil at different steps of refining*, **J. Am. Oil Chem. Soc.**, 79 (2003) 825-828.
- [5] J. Fritsche, H. Steinhart, *Trans fatty acid content in German margarines*, **Fett/Lipid**, 99 (1997) 214-217.
- [6] Anonim, U.S. Food and drug administration center for food safety and applied nutrition office of food labeling, FDA, 2006. <http://www.cfsan.fda.gov>
- [7] A. Ascherio, W.C. Willet, *Health effect of trans fatty acids*, **Am. J. Clin. Nutr.**, 66 (1997) 1006-1010.
- [8] R.P. Mensink, M.B. Katan, *Effect of dieatary trans fatty acids on high density and low density lipoprotein cholesterol levels in healty subjects*, **J. Med.**, 323 (1990) 439-445.
- [9] A. Ayagari, J.M. Peepies, S.E. Carlson, *Relationship of isomeric-fatty acids in human cord blood to N3 and N6 status*, **Pediatr. Res.**, 39 (1996), (Abstract No: 304A).
- [10] D.B. Min Casimir, C. Akoh, **Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**, Marcel Dekker, New York-Basel. 2002, Part III, Chapter 12.
- [11] D. Precht, J. Molkentin, M. Vahlendieck, *Influence of the heating temperature on the fat composition of milk fat with emphasis on cis-/trans –isomerization*, **Nahrung**, 43 (1) (1999) 25-33.
- [12] W.W. Nawar, *Chemical changes in lipids produced by thermal processing*, **J. Chem. Educ.**, 61 (4) (1984) 299-302.
- [13] M.B. Linares, M.I. Berruga, R. Bornez, H.Vergara, *Lipid oxidation in lamb meat: Effect of Weight, handling previous slaughter and modified atmospheres*, **Meat Sci.**, 76 (2007) 715-720.
- [14] G. Gandemer, M. Viau, L. Maho, F. Metro, M. Laroche, *Modification des lipides intramasculaires au cours des traitements termiques. etuded' un cuisson de type por-au-feu*, **Science des Aliments**, 5 (29) (1985) 9-306.

- [15] T. Hoac, C. Daun, U. Trafikowska, J. Zackrisson, B. Akesson, *Influence of heat treatment on lipid oxidation and glutathione peroxidase activity in chicken and duck meat*, **Innovat. Food Sci. Emerg. Tech.**, 7 (2006) 88-93.
- [16] R.V. Kesava, B. N. Kowale, N. P. Babu, G.S. Bisht, *Effect of cooking and storage on lipid oxidation and development of cholesterol oxidation products in water buffalo meat*, **Meat Sci.**, 43 (1996) 179-185.
- [17] P. Hernandez, J.L. Navarro, F. Toldra, *Lipids of pork meat as affected by various cooking techniques*, **Food Sci. Tech. Int.**, 5 (6) (1999) 501-508.
- [18] M.T. Rodriquez-Estrada, G. Penazzi, M.F. Caboni, G. Bertacco, G.Lercker, *Effect of different cooking methods on some lipid and protein components of hamburgers*, **Meat Sci.**, 45 (3) (1997) 365-375.
- [19] W. Tsuzuki, R. Nagata, R. Yunoki, M. Nakajima, T. Nagata, *cis/trans-Isomerisation of triolein, trilinolein and trilinolenin induced by heat treatment*, **Food Chem.**, 108 (2008) 75-80.
- [20] M.C.M. Moya Moreno, D. Mendoza Olivaresb, F.J. Amezquita Lopez, J.V. Gimeno Adelantano, F. Reig Bosch, *Determination of unsaturation grade and trans isomers generated during thermal oxidation of edible oils and fats by FTIR*, **J. Mol. Struct.**, 482 (1999) 551-556.
- [21] R. Steele, *Understanding and measuring the shelf-life of food*, **CRC Pres**, 2000, p. 128-140.
- [22] J.D. Love, A.M. Pearson, *Lipid oxidation in meat and meat products- A Review*, ISF-AOCS World Congress, Sep (1970), pp. 547-549.
- [23] W. Tsuzuki, A. Matsuoka, K. Ushida, *Formation of trans fatty acids in edible oils during the frying and heating process*, **Food Chem.**, 123 (2010) 976-982.
- [24] A. Bensadoun, *Trans fatty acids- health and labeling issues*, Division of Nutritional Sciences, Cornell University, 2003.
- [25] M. Taşan, O. Dağlıoğlu, *Trans yağ asitlerinin yapısı, oluşumu ve gıdalarla birlikte alınması*, **Tekirdağ Zir.Fak. Der.**, 2:1 (2005) 79-88.
- [26] M. Kayahan, *Yağ Kimyası*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2003.
- [27] E. Larque, S. Zamora, A. Gill, *Dietary trans fatty acids in early life: A Review*, **Early Dev.**, 65 (2001) 31-41.
- [28] A. Tekin, *margarin üretimi ve trans yağ asitleri. bilinmeyen yönleriyle margarin ve beslenmedeki rolü konferans notları*, Mümsad Mutfak Ürünleri ve Margarin Sanayicileri Derneği, 29 Haziran 2007, İstanbul, Mümsad Yayınları, No: 1. (2007) 17 – 25.
- [29] İ. Yılmaz, Ü. Geçgel, *Determination of fatty acid composition and total fatty acids in meat products*, **Food Sci. Biotechnol.**, 18 (2) (2009) 350-355.

- [30] T.A.B. Sanders, *Essential and trans fatty acids in nutrition*, **Nutr. Res. Rev.**, 1 (1998) 57–78.
- [31] T. Leth, L. Ovesen, K. Hansen, *Fatty acid composition of meat from ruminants, with spacial emphasis on trans fatty acids*, **JAACS**, 75 (8) (1998) 1001-1005.
- [32] A. Schmid, M. Collomb, R. Sieber, G. Bee, *Conjugated linoleic acid in meat and meat pproducts: A review*, **Meat Sci.**, 73 (2006) 29-41.
- [33] R.P. Mensink, M.B. Katan, *Trans unsaturated fatty acids in nutrition and their impact on serum lipoprotein levels in man*, **Prog. Lipid Research**, 32 (1) (1993) 111–122.
- [34] Ş. Çelebi, A. Kaya, *Konjuge linoleik asitin biyolojik özellikleri ve hayvansal ürünlerde miktarını artırmaya yönelik bazı çalışmalar*, **Hayvansal Üretim**, 49 (1) (2008) 62-68.
- [35] E. Demirok, N. Kolsarıcı, *Et ve et ürünlerinde konjuge linoleik asit ve önemi-Derleme*, **Gıda**, 35 (1) (2010) 71-77.
- [36] M. Semma, *Trans fatty acids: properties, benefits and risks*, **J. Health Sci.**, 48 (1) (2002) 7-13.
- [37] I. Karabulut, S. Turan, *Some Properties of margarines and shortenings marketed in Turkey*, **J. Food Compos. Anal.**, 19 (1) (2006) 55-58.
- [38] R.L. Wolff, *Occurence of artificial trans -polyunsaturated fatty acids in refined (deodorized) walnut oils*, **Sci. Aliments**, 13 (1993) 155-163.
- [39] M. Kellens, *Current developments in oil refining Technology*, Technical Report De Smet-Belgium, Antwerp, Belgium, 1997, pp. 35-48.
- [40] H. Dıraman, Y. Hışıl, H.H. Gündüz, *Çeşitli yemeklik bitkisel tohum yağlarında, margarinlerde ve zeytinyağlarında trans yağ asitleri*, **Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 3 (2008) 1-7.
- [41] I. Karabulut, *Fatty acid composition of frequently consumed foods in Turkey with special emphasis on trans fatty acids*, **Int. J. Food Sci. Nutr.**, 58 (8) (2007) 619-628.
- [42] R.C. Khanal, K.C. Olson, *Factors affecting conjugated linoleic acid (CLA) content in milk, meat, and egg: A review*, **Pakistan J. Nutr.**, 3 (2) (2004) 82-98.
- [43] S. Fritsche, J. Fritsche, *Occurrence of conjugated linoleic acid isomers in beef*, **J. Am. Oil Chem. Soc.** 75 (1998) 1449–1451.
- [44] N. C. Shantha, A. D. Crum, E. A. Decker, *Evaluation of conjugated linoleic acid concentrations in cooked beef*, **J. Agric. Food Chem.**, 42 (1994) 1757–1760.

- [45] S. Banni, B. W. Day, R. W. Evans, F. P. Corongiu, B. Lombardi, *Liquid chromatographic– mass spectrometric analysis of conjugated diene fatty acids in a partially hydrogenated fat*, **J. Am. Oil Chem. Soc.**, 71 (1994) 1321–1325.
- [46] M. M. Mossoba, R. E. McDonald, D. J. Armstrong, S. W. Page, *Identification of minor C18 triene and conjugated diene isomers in hydrogenated soybean oil and margarine by GC-MI-FT-IR spectroscopy*, **J. Chromatogr. Sci.**, 29 (1991) 324–330.
- [47] S. Norris, *Trans fats: The health burden*, Parliamentary Information and Research Service Science and Technology Division, 2005.
- [48] T. Gürcan, *Trans yağ asitleri ve kalp hastalıkları açısından önemi*, **Dünya Gıda**, 8 (2002), 70–71.
- [49] M. Kıralan, A. Yorulmaz, H. Ercoşkun, *Trans yağ asitleri kaynakları ve insan sağlığı üzerine etkileri*, **Gıda ve Yem Teknolojisi**, 7 (2005) 52–64.
- [50] M. Yang, Y. Yang, S. Nie, M. Xie, F. Chen, *Analysis and formation of trans fatty acids in corn oil during the heating process*, **J. Am. Oil Chem. Soc.**, 89 (5) (2012) 859-867.
- [51] Anonim, Türk Gıda Kodeksi gıda maddelerinin genel etiketleme ve beslenme yönünden etiketleme kuralları tebliğinde değişiklik yapılması hakkında tebliğ. 23.08.2007 tarih ve 26622 sayılı Resmi Gazete.
- [52] B. Kılıc, M.P. Richards, *Lipid oxidation in poultry döner kebab: pro-oxidative and anti- oxidative factors*, **J. Food Sci.**, 68 (2) (2003) 686-689.
- [53] B. Kiliç, *Current trends in traditional Turkish meat products and cuisine*, **Food Sci. Tech.**, 42 (2009) 1581-1589.
- [54] Anonim, http://tr.wikipedia.org/wiki/Adana_kebab%C4%B1
- [55] A. Kundakçı, B. Ergönül, II. Geleneksel Gıdalar Sempozyumu, Van, 27-29 Mayıs, (2009), pp.783-786.
- [56] J. Folch, M. Lees, S. Stanley, *A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues*, **J. Biol. Chem.**, 226 (1957) 497–509.
- [57] AOAC 950.46, Moisture in meat and meat products. “*Official methods for analysis*” (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, (2002).
- [58] AOCS, Official methods and recommended practices of the american oil chemists’ society, Champaign: **AOCS Pres**, Method Ti 1a-64.
- [59] International Dairy Federation (1991), International IDF Standart 74A, Brussels, Belgium.

- [60] G.M. Huber, H.P.V. Rupasinghe, F. Shahidi, *Inhibition of oxidation of omega-3 polyunsaturated fatty acids and fish oil by quercetin glycosides*, **Food Chem.**, 117 (2) (2009) 290-295.
- [61] M.R. Ramirez, M. Estevez, D. Morcuende, R. Cava, *Effect of the type of frying culinary fat on volatile compounds isolated in fried pork loin chops by using SPME-GC-MS*, **J. Agric. Food Chem.**, 52 (2004) 7637-7643.
- [62] F. David, P. Sandra, A.K. Vickers, *Column selection for the analysis of fatty acid methyl esters- application*, **Food Anal. App.**, (2005), chem.agilent.com
- [63] Q. Cheng, D. Sun, *Factors affecting the water holding capacity of red meat products: a review of recent research advances*, **Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, 48 (2008) 137-159.
- [64] M. Juarez, S. Failla, A. Ficco, F. Pena, C. Aviles, O. Polvillo, *Buffalo meat composition as affected by different cooking methods*, **Food and Bioprocess Processing**, 88 (2010) 145-148.
- [65] J. Weber, V. C. Bochi, C. P. Ribeiro, A.M. Victorio, T. Emanuelli, *Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets*, **Food Chem.**, 106 (2008) 140-146.
- [66] A. Medy'ski, E. Pospiech, R. Kniat, *Effect of various concentrations of lactic acid and sodium chloride on selected physico-chemical meat traits*, **Meat Sci.**, 55 (3) (2000) 285-290.
- [67] A. Bogнар, *Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value*, **Grasas y Aceites**, 49 (3-4) (1998) 250-260.
- [68] I. Marekov, S. Panayotova, R. Tarandjiiska, *Fatty acid composition and seasonal variation of trans fatty acid content in bulgarian butter fats by Silver Ion TLC and GC*, **J. Liq. Chrom. Rel. Tech.**, 32 (2009) 1183-1195.
- [69] P. Delmonte, J.I. Rader, *Evaluation of gas chromatographic methods for the determination of trans fat*, **Anal. Bioanal. Chem.**, 389 (2007) 77-85.
- [70] W.M.N. Ratnayake, S. L. Hansen, M.P. Kennedy, *Evaluation of the CP-Sil 88 and SP-2560 GC columns used in the recently approved AOCS Official Method Ce 1h-05: Determination of cis-, trans-, saturated, monounsaturated, and polyunsaturated fatty acids in vegetable or non-ruminant animal oils and fats by capillary GLC method*, **J. Am. Oil Chem. Soc.**, 83 (2006) 475-488.
- [71] A. Aro, J. M. Antoine, L. Pizzoferrato, O. Reykdal, G. van Poppel, *Trans fatty acids in dairy and meat products from 14 European countries: The Transfair Study*, **J. Food Compos. Anal.**, 11 (1998) 150-160.
- [72] E. H. Farmer, *Peroxidation in relation to olefinic structure*, **Trans Faraday Soc.**, 42 (1946) 228-236.

- [73] S.K. Devatkal, K. Narsaiah, A. Borah, *The effect of salt, extract of kinnow and pomegranate fruit by-products on colour and oxidative stability of raw chicken patties during refrigerated storage*, **J. Food Sci. Technol.**, 48 (4) (2011) 472-477.
- [74] H.A. Al-Kahtani, H. M. Abu-Tarboush, A.S. Bajaber, M. Atia, A.A. Abou-Arab, M.A. El-Mojaddidi, *Chemical changes after irradiation and post-irradiation storage in tilapia and Spanish mackerel*, **J. Food Sci.**, 91 (1996) 729-733.
- [75] L.M. O'Neil, K. Galvin, P.A. Morrissey, J.J. Buckley, *Effect of carnosine, salt & dietary vitamin E on the oxidative stability of chicken meat*, **Meat Sci.**, 52 (1999) 89-94.
- [76] P. Hernandez, D. Park, K.S. Rhee, *Chloride salt type/ ionic strength, muscle site and refrigeration effects on antioxidant enzymes and lipid oxidation in pork*, **Meat Sci.**, 61 (2002) 405-410.
- [77] C.M. O' Sullivan, A.M. Lynch, P.B. Lynch, D.J. Buckley, J.P. Kerry, *Use of antioxidants in chicken nuggets manufactured with and without the use of salt and/or sodium tripolyphosphate: Effects on product quality and shelf-life stability*, **Int. J. Poultry Sci.**, 3 (2004) 345-353.
- [78] M. Jeong, J.M. Lee, W.-H Cho, J. H. Lee, *Correlation of Volatiles and Fatty Acids in Thermally Oxidized Fatty Acid Model Systems Using Statistical Approaches*, **Food Sci. Biotechnol.**, 19 (5) (2010) 1233-1239.
- [79] L. N. Fernando, E. P. Berg, I. U. Grün, *Quantitation of hexanal by automated SPME for studying dietary influences on the oxidation of pork*, **J. Food Compos. Anal.**, 16 (2003) 179-188.
- [80] J.R. Ji, K.M. Park, H.S. Choe, I. Hwang, *Objective meat quality and volatile components as a function of cooking temperature in beef longissimus lumborum*, **Korean J. Food Sci. Animal Res.**, 30 (3) (2010) 373-384.
- [81] E. Zakipour Rahimabadi, J. Bakar, Y.B. Che Man, N. Abdul Hamid, A. Arshadi, *The impact of lipid content, cooking and reheating on volatile compounds found in Narrow – barred Spanish mackerel (Scomberomorus commerson)*, **Iranian J. Fisheries Sci.**, 10 (2) (2011) 336-345.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Kayseri’de doğdu. Lise öğrenimini Yabancı Dil Ağırlıklı Kayseri Lisesinde tamamladı. 2005 yılında başladığı lisans öğrenimini İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümünde 2009 yılında tamamladı. 2008 yılı bahar döneminde Erasmus Öğrenci Değişim Programıyla Almanya’da Hamburg University Applied Science’da Nutrition and Home Economics bölümünde 5 ay öğrenim gördü. 2009 yılında İnönü Üniversitesi Gıda Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitime başladı. 2011 yılında İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak işe başladı. Halen aynı bölümde görevine devam etmektedir.