

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

**TİCARİ MARKA TAVUK ETLERİNİN PROTEİN KALİTE FARKLILIKLARININ  
HIZLI TESPİTİNE YÖNELİK ÖRÜNTÜ TANIMA ALGORİTMALARI TEMELLİ  
PARMAK İZİ YÖNTEM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BERKAY KALKANCI

TEZ DANIŞMANI  
DOÇ. DR. SİNEM TUNÇER

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI  
DOÇ. DR. RAFİG GURBANOV

BİLECİK, 2022

10370901

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

**TİCARİ MARKA TAVUK ETLERİNİN PROTEİN KALİTE FARKLILIKLARININ  
HIZLI TESPİTİNE YÖNELİK ÖRÜNTÜ TANIMA ALGORİTMALARI TEMELLİ  
PARMAK İZİ YÖNTEM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BERKAY KALKANCI

TEZ DANIŞMANI  
DOÇ. DR. SİNEM TUNÇER

İKİNCİ TEZ DANIŞMANI  
DOÇ. DR. RAFİG GURBANOV

BİLECİK, 2022

10370901

## BEYAN

“Ticari Marka Tavuk Etlerinin Protein Kalite Farklılıklarının Hızlı Tespitine Yönelik Örüntü Tanıma Algoritmaları Temelli Parmak İzi Yöntem Tasarımı” adlı yüksek lisans/doktora/sanatta yeterlik tezi/dönem projesinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |   |                     |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------------|--|
| Bu tez çalışması, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) ve 2210-D Sanayiye Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı “Ticari Marka Tavuk Etlerinin Protein Kalite Farklılıklarının Hızlı Tespitine Yönelik Örüntü Tanıma Algoritmaları Temelli Parmak İzi Yöntem Tasarımı” adlı projelerden destek alınmıştır. |   |                     |  |
| DESTEK ALINMIŞTIR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | X | DESTEK ALINMAMIŞTIR |  |
| Destek alındı ise;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   |                     |  |
| Destekleyen kurum;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   |                     |  |
| Desteğin Türü                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   | Proje Numarası      |  |
| BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   | 2019-02.BŞEÜ.01-06  |  |
| TÜBİTAK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   | 1649B021906238      |  |
| Diğer .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |                     |  |
| ETİK KURUL onayı varsa ise;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |                     |  |
| ETİK KURUL karar tarih/sayı:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   | .....<br>.....      |  |

Berkay Kalkancı

Tarih

.....

İmza

.....

## ÖN SÖZ

Tez çalışmam boyunca danışmanlığımı yürüten ve tez konumun belirlenmesinden çalışmanın sonuçlandırılmasına kadar değerli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren, eğitimim süresince desteğini ve hoşgörüsünü esirgemeyen sayın Doç. Dr. Rafig GURBANOV ve Doç. Dr. Sinem TUNÇER' e sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmamı 2210-D Sanayiye Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı (Başvuru No: 1649B021906238) ile destekleyen TÜBİTAK'a ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) (Proje No: 2019-02.BŞEÜ.01-06) kurumlarına teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan kıymetli dostlarım Tourkian CHASAN, Furkan Durmaz, Mehmet AĞIN, Emrah ŞENER, Atakan Konakçı ve Ulvi OZANGÜÇ' e sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim de dahil olmak üzere hayatımın her anında maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan kıymetli annem Ayla KALKANCI ve kıymetli babam Senih KALKANCI' a sonsuz teşekkür ederim.

**Berkay Kalkancı**

**2022**

## ÖZET

### **TİCARİ MARKA TAVUK ETLERİNİN PROTEİN KALİTE FARKLILIKLARININ HIZLI TESPİTİNE YÖNELİK ÖRÜNTÜ TANIMA ALGORİTMALARI TEMELLİ PARMAK İZİ YÖNTEM TASARIMI**

İnsan beslenmesinde önemli bir hayvansal protein kaynağı olması yanı sıra tavuk eti, esansiyel amino asitler, anorganik maddeler ve vitaminler de içerir. Hayvanların kısa dönemde yetiştirilmeleri, yemden yararlanma oranının artması ve tüketicinin değişen tüketim alışkanlıklarının karşılanabilmesi amacıyla tavuk eti üretiminde son yıllarda artış görülmektedir. Fakat tüketici isteğine uygun ve istenilen kalitede et üretimi, ancak etin kalitesini etkileyen moleküler faktörlerin bilinmesi ile mümkün olabilmektedir. Günümüzde, et ürünlerinin analizinde hızlı, güvenilir ve çevre dostu teknolojilere olan ilgi gittikçe artmakta ve buna bağlı olarak da geleneksel yöntemlere alternatif çeşitli teknolojiler geliştirilmektedir; çünkü geleneksel yöntemler kullanıcı bağımlı, zaman alıcı ve pahalıdır. Bu tez çalışmasında beş farklı yerli ticari markaya ait tavuk etleri, yenilikçi bir yaklaşım olmak üzere zayıflatılmış toplam yansıma-fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektroskopisi (ATR-FTIR) yöntemi kullanılarak incelenmiş olup, et kalitesinin belirlenmesi amacı ile toplam protein miktarı, esansiyel aminoasitler, trigliseritler/diğer yağlar ve nükleik asitler gibi hücresel moleküllerin niteliksel ve niceliksel analizleri ile protein ikincil yapı tayini yapılmıştır. Geliştirilen analiz yöntemiyle modern et endüstrisinde tavuk eti ürünlerinin kalite değerlendirme faktörlerinin hızlı, tahribatsız ve en önemlisi uygun maliyetli moleküler parmak izi yöntemi ile yapılması ve bu sayede ürün standartlarının iyileştirilmesi, kalitesinin yükseltilmesi ve üretim maliyetinin düşürülmesi ve tavuk eti üretim endüstrisine ve ulusal ekonomiye yeni bir katma değer sağlanması hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Zayıflatılmış Toplam Yansıma-Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektroskopisi (ATR-FTIR), Örüntü Tanıma Algoritmaları, Protein Kalitesi, Tavuk Eti, Ticari Marka

## **ABSTRACT**

### **THE DESIGN OF FINGERPRINT METHOD BASED ON PATTERN RECOGNITION ALGORITHMS FOR RAPID DETERMINATION OF PROTEIN QUALITY DIFFERENCES IN COMMERCIAL BRAND CHICKEN MEATS**

In addition to being an important source of animal protein in human nutrition, chicken meat contains essential amino acids, inorganic substances and vitamins. With the aid of decreased time for raising the animals and enhanced efficiency of animal feeding, there has been an increase in chicken meat production in recent years to meet the changing consumption habits of the consumer. However, to meet the consumers' request and achieve the desired quality can only be possible by considering the molecular factors affecting the quality of the meat. Nowadays, the interest in fast, reliable, and environmental-friendly technologies is increasing in the analysis of meat products, and accordingly, different technologies are aimed to be developed as alternatives to the traditional methods which are user-dependent, time-consuming, and expensive. In this thesis, Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) was used for the quantitative and qualitative analysis of proteins, essential aminoacids, triglyceride/other lipids, nucleic acids along with the secondary structure of proteins. With this approach, the quality assessment factors of chicken meat are aimed to achieve with a fast, non-destructive and most importantly cost-effective molecular fingerprint method to improve product standards, increase the quality and reduce the production cost of the chicken meat production industry, and add value for the national economy.

**Keywords:** Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR), Pattern Recognition Algorithms, Protein Quality, Chicken Meat, Trademark

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖN SÖZ.....                                                                                                                         | i   |
| ÖZET.....                                                                                                                           | ii  |
| ABSTRACT .....                                                                                                                      | iii |
| İÇİNDEKİLER.....                                                                                                                    | iv  |
| TABLolar LİSTESİ.....                                                                                                               | vi  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                                                                                                               | vii |
| KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ .....                                                                                               | ix  |
| 1.GİRİŞ.....                                                                                                                        | 1   |
| 2.LİTERATÜR ÖZETİ .....                                                                                                             | 4   |
| 2.1. Protein Kalitesi ve Sindirilebilirlikleri .....                                                                                | 4   |
| 2.2. Tavuk Etinin Önemi ve Bileşimi .....                                                                                           | 5   |
| 2.3. Et Kalitesine Etki Eden Faktörler .....                                                                                        | 6   |
| 2.4. Et Kalitesinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler .....                                                                 | 7   |
| 2.5. Kemometri.....                                                                                                                 | 10  |
| 3. MATERYAL VE METOT .....                                                                                                          | 12  |
| 3.1. Et Örneklerinin Elde Edilmesi ve DeneySEL Gruplar .....                                                                        | 12  |
| 3.2. Zayıflatılmış Toplam Yansıma-Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektroskopisi (ATR-FTIR) Yöntemi ile Et Örneklerinin Analizi ..... | 12  |
| 3.3. Örüntü Tanıma/ Makine Öğrenimi Yöntemleri ile Sınıflandırma Çalışmaları ....                                                   | 13  |
| 3.4. Protein İzolasyonu .....                                                                                                       | 14  |
| 3.5. Bradford Yöntemi ile Toplam Protein Miktarının Belirlenmesi .....                                                              | 14  |
| 3.6. Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektrophorez (SDS-PAGE) ile Protein Analizi .....                                     | 16  |
| 3.7. İstatistiksel Analizler .....                                                                                                  | 16  |
| 4. BULGULAR .....                                                                                                                   | 17  |
| 4.1. But ve Göğüs Örneklerine Ait Spektral Bantların/Parametrelerin Tanımlamaları .....                                             | 17  |
| 4.1.1. C-H (3050-2750 cm <sup>-1</sup> ) Spektral Bölgesinin Analizi .....                                                          | 22  |
| 4.1.2. C=O (1800-1700 cm <sup>-1</sup> ) Spektral Bölgesinin Analizi .....                                                          | 24  |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.3. Amid I ( $1700-1600\text{ cm}^{-1}$ ) Spektral Bölgesinin Analizi .....               | 28 |
| 4.1.4. $1500-1300\text{ cm}^{-1}$ Spektral Bölgesinin Analizi .....                          | 33 |
| 4.1.5. O-P-O ( $1250-1200\text{ cm}^{-1}$ ) Spektral Bölgesinin Analizi .....                | 37 |
| 4.2. But ve Göğüs Örneklerine Ait Protein Profilleri ve Toplam Protein Miktarları .....      | 41 |
| 4.3. But ve Göğüs Örneklerinin Örüntü Tanıma veya Makine Öğrenimi ile Sınıflandırılması..... | 45 |
| 5. TARTIŞMA .....                                                                            | 54 |
| 6. SONUÇ .....                                                                               | 60 |
| KAYNAKÇA .....                                                                               | 61 |





## TABLÖLER LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tablo 2.1.</b> İnsanlar İçin Esansiyel ve Esansiyel Olmayan Aminoasitler .....                                                                                                         | <b>4</b>  |
| <b>Tablo 3.1.</b> Çalışma Kapsamında Temin Edilen Beş Farklı Broyler Tavuk Üretici Markalı Ürünlerin But ve Göğüs Bölgelerinden Elde Edilen Örneklerin Sayısı .....                       | <b>13</b> |
| <b>Tablo 3.2.</b> Standart Test Tüpü ve Mikroplaka Protokolleri için Seyreltme Şeması (Çalışma Aralığı = 100–1500 µg/mL) .....                                                            | <b>15</b> |
| <b>Tablo 4.1.</b> But ve Göğüs Et Örneklerine Ait Başlıca Spektral Bantlar ve Tanımları.....                                                                                              | <b>17</b> |
| <b>Tablo 4.2.</b> But Et Örneklerine Ait Protein Profillerinin Bant Yoğunluğu/Toplam Protein Konsantrasyon (µg/mL) Oranları .....                                                         | <b>42</b> |
| <b>Tablo 4.3.</b> Göğüs Et Örneklerine Ait Protein Profillerinin Bant Yoğunluğu/Toplam Protein Konsantrasyon (µg/mL) Oranları .....                                                       | <b>43</b> |
| <b>Tablo 4.4.</b> Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait But Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede (4000-650 cm <sup>-1</sup> ) Elde Edilen Kestirim (Prediction) Matrisi.....   | <b>46</b> |
| <b>Tablo 4.5.</b> Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Göğüs But Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede (4000-650 cm <sup>-1</sup> ) Elde Edilen Kestirim (Prediction) Matrisi..... | <b>50</b> |
| <b>Tablo 4.6.</b> Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait But Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede (4000-650 cm <sup>-1</sup> ) Elde Edilen Hata (Confusion) Matrisi .....       | <b>53</b> |
| <b>Tablo 4.7.</b> Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait Göğüs Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede (4000-650 cm <sup>-1</sup> ) Elde Edilen Hata (Confusion) Matrisi .....     | <b>53</b> |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

|                                                                                                                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Şekil 3.1.</b> BSA Standart Grafiği .....                                                                                                                               | <b>15</b> |
| <b>Şekil 4.1.</b> But Et Örneklerine Ait 3050-2750 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları .....    | <b>22</b> |
| <b>Şekil 4.2.</b> Göğüs Et Örneklerine Ait 3050-2750 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları .....  | <b>22</b> |
| <b>Şekil 4.3.</b> But ve Göğüs Et Örneklerine Ait 3050-2750 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları .....                        | <b>24</b> |
| <b>Şekil 4.4.</b> But Et Örneklerine Ait 1800-1700 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları .....    | <b>25</b> |
| <b>Şekil 4.5.</b> Göğüs Et Örneklerine Ait 1800-1700 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları .....  | <b>25</b> |
| <b>Şekil 4.6.</b> But ve Göğüs Et Örneklerine Ait 1800-1700 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları .....                        | <b>28</b> |
| <b>Şekil 4.7.</b> But et Örneklerine Ait 1700-1600 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları .....    | <b>29</b> |
| <b>Şekil 4.8.</b> Göğüs Et Örneklerine Ait 1700-1600 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları .....  | <b>29</b> |
| <b>Şekil 4.9.</b> But ve Göğüs Et Örneklerine Ait 1700-1600 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları .....                        | <b>33</b> |
| <b>Şekil 4.10.</b> But Et Örneklerine Ait 1500-1300 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları .....   | <b>34</b> |
| <b>Şekil 4.11.</b> Göğüs Et Örneklerine Ait 1500-1300 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları ..... | <b>34</b> |
| <b>Şekil 4.12.</b> But ve Göğüs Et Örneklerine Ait 1500-1300 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları .....                       | <b>37</b> |
| <b>Şekil 4.13.</b> But Et Örneklerine Ait 1250-1200 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları .....   | <b>38</b> |

|                                                                                                                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Şekil 4.14.</b> Göğüs Et Örneklerine Ait 1250-1200 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları .....                  | <b>38</b> |
| <b>Şekil 4.15.</b> But ve Göğüs Et Örneklerine Ait 1250-1200 cm <sup>-1</sup> Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları .....                                        | <b>40</b> |
| <b>Şekil 4.16.</b> a) But ve Göğüs Et Örneklerine Ait Protein Profilleri ve b) Proteinlerin Toplam Konsantrasyonları (µg/µL).....                                                           | <b>44</b> |
| <b>Şekil 4.17.</b> Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait But Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede (4000-650 cm <sup>-1</sup> ) Elde Edilen Ayrım (Discrimination) Grafiği .....  | <b>45</b> |
| <b>Şekil 4.18.</b> Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait Göğüs Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede (4000-650 cm <sup>-1</sup> ) Elde Edilen Ayrım (discrimination) Grafiği..... | <b>46</b> |

## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

**%:** Yüzde

**ACT:** Aktin

**ATR:** Azaltılmış Toplam Yansıma

**BSA:** Sığır Serum Albümini

**CFU:** Colony Forming Units (Koloni Oluşturan Birimler)

**CLA:** Konjuge Linoleik Asit

**cm:** Santimetre

**COX2:** Siklooksijenaz 2

**DNA:** Deoksiribo nükleik asit

**DRI:** Diyet Referans Alımı

**EFSA:** Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi

**ELISA:** Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay

**FAO:** Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı

**FDA:** Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi

**FTIR:** Fourier Dönüşümü Kızılötesi

**g:** Gram

**GC:** Gaz kromatografisi

**HADYEK:** Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu

**HCLP:** Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi

**HSI:** Hiperspektral Görüntü İşleme

**IR:** Kızılötesi

**kDa:** Kilodalton

**kg:** Kilogram

**LDA:** Doğrusal Ayırtaç Analizi

**m/z:** Kütle Yük oranı

**mg:** Miligram

**MHC:** Miyozin Ağır Zincirleri

**mL:** Mililitre

**MLC:** Miyozin Hafif Zincirleri

**MVA:** Çok Değişkenli Analiz

**MW:** Moleküler Ağırlık

**NIR:** Yakın Kızılötesi Spektroskopisi

**nm:** Nanometre

**°C:** Santigrat

**PBS:** Phosphate Buffered Saline

**PCA:** Temel Bileşenler Analizi

**PCR:** Polymerase Chain Reaction (Polimeraz Zincir Reaksiyonu)

**PDCAAS:** Protein Sindirilebilirliği Düzenlenmiş Amino Asit Notu

**PER:** Protein Verimlilik Oranını

**PGC-1:** Peroxisome Proliferator-Activated Receptor-Gamma Coactivator 1

**pH:** Potential of Hydrogen (Hidrojen Potansiyeli)

**PUFA:** Doymamış Yağ Asitleri

**rpm:** Revolutions Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)

**SDS-PAGE:** Sodyum Dodesil Sülfat–Poliakrilamid Jel Elektroforez

**SVD:** Tekil Değer Ayırımı

**SVM:** Destek Vektör Makinesi

**Tnt:** Troponin-T

**T-PER:** Doku Proteini Ekstraksiyon Reaktifi

**TPM:** Tropomiyozin

**V:** Voltaj

**WBP:** Su Bağlanma Potansiyeli

**WHC:** Su Tutma Kapasitesi

**$\alpha$  -act:**  $\alpha$  -aktinin

**$\alpha$ :** Alfa

**$\beta$ :** Beta

**$\mu\text{g/mL}$ :** Mililitre Başına Mikrogram

**$\mu\text{g}$ :** Mikrogram

**$\mu\text{L}$ :** Mikrolitre

## 1.GİRİŞ

Hayvansal proteinler, insan vücudunda protein sentezi için gerekli olan esansiyel aminoasitlerin temel kaynaklarından biridir (Thomson vd., 2010: 12). Hayvan kas hücrelerinde bulunan aktin ve miyozin tüm temel aminoasitleri içerdiğinden dolayı yüksek kaliteli proteinler olarak kabul edilmektedir. (Carroll vd., 1986: 8965; Maita vd., 1981: 417). Bu açıdan tavuk eti tüketimi, insanlara bol miktarda protein, yağ ve eser element sağlamaktadır (Xiong vd., 2015: 650). Tavuk eti vitamin A, tiyamin, demir, fosfor ve nikotinik asit gibi mikro besin içeriği açısından da yüksek biyolojik değere sahip bir protein kaynağıdır. Ayrıca düşük kalori değeri ve düşük yağ içeriği sayesinde sağlıklı bir gıda olarak da gösterilmektedir. Bu nedenle, diğer et türlerine nazaran tavuk etinin üretimi ve tüketimi dünya çapında yaygınlık kazanmıştır (da Silva vd., 2017: 1819).

1970’li yıllardan günümüze kadar dünya nüfusu iki misli artarak 7,6 milyara, ülkemizin nüfusu 34 milyondan yaklaşık 80 milyona ulaşmıştır. Önümüzdeki 10 yıllık dönemde dünya nüfusunun yaklaşık 1 milyar kişi artması beklenirken, ülkemizde de 10 milyonluk bir artış beklenmektedir. Et endüstrisinin tüm dünyada temel amacı ürün kalitesini yükseltmek, et ürünlerinin sağlıklı koşullarda üretimini gerçekleştirmek, besinsel değeri yüksek ve sağlık açısından risk oluşturmeyen ürün formülasyonları geliştirmektir. Bu nedenle Ar-Ge faaliyetleri neticesinde et endüstrisine yeni kazandırılan ürünlerin, tüketiciler tarafından kabul görmesi, sağlıklı beslenmede herhangi bir risk unsuru taşımaması ve ürün kalitesinin sürekli korunması gerekmektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (Food And Agriculture Organization-FAO) 2020 yılı verilerine göre dünyada 133,3 bin ton (FAO, 2020: 133), Türkiye’de ise 1,97 bin ton tavuk eti üretimi gerçekleşmiştir (TÜİK, 2021). Ülkemiz 2018 yılında ise 2,15 bin ton ile en yüksek üretim miktarını gerçekleştirmiştir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021: 2). Tavukçuluk 1970’li yıllarda ülkemiz hayvancılık sektörü içinde gelişmeye başlamış olup özellikle 1980’li yıllardan sonra kendi üretim planlamasını yapabilen ve ülke ihtiyacını karşılayabilen önemli bir sanayi sektörü haline gelmiştir. Üretim süresinin kısalığı, birim alanda yüksek verimlilikle üretim yapılabilmesi, iş gücünün diğer tarımsal işletmelere nazaran daha düşük olması, ete dönüşme oranının yüksek olması, kırmızı et ile kıyaslandığında ucuz, kolesterol ve yağ oranı düşük, sindirimi kolay, besin değeri açısından iyi bir protein kaynağı olması nedeniyle tavuk eti üretimi, hayvancılık sektöründe önemli bir yere sahiptir.

Et endüstrisinde ürünlerin ayrımı ve sınıflandırılması en kritik kalite kontrol aşamalarındandır. Oysa et endüstrisinde kalite sınıflandırılması için kullanılan günümüz yöntemlerinin neredeyse tümü kullanıcı bağımlı, zaman alıcı, zahmetli ve pahalı geleneksel

yöntemlerdir (Xiong vd., 2015: 649). Geleneksel yöntemler de etin su içeriğinin belirlenmesi için Karl Fischer titrasyon yöntemi kullanılmaktadır (Fischer, 1935: 394). Bu yöntem de çözücü olarak metanol ve baz olarak piridin kullanılmaktadır. Alkol, kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve baz ile reaksiyona girerek ara ürün olarak alkilsülfat tuzu oluşturur. Daha sonra ara ürün iyodin (I<sub>2</sub>) ile oksitlenerek alkilsülfat tuzunu oluşturmaktadır. Bu reaksiyonda 1 mol iyodine karşı 1 mol su (H<sub>2</sub>O) tüketilerek etin su içeriği belirlenmektedir (Soren ve Biswas, 2020: 27). Etin protein içeriği ise evrensel olarak kullanılan Kjeldahl yöntemiyle toplam nitrojen (N) içeriğinin belirlenmesi temeline dayanmaktadır. Bu yöntem de ise nitrojenin amonyuma (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dönüştürüldüğü bir analitik reaksiyon ile gerçekleşmektedir. Analitik reaksiyon sonrası meydana gelen NH<sub>4</sub><sup>+</sup> miktarı titrimetri, kolorimetri veya iyonca özgü bir elektrot kullanılarak tespit edilmektedir. Elde edilen değer daha sonra  $N \times 6.25$  ( $1/0,16=6.25$ ) formülü ile toplam nitrojen içeriğinin protein içeriğine dönüştürülmektedir. Bu şekilde etteki toplam protein miktarı tespit edilmektedir (Soren ve Biswas, 2020: 28). Etteki toplam lipid içeriğinin belirlenmesinde ise organik çözücü ekstraksiyon yöntemleri, alkalın ve asit hidrolizi ardından Mojonnier ekstraksiyon yöntemi ile belirlenmektedir. Etteki yağ asitlerinin belirlenmesinde ise sırasıyla lipid ekstraksiyonu, yağ asitlerinin metil esterinin hazırlanması (FAME) ve gaz kromatografisi (GC) analizi şeklinde üç aşamadan oluşmaktadır (Soren ve Biswas, 2020: 30). Etin kimliğinin belirlenmesinde ise protein bazında Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay (ELISA) yöntemi, DNA temelinde ise PCR metodu kullanılmaktadır. Bahsedilen bu geleneksel yöntemler kullanıcı bağımlı yani örnek hazırlama tekniklerinin iyi optimizasyonunu gerektirirken aynı zamanda bu yöntemlerin birçoğu da yanıcı çözücülerin kullanımını gerektirmektedir (Girish ve Karabasanavar, 2020: 134). Bu teknikler aynı zamanda önemli ölçüde toksik atık salınımına yol açmaktadır (Dion vd., 1994: 325). Dolayısıyla modern et endüstrisi, et ve et ürünlerinin kalite değerlendirilmesine yönelik hızlı ve invaziv olmayan (tahribatsız) yöntemler arayışındadır (Xiong vd., 2015: 649).

Şimdiye kadar dünyada endüstriyel olarak üretilen broyler tavuk etlerin kalitesinin artırılması ve analizi için birçok yöntem/ürün için patentler alınmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesinde broyler tavuk eti kalitesini arttırmak üzere mısır, çam iğnesi, buğday, soya fasulyesi, kolza tohum keki, ince pirinç kepeği, yonca, dikalsiyum fosfat, sofra tuzu, vitamin karışımı ve çin bitkisel ilaç katkı maddeleri kullanılmıştır (Jowto Tech Co Ltd, 2018) (Rüçhan No: CN201810347555). Başka bir patent çalışmasında inülin içeren prebiyotikli yem hazırlama yöntemi geliştirilmiştir (Skvortsova, 2018) (Rüçhan No: RU20170141877). Broyler tavuk eti kalite analizinde spesifik gen ifadesi analizi ile çeşitli morfolojik ve moleküler parametrelere

dayalı değerlendirme yöntemleri de önerilmiştir. Bir çalışmada kas oluşumunda görev alan Peroksizom Proliferatörü ile Aktive Olan Reseptör-Gama Koaktivatörü 1 Alfa (PGC-1 alfa) geninin 646. nükleotid G-A mutasyonu analizi ile iyi et kalitesine sahip tavukların tespitinde kullanılabilecek bir yöntem olduğu önerilmiştir (Huifang vd., 2018) (Rüçhan No: CN20151031819). Başka bir çalışmada tavuk eti kalitesini ayırt etmek için siklooksijenaz 2 (COX2) geninin aminoasit sekansına dayalı tek nükleotid polimorfizmlerinin seviyesinin ölçümüne dayanan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu geliştirilen yöntemde yerli kore tavukları ile broyler tavuk ırklarının COX2 genine ait RNA kütüphanesi oluşturulmuştur (Kee, 2018) (Rüçhan NO: KR20160169947). Tavuk etinin kalitesinin morfolojik olarak belirlenmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada ise ışık mikroskobu ile kas yapısının belli parametrelerine bakılarak kalite belirlenme yaklaşımı uygulanmıştır (Vladyslavivna vd., 2008) (Rüçhan No: UAU200804132U). Et kalitesinin moleküler olarak belirlenmesi ile ilgili belirli et tipine özgü peptidleri tanımlayabilecek yöntem de geliştirilmiştir. Bu yöntem de tavuk, sığır, kuzu, domuz, ördek ve at etleri kullanılmıştır. Her bir et türü için %0, %1, %5 ve %100 oranlarına sahip et karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar için LC-MS/MS (Sıvı Kromatografisi-Kütle Spektrometresi) kullanılarak her bir et türüne özgü peptidlerin kütle/yük (m/z) oranları belirlenmiştir. Et türlerine özgü peptidlerin belirlenen m/z oranları temel alınarak et türlerinin ayrımı yapılmıştır (Lihai vd., 2018) (Rüçhan No: US201662384925P). Geliştirilen/patenti alınan yöntemler arasında kapsamlı protein yapıları, toplam protein miktarı ve miktar, esansiyel aminoasitler, trigliseritler ve yağlar gibi hücresel moleküller temelinde bir yaklaşım ise bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında tavuk etinin kalite faktörlerini moleküler olarak belirleyip bu kalite faktörlerinin tespitine yönelik bir analiz tekniğinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Böyle bir yöntem ile başta ülkemiz olmak üzere dünyada fazla miktarda üretilen tavuk etinin kalite analizi hızlı, tahribatsız, düşük maliyetli ve yüksek güvenilirlik oranı ile yapılabilecek ve kalite denetimindeki olumsuzluklar engellenecektir.



## 2.LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1. Protein Kalitesi ve Sindirilebilirlikleri

Proteinler, insan diyetindeki en önemli besinler arasında olup yeterli miktarı tüm organların normal büyümesi ve gelişmesi için gereklidir. Yeterli miktardaki protein kaynağı, diyet proteinlerinin vücudun beslenme ihtiyacını karşılama yeteneği olarak tanımlanır. Bu tanım sadece elde edilen proteinlerin miktarına bağlı değil aynı zamanda esansiyel aminoasitlerin dengesi ve sindirilebilirlikleri açısından da protein kalitesine bağlıdır (Ertl vd., 2016: 1883).

Protein kalitesi bilim insanları tarafından diyet proteinlerinin vücut dokularının büyüme ve gelişim ihtiyaçlarını karşılama yeteneği olarak tanımlanır (Katz vd., 2019: 755). İnsanlar vücut proteinlerini sentezlemek için bazı aminoasitlerin düzenli olarak alımına ihtiyaç duymaktadır (Tablo 2.1). Bu nedenle protein kalitesi kriterleri, bir gıdadaki temel aminoasit içeriğine ve bunların sindirilebilirliğine dayanmaktadır. Günümüzde bu kriterler, gıdalardaki protein içeriğinin uygunluğunu değerlendirmek için ulusal ve uluslararası düzenleyici kurumlar tarafından kullanılmaktadır (Lewis, 2012:222).

**Tablo 2.1.** İnsanlar İçin Esansiyel ve Esansiyel Olmayan Aminoasitler

| Esansiyel aminoasitler |           | Esansiyel olmayan aminoasitler |               |
|------------------------|-----------|--------------------------------|---------------|
| Fenilalanin            | Valin     | Alanin                         | Arjinin       |
| Triptofan              | Treonin   | Asparajin                      | Aspartik Asit |
| İzolösin               | Metiyonin | Sistein                        | Glutamik Asit |
| Histidin               | Lösin     | Glutamin                       | Glisin        |
|                        |           | Prolin                         | Serin         |
|                        |           | Treonin                        | Tirozin       |

**Kaynak:** (Lopez ve Mohiuddin, 2020: 3)

Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) günümüzde protein kalitesini ölçmek için Protein Sindirilebilirliği Düzenlenmiş Amino Asit Notunu (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score, PDCAAS) kullanırken Kanada hükümeti ise Protein Verimlilik Oranını (Protein Efficiency Ratio, PER) kullanmaktadır (Katz vd., 2019: 755). Bu ölçü birimlerine göre hayvansal protein kaynakları (et, deniz ve süt ürünleri) yüksek sindirilebilirlik ve insan gereksinimlerine uygunluğu nedeniyle bitkisel protein kaynaklarına göre üst sıralarda yer almaktadır; çünkü bitkisel proteinlerin esansiyel aminoasit dağılımı düşük olabilmektedir. Örneğin içerik olarak tahıllar lizin aminoasiti bakımından düşük olma eğilimi gösterirken baklagiller metiyonin aminoasiti bakımından düşüktür (Galili vd., 2005: 817; Tome, 2013: 273). Ancak çeşitli bitkisel protein kaynakları yeterli miktarlarda tüketildiğinde esansiyel aminoasit ihtiyacı hayvansal protein alımı olmaksızın da karşılanabilir (Melina vd., 2016: 1971).

## **2.2. Tavuk Etinin Önemi ve Bileşimi**

Kümes hayvanları, küresel et tüketiminin yaklaşık %30'unu oluşturan önemli bir hayvansal protein kaynağıdır (Cao vd., 2020: 1). Günümüzde kanatlı et ürünleri evrensel olarak popülerdir. Bunun nedeni ise bu ürünlerin kültürel veya dini kısıtlamalarının olmaması, diğer et türlerine göre ucuz, düşük yağ ve kolesterol oranı ile yüksek doymamış yağ asitlerine (PUFA) sahip olması ve dolayısıyla tüketiciler tarafından sağlıklı bir et olarak kabul edilmesidir (Barroeta, 2007: 278; Cao vd., 2020: 1). Ayrıca kanatlı eti, konjuge linoleik asit (CLA), vitaminler ve antioksidan ve PUFA (n-3 ve n-6) içeriği nedeniyle insan sağlığına önemli etkileri olan biyoaktif besin kaynağıdır (Barroeta, 2007: 279).

Kanatlı eti, dengeli aminoasit bileşimine sahip önemli bir protein kaynağıdır. Kanatlı etleri %80–84 oranında besleyici özelliğe sahip olup metiyonin ve fenilalanin gibi gıda maddelerinde en düşük miktarda bulunan sınırlayıcı (restrictive) aminoasitleri içermektedir. Ayrıca kanatlı eti yaklaşık olarak %97 oranında sindirebilir protein içermektedir. Genç kümes hayvanlarından elde edilen et, yaşı büyük olan hayvanlardan elde edilen ete kıyasla daha düşük miktarlarda kolajen ve elastin içermektedir (Stangierski ve Lesnierowski, 2015: 72). Düşük kolajen içeriği de etin sindirilebilirlik oranını arttırmaktadır (Marangoni vd., 2015: 27606).

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesinin (EFSA) günlük referans değerlerinde her yaştan sağlıklı bireyin vücut ağırlığı oranına göre gereken ihtiyacı karşılayabilmesi için günde 0,83 g/kg protein alımına ihtiyacı olduğunu belirtmiştir (EFSA, 2012: 2). Benzer değerler Amerikan vatandaşları için Diyet Referans Alım Miktarları (DRI) olarak da rapor edilmiştir. Bu nedenle, porsiyon kümes hayvan tüketiminin; 70 kg ağırlığındaki bir erkeğin günlük protein ihtiyacının

yaklaşık olarak 1/3' ünü karşılayabilecek potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir (Marangoni vd., 2015: 27606).

Kanatlı eti B vitamini, (B1, B2, B3, B5, B6, B7, B9 ve B12) kaynağı olup aynı zamanda A, D, K ve E gibi yağda çözünen vitaminleri, ayrıca demir, çinko, potasyum, fosfor, sodyum, magnezyum, kalsiyum, bakır ve selenyum gibi önemli mineralleri de içermektedir (Stangierski ve Lesnierowski, 2015: 72).

### **2.3. Et Kalitesine Etki Eden Faktörler**

Kalite, bir ürünün ayrı ayrı birimlerini farklılaştırarak kullanıcı için kabul edilebilirlik derecesini belirlemede önemi olan özelliklerin birleşimidir. Et endüstrisinde ise kalite, ürünün besleyiciliği, fiziksel, kimyasal, duysal, mikrobiyal, morfolojik, teknolojik ve mutfak özellikleri dahil olmak üzere genel özelliklerini tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Mir vd., 2017: 2998). Et kalitesinin belirlenmesinde en önemli faktörler sadece onun fiziksel ve kimyasal özellikleri değil aynı zamanda tüketicilerin et ürünlerine yönelik kalite algılarıdır (Ismail ve Joo, 2017: 873). Tüketici bakış açısına göre et kalitesi, etin rengi, sululuğu, sertliği, yumuşaklığı, lezzeti ve kokusu gibi parametrelerdir (Mir vd., 2017: 2998).

Tüketiciler, herhangi bir et türünü satın alırken rengine dikkat etmektedir. Etin rengi tazeliğin bir göstergesidir. Bu nedenle et istenmeyen bir renge sahipse lezzet ve yumuşaklık ve koku özellikleri değerlendirilmeden tüketici tarafından tercih edilmemektedir (Joo vd., 2013). Temel olarak et rengi hayvanın yaşı, türü, yem içeriği ve miktarı, yetiştirilme koşulları, kesim şekli ve saklama koşulları gibi faktörlerden etkilenmektedir (Ismail ve Joo, 2017: 874).

Tüketiciler için en önemli kalite faktörlerinden birisi de etin sertliğidir. Etin sertlik derecesi kas içinde tutulan su miktarıyla ilgilidir. Kas proteinlerine sıkıca bağlanan su molekülleri kası şişirerek miyofibriller arasındaki boşluğu doldurur ve ete daha sıkı bir yapı kazandırır. Başka bir faktör ise postmortem (ölüm sonrası) sürecinde meydana gelen kimyasal ve fiziksel değişikliklerdir. Bu durum etin hassasiyetini ve sıkılığını etkiler. Diğer etkenler ise yaş, gelişim hızı, bağ dokusunun olgunluğu ve sıcaklıktır (Mir vd., 2017: 2999). Etteki kas liflerinin yoğunluğunun zamanla artması bağ dokusunun seyrelemesine yol açar. Bu durumda bağ dokusunda bulunan kolajenin yaşla birlikte artan kimyasal çapraz bağları etin sertleşmesine neden olmaktadır. Bu yüzden de yaşlı hayvanların eti daha serttir (Ismail ve Joo, 2017: 875).

Lezzet esas olarak tat ve aromadan oluşur ve tüketicilerin et ürünlerini satın alma tercihlerini etkilemektedir (Jayasena vd., 2013: 732). Etin aroması cins, yaş, yem içeriği ve miktarı, serbest amino asitlerin ve nükleotidlerin varlığı, antioksidanlar, pH, ısınlama ve yüksek

basıncılı işlemler gibi çeşitli üretim ve işleme faktörlerine bağlıdır. Bu nedenle antemortem (ölüm öncesi) ve postmortem faktörler etin lezzetini etkilemektedir. Bunlara ek olarak ette bulunan lipidlerin oksidasyonu sonucu ortaya çıkan kötü tatlar da kalitenin bozulmasına yol açmaktadır. Özellikle beyaz et kırmızı ete göre daha fazla doymamış yağ asitleri içermektedir. Lipit oksidasyonu sonucu oluşan kötü tat beyaz et kalitesiyle ilgili temel sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir (Jayasena vd., 2013: 733).

pH, protein stabilitesini ve özelliklerini doğrudan etkilediği için et kalitesinin en önemli göstergelerinden biridir (Alarcon-Rojo vd., 2019: 371). Etteki pH, kesimden önce kasta bulunan glikojen miktarı ile kesim sonrası glikojenin laktik aside dönüşüm oranıyla bağlantılıdır. pH'ın azalması etteki miyofibril ve sarkoplazmik proteinlerde değişikliğe neden olmaktadır. Bunun sonucunda etin su tutma kapasitesi azalır. pH, etin rengine de etki etmektedir. Eğer et çok koyu ise pH'ı yüksek, az koyu ise pH'ı düşüktür. Ayrıca pH, etin sertliğini ve raf ömrüne de etki etmektedir (Mir vd., 2017: 3000; Alarcon-Rojo vd., 2019: 371).

Su tutma kapasitesi, etin rengine ve sertliğine doğrudan etki eden en önemli faktörlerden biridir. Etlerin su tutma kapasitesinin değerlendirilmesi için su bağlanma potansiyeli terimi kullanılmaktadır. Su bağlama potansiyeli, kas proteinlerinin geçerli koşullar altında tutabileceği maksimum su miktarını temsil etmektedir. Kastaki suyun yaklaşık %85–95'i hücre içinde aktin ve miyozin filamentleri arasındaki boşlukta bulunurken geri kalanı ise miyofibriller arasında bulunmaktadır. Kasların su içeriğinin artması etin sululuğunu, sıkılığı ve boyutunu olumlu yönde etkileyerek ürünün kalitesini ve ekonomik değerini arttırmaktadır. Postmortem sırasında oksijen kaynağı eksikliğinden dolayı laktik asit oluşumu meydana gelmektedir. Bu durum pH'ı düşürerek proteinlerin denatürasyonuna ve kas proteinlerinin su bağlaması için gerekli reaktif gruplarının azalmasına neden olur. Bu reaktif grupların azalması sonucunda kas pH'ı izoelektrik noktaya ulaşır, proteinlerin reaktif grupları arasındaki pozitif ve negatif yükler eşitlenir ve neticede proteinler ile yüklü su grupları arasında neredeyse herhangi bir etkileşim gerçekleşmez. Bu olay sonucunda proteinlerin su bağlama potansiyeli azalmaktadır (Mir vd., 2017: 3000).

#### **2.4. Et Kalitesinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler**

Et kalitesinde görünüm, yumuşaklık ve renk gibi fiziksel özelliklerinin yanı sıra kimyasal bileşimi ve mikrobiyolojik yönleri de önemlidir (Taheri-Garavand vd., 2019: 183). Et ürünlerinin kalite ve güvenlik değerlendirilmesi için bir dizi geleneksel yöntem mevcuttur. Geleneksel yöntemler arasında duyuusal, mikrobiyolojik, kimyasal ve immünolojik analizler yer almaktadır. Bu geleneksel yöntemlerin tümü kullanıcı bağımlı, zaman alıcı, zahmetli ve pahalı

yöntemlerdir. Bu nedenle et tedarik zincirindeki üretkenliği ve kararlılığı arttırmak için hızlı ve invazif olmayan alternatif yöntemler araştırılmaktadır (Troy vd. 2016: 2; Xiong vd. 2017: 755).

Et kalitesinin belirlenmesinde kullanılan analitik yöntemlerden biri olan titreşimli spektroskopi, günümüzde et ve diğer gıdaların kalitesini değerlendirmek için sıkça kullanılmaktadır (Rohman, 2019: 10). Moleküler titreşimleri algılayan ve orta kızılötesi bölgelerde moleküllere özgü spektral bantlar oluşturabilen Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, çoklu işlem yapabilme yeteneği ile biyolojik analizlerde hızlı, basit ve tahribatsız bir şekilde geniş spektrum verisi elde etmek için kullanılan bir yöntemdir (Baker vd., 2014: 1771; Kosa vd., 2017: 195; Bureau vd., 2019: 1). Ayrıca FTIR spektroskopisi yüksek doğruluk oranlı, hızlı ve kolay olduğu için fizikokimyasal bir parmak izi tekniği olarak kemometri ile birlikte gıda ürünlerinin analizinde çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır (Ammor vd., 2009: 507; Xiong vd., 2015: 649; Nunes vd., 2016: 14; Pebriana vd., 2017: 1995; Barbon vd., 2018: 1; Deniz vd., 2018: 1; Sinanoglou vd., 2018: 152).

Et ürünlerinin bozulma derecesini belirlemede FTIR spektroskopisi yöntemi birçok çalışmada kullanılmıştır (Ellis vd., 2002: 2822; Ammor vd., 2009: 507; Vasconcelos vd., 2014: 2330; Xiong vd., 2015: 649; Barbon vd., 2018: 1; Sinanoglou vd., 2018: 152). Ellis vd. (2002), FTIR spektral analizi ile mikroorganizmaların  $10^7$  cfu g<sup>-1</sup>'e ulaştığı zamanı, etin bozulma başlangıcı olarak belirlemiştir (Ellis vd., 2002: 2822). Vasconcelos vd. (2014), kıyılmış sığır eti, domuz eti ve kanatlı etlerdeki bozulmayı belirlemek için FTIR analizi yapmışlardır (Vasconcelos vd., 2014: 2330). Ammor vd. (2009), etteki bozulmayı ölçmek için kemometrik yöntemler ile birlikte FTIR spektroskopisini kullanmışlardır. Bu çalışmada çeşitli depolama koşullarına maruz kalan sığır etlerinin mikrobiyal sayımı, pH ve duyu özellikleri incelenmiş, bozulmanın hızlı ve tahribatsız olarak analiz edilmesi için bu iki yöntemin birlikte kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Ammor vd., 2009: 507). Barbon vd. (2018), yakın kızılötesi spektroskopisi (NIR) temelinde gözetimli makine öğrenim algoritmaları (Destek Vektör Makinesi-SVM) ile tavuk etinin kalite parametrelerinin analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu güncel çalışmada çeşitlilik olması bakımından farklı özelliklere sahip tavuk etleri seçilmiştir. Elde edilen etler önce 400-2500 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında NIR spektroskopisinde analiz edilmiştir. Hayvanın ölümünde 48 saat sonra ise tavuk etlerinin renk, su tutma oranı (WHC) ve pH gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri ölçülmüştür. Elde edilen veri setleri, gözetimli öğrenim algoritması uygulanarak 12 spektral parametre seçilmiştir. Bu seçilen spektral parametreler ile tavuk etlerinin kalite derecelerine göre sınıflandırılması %77,2 hassasiyet oranında yapılmıştır (Barbon vd., 2018: 1). Tavuk eti kalitesinin belirlenmesine

yönelik yapılan başka bir kemometrik ile birleştirilmiş hiperspektral görüntü işleme (Hyper spectral imaging-HSI) kızılötesi çalışmasında et kolajeni oluşumunda önemli aminoasit olan hidrokisprolin'in miktarı hızlı bir şekilde belirlenmiştir (Xiong vd., 2015). Bu çalışmada aynı zamanda kemometrik modeller ile birlikte HSI tekniği kullanılarak serbest dolaşan (free range) tavuk eti, konvansiyonel yetiştirilen tavuk etinden % 93 başarı oranı ile ayırt edilmiştir (Xiong vd., 2015: 649). Dana kıymasındaki ham protein ve yağ oranlarını belirlemede FTIR spektroskopisi geleneksel yöntemlere göre güvenilirliği daha yüksek ve tekrarlanabilir (reproducible) sonuçlar vermiştir (Deniz vd., 2018: 2). Bir başka çalışmada, FTIR spektroskopisi ve kemometrik yöntemler kullanılarak soğuk depo koşullarında saklanan domuz ve hindi kökenli jambonlar raf ömrü, et tipi ve işlenmesi açısından sınıflandırılmıştır (Sinanoglou vd., 2018: 152).

Her gıdanın kendine özgü fiziksel ve kimyasal özellikleri vardır. Bu özellikler, yani gıdanın kökeni (bölge, çeşit vb.), üretim yöntemi ve kimyasal bileşimi, gıdanın parmak izini (food fingerprinting) oluşturur. Gıda parmak izi, spesifik markör bileşiklerinin analizine dayanan klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında yalnızca bir analitik yöntemle, çoklu hedefleri araştırmak için bazı avantajlara sahiptir. Bu avantajlar hızlı, tahribatsız ve yüksek doğruluk oranı ile gıdalardaki farklı bileşenlerin analizine olanak sağlar. Gıda parmak izi analizlerinde genellikle spektroskopik teknikler ve çok değişkenli veri analizleri kullanılır. Gıda sahtekârlığını tespit etmek için elde edilen veriler, farklı analitik tekniklerle kemometrik yöntemlerin bir araya getirilmesi ile artırılabilir. Gıda sahtekârlığı ürünlerin kalitesini düşürür, tüketicileri yanıltır ve sağlığı olumsuz yönde etkiler (Nunes vd., 2016: 14). Brezilya'da 2012 yılında polis tarafından tespit edilen sığır etindeki sahtekârlık, beş fizikokimyasal parametre (protein, sodyum, klorür, fosfat ve kül) verilerinin FTIR tekniği ile analiz edilmesiyle ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada federal polis tarafından ele geçirilen 43 tane hileli sığır eti ile 12 tane hilesiz sığır eti kullanılmıştır. Elde edilen sığır etlerindeki toplam protein içeriği Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir. Kuru ağırlıkları ise 550 °C' de kül haline getirilip ölçülmüştür. Kül haline getirilmiş et örneklerindeki fosfat sodyum ve klorür içerikleri ise iyon kromatografisi kullanılarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte sığır et örnekleri FTIR spektroskopisinde 4000-525 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında analiz edilmiştir. Elde edilen veri setleri, gözetimsiz ve gözetimli öğrenim algoritmaları ile modelleme yapılarak ayrımı gerçekleştirilmiştir (Nunes vd., 2016: 14). Deniz vd. (2018), kemometrik yöntemler ile birlikte FTIR tekniğini kullanarak çiğ et karışımlarındaki sığır etinin ayrımını başarılı bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Bu güncel çalışmada, kıyılmış tavuk ve hindi eti farklı oranlar ile kıyılmış sığır eti ile karıştırılmış ve

çalışma sonunda karışımdaki her et türüne özgü parmak izi FTIR spektrumu belirlenmiştir (Deniz vd., 2018: 1). Müslüman ülkelerde etin helal kesim doğrulaması önemli bir gıda kalite kontrolü işlemidir (Pebriana vd., 2017: 1995). Dolayısıyla, helal kimlikle satışa çıkarılan et ürünlerinde helal olmayan hayvan bileşenlerinin en düşük konsantrasyonlarını bile hızlı bir şekilde tespit edecek parmak izi (fingerprint) sistemlere ihtiyaç vardır (Pebriana vd., 2017: 1996). Bu bağlamda, FTIR spektroskopisi ve kemometrik yöntemler kullanılarak dana etinden üretilen sosislere katılan fare eti, spektral lipid profili temelinde tespit edilmiştir (Pebriana vd., 2017: 1995).

## **2.5. Kemometri**

Günümüzde bilgisayar, yazılım, istatistik ve uygulamalı matematik alanlarındaki gelişmeler, kimya alanında, özellikle de analitik kimyada kompleks sistemlerin çözümü için kemometri adı verilen yeni bir disiplinin doğuşuna neden olmuştur. Bu gelişmeler, analitik kimya ve komşu branşlardaki araştırmacılara, analitik problemlerin çözümünde yeni olanaklar sağlayan çok boyutlu ve çok değişkenli parametrelerin kullanıldığı kemometrik yöntemlerle yeni çalışma alanları doğurmuştur (Dinç, 2007: 61).

Kemometri, istatistik ve matematik ile birlikte bilgisayar kullanarak kimyasal verilerin işlenmesini kapsayan bir kimya disiplini. Bu kemometrik yöntemlere gösterilen rağbet, kemometrinin kimya ve analitik kimyada kompleks numunelerin analizinde hızlı, doğru, kesin ve güvenilir sonuçlara ulaşmak için esnek ve çok yönlü çözümler sunmasına bağlanabilir. Kemometri, tanımlayıcı ve açıklayıcı istatistik (descriptive and inference statistics), sinyal işleme (signal processing), deneysel tasarım (experimental design), modelleme (modeling), ölçümleme (calibration), optimizasyon (optimization), yapı tanıma (pattern recognition), sınıflandırma (classification), yapay zeka yöntemleri (artificial intelligence methods), resim işleme (image processing) ve bilgi ve sistem kuramı (information and system theory) gibi kavram ve uygulamaları içeren konulardan oluşmaktadır (Dinç, 2007: 62). Analitik kimya, adli tıp, biyoloji, gıda kimyası, çevre kimyası, arkeoloji gibi alanlarda kullanılan kemometrik yöntemler (çok değişkenli örüntü tanıma yöntemleri), IR spektrofotometre, UV-görünür alan spektrofotometre, spektroflorimetre, potansiyometre, elektrokimyasal analizör, kütle spektrometre, yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) ve kapiler elektroforez gibi analitik cihazlardan elde edilen verilere uygulanmaktadır (Dinç, 2007: 70). Bazı çalışmalarda verilerin oldukça karmaşık olması, sıradan algoritmalarla çözümlenemeyecek derecelere ulaşabilmektedir. Bu sebepten dolayı günümüz dünyasında, makine öğrenimi ile yapay zekâ çalışmaları en çok üzerinde durulan yaklaşımlar haline gelmiştir. Bunun başlıca nedeni, hem

bilimsel çalışmalarda, hem de endüstriyel ölçekli uygulamalarda yaşanan problemlerin büyümesiyle birlikte karmaşıklıkların ve beraberinde ortaya çıkan hatalar ile bu hataları düzeltme maliyetlerinin artmasıdır (Fenton ve Ohlsson, 2000: 797; Song vd., 2006: 69). Bazı projelerde ortaya çıkan hataların önceden tespit edilip düzeltilmesi, öngörülen maliyeti ve proje süresini aşma risklerini azaltır. Ortaya çıkması muhtemel hataları mümkün olduğu kadar erken tespit edebilmek için, verimli ve etkili bir test planının uygulanması gerekir (Kılınç vd., 2015: 113).

Yapay zekâda gözetimsiz öğrenme (unsupervised learning) modeli, gözlemlere bağlı bir makine öğrenmesi tekniği olup temelinde yine gözetimsiz örüntü tanıma/kemometrik algoritmalar yatmaktadır. Açıklamak gerekirse yöntem, çıktı verileri kullanılmadan sadece girdiler üzerinden öğrenme işlemini gerçekleştirmeye çalışır. Bu yöntem özellikle veri nesneleri kümesini toplamada kullanılır (Uzun, 2007: 9). Yapay zekâda gözetimli öğrenme (supervised learning) ise eğitim verileri üzerinden bir fonksiyon üreten makine öğrenmesi tekniği olup, gözetimli örüntü tanıma/kemometrik algoritmalar ile çalışmaktadır. Başka bir deyişle, bu öğrenme tekniğinde algoritmada girdilerle (etiketlenmemiş veri) çıktıları (etiketlenmiş veri) arasında işlem yapan bir fonksiyon üretilir (Uzun, 2007: 10). Bu çalışmada birer kemometrik analiz aracı olarak Principal Component Analysis (PCA) ve Linear Discriminant Analysis (LDA) yöntemleri kullanılmıştır.



### **3. MATERYAL VE METOT**

#### **3.1. Et Örneklerinin Elde Edilmesi ve Deneysel Gruplar**

Et örnekleri toptancı süpermarketlerde bütün olarak satılan piliçlerden (tüm piliç) temin edilmiştir. Bütün piliçlerin yani deneysel grupların yaklaşık aynı ağırlıkta (kg) ve her grubun aynı üretim parti no'lu olmasına dikkat edilmiştir. Çalışma kapsamında beş (5) farklı broyler tavuk üretici markalı ürünler temin edilmiştir. Her bir örnekten but ve göğüs olmak üzere iki (2) farklı bölgeden en az beş (5) örnekleme yapılmıştır. Özetle, her gruptan 50 olmak üzere, toplamda 250 (125 but, 125 göğüs) örnek elde edilmiştir (Tablo 3.1). Tüm örnekleme işlemleri buz üzerinde ve soğuk ortamda gerçekleştirilmiştir. Kızılötesi spektroskopisi (ATR-FTIR) ile spektrum eldesi çalışmalarında örnekler (250 adet) buz üzerinde taze olarak anında ve aynı gün incelenmiştir. Protein izolasyonu ve SDS-PAGE protein profillemeye çalışmalarında kullanılmak üzere örnekler etiketlenerek -80 °C derin dondurucuda uygun koşullarda muhafaza edilmiştir. Çalışmada ölü hayvan dokusu/mezbaha materyalleri (tavuk) kullanılmıştır. Bu kapsamda, 15/2/2014 tarih ve 28914 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Hayvan Deneyleri Etik Kurullarının Çalışma Usul ve Esaslarına Dair Yönetmeliğine ve HADYEK Yönergesine uygun olarak etik kurul izin şartı aranmamaktadır.

#### **3.2. Zayıflatılmış Toplam Yansıma-Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektroskopisi (ATR-FTIR) Yöntemi ile Et Örneklerin Analizi**

But (125 adet) ve göğüs (125 adet) bölgesinden elde edilen örnekler (toplam 250 adet) hiçbir ön işlem yapılmadan ATR ünitesinin (PerkinElmer) Zn/Se kristali üzerine yerleştirilerek ATR-FTIR spektrometresi (PerkinElmer) ile 4 cm<sup>-1</sup> çözünürlük ve 32 tarama sayısı aralığında optimize edilerek incelenmiştir. Spektrumların eldesi Spectrum One (PerkinElmer) yazılımı ile 4000-650 cm<sup>-1</sup> dalga boyu (wavenumber) aralığında gerçekleştirilmiştir. İncelenen her bir örneğe ait ortalama spektrumlara, farkların görsel ifadesi için temel çizgi (baseline) düzeltilmesi yapılmıştır. Daha sonra OPUS 5.5 (Bruker) yazılımı ile spektrumların ikincil türevleri alınarak vektör-normalizasyonu uygulanmıştır. Bu şekilde işlenen spektrumlardaki protein, trigliseritler/diğer yağlar ve nükleik asit moleküllerine özgü bantların mutlak yoğunlukları (absolute intensity) hesaplanarak analiz edilmiştir. Biyofotonik biliminde molekülün yoğunluk değeri o molekülün ışığı soğurması yani absorbansı ile orantılıdır. Moleküler spektroskopide Beer-Lambert yasası, ışığı emen bir malzemenin soğurmasının çözeltideki konsantrasyonu ile orantılı olduğunu belirtir (Gurbanov vd., 2016: 849).

**Tablo 3.2.** Çalışma Kapsamında Temin Edilen Beş Farklı Broyler Tavuk Üretici Markalı Ürünlerin But ve Göğüs Bölgelerinden Elde Edilen Örneklerin Sayısı.

| DeneySEL Gruplar | Bütün Piliç Sayısı<br>(N) | But<br>(N) | Göğüs<br>(N) |
|------------------|---------------------------|------------|--------------|
| A                | 5                         | 25         | 25           |
| B                | 5                         | 25         | 25           |
| C                | 4                         | 25         | 25           |
| D                | 4                         | 25         | 25           |
| E                | 3                         | 25         | 25           |

### 3.3. Örüntü Tanıma/ Makine Öğrenim Yöntemleri ile Sınıflandırma Çalışmaları

Bu tez çalışmasında farklı markalara ait but ve göğüs örneklerinin marka bazında ayrıştırılması için bir makine öğrenme yaklaşımı olan Doğrusal Ayırtaç Analizi (Linear Discriminant Analysis, LDA) uygulanmıştır. Örüntü tanıma analizlerinde spektral veriler kullanılmıştır. Analizlerin FTIR spektrometrelerinden mümkün olduğunca bağımsız yapılması amacıyla her örnek spektrumu The Unscrambler® X 10.3 (CAMO Software AS, Norveç) yazılımı üzerinde  $4000\text{-}650\text{ cm}^{-1}$  bölgede "baseline offset" transformasyonu ile bir önışlemden geçirilmiştir. Bu şekilde işlenen spektrumlar öncelikle gözetimsiz (unsupervised) bir örüntü işleme tekniği olan Temel Bileşenler Analizine (Principal Component Analysis, PCA) tabi tutulmuştur (Gurbanov vd., 2018: e201700252; Gurbanov vd., 2019: 111580). Spektrumlar standart sapma normalizasyonundan (mean centering normalization) geçirilerek ve tam çapraz validasyon (full cross validation) uygulanarak Tekil Değer Ayrışımı (Singular Value Decomposition, SVD) algoritması ile  $4000\text{-}650\text{ cm}^{-1}$  bölgede analiz edilmiştir.

LDA, n-boyutlu örneklerin doğrusal bir şekilde m-boyutlu bir uzaya dönüştürüldüğü gözetimli (supervised) bir sınıflandırıcıdır. PCA, dönüşümü belirlemek için yalnızca örnek spektrumlarını kullanırken, LDA ayrıca eğitim örneklerinde sınıf bilgilerini kullanır. Bu nedenle daha iyi sınıflandırma ile sonuçlanır. PCA verileri, The Unscrambler® X 10.3 (CAMO Software AS, Norveç) çok değişkenli analiz (MVA) yazılımı ile LDA model girdileri olarak kullanılmıştır. Kategori değişkeni sütunu bir veri matrisine dahil edilmiş ve ardından bir eğitim seti oluşturmak için farklı örnek kategorilerinin tüm spektrumları kullanılmıştır. Tahmin için 14 PCA bileşeninin projeksiyonlarını kullanan Mahalanobis mesafesi yöntemi uygulanmıştır.

Mahalanobis mesafesi, iki ayrı nokta arasında değil, bir nokta (vektör) ile bir dağılım arasındaki mesafeyi ölçen etkili çok değişkenli mesafe metriği olup, Öklid (Euclidean) mesafesinin çok değişkenli bir eşdeğeridir. Çok değişkenli anomali tespiti, oldukça dengesiz veri kümeleri üzerinde sınıflandırma ve tek sınıf sınıflandırmada mükemmel uygulamalara sahiptir. Öncel olasılıklar (prior probabilities) eğitim setinden hesaplanmıştır. Sonuçlar, bir ayırım (discrimination) grafiğinin yanı sıra kestirim (prediction) ve hata (confusion) matrisleri olarak sunulmuştur (Gurbanov vd., 2019: 111580; Tunçer ve Gurbanov, 2020: 718).

### **3.4. Protein İzolasyonu**

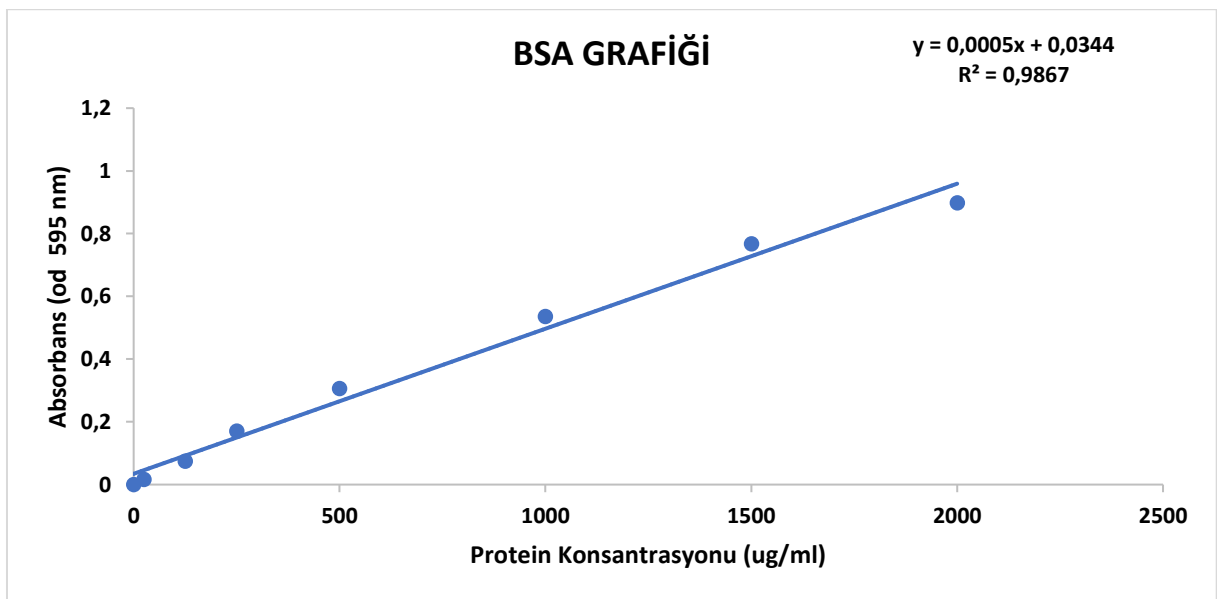
But ve göğüs bölgesinden elde edilen örnekler (50 mg) uygun koşulda 1 mL fosfat tamponu (PBS 0,01M, pH 7) ile buz içerisinde 20.000 rpm'de homojenizatör yardımıyla homojenize edilmiştir. Homojenize edilmiş örnekler +4°C 5000 xg'de 5 dakika santrifüjlenmiştir. Örneklerin süpernatant kısmı atıldıktan sonra geriye kalan pelet üzerine 200 µl proteaz inhibitör kokteyli içeren T-PER (Tissue Protein Extraction Reagent) lizis tamponu eklenerek buz üstünde ve belli aralıklarla vortekslenerek 30 dakika inkübe edilmiştir. +4°C'de 10.000 xg'de 5 dakika santrifüj sonunda elde edilen süpernatant SDS-PAGE deneylerinde kullanılmak üzere -80 °C'de muhafaza edilmiştir.

### **3.5. Bradford Yöntemi ile Toplam Protein Miktarının Belirlenmesi**

Her bir gruba ait but ve göğüs örneklerinden elde edilen proteinlerin toplam miktar tayini için Bradford ajanı (Comassie Plus Protein Assay Reagent, Thermo Scientific) kullanılmıştır. Bunun için öncelikli olarak BSA (Bovin Serum Albumin)'nın bilinen konsantrasyonları ile bir standart eğri oluşturulmuştur. Bu eğrinin oluşturulmasında üretici firmanın talimatları takip edilmiştir. Kullanılan BSA dilüsyonları Tablo 3.2'de verilmiştir. 30 µL standart üzerine 1.5 mL Coomassie Reaktifi eklenerek iyice karıştırılmıştır. 10 dakika boyunca oda sıcaklığında inkübasyon sonunda absorbanslar 595 nm'de spektrofotometre cihazında belirlenmiş, standart eğrinin formülü bu ölçümlere göre oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Standart eğri grafiği oluşturulduktan sonra her bir gruba ait 10 µL but ve göğüs protein çözeltileri üzerine 1.5 mL Coomassie Reaktifi eklenerek pipetlenmiştir. 10 dakika boyunca oda sıcaklığında inkübasyon sonunda absorbanslar 595 nm'de spektrofotometre cihazında belirlenmiş olup, standart eğrinin formülüne göre her bir gruba ait but ve göğüs örneklerin toplam protein miktarları hesaplanmıştır.

**Tablo 3.3.** Standart Test Tüpü ve Mikroplaka Protokolleri için Seyreltme Şeması (Çalışma Aralığı = 100–1500 µg/mL)

| Eppendorf etiketi | Dilüsyon Miktarı (µL) | BSA (2mg/mL) Kaynağı ve Hacmi (µL) | Final BSA Konsantrasyonu (µL/mL) |
|-------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| A                 | 0                     | 300 stok BSA                       | 2000                             |
| B                 | 125                   | 375 stok BSA                       | 1500                             |
| C                 | 325                   | 325 stok BSA                       | 1000                             |
| D                 | 175                   | 175 B dilüsyonu                    | 750                              |
| E                 | 325                   | 325 C dilüsyonu                    | 500                              |
| F                 | 325                   | 325 E dilüsyonu                    | 250                              |
| G                 | 325                   | 325 F dilüsyonu                    | 125                              |
| H                 | 400                   | 100 G dilüsyonu                    | 25                               |
| I                 | 400                   | 0                                  | 0=Blank                          |



**Şekil 3.1.** BSA Standart Grafiği

### **3.6. Sodyum Dodesil Sülfat Poliakrilamid Jel Elektroforez (SDS-PAGE) ile Protein Analizi**

But ve göğüs örneklerine ait protein ekstraktı SDS-PAGE sistemi (OmniPage Mini, Clever Scientific) ile incelenmiştir. Örnekler kuyucuklara 30 µg yüklenerek stacking jel (üst jel) boyunca 70V'da, separating jel (alt jel) boyunca ise 100V'da yürütülmüştür. Protein bantlarının moleküler ağırlığının (MW) belirlenebilmesi için Thermo Scientific™ PageRuler™ Plus Prestained 10–250 kDa Protein Ladder (katalog numarası: 26620) kullanılmıştır. Yürütme işlemi bittiğinde jel önce boyama çözeltisinde (%50 metanol, %10 asetik asit, %0,1 Coomassie Brilliant Blue G-250 (staining buffer) ile inkübe edilmiştir. Boyama çözeltisinden alınan jel %10 asetik asit ve %7 metanol içeren yıkama çözeltisinde (destaining solution) yıkanmıştır. Boyadan arındırılan jelin görüntüsü G: BOX Chemi XRQ jel dokümantasyon sistemi (Syngene) ile alınmıştır. Elde edilen protein profillerinin bant yoğunlukları Image Lab 6.1 (<https://www.bio-rad.com>) programı kullanılarak analiz edilmiştir.

### **3.7. İstatistiksel Analizler**

Deneysel gruplar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlılığının tespiti için tek ve çift yönlü Anova analiz tekniği ve grup karşılaştırmaları için Dunnett, Tukey veya Bonferroni testleri, GraphPad Prism 6.01 istatistiksel analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Anlamlılık derecesi \*  $p \leq 0.05$ , \*\*  $p \leq 0.01$ , \*\*\*  $p \leq 0.001$ , \*\*\*\*  $p \leq 0.0001$  olarak gösterilmiştir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. But ve Göğüs Örneklerine Ait Spektral Bantların/Parametrelerin Tanımlamaları

Tez çalışmasından elde edilen spektral verilerin tüm bant ve kapsamlı tanımlamaları Tablo 4.1’de sunulmuştur. Çizelgeden görüldüğü üzere, et spektrumları oldukça kompleks olup, yağ asidi, kolesterol, trigliserit, lipit, kolajen, protein, protein ikincil yapıları, nükleik asit gibi farklı moleküllerin fonksiyonel gruplarından kaynaklanan pek çok spektral bant içermektedir. Farklı broyler markalarına ait olan ve A, B, C, D, E olarak isimlendirilmiş but ve göğüs örnekleri arasındaki moleküler farkları karakterize etmek amacıyla, sırası ile söz konusu gruplara ait spektrumlarda yer alan spektral bantlar, çeşitli spektral alt bölgelere ayrılarak kantitatif olarak incelenmiştir.

**Tablo 4.4.** But ve Göğüs Et Örneklerine Ait Başlıca Spektral Bantlar ve Tanımları

| <b>C-H<br/>(3050-2750 cm<sup>-1</sup>)<br/>Spektral Bölgesi</b> | <b>Band No</b> | <b>Dalga Boyu<br/>(cm<sup>-1</sup>)</b> | <b>Spektral Bantların<br/>Tanımları</b>                                 | <b>Referans</b>       |
|-----------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                                 | 1              | 3012                                    | Olefinik=CH<br>(Doymamış Lipitler)                                      | Severcan vd.,<br>2010 |
|                                                                 | 2              | 2962                                    | CH <sub>3</sub> Antisimetrik<br>Gerilmeleri<br>(Lipitler ve Proteinler) | Gurbanov vd.,<br>2016 |
|                                                                 | 3              | 2922                                    | CH <sub>2</sub> Simetrik<br>Gerilmeleri<br>(Lipitler)                   | Candoğan vd.,<br>2020 |
|                                                                 | 4              | 2875                                    | CH <sub>3</sub> Simetrik<br>Gerilmeleri<br>(Lipitler ve Proteinler)     | Candoğan vd.,<br>2020 |
|                                                                 | 5              | 2850                                    | CH <sub>2</sub> Simetrik<br>Gerilmeleri<br>(Lipitler)                   | Candoğan vd.,<br>2020 |

**Tablo 4.1.' in devamı**

|                                                                             |   |      |                                                                                            |                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------|---|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>C=O</b><br><b>(1800-1700 cm<sup>-1</sup>)</b><br><b>Spektral Bölgesi</b> | 1 | 1745 | C=O Karbonil<br>Gerilmeleri<br>(Trigliserit)<br>(Kolesterol Esterleri)                     | Candoğan vd.,<br>2020                        |
|                                                                             | 2 |      | C=O Karbonil<br>Gerilmeleri<br>(Fosfolipitler)                                             | Fabian vd., 1995;<br>Movasaghi vd.,<br>2008  |
|                                                                             | 3 | 1731 | Doymuş C=O Karbonil<br>Gerilmeleri<br>(Fosfolipit) (Trigliserit)<br>(Kolesterol Esterleri) | Gurbanov vd.,<br>2016                        |
|                                                                             | 4 | 1728 | Aromatik C=O<br>Gerilmeleri<br>(Yağ Esterleri)                                             | Candoğan vd.,<br>2020                        |
|                                                                             | 5 | 1724 | Yağ Asitlerin C=O<br>Gerilmeleri                                                           | Movasaghi vd.,<br>2008; Yoshida<br>vd., 1997 |
|                                                                             | 6 | 1712 | C=O Karbonil<br>Gerilmeleri<br>(Yağ Asitleri)                                              | Candoğan vd.,<br>2020                        |
|                                                                             | 7 | 1705 | C=O Karbonil<br>Gerilmeleri<br>(Lipitler)                                                  | Liu vd., 2020                                |

**Tablo 4.1.' in devamı**

|                                                                                                                                                                  |   |      |                                                                                                                                              |                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Amid I</b><br><b>(%80 C=O, %10 N-H</b><br><b>ve</b><br><b>%10 C-N</b><br><b>Gerilmeleri)</b><br><b>(1700-1600 cm<sup>-1</sup>)</b><br><b>Spektral Bölgesi</b> | 1 | 1693 | Antiparalel Uzamış $\beta$ -<br>Tabaka<br>(Proteinler)                                                                                       | Gurbanov ve<br>Unal, 2018 |
|                                                                                                                                                                  | 2 | 1682 | Doğal<br>(Paralel/Antiparalel)<br>$\alpha$ -Tabaka<br>(Proteinler)                                                                           | Perisic vd., 2011         |
|                                                                                                                                                                  | 3 | 1667 | Hidrojeni Olmayan C=O<br>Grubuna Sahip Rastgele<br>Yumak Kısımları<br>(Non-Hydrogenated<br>İnternal Random Coil<br>Segments)<br>(Proteinler) | Perisic vd., 2011         |
|                                                                                                                                                                  | 4 | 1661 | $3^{10}$ Helix<br>(Proteinler)                                                                                                               | Gurbanov ve<br>Unal, 2018 |
|                                                                                                                                                                  | 5 | 1652 | $\alpha$ -Helix Yapısı<br>(Proteinler)                                                                                                       | Gurbanov ve<br>Unal, 2018 |
|                                                                                                                                                                  | 6 | 1644 | Rastgele Yumak<br>Kısımları<br>(Random Coil<br>Segments)<br>(Proteinler)                                                                     | Usoltsev vd.,<br>2019     |
|                                                                                                                                                                  | 7 | 1636 | $\beta$ -Tabaka Yapısı<br>(Proteinler)                                                                                                       | Gurbanov vd.,<br>2016     |
|                                                                                                                                                                  | 8 | 1630 | $\beta$ -Tabaka Yapısı<br>(Proteinler)                                                                                                       | Perisic vd., 2011         |



**Tablo 4.1.' in devamı**

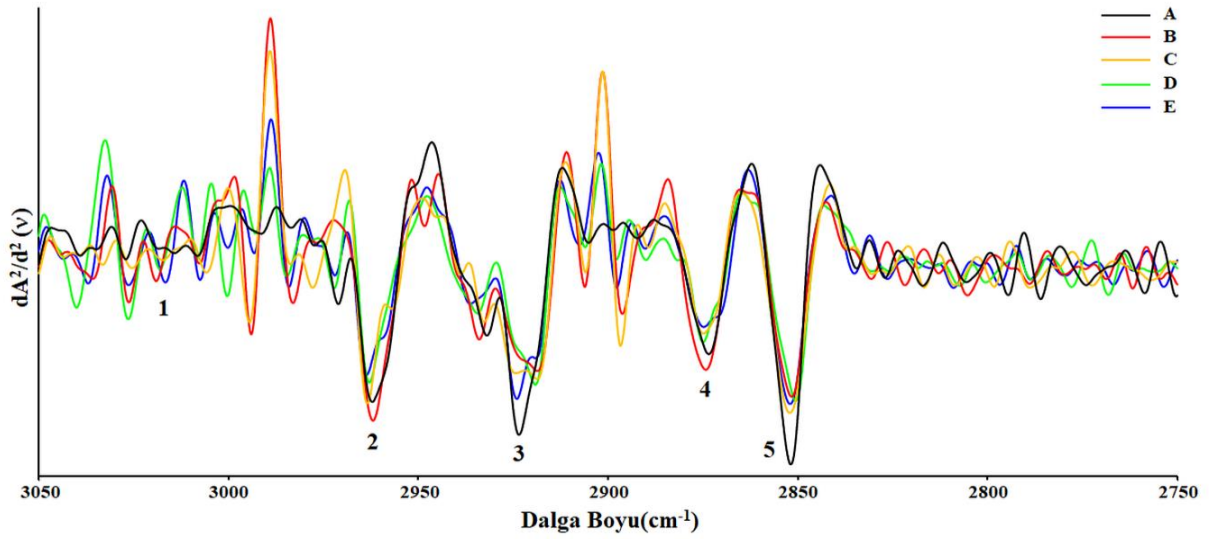
|                                                                                                                                                                  |    |           |                                                                   |                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Amid I</b><br><b>(%80 C=O, %10 N-H</b><br><b>ve</b><br><b>%10 C-N</b><br><b>Gerilmeleri)</b><br><b>(1700-1600 cm<sup>-1</sup>)</b><br><b>Spektral Bölgesi</b> | 9  | 1627      | $\beta$ -Tabaka Yapısına Özgü<br>C=O Gerilmeleri<br>(Proteinler)  | Sinanoglou vd.,<br>2018                                              |
|                                                                                                                                                                  | 10 | 1618      | $\beta$ -Tabaka Yapısına Özgü<br>C=O Gerilmeleri<br>(Proteinler)  | Perisic vd., 2011                                                    |
|                                                                                                                                                                  | 11 | 1611      | Tirozin Amino Asit Yan<br>Zincirleri Titreşimleri<br>(Proteinler) | Gurbanov ve<br>Unal, 2018;<br>Perisic vd., 2011                      |
| <b>1500-1300 cm<sup>-1</sup></b><br><b>Spektral Bölgesi</b>                                                                                                      | 1  | 1452      | C-O-H Metil<br>Gruplarındaki<br>Gerilmeleri<br>(Proteinler)       | Zhang vd., 2017                                                      |
|                                                                                                                                                                  | 2  | 1400      | Simetrik COO <sup>-</sup><br>Gerilmeleri<br>(Yağ Asitleri)        | Gurbanov vd.,<br>2016                                                |
|                                                                                                                                                                  | 3  | 1398      | Simetrik CH <sub>3</sub><br>Deformasyonu<br>(Lipitler)            | Agarwal vd.,<br>2006;<br>Movasaghi vd.,<br>2008                      |
|                                                                                                                                                                  | 4  | 1392-1390 | Simetrik COO <sup>-</sup><br>Gerilmeleri<br>(Yağ Asitleri)        | Candoğan vd.,<br>2020                                                |
|                                                                                                                                                                  | 5  | 1367      | C-O Gerilmeleri,<br>C-H ve N-H<br>Deformasyonu                    | Dovbeshko,<br>2000;<br>Movasaghi vd.,<br>2008                        |
|                                                                                                                                                                  | 6  | 1340      | CH <sub>2</sub> Yan Zincir<br>Titreşimleri<br>(Kolajen)           | (Candoğan vd.,<br>2020)                                              |
|                                                                                                                                                                  | 7  | 1317      | Amid III Band<br>Bileşenleri                                      | (Fujioka vd.,<br>2004;<br>Movasaghi vd.,<br>2008; Yang vd.,<br>2005) |

**Tablo 4.1.' in devamı**

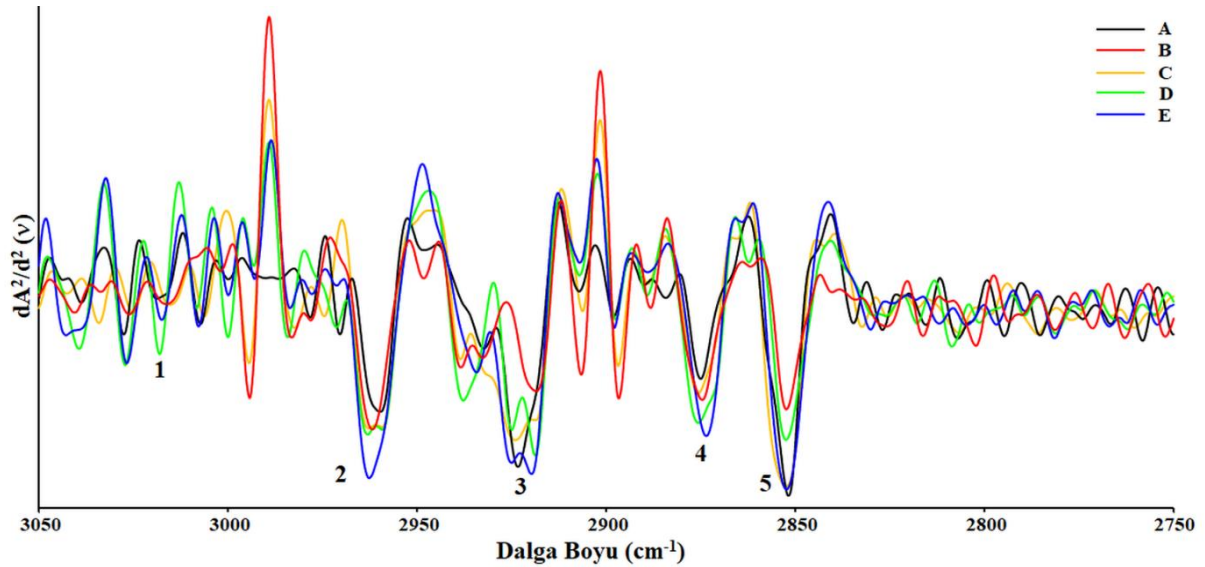
|                                                                                                    |   |      |                                                                                                                      |                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>O-P-O</b><br><b>(1250-1200 cm<sup>-1</sup>)</b><br><b>Spektral Bölgesinin</b><br><b>Analizi</b> | 1 | 1240 | A-Form DNA Markeri<br>(Nükleik Asit)                                                                                 | Gurbanov vd.,<br>2019                                                  |
|                                                                                                    | 2 | 1238 | Antisimetrik PO <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>Gerilmeleri<br>(Fosfat I)<br>(Nükleik Asit)                             | Dundar ve<br>Gocmen, 2013;<br>Gurbanov vd.,<br>2018                    |
|                                                                                                    | 3 | 1225 | B-Form DNA Markeri<br>(Nükleik Asit)                                                                                 | Gurbanov vd.,<br>2019                                                  |
|                                                                                                    | 4 | 1215 | Z-Form DNA Markeri<br>(Nükleik Asit)                                                                                 | Gurbanov vd.,<br>2019                                                  |
|                                                                                                    | 5 | 1212 | Antisimetrik PO <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>Gerilmeleri<br>(Fosfat I)<br>(Nükleik Asit)                             | Dovbeshko,<br>2000;<br>Movasaghi vd.,<br>2008                          |
|                                                                                                    | 6 | 1207 | Antisimetrik PO <sub>2</sub> <sup>-</sup><br>Gerilmeleri<br>(Fosfat I)<br>(Nükleik Asitler)<br>(Kolajen Proteinleri) | Chiriboga vd.,<br>1998; Fabian<br>vd., 1995;<br>Movasaghi vd.,<br>2008 |
|                                                                                                    | 7 | 1204 | Amid III Bandının<br>Kolajen Proteinlerine<br>Özgü Titreşimleri                                                      | Chiriboga vd.,<br>1998; Fabian<br>vd., 1995;<br>Movasaghi vd.,<br>2008 |

#### 4.1.1. C-H (3050-2750 cm<sup>-1</sup>) Spektral Bölgesinin Analizi

Şekil 4.1-3’de büyük ölçüde lipid biyomoleküllere özgü 3050-2750 cm<sup>-1</sup> bölgesine ait spektral verilerin analizleri sunulmuştur. Bu bölgede incelenen but (Şekil 4.1) ve göğüs (Şekil 4.2) örneklerine ait spektrumlar farklı markalar arasında anlamlı ve gözle görünür farkların olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Bu bölgede 3012 cm<sup>-1</sup>, 2962 cm<sup>-1</sup>, 2922 cm<sup>-1</sup>, 2875 cm<sup>-1</sup> ve 2850 cm<sup>-1</sup> başlıca bantları tanımlanmış olup (Tablo 4.1) bu bantların detaylı spektral veri analizleri (mutlak yoğunluklarının her bir grup için karşılaştırılmalı olarak hesaplanması şeklinde) gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.3).



**Şekil 4.2.** But Et Örneklerine Ait 3050-2750 cm<sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları



**Şekil 4.3.** Göğüs Et Örneklerine Ait 3050-2750 cm<sup>-1</sup> Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları

Şekil 4.3 a'da  $3012\text{ cm}^{-1}$  konumunda yer alan ve doymamış lipitleri karakterize eden olefinik ( $=\text{CH}$  titreşimler) bandının deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerine bakıldığında A grubu C ( $p<0,001$ ) grubuna göre artarken E ( $p<0,05$ ) grubuna göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) ve D ( $p<0,01$ ) gruplarına göre artmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örnekleri ele alındığında A grubu B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C grubuna göre artarken D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalırken, D grubu anlamlı bir şekilde E grubuna göre artmıştır ( $p<0,05$ ).

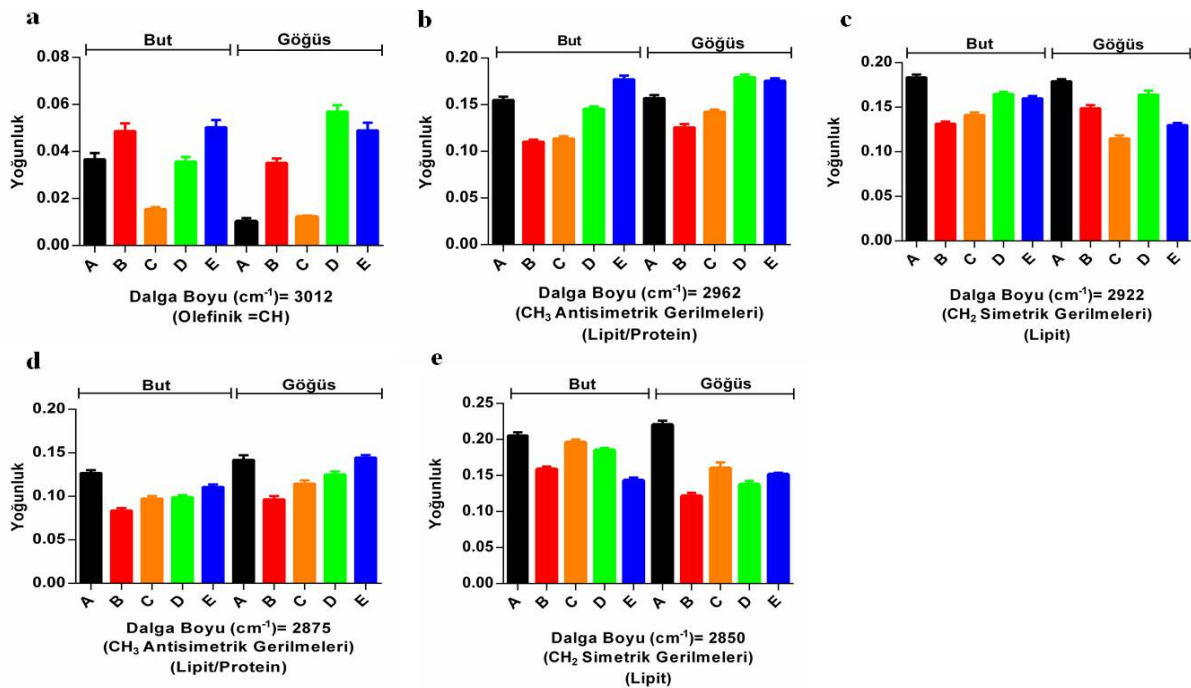
Şekil 4.3 b'de başlıca olarak doymuş lipitlerdeki ve aynı zamanda proteinlerdeki  $\text{CH}_3$  antisimetrik gerilmeleri karakterize eden  $2962\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ) ve C ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,05$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ) ve C ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,01$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır.

Şekil 4.3 c'de doymuş lipitlerdeki  $\text{CH}_2$  antisimetrik gerilmeleri karakterize eden  $2922\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,05$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre azalmıştır. Göğüs et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,05$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,05$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalırken, D grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ).

Şekil 4.3 d'de başlıca olarak doymuş lipitlerdeki ve aynı zamanda proteinlerdeki  $\text{CH}_2$  simetrik gerilmeleri karakterize eden  $2875\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu C ( $p<0,01$ ), D ( $p<0,01$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C ve D grupları E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,05$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ) ve D ( $p<0,05$ ) gruplarına

göre artmıştır. B grubu C ( $p<0,01$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,05$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, D grubu ise E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,01$ ).

Şekil 4.3 e’de doymuş lipitlerdeki  $\text{CH}_2$  simetrik gerilmeleri karakterize eden  $2850\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,01$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) ve D ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken E ( $p<0,05$ ) grubuna göre azalmıştır. B grubu E ( $p<0,05$ ) grubuna göre artarken C ( $p<0,0001$ ) ve D ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C ve D grupları E grubuna göre artmıştır (sırasıyla  $p<0,05$ ,  $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken, B grubu C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu E grubuna göre artarken ( $p<0,001$ ), D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,05$ ).

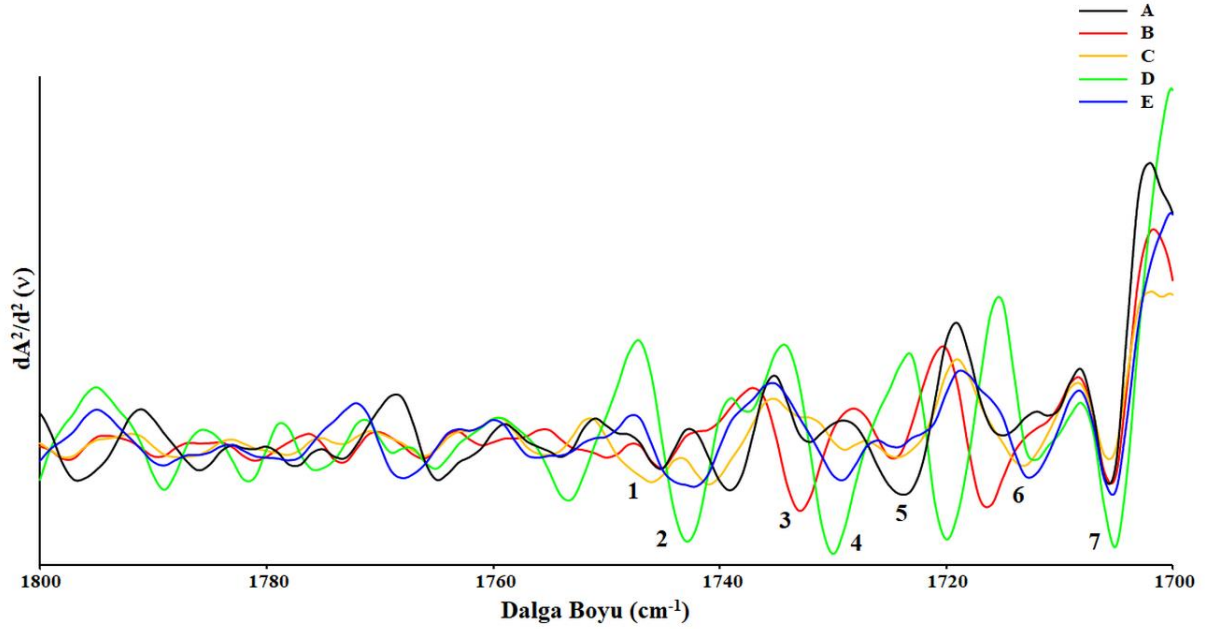


**Şekil 4.4.** But ve Göğüs Et Örneklerine Ait  $3050\text{-}2750\text{ cm}^{-1}$  Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları

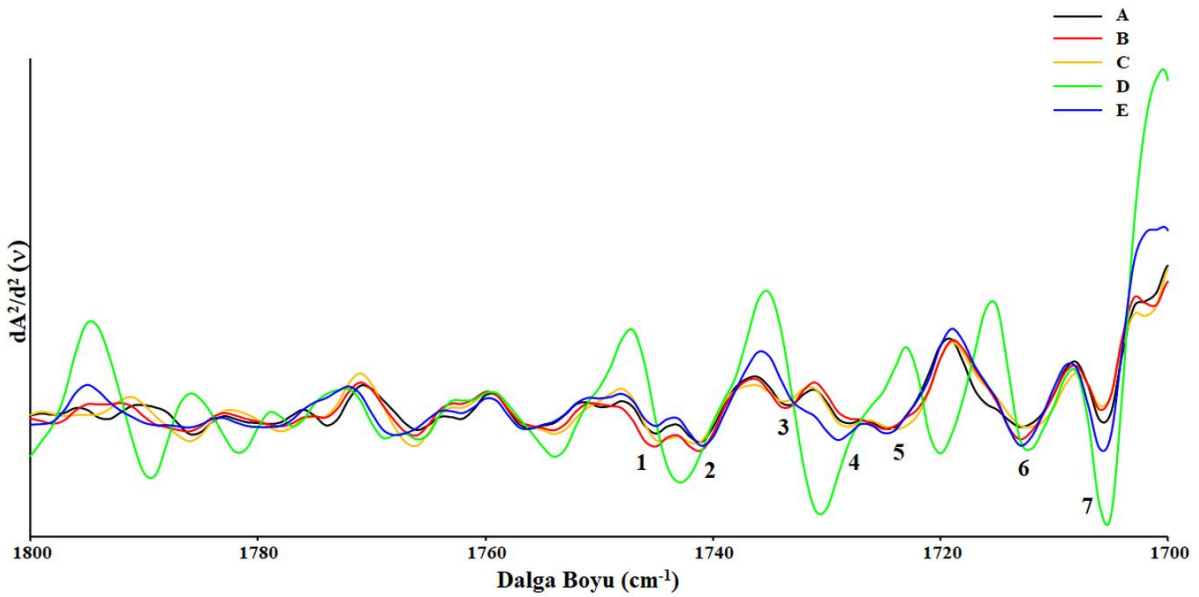
#### 4.1.2. C=O ( $1800\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ ) Spektral Bölgesinin Analizi

Şekil 4.4-6’da trigliserit, kolesterol, fosfolipit ve yağ asitlerinin C=O gerilmelerine özgü  $1800\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$  bölgesine ait spektral verilerin analizleri sunulmuştur. Bu bölgede incelenen but ve göğüs örneklerine ait spektrumlar sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Spektrumlardan da görüldüğü üzere farklı marka piliçlerin trigliserit, fosfolipit ve yağ asitleri

oldukça değişken içeriklere sahiptir. Spektrumların kantitatif analizlerinde, özgün tanımlamaları Tablo 4.1’de verilen  $1745\text{ cm}^{-1}$ ,  $1740\text{ cm}^{-1}$ ,  $1731\text{ cm}^{-1}$ ,  $1728\text{ cm}^{-1}$ ,  $1724\text{ cm}^{-1}$ ,  $1712\text{ cm}^{-1}$ ,  $1705\text{ cm}^{-1}$  bantları elde edilmiş olup bu bantların mutlak yoğunluk verileri şekil 4.6’da sunulmuştur.



**şekil 4.5.** But Et rneklerine Ait  $1800\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$  Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları



**şekil 4.6.** Göğüs Et rneklerine Ait  $1800\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$  Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları

Şekil 4.6 a'da trigliserit ve kolesterol esterlerinin C=O karbonil gerilmelerini temsil eden  $1745\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örnekleri incelendiğinde, A ve B grupları C grubuna göre azalmıştır (sırasıyla  $p<0,0001$ ,  $p<0,01$ ). C grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,01$ ). Göğüs et örneklerine göre B ve C grupları E grubuna göre artmıştır (sırasıyla  $p<0,01$ ,  $p<0,05$ ).

Şekil 4.6 b'de fosfolipit esterlerinin C=O gerilmelerini ifade eden  $1740\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu C ( $p<0,01$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre artarken B ( $p<0,0001$ ) ve D ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. C grubu D grubuna göre azalırken ( $p<0,0001$ ) D grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde ise A grubu C ( $p<0,001$ ) grubuna göre artarken B ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,05$ ).

Şekil 4.6 c'de fosfolipit, trigliserit ve kolesterol esterlerine özgü doymuş C=O karbonil gerilmeleri yansıtan  $1731\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örnekleri incelendiğinde, A grubu C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken B ( $p<0,01$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,05$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. Göğüs et örneklerinde ise A grubu C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,01$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,05$ ).

Şekil 4.6 d'de yağ esterlerinin aromatik C=O gerilmelerini temsil eden  $1728\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,01$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. Göğüs et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır.

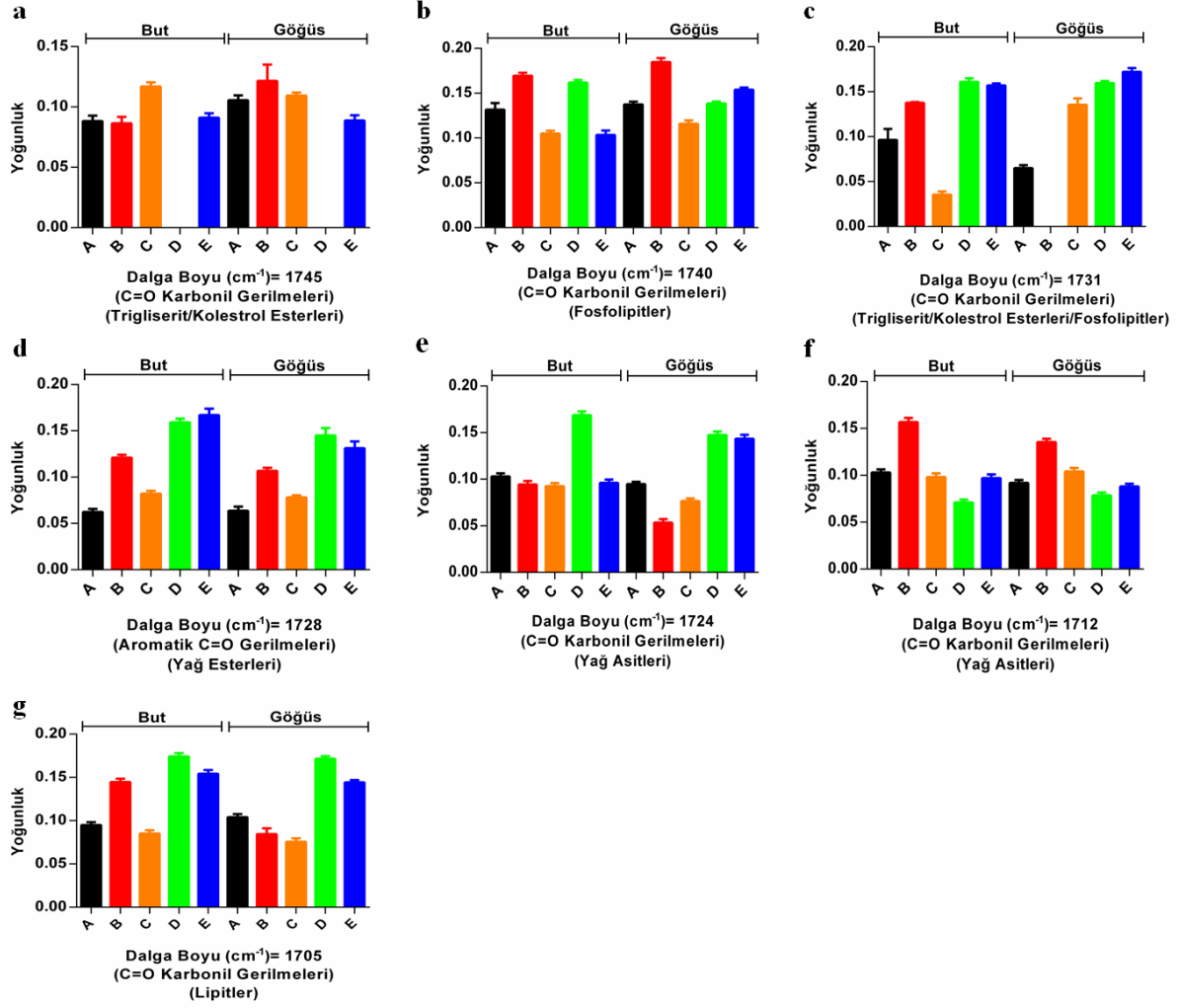
Şekil 4.6 e'de yağ asitlerinin C=O gerilmelerini ifade eden  $1724\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin

D grubu A ( $p<0,0001$ ), B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. Göğüs et örneklerinde ise A grubu B ( $p<0,0001$ ) ve C ( $p<0,01$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu ise D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır.

Şekil 4.6 f'de yine yağ asitlerinin C=O karbonil gerilmelerini ifade eden diğer bir bandın ( $1712\text{ cm}^{-1}$  konumunda) deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken B ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına artmıştır. C grubu D grubuna göre artarken ( $p<0,0001$ ), D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu D ( $p<0,05$ ) grubuna göre artarken B ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken, C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artmıştır.

Şekil 4.6 g'de yağların toplam C=O karbonil gerilmelerini ifade eden  $1705\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerine bakıldığında A grubu B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,001$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, D grubu ise E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu B ( $p<0,05$ ) ve C ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B ve C grupları D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu ise E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ).

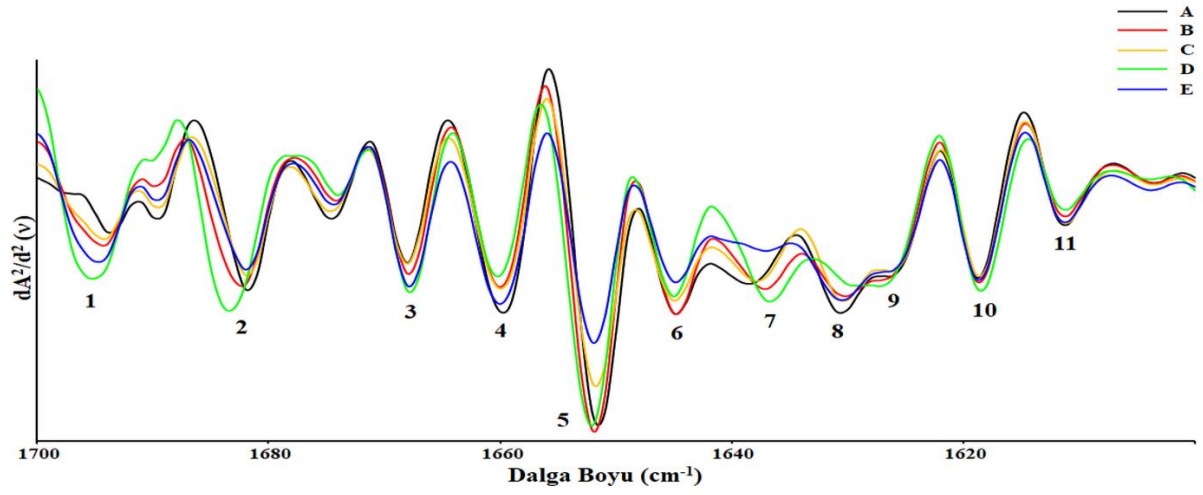




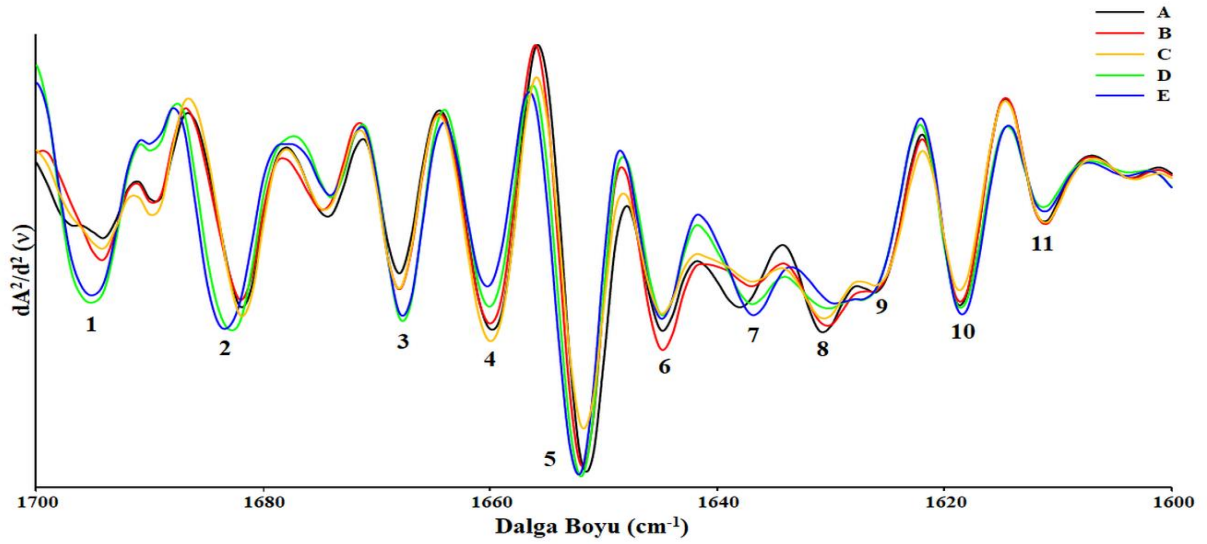
**Şekil 4.7.** But ve Gögüs Et Örneklerine Ait 1800-1700 cm<sup>-1</sup> Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları

#### 4.1.3. Amid I (1700-1600 cm<sup>-1</sup>) Spektral Bölgesinin Analizi

Şekil 4.7-9’da proteinlerin farklı ikincil yapılarını yansıtan Amid I parmak izi bölgesinin (1700-1600 cm<sup>-1</sup>) spektral veri analizleri sunulmuştur. Bu bölgede incelenen but ve göğüs örneklerine ait spektrumlar sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Spektrumlardan da görüldüğü üzere farklı marka piliçlerin protein ikincil yapıları oldukça farklıdır. Spektrumların kantitatif analizlerinde, özgün tanımlamaları Tablo 4.1’de verilen 1693 cm<sup>-1</sup>, 1682 cm<sup>-1</sup>, 1667 cm<sup>-1</sup>, 1661 cm<sup>-1</sup>, 1652 cm<sup>-1</sup>, 1644 cm<sup>-1</sup>, 1636 cm<sup>-1</sup>, 1630 cm<sup>-1</sup>, 1627 cm<sup>-1</sup>, 1618 cm<sup>-1</sup>, 1611 cm<sup>-1</sup> bantları gibi protein ikincil yapı belirteçleri elde edilmiş olup bu bantların mutlak yoğunluk verileri Şekil 4.9’da sunulmuştur.



**Şekil 4.8.** But et Örneklerine Ait 1700-1600  $\text{cm}^{-1}$  Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları



**Şekil 4.9.** Göğüs Et Örneklerine Ait 1700-1600  $\text{cm}^{-1}$  Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları

Şekil 4.9 a'da yaygın bir protein ikincil yapısı olan antiparalel uzamış  $\beta$ -tabakayı (antiparalel  $\beta$ -sheet) temsil eden  $1693\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, D grubu ise E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,05$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,01$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalırken, D grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,05$ ).

Şekil 4.9 b'de yaygın olmayan bir protein ikincil yapısı olan doğal  $\alpha$ -tabakayı (hem paralel hem de antiparalel uzamış) yansıtan  $1682\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu C ( $p<0,01$ ) grubuna göre artarken B ( $p<0,05$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve gruplarına göre azalmıştır. B grubu C grubuna göre artarken ( $p<0,0001$ ), C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu ise E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerine bakıldığında A grubu B ( $p<0,001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, C grubu ise D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu ise E grubuna göre artmıştır ( $p<0,001$ ).

Şekil 4.9 c'de protein ikincil yapılarının iç rastgele yumak kısımlarını (internal random coil segments) yansıtan  $1667\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalırken, B grubu C ( $p<0,0001$ ) ve D ( $p<0,001$ ) gruplarına göre artmıştır. C grubu D ( $p<0,01$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, D grubu ise E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu B ( $p<0,01$ ), C ( $p<0,05$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, B ve C grupları ise D ( $p<0,05$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,05$ ).

Şekil 4.9 d'de yaygın protein ikincil yapılarından olan triple  $\alpha$ -sarmalı ( $3^{10}$  helix) temsil eden  $1661\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken C ( $p<0,05$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D grubuna göre artarken ( $p<0,0001$ ), D grubu

E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu B ( $p<0,001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken C ( $p<0,01$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken, D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ).

Şekil 4.9 e’de en yaygın protein ikincil yapılarından olan  $\alpha$ -sarmalı ( $\alpha$ -helix) karakterize eden  $1652\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu C ( $p<0,05$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,01$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D grubuna göre azalırken ( $p<0,0001$ ), D grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinin A grubu C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, B grubu ise C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalırken, D grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ).

Şekil 4.9 f’de protein ikincil yapılarından olan rastgele yumağı (random coil) ifade eden  $1644\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. Bu et örneklerinin A grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre, B grubu ise D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre artmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre artarken, D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu C ( $p<0,001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre artarken, B grubu C ( $p<0,01$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artmıştır. C grubu D grubuna göre artarken ( $p<0,0001$ ), D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ).

Şekil 4.9 g’de en yaygın protein ikincil yapılarından olan  $\beta$ -tabakayı ( $\beta$ -sheet) karakterize eden  $1636\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu C ( $p<0,05$ ) grubuna göre artarken, D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. B grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre, C grubu ise D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ) ve D ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,01$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D grubuna göre azalırken ( $p<0,0001$ ), D grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ).

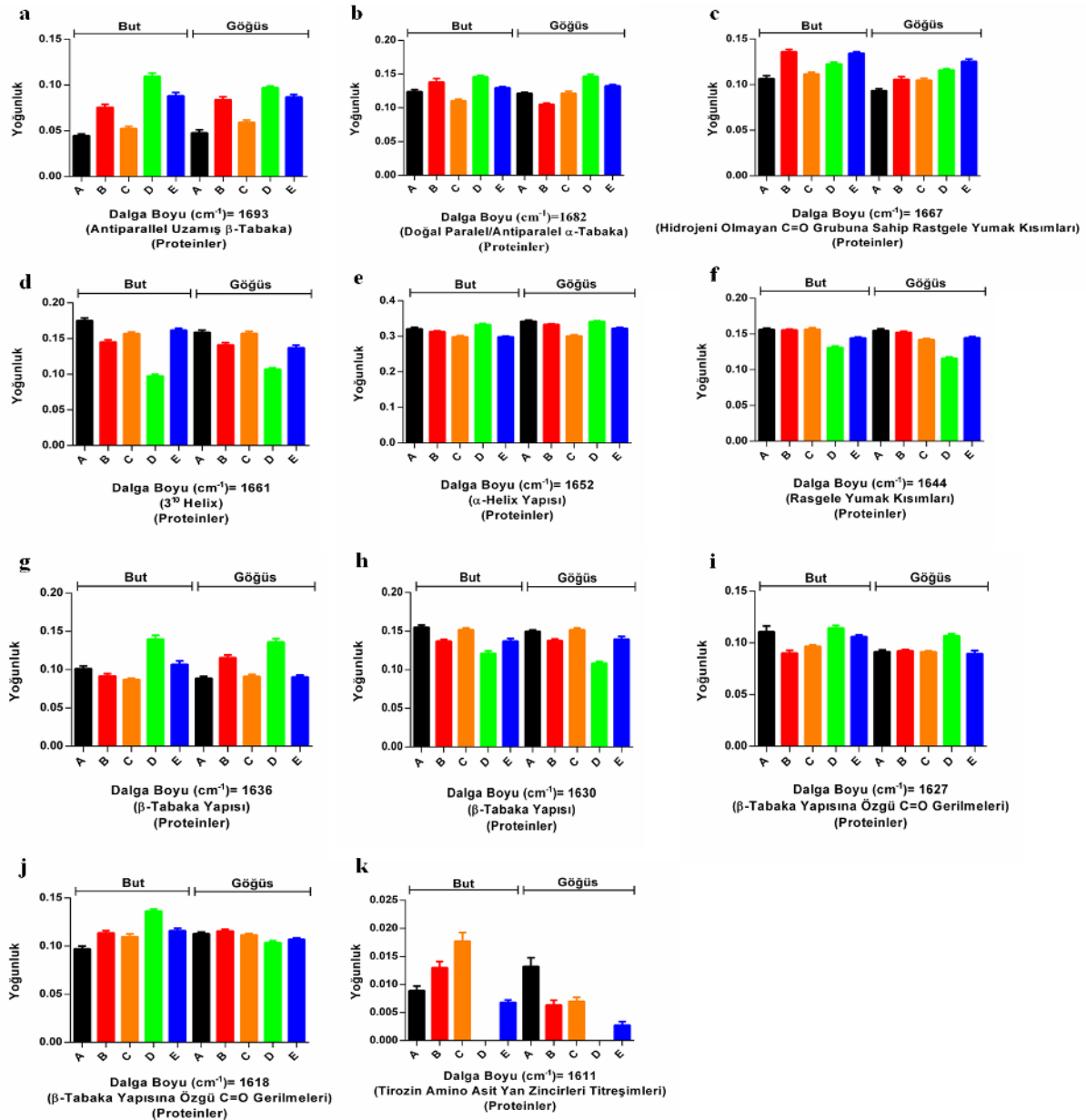
Şekil 4.9 h’de yine  $\beta$ -tabakayı karakterize eden ikinci bir bandın ( $1630\text{ cm}^{-1}$  konumunda) deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu B ( $p<0,001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre artmıştır. B

grubu D ( $p<0,01$ ) grubuna göre artarken C ( $p<0,01$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre artarken, D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,01$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu B ( $p<0,01$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken C ( $p<0,01$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artarken, D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ).

Şekil 4.9 i’de yine  $\beta$ -tabakayı ifade eden üçüncü bir bandın ( $1627\text{ cm}^{-1}$  konumunda) deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,001$ ) ve C ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artarken, B grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre azalırken, D grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,05$ ). Göğüs et örneklerinde D grubu A ( $p<0,0001$ ), B ( $p<0,001$ ), C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır.

Şekil 4.9 j’de yine  $\beta$ -tabakayı yansıtan dördüncü bir bandın ( $1618\text{ cm}^{-1}$  konumunda) deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,001$ ), C ( $p<0,01$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalırken, D grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. Göğüs et örneklerinin A grubu D grubuna göre artarken ( $p<0,05$ ), B grubu D ( $p<0,001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu ise D grubuna göre azalmıştır ( $p<0,05$ ).

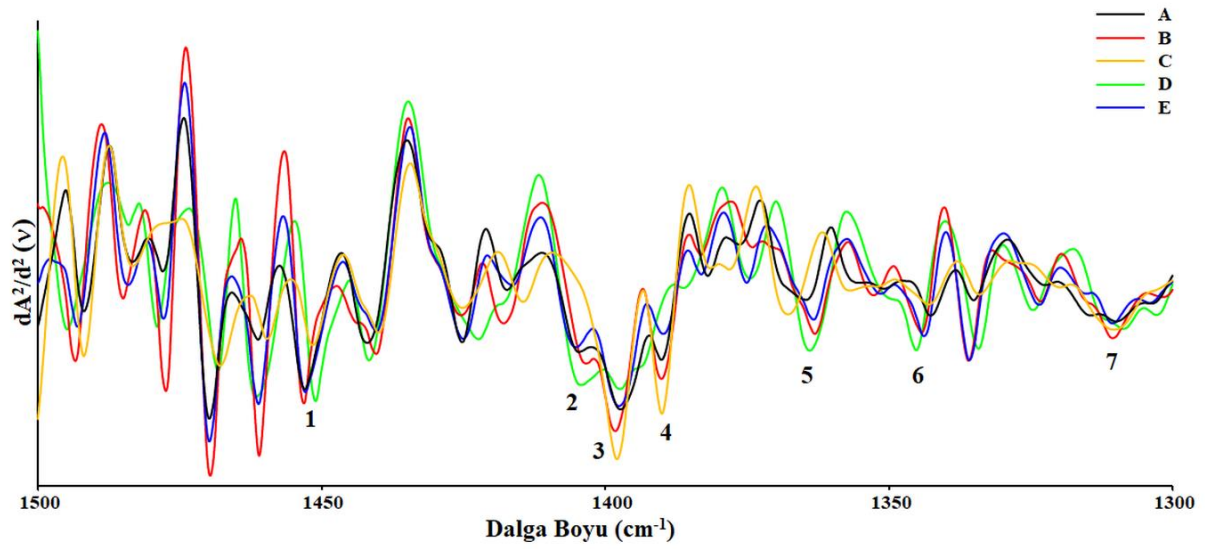
Şekil 4.9 k’da protein ikincil yapılarının tirozin amino asit yan zincirlerini yansıtan  $1611\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin C grubu A ( $p<0,0001$ ) ve B ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artarken, E grubu B ( $p<0,01$ ) ve C ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. Göğüs et örneklerinin A grubu E ( $p<0,001$ ) grubuna göre artarken, B ( $p<0,01$ ) ve C ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmıştır.



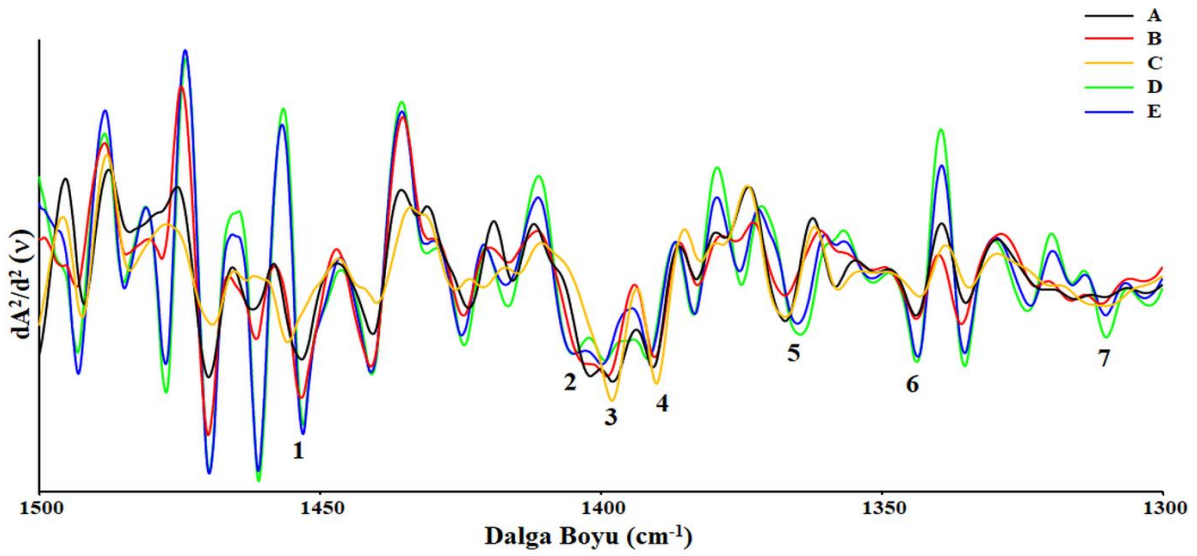
**Şekil 4.10.** But ve Göğüs Et Örneklerine Ait 1700-1600  $\text{cm}^{-1}$  Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları

#### 4.1.4. 1500-1300 $\text{cm}^{-1}$ Spektral Bölgesinin Analizi

Şekil 4.10-12’de kolajen ve yağ asitlerine ait moleküler gerilmelere özgü 1500-1300  $\text{cm}^{-1}$  bölgesine ait spektral verilerin analizleri sunulmuştur. Bu bölgede incelenen but ve göğüs örneklerine ait spektrumlar sırasıyla Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Spektrumlardan da görüldüğü üzere farklı marka piliçlerin kolajen ve yağ asitleri oldukça değişken içeriklere sahiptir. Spektrumların kantitatif analizlerinde, özgün tanımlamaları Tablo 4.1’de verilen 1452  $\text{cm}^{-1}$ , 1400  $\text{cm}^{-1}$ , 1398  $\text{cm}^{-1}$ , 1392-1390  $\text{cm}^{-1}$ , 1367  $\text{cm}^{-1}$ , 1340  $\text{cm}^{-1}$ , 1317  $\text{cm}^{-1}$  bantları elde edilmiş olup bu bantların mutlak yoğunluk verileri Şekil 4.12’de sunulmuştur.



**Şekil 4.11.** But Et Örneklerine Ait 1500-1300  $\text{cm}^{-1}$  Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları



**Şekil 4.12.** Göğüs Et Örneklerine Ait 1500-1300  $\text{cm}^{-1}$  Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları

Şekil 4.12 a’da proteinlerin C-O-H metil gruplarındaki gerilmeleri ifade eden  $1452\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu C ( $p<0,001$ ) grubuna göre artarken B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken, C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. Göğüs et örneklerinin A grubu C ( $p<0,001$ ) grubuna göre artarken B ( $p<0,05$ ), D ( $p<0,001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken E ( $p<0,01$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, D grubu ise E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,01$ ).

Şekil 4.12 b’de yağ asitlerinin simetrik  $\text{COO}^-$  gerilmelerini ifade eden  $1400\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken, B grubu D ( $p<0,01$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre azalmıştır. Göğüs et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu D ( $p<0,01$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre, D grubu ise E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,01$ ).

Şekil 4.12 c’de lipid biyomoleküllere özgü simetrik  $\text{CH}_3$  deformasyonu ifade eden  $1398\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A ve B grupları D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. Yine aynı şekilde C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmış, D grubu ise E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde A grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken B ( $p<0,0001$ ) ve C ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B ve C grupları D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır.

Şekil 4.12 d’de yine yağ asitlerinin simetrik  $\text{COO}^-$  gerilmelerini ifade eden ikinci bandın ( $1392\text{-}1390\text{ cm}^{-1}$  konumunda) deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken B ( $p<0,05$ ) ve C ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. Aynı anlamlı artış eğilimi (trend) B ve C grupları için de söz konusudur. But örnekleri için elde edilen sonuçlar benzer şekilde göğüs örneklerinde de gözlenmiştir.

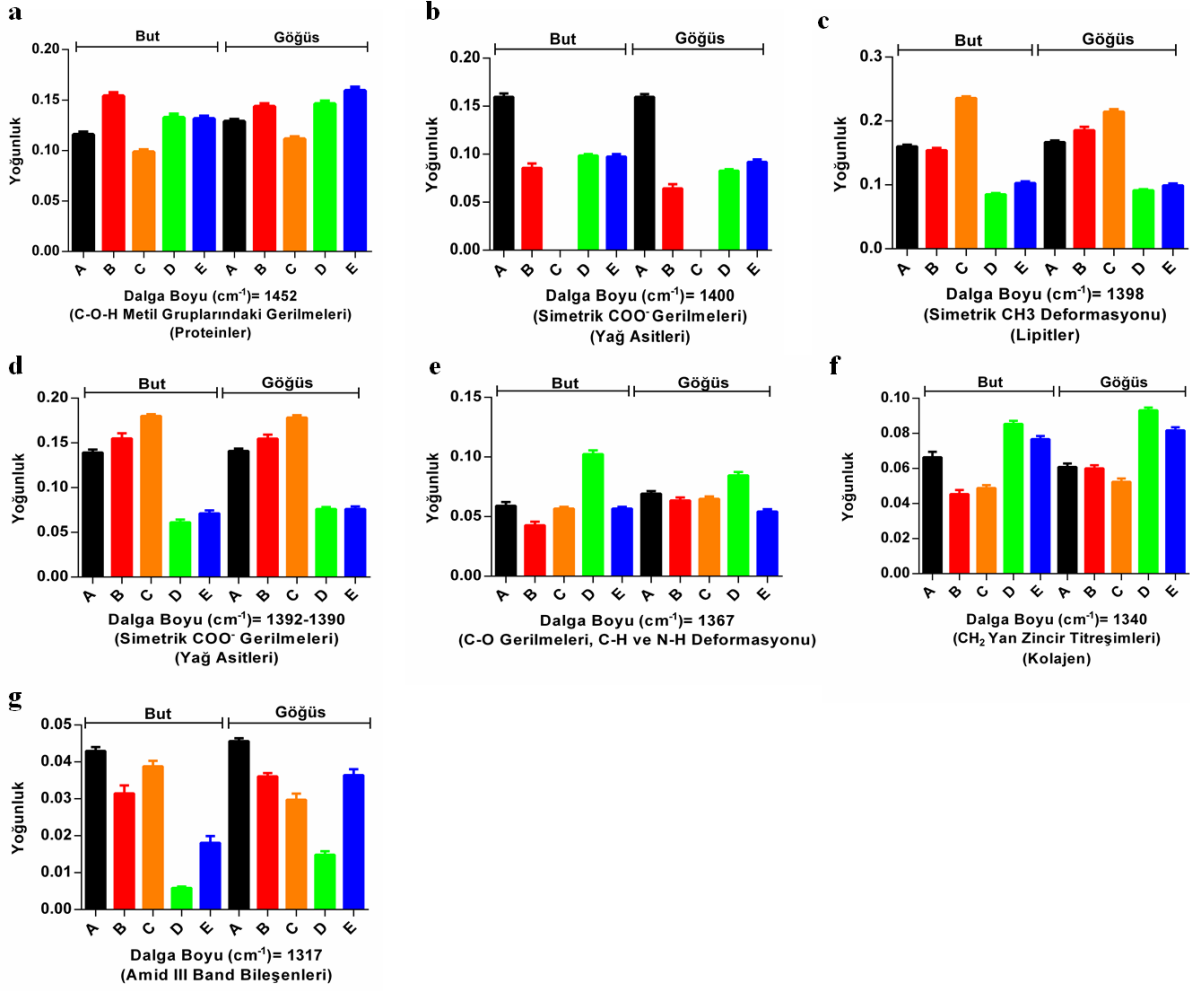
Şekil 4.12 e’de yine yağ asitlerine özgü C-O gerilmeleri ile C-H, N-H gerilmelerine ait deformasyonu ifade eden  $1367\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken



D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmış, D grubu ise C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. Göğüs et örneklerinde A ve B grupları E (sırasıyla  $p<0,0001$ ,  $p<0,01$ ) grubuna göre artarken D (sırasıyla  $p<0,0001$ ,  $p<0,001$ ) grubuna göre azalmıştır.

Şekil 4.12 f'de kolajene özgü  $\text{CH}_2$  yan zincir titreşimlerini ifade eden  $1340\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. B grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu E ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. D grubu ise E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,05$ ). Göğüs et örneklerinde A ve B grupları C ( $p<0,05$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu E ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. D grubu ise E grubuna göre artmıştır ( $p<0,001$ ).

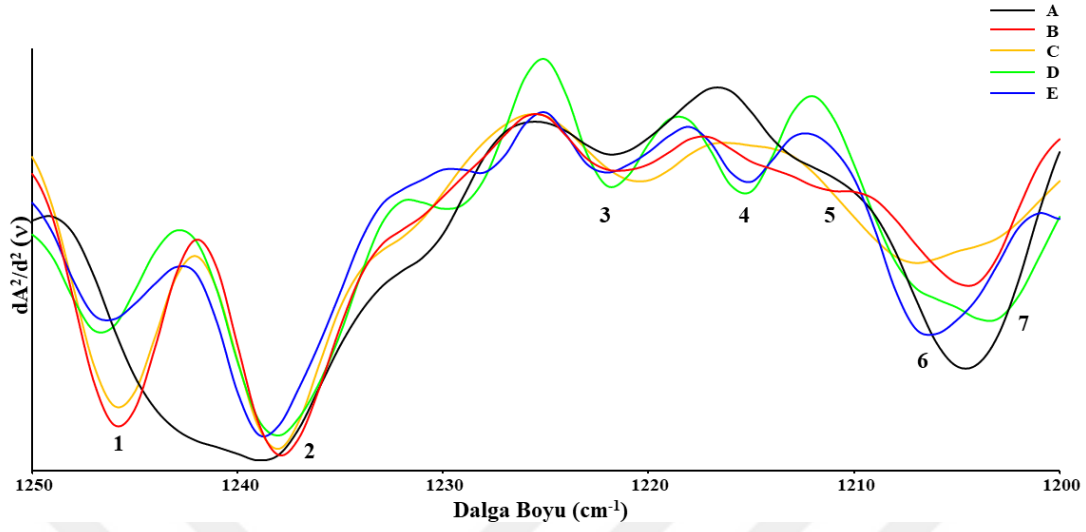
Şekil 4.12 g'de Amid III bileşenlerini ifade eden  $1317\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken C ( $p<0,05$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken, D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,001$ ). Göğüs et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, B grubu ise sadece C ( $p<0,05$ ) ve D ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken E ( $p<0,05$ ) grubuna göre azalmıştır. D grubu ise E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ).



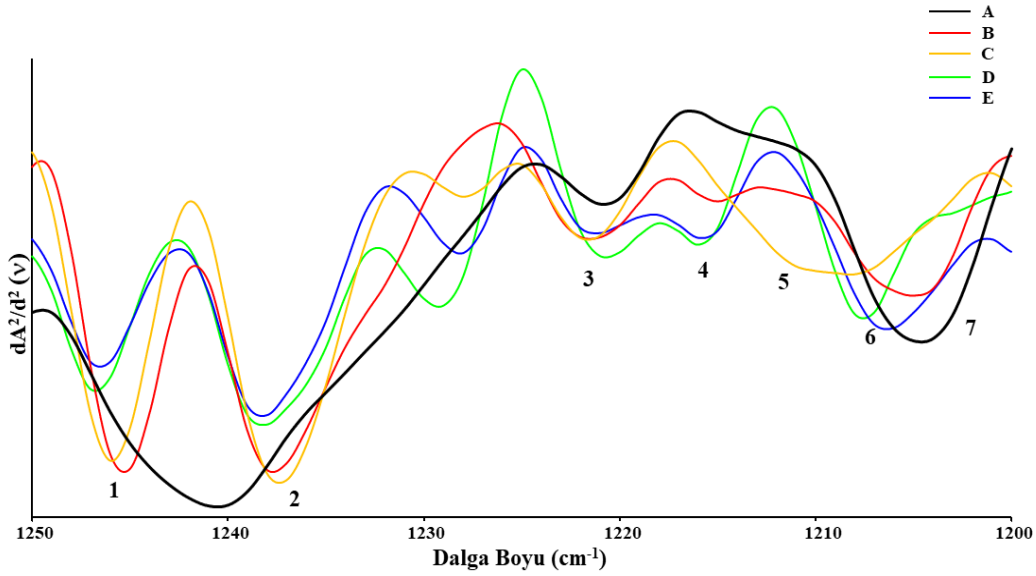
**Şekil 4.13.** But ve Göğüs Et Örneklerine Ait 1500-1300 cm<sup>-1</sup> Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları

#### 4.1.5. O-P-O (1250-1200 cm<sup>-1</sup>) Spektral Bölgesinin Analizi

Şekil 4.13-15’de nükleik asitlerin O-P-O gerilmelerine özgü 1250-1200 cm<sup>-1</sup> bölgesine ait spektral verilerin analizleri sunulmuştur. Bu bölgede incelenen but ve göğüs örneklerine ait spektrumlar sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Spektrumların kantitatif analizlerinde, özgün tanımlamaları Tablo 4.1’de verilen 1240 cm<sup>-1</sup>, 1238 cm<sup>-1</sup>, 1225 cm<sup>-1</sup>, 1215 cm<sup>-1</sup>, 1212 cm<sup>-1</sup>, 1207 cm<sup>-1</sup>, 1204 cm<sup>-1</sup> bantları elde edilmiş olup bu bantların mutlak yoğunluk verileri Şekil 4.15’de sunulmuştur.



**Şekil 4.14.** But Et Örneklerine Ait 1250-1200  $\text{cm}^{-1}$  Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları



**Şekil 4.15.** Göğüs Et Örneklerine Ait 1250-1200  $\text{cm}^{-1}$  Bölgesinin İkincil Türevi Alınmış ve Vektör-Normalize Edilmiş Temsili Kızılötesi Spektrumları

Şekil 4.15 a’da A-DNA formunu ifade eden  $1240\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A ve B grupları C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmış, A grubu ise B ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre, D grubu ise E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ). Aynı sonuçlar göğüs örnekleri için de elde edilmiştir.

Şekil 4.15 b’ de nükleik asitlere özgü antisimetrik O-P-O gerilmelerini temsil eden  $1238\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,01$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu D ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artarken, D grubu E grubuna göre azalmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 4.15 c’ de B-DNA formunu ifade eden  $1225\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,05$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır. B grubu C ( $p<0,01$ ) grubuna göre artarken E ( $p<0,0001$ ) grubuna göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,001$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örnekleri için de aynı sonuçlar geçerlidir.

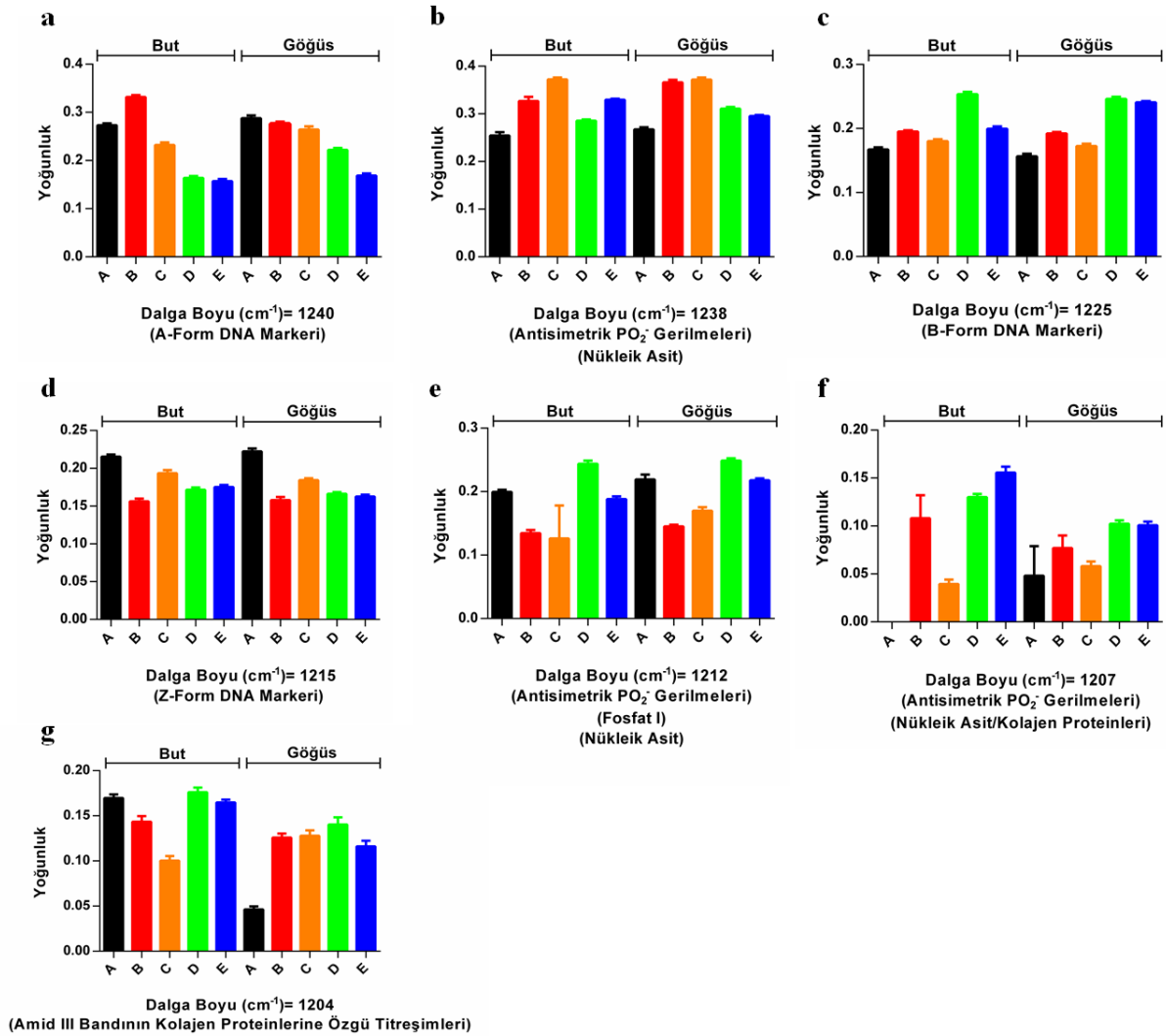
Şekil 4.15 d’ de Z-DNA formunu ifade eden  $1215\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmış, B grubu ise C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,05$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmıştır. C grubu D ( $p<0,001$ ) ve E ( $p<0,01$ ) gruplarına göre artmıştır. Aynı sonuçlar göğüs örnekleri için de elde edilmiştir.

Şekil 4.15 e’ de yine nükleik asitlere özgü antisimetrik O-P-O gerilmelerini temsil eden ikinci bir bandın ( $1212\text{ cm}^{-1}$  konumunda) deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu B ( $p<0,0001$ ) ve C ( $p<0,001$ ) gruplarına göre artarken D ( $p<0,01$ ) grubuna göre azalmıştır. B ve C grupları e D ( $p<0,0001$ ) ve E (sırasıyla  $p<0,0001$ ,  $p<0,01$ ) gruplarına göre azalmıştır. D grubu ise E grubuna göre artmıştır ( $p<0,0001$ ). Göğüs et örneklerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Şekil 4.15 f’ de kolajen ile nükleik asitlere özgü O-P-O gerilmelerini temsil eden  $1207\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinde A ve C grupları B ( $p<0,001$ ) ve D ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalırken, E

grubu B ( $p<0,01$ ), C ( $p<0,0001$ ) ve D ( $p<0,01$ ) gruplarına göre artmıştır. Göğüs et örneklerinde D ve E grupları A ( $p<0,001$ ) ve C ( $p<0,001$ ) gruplarına göre artmıştır.

Şekil 4.15 g' de kolajen proteinlerinin Amid III bölgesine özgü titreşimlerini temsil eden  $1204\text{ cm}^{-1}$  konumundaki bandın deneysel gruplar arasındaki mutlak yoğunluk farkları sunulmuştur. But et örneklerinin A grubu B ( $p<0,05$ ) ve C ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre artmıştır. B grubu C ( $p<0,0001$ ) grubuna göre artarken D ( $p<0,01$ ) ve E ( $p<0,05$ ) gruplarına göre azalmıştır. Söz konusu azalmalar C grubu için de geçerlidir. Göğüs et örneklerinde A grubu B ( $p<0,0001$ ), C ( $p<0,0001$ ), D ( $p<0,0001$ ) ve E ( $p<0,0001$ ) gruplarına göre azalmıştır.



**Şekil 4.16.** But ve Göğüs Et Örneklerine Ait  $1250\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$  Bölgesinin Spektral Bantlarının Mutlak Yoğunlukları ve Konumları

#### 4.2. But ve Göğüs Örneklerine Ait Protein Profilleri ve Toplam Protein Miktarları

But ve göğüs örneklerinden elde edilen proteinlere ait jel görüntüsü ve protein profilleri Şekil 4.16 a'da verilmiştir. But ve göğüs bölgesine ait protein profillerinin Image Lab 6.1 yazılımı ile belirlenen bant yoğunluğunun protein konsantrasyonuna oranları ise Tablo 4.2. ve Tablo 4.3' de verilmiştir. Her iki et örneğinde (10-250 kDa moleküler ağırlık aralığında) miyozin ağır zincirleri (MHC) (222-223 kDa) (Choi ve Chin, 2021: 5254),  $\alpha$ -aktinin ( $\alpha$ -act) (97kDa) (Dube vd., 2014: 1600), desmin (53 kDa) (J. Huang vd., 2019: 1056), aktin (ACT) (42 kDa) (Choi ve Chin, 2021: 5254), troponin-T (TnT) (37 kDa) (Zhang vd., 2020: 126516), tropomiyozin (TPM) (34 kDa) (Nishio vd., 2018: 1163) ve miyozin hafif zincirleri (MLC) (Zou vd., 2019: 104735) ile ilişkili olabilecek protein bantları tanımlanmıştır. Jel görüntüsünde de görüldüğü üzere, but örneklerine ait MHC proteinlerin bant yoğunluğu yani protein ekspresyonu göğüs örneklerine göre fazladır.  $\alpha$ -aktinin proteinlerine ait bantların yoğunluğu but örneklerinin C ve E gruplarında A, B ve D gruplarına göre daha yüksek bulunmuştur. Göğüs örneklerinde ise bu bandın yoğunluğu A ve B grupları C, D ve E gruplarına nazaran daha fazladır. Desmin proteinlerine ait bantların yoğunluğu but örneklerinin C, D ve E gruplarında A ve B gruplarına göre, göğüs örneklerinin B, C, D ve E gruplarında ise A grubuna göre daha azdır. Aktin proteinlerine ait bantların yoğunluğu but örneklerinde D grubu A, B, C ve E gruplarına göre daha yüksek bulunmuştur. Göğüs örneklerinde ise bu bandın yoğunluğu A ve E grupları B, C ve D gruplarına göre daha yüksektir. Troponin-T proteinlerine ait batların yoğunluğu but örneklerinin B, C ve E grupları A ve E grubuna göre yükselmiştir. Göğüs örneklerinde ise A grubu diğer gruplara göre daha fazla troponin-T ekspresyonu söz konusudur. Tropomiyozin proteinlerine ait bantların yoğunluğu but örneklerinde E grubu diğer gruplara nazaran yükselmiştir. Tropomiyozin ekspresyonu göğüs örneklerinde ise diğer gruplara nazaran A grubunda daha yüksektir. MLC proteinlerine ait bantların yoğunluğu but örneklerinde diğer gruplara göre E grubunda daha fazladır. Göğüs örneklerinde ise A grubu diğer gruplara göre daha yüksektir.

But ve göğüs örneklerine ait toplam protein miktarları Bradford yöntemi ile tayin edilmiş olup, her bir deneysel grup için karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.16 b' de verilmiştir. Göğüs et örneklerinin A grubu B ( $p<0,05$ ), C ( $p<0,01$ ) ve D ( $p<0,05$ ) gruplarına göre, B grubu ise D grubuna göre artmıştır ( $p<0,05$ ). Diğer deneysel gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamıştır.

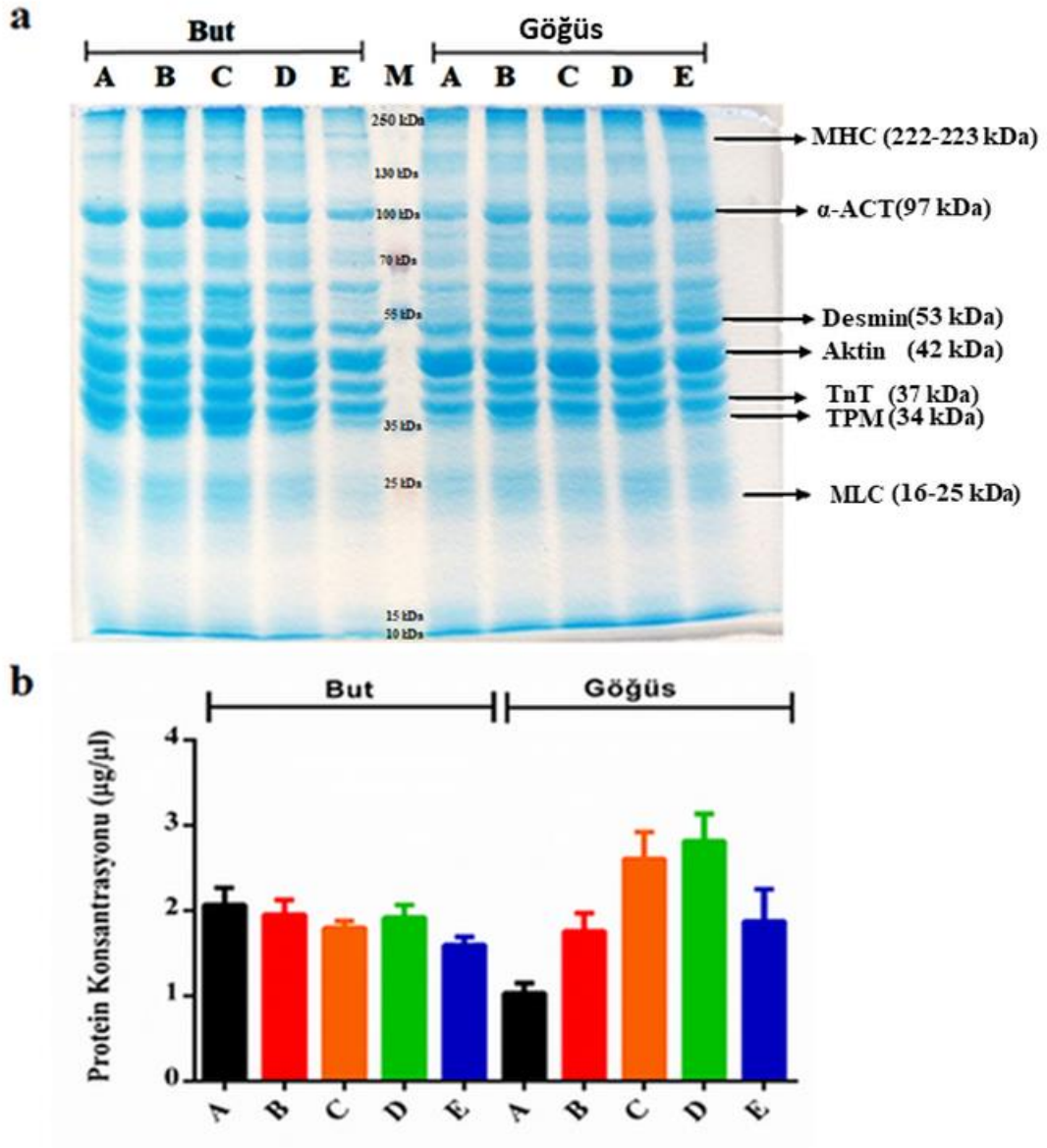
**Tablo 4.5.** But Et Örneklerine Ait Protein Profillerinin Bant Yoğunluğu/Toplam Protein Konsantrasyon ( $\mu\text{g/mL}$ ) Oranları. MHC: Miyozin Ağır Zincirleri,  $\alpha$ -act:  $\alpha$ -Aktinin, ACT: Aktin, TnT: Troponin-T, TPM: Tropomiyozin, MLC: Miyozin Hafif Zincirleri

| DeneySEL GrUplAr                                                      |               | A       | B       | C       | D       | E       |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Toplam Protein Konsantrasyonu ( $\mu\text{g/ml}$ )                    |               | 2,0665  | 1,954   | 1,7965  | 1,9165  | 1,594   |
| Bant Yoğunluğu                                                        | MHC           | 152,88  | 137,424 | 105,08  | 124,178 | 169,539 |
|                                                                       | $\alpha$ -ACT | 315,414 | 394,059 | 468,205 | 334,348 | 476,766 |
|                                                                       | Desmin        | 573,371 | 641,428 | 735,764 | 649,491 | 699,181 |
|                                                                       | Aktin         | 583,04  | 348,285 | 707,155 | 888,533 | 370,883 |
|                                                                       | TnT           | 468,363 | 540,816 | 554,365 | 305,796 | 540,474 |
|                                                                       | TPM           | 171,994 | 229,091 | 410,759 | 391,553 | 550,798 |
|                                                                       | MLC           | 286,542 | 228,947 | 229,181 | 295,946 | 370,634 |
| Bant Yoğunluğu /<br>Toplam Protein Konsantrasyon ( $\mu\text{g/ml}$ ) | MHC           | 73,980  | 70,329  | 58,491  | 77,903  | 106,360 |
|                                                                       | $\alpha$ -ACT | 152,631 | 201,667 | 260,620 | 209,754 | 299,1   |
|                                                                       | Desmin        | 277,459 | 329,94  | 409,554 | 407,459 | 438,632 |
|                                                                       | Aktin         | 282,138 | 178,242 | 393,629 | 557,423 | 232,674 |
|                                                                       | TnT           | 226,645 | 276,773 | 308,58  | 191,841 | 339,067 |
|                                                                       | TPM           | 83,229  | 117,242 | 228,644 | 245,641 | 345,544 |
|                                                                       | MLC           | 138,660 | 117,168 | 127,570 | 185,662 | 232,518 |

**Tablo 4.6.** Göğüs Et Örneklerine Ait Protein Profillerinin Bant Yoğunluğu/Toplam Protein Konsantrasyon ( $\mu\text{g/mL}$ ) Oranları. MHC: Miyozin Ağır Zincirleri,  $\alpha$ -act:  $\alpha$ -Aktinin, ACT: Aktin, TnT: Troponin-T, TPM: Tropomiyozin, MLC: Miyozin hafif zincirleri

| Deneyisel Gruplar                                                                      |                                | A       | B       | C       | D       | E       |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>Toplam Protein Konsantrasyonu (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b>                     |                                | 1,0315  | 1,7565  | 2,6015  | 2,8165  | 1,8715  |
| <b>Bant Yoğunluğu</b>                                                                  | <b>MHC</b>                     | 66,845  | 58,089  | 151,264 | 124,166 | 57,304  |
|                                                                                        | <b><math>\alpha</math>-ACT</b> | 334,198 | 358,237 | 293,627 | 382,108 | 334,29  |
|                                                                                        | <b>Desmin</b>                  | 601,532 | 658,31  | 613,885 | 630,434 | 477,479 |
|                                                                                        | <b>Aktin</b>                   | 592,357 | 387,483 | 445,157 | 324,936 | 573,172 |
|                                                                                        | <b>TnT</b>                     | 487,052 | 513,252 | 311,52  | 372,658 | 382,024 |
|                                                                                        | <b>TPM</b>                     | 458,194 | 474,281 | 435,845 | 448,822 | 229,132 |
|                                                                                        | <b>MLC</b>                     | 267,222 | 203,208 | 186,755 | 238,66  | 162,253 |
| <b>Bant Yoğunluğu /<br/>Toplam Protein Konsantrasyon (<math>\mu\text{g/ml}</math>)</b> | <b>MHC</b>                     | 64,803  | 33,070  | 58,144  | 44,085  | 30,619  |
|                                                                                        | <b><math>\alpha</math>-ACT</b> | 323,992 | 203,949 | 112,868 | 135,667 | 178,621 |
|                                                                                        | <b>Desmin</b>                  | 583,162 | 374,785 | 235,973 | 223,835 | 255,131 |
|                                                                                        | <b>Aktin</b>                   | 574,267 | 220,599 | 171,115 | 115,368 | 306,263 |
|                                                                                        | <b>TnT</b>                     | 472,178 | 292,201 | 119,746 | 132,312 | 204,127 |
|                                                                                        | <b>TPM</b>                     | 444,201 | 270,014 | 167,536 | 159,354 | 122,432 |
|                                                                                        | <b>MLC</b>                     | 259,061 | 115,689 | 71,787  | 84,736  | 86,696  |

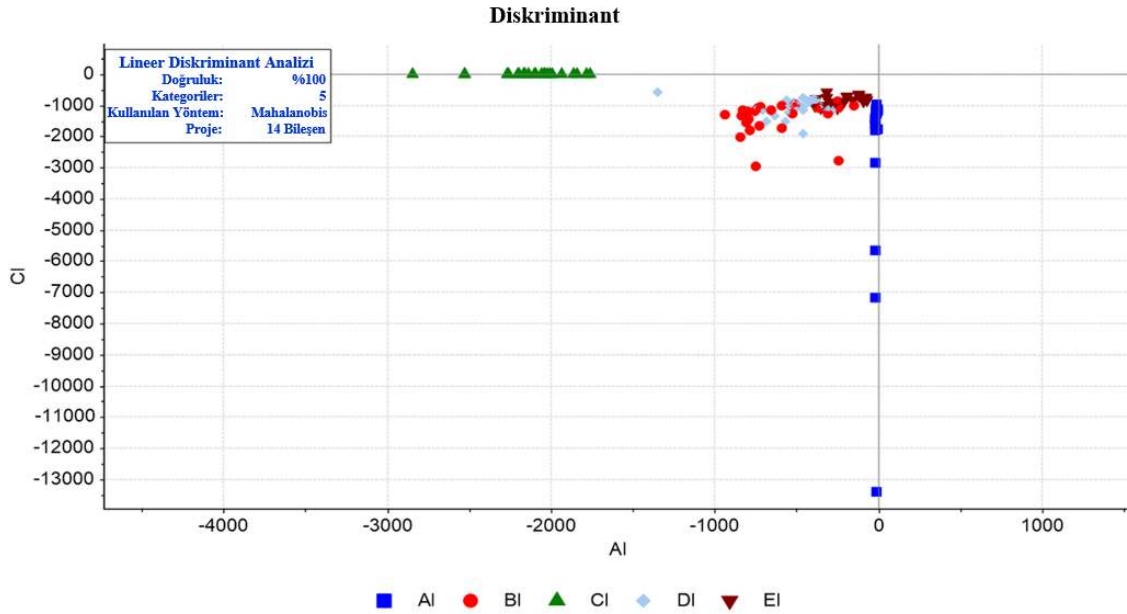




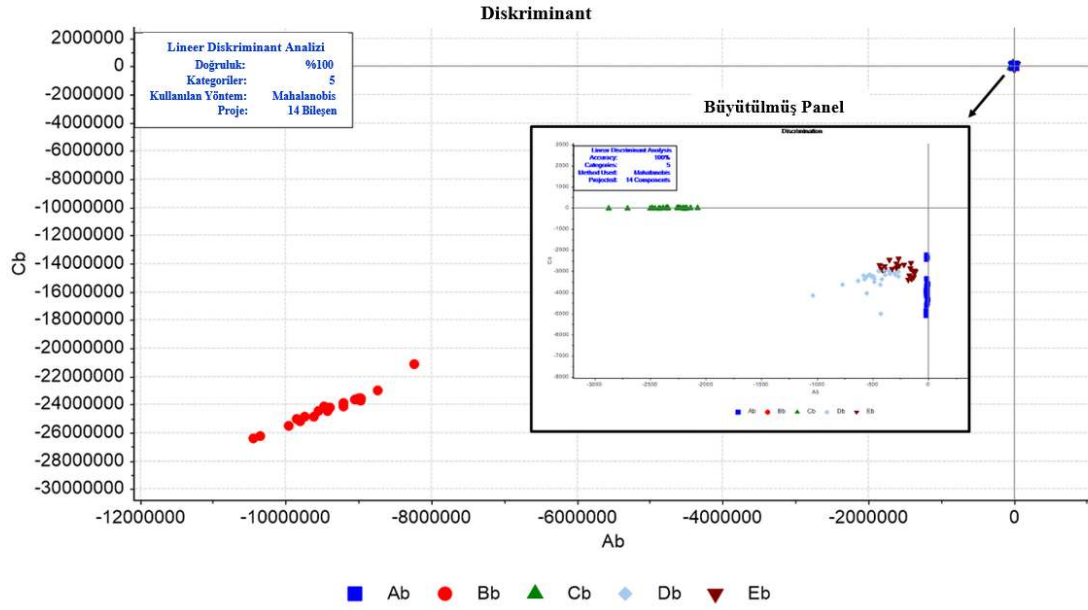
**Şekil 4.17.** a) But ve Göğüs Et Örneklerine Ait Protein Profilleri ve b) Proteinlerin Toplam Konsantrasyonları ( $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ ). M: Marker (Thermo Scientific™ PageRuler™ Plus Prestained 10–250 kDa Protein Ladder), MHC: Miyozin Ağır Zincirleri,  $\alpha$ -act:  $\alpha$ -Aktinin, ACT: Aktin, TnT: Troponin-T, TPM: Tropomiyozin, MLC: Miyozin hafif zincirleri

#### 4.3. But ve Göğüs Örneklerinin Örüntü Tanıma veya Makine Öğrenimi ile Sınıflandırılması

Çalışmanın bu bölümünde makine öğrenimi ile farklı marka et örneklerinin but ve göğüs bölgesi için hızlı ve yüksek hassasiyet oranına sahip bir piliç eti sınıflandırma yöntemi geliştirmek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ham spektral veriler temelinde geliştirilen LDA modeline ait bulgular Şekil 4.17-18 ile Tablo 4.4-7’te sunulmuştur. Ayrım grafiğinde gösterildiği gibi, gözetimli LDA modeli, but ve göğüs örneklerinin marka bazında ayrıştırılması için tüm ( $4000-650\text{ cm}^{-1}$ ) spektral bölgede %100 doğrulukla geliştirilmiştir (sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). Bununla birlikte, diğer spektral bölgeler de karşılaştırılabilir model doğrulukları sergilemiştir (veriler gösterilmemiştir). Hemen hemen tüm but ve göğüs örnekleri, her bir örnek mesafesini her iki sınıfa göre gösteren kestirim matrisinde, karşılık gelen sınıfları içinde doğru bir şekilde ayırt edilmiştir (Tablo 4.4, Tablo 4.5). Hata matrisine göre, hemen hemen tüm sınıf üyeleri diğer sınıf üyeleriyle karışmamıştır (Tablo 4.6, Tablo 4.7). Bu çalışmanın bulgularına göre spektral veriler temelinde geliştirilen makine öğrenimi yaklaşımı broyler endüstrisinde ve gıda kalite kontrol laboratuvarlarında et kalitesinin 15-30 dakika sürede belirlenebilmesi için uygun fiyatlı, güvenilir, çevre dostu ve tahribatsız bir parmak izi yöntem olabilme potansiyeli taşımaktadır.



**Şekil 4.18.** Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait But Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede ( $4000-650\text{ cm}^{-1}$ ) Elde Edilen Ayrım (Diskriminant) Grafiği. AI: A Grubu, BI: B Grubu, CI: C Grubu, DI: D Grubu, EI: E Grubu.



**Şekil 4.19.** Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait Göğüs Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede ( $4000-650\text{ cm}^{-1}$ ) Elde Edilen Ayrım (Diskriminant) Grafiği. Ab: A Grubu, Bb: B Grubu, Cb: C Grubu, Db: D Grubu, Eb: E Grubu.

**Tablo 4.7.** Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait But Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede ( $4000-650\text{ cm}^{-1}$ ) Elde Edilen Kestirim Matrisi. Al: A Grubu, Bl: B Grubu, Cl: C Grubu, Dl: D Grubu, El: E Grubu.

| Kestirim Matriksi | El       | DI       | Cl       | Al       | Bl       | Tahmin Edilen |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| Örnekler          | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6             |
| 1                 | -20,554  | -2813,34 | -698,171 | -118,176 | -69,9626 | El            |
| 2                 | -18,0131 | -2142,62 | -771,385 | -75,8122 | -28,2784 | El            |
| 3                 | -17,4147 | -1675,59 | -742,86  | -80,5557 | -79,6223 | El            |
| 4                 | -12,9349 | -1420,57 | -663,061 | -119,987 | -115,67  | El            |
| 5                 | -6,05304 | -1217,14 | -812,693 | -69,6802 | -111,018 | El            |
| 6                 | -12,4446 | -1053,74 | -773,402 | -76,0208 | -168,159 | El            |
| 7                 | -15,1974 | -858,927 | -852,569 | -89,8269 | -169,565 | El            |
| 8                 | -21,0074 | -764,551 | -565,536 | -312,55  | -197,201 | El            |
| 9                 | -14,5032 | -532,704 | -903,338 | -213,732 | -138,927 | El            |
| 10                | -12,0443 | -313,799 | -1079,45 | -247,007 | -126,611 | El            |
| 11                | -8,69806 | -281,566 | -1080,66 | -251,086 | -140,046 | El            |
| 12                | -15,043  | -318,091 | -967,994 | -268,285 | -124,845 | El            |
| 13                | -11,8641 | -311,274 | -1070,88 | -352,916 | -116,009 | El            |

**Tablo 4.4.' ün devamı**

|    |          |          |          |          |          |    |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| 14 | -5,77822 | -292,303 | -1003,2  | -343,401 | -107,689 | El |
| 15 | -15,4672 | -297,717 | -1014,42 | -391,247 | -132,378 | El |
| 16 | -15,974  | -100,01  | -843,999 | -157,409 | -496,876 | El |
| 17 | -15,7122 | -22,4492 | -735,875 | -193,181 | -381,5   | El |
| 18 | -6,00502 | -34,1349 | -850,651 | -211,449 | -599,417 | El |
| 19 | -14,8975 | -26,0604 | -713,108 | -195,49  | -377,857 | El |
| 20 | -8,15821 | -23,5181 | -748,8   | -317,711 | -522,399 | El |
| 21 | -13,0288 | -31,7807 | -896,648 | -288,003 | -692,116 | El |
| 22 | -11,1295 | -24,2387 | -790,038 | -383,057 | -540,337 | El |
| 23 | -15,0355 | -37,6112 | -985,775 | -247,754 | -634,618 | El |
| 24 | -15,0426 | -83,3088 | -1032,35 | -335,346 | -588,756 | El |
| 25 | -69,6337 | -18,5344 | -817,679 | -382,857 | -529,847 | DI |
| 26 | -105,422 | -10,2527 | -819,855 | -413,166 | -583,307 | DI |
| 27 | -81,8139 | -16,0236 | -763,685 | -457,248 | -691,28  | DI |
| 28 | -69,141  | -12,9861 | -799,626 | -397,71  | -524,603 | DI |
| 29 | -60,4946 | -9,91935 | -753,981 | -460,652 | -437,881 | DI |
| 30 | -38,2339 | -19,465  | -846,865 | -404,818 | -577,175 | DI |
| 31 | -273,318 | -20,9225 | -812,561 | -561,51  | -427,521 | DI |
| 32 | -19,5273 | -11,2469 | -1147,66 | -309,302 | -748,176 | DI |
| 33 | -1314,58 | -23,8892 | -563,049 | -1350,62 | -693,434 | DI |
| 34 | -88,6117 | -13,4773 | -1046,23 | -351,042 | -787,906 | DI |
| 35 | -32,033  | -14,7222 | -987,981 | -528,03  | -844,812 | DI |
| 36 | -42,5423 | -12,5557 | -1156    | -273,609 | -708,105 | DI |
| 37 | -58,2341 | -12,75   | -904,234 | -420,708 | -666,055 | DI |
| 38 | -158,501 | -16,7625 | -891,586 | -515,12  | -513,58  | DI |
| 39 | -23,8317 | -10,9735 | -1040,19 | -457,575 | -779,754 | DI |
| 40 | -75,5051 | -6,34595 | -923,082 | -493,879 | -740,311 | DI |
| 41 | -22,1964 | -4,42215 | -1067,36 | -506,473 | -884,435 | DI |
| 42 | -39,8355 | -9,03514 | -1146,14 | -459,435 | -833,11  | DI |
| 43 | -54,706  | -9,24076 | -1016,91 | -550,505 | -870,335 | DI |
| 44 | -41,975  | -11,8446 | -1238,7  | -546,751 | -927,84  | DI |
| 45 | -490,913 | -21,7489 | -1903,53 | -457,878 | -837,662 | DI |
| 46 | -53,4832 | -8,21205 | -1157,69 | -708,532 | -923,48  | DI |
| 47 | -47,7736 | -11,8579 | -1081,81 | -746,147 | -897,46  | DI |
| 48 | -79,775  | -10,7772 | -1501,86 | -681,293 | -1237,07 | DI |
| 49 | -57,173  | -13,4456 | -1507,71 | -565,272 | -1086,45 | DI |
| 50 | -55,0656 | -18,589  | -1330,78 | -630,218 | -1118,92 | DI |
| 51 | -3366,42 | -6121,41 | -18,624  | -1760,56 | -966,386 | CI |
| 52 | -3785,57 | -4793,95 | -15,7296 | -1932,52 | -830,001 | CI |
| 53 | -3470,71 | -3976,89 | -16,2964 | -1785,44 | -488,823 | CI |
| 54 | -4725,37 | -3601,49 | -19,049  | -2843,77 | -529,69  | CI |

**Tablo 4.4.' ün devamı**

|    |          |          |          |          |          |    |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| 55 | -3389,95 | -3365,51 | -9,59162 | -2090,69 | -548,866 | CI |
| 56 | -3581,17 | -2836,43 | -4,98055 | -2158,35 | -492,998 | CI |
| 57 | -2982,37 | -2679,67 | -13,9828 | -1839,05 | -342,623 | CI |
| 58 | -2435,57 | -1748,06 | -17,8445 | -2167,08 | -507,077 | CI |
| 59 | -2885,42 | -1521,88 | -17,4552 | -2097,66 | -400,163 | CI |
| 60 | -2968,3  | -1595,48 | -9,51578 | -2264,35 | -466,168 | CI |
| 61 | -2967,18 | -1519,56 | -17,505  | -2256,97 | -517,234 | CI |
| 62 | -3145,64 | -1587,77 | -11,897  | -2526,85 | -500,694 | CI |
| 63 | -2888,29 | -1382,22 | -14,7858 | -2199,42 | -498,074 | CI |
| 64 | -3220,54 | -1288,18 | -8,19111 | -2021,86 | -347,927 | CI |
| 65 | -3089,21 | -1288,25 | -10,0196 | -2008,09 | -318,389 | CI |
| 66 | -3128,79 | -1138,1  | -7,27793 | -1994,37 | -337,335 | CI |
| 67 | -2789,12 | -1414,13 | -16,2958 | -2529,7  | -386,481 | CI |
| 68 | -3109,48 | -965,585 | -9,81457 | -2198,11 | -404,46  | CI |
| 69 | -2761,2  | -1216,71 | -9,55616 | -2138,44 | -352,208 | CI |
| 70 | -2722,23 | -1232,18 | -10,8193 | -2167,28 | -333,784 | CI |
| 71 | -3297,66 | -1231,45 | -13,3703 | -2038,49 | -417,836 | CI |
| 72 | -2070,47 | -1184,39 | -17,4425 | -1864,18 | -290,508 | CI |
| 73 | -2091,53 | -1340,01 | -18,5627 | -2057,87 | -537,765 | CI |
| 74 | -2858,17 | -989,601 | -13,3928 | -2039,63 | -466,582 | CI |
| 75 | -4188,5  | -12480,1 | -5642,85 | -19,0046 | -5135,38 | AI |
| 76 | -10408,7 | -25524,5 | -13402,1 | -14,2759 | -9218,32 | AI |
| 77 | -13682,2 | -34094   | -17921   | -15,8748 | -11928,4 | AI |
| 78 | -18233,7 | -34472,7 | -20169,4 | -14,8187 | -14034,9 | AI |
| 79 | -854,684 | -2605,16 | -2863,24 | -16,509  | -1651,46 | AI |
| 80 | -453,588 | -1744,63 | -1761,6  | -8,17125 | -529,313 | AI |
| 81 | -3791,44 | -6923,99 | -7188,39 | -17,8501 | -2959,4  | AI |
| 82 | -354,454 | -2475,81 | -1123,44 | -10,2854 | -137,227 | AI |
| 83 | -186,122 | -1948,55 | -1258,72 | -15,4437 | -129,995 | AI |
| 84 | -311,085 | -1825,3  | -1202,78 | -14,6714 | -120,87  | AI |
| 85 | -275,022 | -1710,15 | -1130,82 | -12,3616 | -135,812 | AI |
| 86 | -913,236 | -2974,61 | -1821,18 | -19,7498 | -508,665 | AI |
| 87 | -344,131 | -1501,56 | -1280,3  | -11,9234 | -367,979 | AI |
| 88 | -223,078 | -957,629 | -1179,55 | -10,3547 | -181,454 | AI |
| 89 | -189,774 | -752,272 | -967,679 | -8,3666  | -165,503 | AI |
| 90 | -226,565 | -495,287 | -1139,77 | -13,4786 | -177,474 | AI |
| 91 | -182,998 | -620,905 | -1112,21 | -5,49942 | -237,925 | AI |
| 92 | -203,226 | -691,554 | -1190,97 | -4,89567 | -225,121 | AI |
| 93 | -241,609 | -954,676 | -1260,85 | -12,0202 | -222,502 | AI |
| 94 | -399,511 | -1042,12 | -1083,57 | -11,19   | -191,738 | AI |
| 95 | -1403,27 | -2222,43 | -1421,84 | -16,0544 | -554,575 | AI |

**Tablo 4.4.' ün devamı**

|     |          |          |          |          |          |    |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| 96  | -503,735 | -1526,42 | -1494,58 | -19,2018 | -219,611 | A1 |
| 97  | -724,457 | -764,068 | -1597,43 | -15,999  | -676,011 | A1 |
| 98  | -1071,63 | -3501,45 | -2793,83 | -245,802 | -20,76   | B1 |
| 99  | -33,759  | -2355,35 | -1021,26 | -145,865 | -14,1003 | B1 |
| 100 | -59,623  | -2213,13 | -1068,08 | -246,709 | -10,6852 | B1 |
| 101 | -180,81  | -1877,36 | -874,335 | -251,05  | -17,1357 | B1 |
| 102 | -124,403 | -1599,77 | -1253,44 | -308,439 | -18,364  | B1 |
| 103 | -433,215 | -2156,48 | -1076,48 | -365,704 | -18,6393 | B1 |
| 104 | -110399  | -13809,5 | -89241,7 | -34048,3 | -23,026  | B1 |
| 105 | -392,981 | -1863,39 | -962,734 | -511,212 | -12,0683 | B1 |
| 106 | -438,977 | -2234,93 | -1011,4  | -587,792 | -14,2492 | B1 |
| 107 | -343,052 | -1924,92 | -1272,52 | -522,206 | -14,5935 | B1 |
| 108 | -419,4   | -1874,08 | -1748,14 | -588,634 | -12,7306 | B1 |
| 109 | -500,568 | -1167,23 | -2946,75 | -748,969 | -12,8631 | B1 |
| 110 | -505,047 | -1580,83 | -1819,68 | -785,411 | -6,80116 | B1 |
| 111 | -448,214 | -1489,56 | -1563,83 | -810,082 | -15,3291 | B1 |
| 112 | -856,682 | -1900,6  | -1663,99 | -724,431 | -16,539  | B1 |
| 113 | -354,164 | -1236,79 | -1166,68 | -653,078 | -7,87658 | B1 |
| 114 | -727,602 | -1597,87 | -2019,75 | -845,46  | -19,8909 | B1 |
| 115 | -654,791 | -1446,67 | -1205,11 | -753,072 | -15,1016 | B1 |
| 116 | -390,156 | -1096,5  | -1062,27 | -722,173 | -9,49425 | B1 |
| 117 | -430,36  | -934,44  | -1450,04 | -795,693 | -10,1779 | B1 |
| 118 | -515,462 | -1437,49 | -1191,04 | -799,436 | -9,26095 | B1 |
| 119 | -489,319 | -1267,55 | -1156,07 | -825,928 | -5,5228  | B1 |
| 120 | -300,059 | -921,82  | -1098,56 | -735,35  | -12,6423 | B1 |
| 121 | -315,017 | -1205,66 | -1319,63 | -836,964 | -8,69228 | B1 |
| 122 | -559,426 | -1288,55 | -1283,49 | -940,421 | -9,45627 | B1 |



**Tablo 4.8.** Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Göğüs But Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede (4000-650  $\text{cm}^{-1}$ ) Elde Edilen Kestirim Matrisi. Ab: A Grubu, Bb: B Grubu, Cb: C Grubu, Db: D Grubu, Eb: E Grubu.

| <b>Kestirim Matrisi</b> | <b>Eb</b> | <b>Db</b> | <b>Cb</b> | <b>Ab</b> | <b>Bb</b> | <b>Tahmin Edilen</b> |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Örnekler                | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         | 6                    |
| 1                       | -20,2037  | -513,549  | -2402,83  | -266,482  | -110399   | Eb                   |
| 2                       | -18,4475  | -335,109  | -2984,43  | -126,507  | -116360   | Eb                   |
| 3                       | -20,0235  | -451,432  | -3008,39  | -117,083  | -114478   | Eb                   |
| 4                       | -20,3497  | -267,435  | -2976,13  | -119,31   | -118430   | Eb                   |
| 5                       | -13,5744  | -485,441  | -2593,97  | -157,731  | -116345   | Eb                   |
| 6                       | -8,44072  | -246,153  | -2861,18  | -158,739  | -118614   | Eb                   |
| 7                       | -7,77112  | -263,799  | -3028,23  | -130,241  | -119960   | Eb                   |
| 8                       | -11,9318  | -239,59   | -3265,52  | -131,542  | -119943   | Eb                   |
| 9                       | -14,5284  | -367,18   | -3388,25  | -180,766  | -121902   | Eb                   |
| 10                      | -9,94169  | -210,449  | -3346,25  | -148,42   | -122873   | Eb                   |
| 11                      | -8,50603  | -121,477  | -3289,1   | -153,145  | -124893   | Eb                   |
| 12                      | -8,32803  | -178,217  | -3321,12  | -146,827  | -125345   | Eb                   |
| 13                      | -7,20064  | -188,592  | -3195,69  | -167,708  | -124267   | Eb                   |
| 14                      | -13,265   | -284,663  | -2636,36  | -286,216  | -116300   | Eb                   |
| 15                      | -11,4226  | -122,61   | -2736,58  | -262,888  | -118711   | Eb                   |
| 16                      | -16,5596  | -191,277  | -2683,39  | -219,867  | -118514   | Eb                   |
| 17                      | -19,4764  | -80,7851  | -2893,99  | -324,122  | -122449   | Eb                   |
| 18                      | -11,2753  | -188,193  | -2753,63  | -393,3    | -121058   | Eb                   |
| 19                      | -13,0277  | -143,09   | -2464,34  | -350,745  | -120906   | Eb                   |
| 20                      | -15,2837  | -37,4174  | -2846,86  | -288,231  | -124749   | Eb                   |
| 21                      | -13,3278  | -60,9416  | -2901,07  | -412,709  | -123145   | Eb                   |
| 22                      | -17,6141  | -92,9555  | -2715,97  | -437,519  | -122616   | Eb                   |
| 23                      | -14,1681  | -62,6425  | -2878,5   | -422,431  | -123226   | Eb                   |
| 24                      | -11,4115  | -64,9481  | -2918,7   | -405,038  | -122673   | Eb                   |
| 25                      | -9,92108  | -31,1259  | -2915,74  | -392,042  | -124528   | Eb                   |
| 26                      | -61,4165  | -9,78489  | -3179,89  | -390,132  | -125309   | Db                   |
| 27                      | -16,8081  | -10,4096  | -3113,38  | -343,106  | -125931   | Db                   |
| 28                      | -265,182  | -16,3164  | -3097,12  | -298,618  | -121905   | Db                   |
| 29                      | -88,4042  | -12,9841  | -3247,04  | -266,419  | -126707   | Db                   |
| 30                      | -55,05    | -17,689   | -2992,55  | -447,513  | -123198   | Db                   |
| 31                      | -98,269   | -12,731   | -3013,68  | -266,326  | -122656   | Db                   |
| 32                      | -42,6636  | -12,7689  | -2996,66  | -352,906  | -123436   | Db                   |
| 33                      | -39,8994  | -8,93946  | -2949,81  | -398,349  | -123755   | Db                   |
| 34                      | -297,708  | -19,2084  | -3619,29  | -430,463  | -120817   | Db                   |
| 35                      | -2444,2   | -22,6132  | -4134,86  | -1036,19  | -113081   | Db                   |

**Tablo 4.5' in devamı**

|    |          |          |          |          |          |    |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|----|
| 36 | -180,796 | -10,3138 | -3158,83 | -296,258 | -121842  | Db |
| 37 | -2741,53 | -21,1488 | -5017,92 | -426,468 | -115267  | Db |
| 38 | -78,2013 | -7,4088  | -3245,71 | -510,42  | -124388  | Db |
| 39 | -30,8108 | -13,8771 | -3250,63 | -491,118 | -125481  | Db |
| 40 | -81,9238 | -9,33755 | -3342,46 | -483,169 | -125638  | Db |
| 41 | -237,05  | -14,2203 | -3177,65 | -525,598 | -126047  | Db |
| 42 | -269,872 | -19,4251 | -3365,08 | -416,855 | -127268  | Db |
| 43 | -850,429 | -13,3481 | -4030,1  | -551,433 | -118849  | Db |
| 44 | -35,2179 | -6,45623 | -3214,02 | -508,965 | -125511  | Db |
| 45 | -130,082 | -13,3778 | -3232,52 | -551,906 | -125402  | Db |
| 46 | -39,2073 | -9,02559 | -3144,02 | -529,7   | -125892  | Db |
| 47 | -19,2572 | -9,55761 | -3190,79 | -579,469 | -126519  | Db |
| 48 | -122,577 | -16,0833 | -3497,89 | -484,129 | -127034  | Db |
| 49 | -37,6429 | -11,0778 | -3382,31 | -571,945 | -125250  | Db |
| 50 | -98,4387 | -13,8102 | -3447,83 | -629,197 | -128499  | Db |
| 51 | -36,006  | -18,0872 | -3624,05 | -768,597 | -127255  | Db |
| 52 | -3647,14 | -8465,27 | -10,92   | -2227,02 | -91671,6 | Cb |
| 53 | -3642,26 | -7667,3  | -13,5582 | -2347,7  | -92724,2 | Cb |
| 54 | -3729,46 | -8520,88 | -12,8244 | -2478,56 | -91441,6 | Cb |
| 55 | -3791,54 | -7916,67 | -9,97164 | -2353,63 | -93463   | Cb |
| 56 | -3573,76 | -7047,35 | -15,4843 | -2422,19 | -93350,3 | Cb |
| 57 | -3711,02 | -7753,24 | -7,65869 | -2385,74 | -93858,3 | Cb |
| 58 | -3786,71 | -7772,05 | -12,2084 | -2245,07 | -95415,9 | Cb |
| 59 | -3872,61 | -6781,83 | -11,5129 | -2137,9  | -97415,4 | Cb |
| 60 | -3708,36 | -6547,62 | -12,5624 | -2345,7  | -96073,3 | Cb |
| 61 | -4315,82 | -8717,44 | -17,8772 | -2500,79 | -97888,1 | Cb |
| 62 | -3459,34 | -6487,38 | -12,4904 | -2173,73 | -96380,4 | Cb |
| 63 | -3659,17 | -6477,8  | -16,8267 | -2172,35 | -96585,9 | Cb |
| 64 | -3763,49 | -7871,59 | -14,055  | -2409,9  | -95369,8 | Cb |
| 65 | -3898,68 | -6846,67 | -16,5757 | -2194,08 | -96690,9 | Cb |
| 66 | -4016,35 | -7423,05 | -7,65922 | -2259,25 | -98290,3 | Cb |
| 67 | -3371,38 | -6822,7  | -11,9352 | -2247,21 | -95755,9 | Cb |
| 68 | -3695,32 | -7454,25 | -7,64398 | -2356,16 | -96156   | Cb |
| 69 | -4274,8  | -8633,5  | -17,3672 | -2199,55 | -97483   | Cb |
| 70 | -4028,58 | -7354,87 | -16,0935 | -2456,7  | -95620,9 | Cb |
| 71 | -3035,99 | -5751,6  | -16,664  | -2183,49 | -94651,5 | Cb |
| 72 | -3553,64 | -7418,07 | -17,6219 | -2705,07 | -91364,7 | Cb |
| 73 | -3658,96 | -7817,32 | -13,137  | -2340,34 | -95145,1 | Cb |
| 74 | -3599,63 | -8086,6  | -21,1185 | -2872,85 | -92737,2 | Cb |
| 75 | -3240,15 | -6233,49 | -9,95905 | -2071,83 | -96843,6 | Cb |
| 76 | -3351,97 | -6232,6  | -12,2746 | -2206,76 | -96207,7 | Cb |



**Tablo 4.5' in devamı**

|     |           |          |           |           |          |    |
|-----|-----------|----------|-----------|-----------|----------|----|
| 77  | -3002,59  | -3178,83 | -2217,77  | -16,6739  | -113681  | Ab |
| 78  | -7751,69  | -3668,19 | -2432,72  | -15,2719  | -118600  | Ab |
| 79  | -27753,8  | -26997,3 | -11312    | -21,8235  | -125961  | Ab |
| 80  | -2719,43  | -2559,69 | -2356,87  | -10,6293  | -115579  | Ab |
| 81  | -11841,8  | -7789,14 | -4590,83  | -13,8452  | -121092  | Ab |
| 82  | -883,826  | -2625,27 | -3697,34  | -12,3522  | -111463  | Ab |
| 83  | -857,08   | -2258,32 | -3587,28  | -12,4477  | -113254  | Ab |
| 84  | -3128,35  | -5202,64 | -3897,07  | -21,3543  | -113765  | Ab |
| 85  | -591,217  | -2231,18 | -3358,03  | -16,7218  | -111481  | Ab |
| 86  | -589,969  | -1870,57 | -3593,03  | -5,40909  | -113289  | Ab |
| 87  | -4440,93  | -5325,56 | -3713,03  | -15,8928  | -118202  | Ab |
| 88  | -631,346  | -1484,99 | -3877,45  | -8,46511  | -114663  | Ab |
| 89  | -851,401  | -1786,88 | -3840,42  | -11,8031  | -116003  | Ab |
| 90  | -707,78   | -1843,7  | -3817,23  | -9,62124  | -117211  | Ab |
| 91  | -924,737  | -2101,25 | -3992,76  | -15,861   | -116040  | Ab |
| 92  | -760,576  | -1075,32 | -4148,16  | -13,0246  | -116020  | Ab |
| 93  | -655,606  | -1118,02 | -4213,21  | -8,89582  | -115621  | Ab |
| 94  | -249,946  | -1074,49 | -3789,96  | -11,8193  | -117286  | Ab |
| 95  | -362,04   | -1317,08 | -4055,93  | -10,7727  | -117431  | Ab |
| 96  | -642,841  | -1225,4  | -4073,02  | -16,5635  | -117199  | Ab |
| 97  | -736,308  | -1336,13 | -4846     | -18,5523  | -118746  | Ab |
| 98  | -720,95   | -1281,28 | -4494,24  | -9,79266  | -115752  | Ab |
| 99  | -478,304  | -1262,38 | -4353,45  | -6,90136  | -118418  | Ab |
| 100 | -612,764  | -1579,46 | -4487,47  | -12,512   | -119137  | Ab |
| 101 | -4245,98  | -6586,86 | -5083     | -18,9936  | -121485  | Ab |
| 102 | -3,34E+07 | -9152583 | -2,62E+07 | -1,03E+07 | -15,9847 | Bb |
| 103 | -2,67E+07 | -7310583 | -2,11E+07 | -8234550  | -21,9582 | Bb |
| 104 | -3,36E+07 | -9207209 | -2,64E+07 | -1,04E+07 | -15,586  | Bb |
| 105 | -3,08E+07 | -8585151 | -2,41E+07 | -9479390  | -18,083  | Bb |
| 106 | -3,20E+07 | -8901031 | -2,50E+07 | -9853166  | -16,0711 | Bb |
| 107 | -3,18E+07 | -8883533 | -2,49E+07 | -9736125  | -11,6285 | Bb |
| 108 | -3,26E+07 | -9114247 | -2,55E+07 | -9963584  | -14,5632 | Bb |
| 109 | -3,23E+07 | -9024226 | -2,52E+07 | -9803102  | -14,1238 | Bb |
| 110 | -3,13E+07 | -8770256 | -2,45E+07 | -9549565  | -14,09   | Bb |
| 111 | -3,12E+07 | -8863105 | -2,42E+07 | -9386237  | -14,288  | Bb |
| 112 | -3,13E+07 | -8917290 | -2,43E+07 | -9410188  | -11,3655 | Bb |
| 113 | -3,16E+07 | -9006372 | -2,44E+07 | -9428152  | -12,0105 | Bb |
| 114 | -3,22E+07 | -9199125 | -2,49E+07 | -9611713  | -18,1377 | Bb |
| 115 | -3,10E+07 | -8889122 | -2,39E+07 | -9198629  | -7,01354 | Bb |
| 116 | -3,17E+07 | -9240252 | -2,41E+07 | -9201427  | -13,9691 | Bb |
| 117 | -3,10E+07 | -9069615 | -2,35E+07 | -9001752  | -10,6572 | Bb |

**Tablo 4.5' in devamı**

|     |           |          |           |          |          |    |
|-----|-----------|----------|-----------|----------|----------|----|
| 118 | -3,11E+07 | -9120260 | -2,37E+07 | -9017302 | -11,0472 | Bb |
| 119 | -3,03E+07 | -8861323 | -2,30E+07 | -8741635 | -16,9157 | Bb |
| 120 | -3,11E+07 | -9090338 | -2,36E+07 | -8972200 | -9,07305 | Bb |
| 121 | -3,13E+07 | -9100826 | -2,37E+07 | -8977396 | -20,4249 | Bb |
| 122 | -3,12E+07 | -9128046 | -2,36E+07 | -8997689 | -4,91144 | Bb |
| 123 | -3,11E+07 | -9115105 | -2,36E+07 | -9021191 | -8,59281 | Bb |
| 124 | -3,12E+07 | -9131812 | -2,37E+07 | -9044658 | -9,02275 | Bb |
| 125 | -3,10E+07 | -9075362 | -2,35E+07 | -8968868 | -12,4824 | Bb |

**Tablo 4.9.** Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait But Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede (4000-650  $\text{cm}^{-1}$ ) Elde Edilen Hata Matrisi. Al: A Grubu, Bl: B Grubu, Cl: C Grubu, Dl: D Grubu, El: E Grubu.

| <b>Hata Matrisi</b>  | <b>Gerçek</b> | <b>El</b> | <b>Dl</b> | <b>Cl</b> | <b>Al</b> | <b>Bl</b> |
|----------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Tahmin Edilen</b> |               | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  |
| <b>El</b>            | <b>1</b>      | <b>24</b> | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>Dl</b>            | <b>2</b>      | 0         | <b>26</b> | 0         | 0         | 0         |
| <b>Cl</b>            | <b>3</b>      | 0         | 0         | <b>24</b> | 0         | 0         |
| <b>Al</b>            | <b>4</b>      | 0         | 0         | 0         | <b>23</b> | 0         |
| <b>Bl</b>            | <b>5</b>      | 0         | 0         | 0         | 0         | <b>25</b> |

**Tablo 4.10.** Doğrusal Ayırtaç Analizi ile Farklı Markalara Ait Göğüs Örnekleri İçin Tüm Spektral Bölgede (4000-650  $\text{cm}^{-1}$ ) Elde Edilen Hata Matrisi. Ab: A Grubu, Bb: B Grubu, Cb: C Grubu, Db: D Grubu, Eb: E Grubu.

| <b>Hata Matrisi</b>  | <b>Gerçek</b> | <b>Eb</b> | <b>Db</b> | <b>Cb</b> | <b>Ab</b> | <b>Bb</b> |
|----------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Tahmin Edilen</b> |               | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Eb</b>            | <b>1</b>      | <b>25</b> | 0         | 0         | 0         | 0         |
| <b>Db</b>            | <b>2</b>      | 0         | <b>26</b> | 0         | 0         | 0         |
| <b>Cb</b>            | <b>3</b>      | 0         | 0         | <b>25</b> | 0         | 0         |
| <b>Ab</b>            | <b>4</b>      | 0         | 0         | 0         | <b>25</b> | 0         |
| <b>Bb</b>            | <b>5</b>      | 0         | 0         | 0         | 0         | <b>24</b> |

## 5. TARTIŞMA

Et, yüksek değeri zengin diyet bileşenlerini içeren bir besin olup birçok ülkede tüketimi oldukça yüksektir. Günümüzde kanatlı hayvan sektörünün hızla büyümesiyle birlikte Dünya’da kişi başına düşen et tüketiminde artış olmuştur. Gelişmekte olan ülkelerde kişi başına düşen et tüketiminin 2050 yılında 12,5 kg’ı kanatlı eti olmak üzere toplamda 18 kg’a çıkacağı tahmin edilmektedir (Alexandratos ve Bruinsma, 2012: 46). Et kalitesi, canlı hayvanın biyolojik özellikleri ile kasın ete dönüşme süreci, korunması ve tüketilmesi sırasında meydana gelen karmaşık biyokimyasal süreçler şeklinde tanımlanır. Bu nedenle et kalitesi, üretim süreci boyunca ortaya çıkan çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Herrero vd., 2017: 247). Günümüzde et üreticileri ve işleyicileri için yüksek kaliteli et ürünleri üretmek zor bir süreçtir. Çünkü bu alanda yeterli çalışma bulunmamaktadır. Tüketici taleplerini karşılamak üzere et kalitesini doğru bir şekilde belirlemek için yenilikçi yöntemlere ihtiyaç vardır. Günümüzde hala kullanılmakta olan geleneksel kalite yöntemlerinin (duyusal, mikrobiyolojik ve fizikokimyasal) çoğu kullanıcı bağımlı, zaman alıcı, zahmetli ve pahalı tekniklerdir. Ayrıca bu tekniklerin işleme, taşıma ve depolama sırasında çevrimiçi olarak uygulamak mümkün değildir. Bu nedenle modern et endüstrisi geleneksel yöntemlerin tüm dezavantajlarını çözebilecek yenilikçi yöntemler arayışındadır. Bu tez çalışması, kanatlı hayvan etlerinin kalitelerini ATR-FTIR analizleriyle belirlemeye ve bu alandaki açığı kapatmak adına yeni bir analiz yöntemi geliştirmeye yönelik gerçekleştirilmiştir.

Kızılötesi spektroskopik analizleri, Beer-Lambert yasasına göre absorpsiyon spektrumlarındaki bantların yoğunluğu veya bütünleşmiş bant alanları ile ilgili fonksiyonel grupların konsantrasyonu hakkında bilgi vermektedir. Literatürde, 3050-2750  $\text{cm}^{-1}$  bölge arasındaki spektral bantlar lipidlerin yağ asit zincirlerinin C-H gerilme titreşim modlarını temsil etmektedir. Bu spektral bölgede bulunan  $\text{CH}_2$  simetrik ve asimetrik gerilmelere ait bantlar lipid moleküllerine özgü fonksiyonel grubun titreşimlerinden kaynaklanırken,  $\text{CH}_3$  simetrik ve asimetrik gerilmelere ait bantlar ise esas olarak proteinler hakkında da bilgi vermektedir (Gurbanov vd., 2016: 849). Bu tez çalışmasında C-H simetrik ve asimetrik gerilmeleri temsil eden spektral bantlar elde edilmiştir. Bu spektral bantlar incelendiğinde farklı ticari marka tavuk etlerinin but ve göğüs bölgesindeki doymuş/doymamış lipid konsantrasyonlarının birbirlerinden farklı olduğu belirlenmiştir.

Lipid oksidasyonu, herhangi bir sayıda  $\text{C}=\text{C}$  çift bağı içeren doymamış lipidlerin oksidatif bozulmasıdır. Bu bozulma sonucunda çeşitli primer ve sekonder yan metabolik ürünlerin oluşmaktadır. Oluşan primer ve sekonder metabolik yan ürünler ise insan sağlığı ve

et kalitesi üzerine olumsuz etkilere neden olmaktadır (Huang ve Ahn, 2019: 1275). Ayrıca bu reaksiyon et ve et ürünlerinin kalite bozulmasının mikrobiyal kaynaklı olmayan ana nedenlerindendir. Lipid oksidasyonu etin esansiyel yağ asitleri ve vitaminlerin kaybına neden olurken aynı zamanda duyu (tat, renk, yapı), besleyici değeri, su tutma kapasitesine olumsuz etki etmektedir. Etin bileşimi ve dışsal faktörler (işleme, nakliye ve depolama koşulları) oksidasyon reaksiyonlarını indükleyebilmekte veya engelleyebilmektedir. Ette lipid oksidasyonunu etkileyen ana faktörler toplam lipid miktarı ile yağ asitlerinin kompozisyonudur. Çünkü yağ asitleri oksidasyon reaksiyonlarının ana substratlarıdır. Etteki lipid kompozisyonu daha çok trigliseritler ve fosfolipitlerden oluşmaktadır. İntramüsküler lipid miktarı trigliseritin sayısı ile ilişkilidir, çünkü rezerve lipidlerdir. Et lipidlerinin yaklaşık %95'i oluşturmaktadır. Fosfolipitler ise yaklaşık 100 g ette 500 mg oranında bulunmaktadır. Bu sabit oranın nedeni ise intramüsküler yağın artması sonucunda yağ hücrelerinin (trigliseritler) hacminde bir artışa neden olurken hücre sayısı değişmediği için fosfolipitlerin sayısı sabit kalmaktadır (Dominguez vd., 2019: 429). Etteki başlıca lipid fraksiyonu trigliserit olmasına rağmen birçok araştırmacı lipid oksidasyonunun gelişiminde fosfolipitlerin gerekli olduğunu söylemektedir. Çünkü fosfolipitlerin membranlardaki konumuna bağlı olarak oksidasyon katalitik bölgelere daha yakın olduğu için lipid oksidasyonunun yayılma hızını kolaylaştırmaktadır (Erickson 2002: 373). Ayrıca fosfolipitlerin trigliseritlerden daha yüksek miktarda çoklu doymamış yağ asitlerine sahip olduğu bilinmektedir (Dominguez vd., 2019: 429). Bu bağlamda fosfolipitlerin ve trigliseritlerin malondialdehit oluşumu üzerindeki rolünü gözlemlemek için yapılan bir çalışmada, fosfolipit fraksiyonlarının malondialdehit oluşumuna yaklaşık %90 oranında katkıda bulunduğu ortaya çıkarılmıştır (Pikul vd., 1984: 706). Lipid peroksidasyon oranı etteki toplam lipid miktarından çok yağ asitlerinin bileşenlerine bağlıdır. Çünkü yağsız ette (çok düşük intramüsküler yağ oranı içeren) yüksek oranda fosfolipit içerdiğinden dolayı eti oksidasyona karşı daha duyarlı hale getirmektedir. Bu nedenle oksidatif duyarlılık açısından etin doymamış lipid içeriği toplam lipid miktarından daha önemli bir parametredir (Dominguez vd., 2019: 429).

Fosfolipitlerin doymamış açıl zincirlerini temsil eden  $3012\text{ cm}^{-1}$ ' de bulunan olefinik bandı lipid oksidasyonunu tespit etmek için marker olarak kullanılmaktadır (Gurbanov vd., 2016). Lipitler oksitlendiğinde cis-çift bağı bir trans-çift bağı oluşturmak için yeniden düzenlenmektedir. Bunun sonucunda da  $3012\text{ cm}^{-1}$  bandında azalma gerçekleşmektedir (Gurbanov vd., 2016: 849; Daoud vd., 2019: 309). Bu tez çalışmasında et kalitesini olumsuz yönde etkileyen lipid oksidasyonuna ait olefinik spektral bandı incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre farklı ticari marka tavuk etlerinin but bölgesine ait olefinik bandın yoğunluğu

çoktan aza doğru sırasıyla E>B>A>D>C şeklinde tespit edilirken göğüs örneklerin de ise D>E>B>C>A şeklinde tespit edilmiştir. Bu bağlamda, C grubuna ait but etlerinde lipit oksidasyonu daha fazla iken E grubuna ait but etlerinde ise en az lipit oksidasyonunun gerçekleştiği görülmektedir. Göğüs etlerinde ise lipit oksidasyonu A grubunda daha fazla iken D grubunda en az olduğu görülmektedir.

FTIR spektroskopisi, farklı konsantrasyonlarda ve çeşitli ortamlardaki proteinlerin konformasyonel değişimlerini ve ikincil yapılarını analiz etmek için yıllardır başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Proteinlerin konformasyonel değişimlerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan Amide I bandının ( $1700-1600\text{ cm}^{-1}$ ) çoğunluğu C=O germe titreşimlerinden oluşurken C-N germe titreşimleri ve N-H bükülmesi hakkında da bilgi vermektedir (Han vd., 2019: 268). Protein ikincil yapı formu olan  $\alpha$ -heliks konformasyonu amfifilik (hem hidrofobik hem hidrofilik) yapı olarak kabul edilirken  $\beta$ -tabaka hidrofobik olarak kabul edilmektir.  $\alpha$ -heliks tipi bir protein çözeltisi ısıtılıp soğutulduğunda  $\beta$ -tabakasına dönüşmektedir (Silva-Buzanello vd., 2019: 1190). Ayrıca bu ısıtılıp soğutulduğunda rasgele yumak oluşumunda da artış meydana gelmektedir (Miyaoka vd., 2020: 701). Bu durum sonucunda  $\alpha$ -sarmal yapının azalması kısmi protein denatürasyonuna işaret etmektedir (Nishinari vd., 2000: 198). Benzer şekilde bu tez çalışmasında beş farklı ticari marka tavuk etlerinin but ve göğüs bölgesine ait proteinlerin ikincil yapılarında farklılıklar olduğu görülmektedir.

Et proteinlerinin %5,3'ünü oluşturan kolajenin etin hassasiyeti ve sindirebilirliği üzerinde büyük etkisi vardır. Etteki toplam kolajenin %60-80'i tip I kolajenden oluşmaktadır. Tip I kolajen sindirime dirençli bir yapıda olup etin sertliğine ve sindirimine olumsuz etki etmektedir (Purslow, 2018: 127). Kolajen proteinleri, bulunduğu yapıya destek sağlamak için moleküller arası çapraz bağlarla birbirine bağlanır. Bu çapraz bağlar başlangıçta indirgenbilir. Ancak zamanla bu bağlar termal olarak kararlı ve daha az çözünür çapraz bağlara dönüşmektedir. Bu bağların oranı yaşla birlikte arttığından, genç hayvanların eti yaşlı hayvanlara göre daha yumuşak ve sindirilebilirdir (Weston vd., 2002: 107). Bu tez çalışmasında kolajen proteinlerinin  $\text{CH}_2$  yan zincir titreşimlerini temsil eden  $1340\text{ cm}^{-1}$  spektral bant mutlak yoğunlukları incelendiğinde D ve E gruplarının diğer gruplara göre kolajen miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Amid III bandının kolajen proteinlerine özgü titreşimlerini temsil eden  $1204\text{ cm}^{-1}$  bantların mutlak yoğunlukları incelendiğinde ise D ve E gruplarında diğer gruplara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, D ve E gruplarına ait tavuk etlerinin diğer gruplara göre daha sert bir yapıda olduğu ve sindirilebilirlik oranlarının düşük olduğu söylenebilir.

Ticari marka tavuk etlerinin toplam protein miktarları incelendiğinde göğüs bölgesinin, but bölgesine kıyasla protein bakımından daha zengin olduğu görülmüştür. Miyofibril proteinleri etteki ana protein kaynağı olup ürünlerin kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Zhou vd., 2019: 126). Miyofibril proteinlerinden biri olan tromponin-T, postmortem sırasında kaslardaki proteolizin önemli bir biyobelirteci olarak etin yumuşaması ile yakından ilişkilidir (Cruzen vd., 2014: 859).  $\alpha$ -aktinin ve desmin proteinleri ise kas dokusundaki aktin filamentlerinin yapısal bütünlüğünün korunmasından sorumlu hücre iskeleti bileşenleridir (Malva vd. 2018: 5). Miyozin ise esas olarak kasın gerilme kuvvetine katkıda bulunmaktadır (Lana ve Zolla, 2016). Desmin proteini, postmortem sırasında hızla denatüre olmaktadır. Bu protein miktarı ürünün tazeliğinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Malva vd., 2018: 6). Miyozin ve aktin proteinlerinde postmortem sırasında gerçekleşen yapısal bozulmalar ölüm sertliğinin etkisini azaltarak et kalitesini olumlu yönde etkilemektedir (Zhang vd., 2021: 659). Bu tez çalışmasında, farklı ticari markalara ait tavuk etlerinin yoğunluk/toplam protein konsantrasyon ( $\mu\text{g/ml}$ ) oranlarına göre aktin,  $\alpha$ -act ve miyozinlere ait protein profilleri incelendiğinde bu proteinlerin göğüs bölgesindeki miktarının A grubu tavuklarda diğer gruplara göre daha fazla, but bölgesinde ise D grubuna ait örneklerde daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kas bütünlüğünün korunmasında ve kas kasılmasında görev alan desmin, tropomiyozin, tromponin-T protein profillerine ait yoğunluk/toplam protein konsantrasyon ( $\mu\text{g/ml}$ ) oranları incelendiğinde ise A grubuna ait tavukların göğüs bölgesindeki diğer gruplara kıyasla daha yüksek olduğu, D grubuna ait tavukların ise but bölgesinde diğer gruplara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Belirtilen bu farklılıklar postmortem süresinden etkilenmiş olabilir ancak farklı ticari markalara ait broyler tavuklardaki kas proteinlerine ait farklılıklar genetik, yem kalitesi ve miktarı, mekânsal yetiştirilme koşulları (hareket alanı) ve stres gibi faktörlerden de kaynaklanmış olabilir.

DNA'nın yapısal özellikleri canlılar hakkında önemli bilgiler sağlayabilmektedir. DNA topolojileri içinde B-DNA en sık karşılaşılan konformasyonlardan biridir. Hücrelerde bulunan en yaygın ikinci form A-DNA konformasyonudur (Gurbanov vd., 2019: 111580). B-DNA formu çeşitli stres koşullarında konformasyonel değişime uğrayarak Z-DNA formuna dönüşmektedir (Gurbanov vd., 2019: 111580; Tunçer vd., 2018: 14828). Z-DNA formu B-DNA formu ile karşılaştırıldığında termodinamik olarak kararsız bir yapıya sahiptir (Sinem Tunçer vd., 2018: 14828). FTIR, DNA'nın yapısı ve konformasyonel yoğunluğu hakkında da bilgi vermektedir. Günümüzde farklı DNA konformasyonları için kızılötesi (IR) imza bantları tanımlanmış olup  $1800\text{-}800\text{ cm}^{-1}$  bölgesine ait DNA bantlarının kütüphanesi derlenmiştir

(Banyay vd., 2003: 447). En belirgin DNA absorpsiyon bantlarından biri antisimetrik  $PO_2^-$  gerilme bandı olup nükleik asitlerin omurga yapısı hakkında bilgi vermektedir. Literatüre göre  $1240\text{ cm}^{-1}$ ,  $1225\text{ cm}^{-1}$  ve  $1215\text{ cm}^{-1}$   $PO_2^-$  gerilme bantları sırasıyla A, B ve Z-DNA formlarını temsil etmektedir. Bu tez çalışmasında farklı ticari marka tavuk etlerinin but ve göğüs bölgesine ait DNA yapısı incelenmiştir. Diğer ticari markalara nazaran; A grubuna ait ticari markanın but ve göğüs bölgesinde B-DNA formunun azaldığı Z-DNA formunun ise arttığı görülmektedir. Stres, kanatlı hayvan sağlığını ve üretimini olumsuz etkileyen çevresel, beslenme, mikrobiyolojik ve üretim organizasyonlarından kaynaklanmaktadır. Bu faktörler sonucunda hayvanda oksidatif stres oluşmaktadır. Dokulardaki ve hücrelerdeki oksidatif stres, serbest radikal üretimi ile endojen antioksidan savunma arasındaki dengesizlikten kaynaklanmaktadır. Bu durum DNA hasarına neden olabilmektedir (Mishra ve Jha, 2019: 60). Bunun sonucunda hücrelerde Z-DNA formunda artış görülmektedir (Wang vd., 2015: 8996). Yüksek sıcaklık, kanatlı hayvan üretiminde en önemli çevresel stres faktörleri arasında yer almaktadır. Isı stresi, serbest radikaller ile antioksidanlar arasında bir redoks dengesizliğine yol açarak sistematik oksidatif strese neden olmaktadır. Kanatlı hayvan yemleri ve içme suları çeşitli çevresel toksinler, bakteriler ve mantarlar ile kontamine olması hayvan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum da hayvanda oksidatif strese de neden olmaktadır (Mishra ve Jha, 2019: 60). Amonyak, kötü havalandırılan kümeslerdeki hava kirleticilerinin başlıca kaynaklarından biridir. Amonyaka uzun süre maruz kalması oksidatif stresi tetikleyerek kanatlı hayvan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir (Wang vd., 2019: 134035). Bu bilgilere göre A ticari marka tavuk ürününün diğer ticari marka ürünlere göre üretim süreçlerinden tüketiciye ulaşana kadar birçok stres faktöründen etkilendiğini söylenebilir. Ek olarak ürün saklama koşullarının ve/veya ürünün tüketiciye ulaşana kadar rafta geçirdiği sürenin de etkisi tartışılabilir.

Denetimsiz çok değişkenli sınıflandırma yöntemlerinden biri olan PCA, tek tek örnekler arasından değişken kombinasyonlarla bir veri kümesine ait toplam varyansları değerlendirir. Güçlü bir veri indirgeme tekniği olan PCA, veri kümesinde en çok varyansa sahip olanları seçerek veri kümesini küçültmektedir. Elde edilen veriler, dağılım grafiği diyaframları ile sonuçların görselleştirilmesini sağlamaktadır (Baker vd., 2014: 1781). Denetimli çok değişkenli sınıflandırma yöntemlerinden biri olan LDA, veri sınıfları arasında varyanslara dayalı olarak maksimum ayrımı elde etmeyi amaçlayan doğrusal bir kanonik değişkenler ile ayrım yapmaktadır. Bu ayrımı hem veri kümesi için hem de diğer veri kümeleri arasındaki varyansları karşılaştırarak yapmaktadır. LDA yöntemi PCA ile birlikte kullanılabilir. Bu analizde PCA ile

elde edilen sonuçlar LDA girdisi olarak kullanılmaktadır (Biancolillo ve Marini, 2018: 576). Literatürde bu iki yöntem et türlerinin sınıflandırılması, bozulma derecesinin tespiti ve tağşişin (hile, adulteration) tespiti için birçok çalışmada kullanılmıştır (Alamprese vd., 2013: 225; Grewal vd., 2015: 3859; Nunes vd., 2016: 14; Keshavarzi vd., 2020: 1430). Bu tez çalışmasında farklı ticari marka tavuk etlerinin but ve göğüs bölgesine ait büyük veriler ilk olarak sınıflar arasındaki varyansların tespiti için PCA yöntemi ile incelenmiştir. Bu şekilde işlenen veriler, LDA yönteminde girdi olarak kullanılarak sınıflandırma ayrımı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre but ve göğüs örneklerinin marka bazında ayrımı %100 doğrulukla gerçekleşmiştir.

Çalışma bulgularımız FTIR spektroskopisi ile birlikte makine öğrenimi yaklaşımı ile geliştirilen parmak izi yöntemin ticari olarak satılan tavuk eti örneklerinin analizinin hızlı, güvenilir, tahribatsız ve düşük maliyetle gerçekleştirebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca literatürde şu ana kadar yapılan tavuk eti kalitesi ile ilgili çalışmalar detaylı moleküler düzeyde incelenmemiştir. Bu nedenle bu tez çalışması literatürde bir ilk değeri taşımaktadır. Gelecekte bu çalışma sonucunda elde edilen verilerin, bu alanda yapılacak diğer çalışmalara öncülük edeceği düşünülmektedir.



## 6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında kapsamında, endüstriyel (büyük ölçekli, broyler) tavuk eti protein kalitesi farklılıklarının, kapsamlı protein yapı ve miktar, protein ikincil yapıları, esansiyel aminoasitler, trigliseritler ve yağlar gibi hücrel moleküller temelinde yeni bir kalite değerlendirme yaklaşımı ile hızlı bir şekilde belirlenmesini sağlayan kantitatif bir makine öğrenim yöntemi geliştirilmiştir. Hücrel biyobelirteçlerdeki niteliksel ve niceliksel değişimler temelinde ortaya çıkan bu tespit yönteminin, endüstriyel üretim tesislerinde ve gıda analiz laboratuvarlarında olgunlaştırılarak uygulandığı takdirde kaliteli ve sağlıklı tavuk eti üretim standartlarının iyileştirilmesine katkı sağlayacağı muhtemeldir. Ayrıca önerilen bu yöntem, bir markanın mevcut kalite standartlarının sürdürülebilirliğinin takibi için de kullanılabilir.



## KAYNAKÇA

- Agarwal, R., Tandon, P., & Gupta, V. D.** (2006). Phonon dispersion in poly (dimethylsilane). *Journal of Organometallic Chemistry*, 691(13), 2902–2908.
- Alamprese, C., Casale, M., Sinelli, N., Lanteri, S., & Casiraghi, E.** (2013). Detection of minced beef adulteration with turkey meat by UV–VIS, NIR and MIR Spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*, 53(1), 225–232.
- Alarcon-Rojo, A. D., Carrillo-Lopez, L. M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jiménez, M., & Garcia-Galicia, I. A.** (2019). Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 55, 369–382.
- Alexandratos, N., & Bruinsma, J.** (2012). World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision. ESA Working Paper No: 12-03. Rome, FAO. [Erişim: 14.01.2021, <https://www.fao.org/3/ap106e/ap106e.pdf>]
- Ammor, M. S., Argyri, A., & Nychas, G. J. E.** (2009). Rapid monitoring of the spoilage of minced beef stored under conventionally and active packaging conditions using fourier transform infrared spectroscopy in tandem with chemometrics. *Meat Science*, 81(3), 507-514.
- Baker, M. J., Trevisan, J., Bassan, P., Bhargava, R., Butler, H. J., Dorling, K. M., Fielden, P. R., Fogarty, S. W., Fullwood, N. J., Heys, K. A., Hughes, C., Lasch, P., Martin-Hirsch, P. L., Obinaju, B., Sockalingum, G. D., Sulé-Suso, J., Strong, R. J., Walsh, M. J., Wood, B. R., Garden, P., & Martin, F. L.** (2014). Using fourier transform IR spectroscopy to analyze biological materials. *Nature Protocols*, 9(8), 1771–1791.
- Banyay, M., Sarkar, M., & Graslund, A.** (2003). A library of IR bands of nucleic acids in solution. *Biophysical Chemistry*, 104(2), 477–488.
- Barbon, S., Costa Barbon, A. P. A. D., Mantovani, R. G., & Barbin, D. F.** (2018). Machine learning applied to near-infrared spectra for chicken meat classification. *Journal of Spectroscopy*, 2018, 1–12.
- Barroeta, A. C.** (2007). Nutritive value of poultry meat: Relationship between vitamin E and PUFA. *World's Poultry Science Journal*, 63(2), 277–284.
- Biancolillo, A., & Marini, F.** (2018). Chemometric methods for spectroscopy-based pharmaceutical analysis. *Frontiers in Chemistry*, 6, 576.

- Bureau, S., Cozzolino, D., & Clark, C. J.** (2019). Contributions of fourier-transform mid infrared (FT-MIR) spectroscopy to the study of fruit and vegetables: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 148, 1–14.
- Candoğan, K., Altuntas, E., & İğci, N.** (2020). Authentication and quality assessment of meat products by fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Food Engineering Reviews*, 13, 66–91.
- Cao, C., Xiao, Z., Ge, C., & Wu, Y.** (2020). Quality and identification application and research progress of proteomics in chicken meat: A review. *Food Reviews International*, 1–22.
- Carroll, S. L., Bergsma, D. J., & Schwartz, R. J.** (1986). Structure and complete nucleotide sequence of the chicken alpha-smooth muscle (Aortic) actin gene. An actin gene which produces multiple messenger RNAs. *Journal of Biological Chemistry*, 261(19), 8965–8976.
- Chiriboga, L., Xie, P., Yee, H., Vigorita, V., Zarou, D., Zakim, D., & Diem, M.** (1998). Infrared spectroscopy of human tissue. I. differentiation and maturation of epithelial cells in the human cervix. *Biospectroscopy*, 4(1), 47–53.
- Choi, J. S., & Chin, K. B.** (2021). Structural changes of meat protein of chicken sausages with various levels of salt and phosphate and their effects on in vitro digestion. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(10), 5250–5258.
- Cruzen, S. M., Paulino, P. V. R., Lonergan, S. M., & Huff-Lonergan, E.** (2014). Postmortem proteolysis in three muscles from growing and mature beef cattle. *Meat Science*, 96(2), 854–861.
- da Silva, D. C. F., de Arruda, A. M. V., & Gonçalves, A. A.** (2017). Quality characteristics of broiler chicken meat from free-range and industrial poultry system for the consumers. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1818–1826.
- Daoud, S., Bou-Maroun, E., Dujourdy, L., Waschatko, G., Billecke, N., & Cayot, P.** (2019). Fast and direct analysis of oxidation levels of oil-in-water emulsions using ATR-FTIR. *Food Chemistry*, 293, 307–314.
- Deniz, E., Güneş Altuntaş, E., Ayhan, B., İğci, N., Özel Demiralp, D., & Candoğan, K.** (2018). Differentiation of beef mixtures adulterated with chicken or turkey meat using FTIR spectroscopy. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(10), 1–12.
- Dinç, E.** (2007). Kemometri çok değişkenli kalibrasyon yöntemleri. *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 27(1), 61–92.

- Dion, I., Bordenave, L., Lefebvre, F., Bareille, R., Baquey, C., Monties, J. R., & Havlik, P.** (1994). Physico-chemistry and cytotoxicity of ceramics - Part II cytotoxicity of ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 5(1), 18–24.
- Dominguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M.** (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants*, 8(10), 429.
- Dovbeshko, G.** (2000). FTIR spectroscopy studies of nucleic acid damage. *Talanta*, 53(1), 233–246.
- Dube, D. K., Wang, J., Pellenz, C., Fan, Y., Dube, S., Han, M., Linask, K., Sanger, J. M., & Sanger, J. W.** (2014). Expression of myotilin during chicken development. *The Anatomical Record*, 297(9), 1596–1603.
- Dundar, A. N., & Gocmen, D.** (2013). Effects of autoclaving temperature and storing time on resistant starch formation and its functional and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 764–771.
- Eckel, R., Huo, H., Guan, H. W., Hu, X., Che, X., & Huang, W. D.** (2001). Characteristic infrared spectroscopic patterns in the protein bands of human breast cancer tissue. *Vibrational Spectroscopy*, 27(2), 165–173.
- Ellis, D. I., Broadhurst, D., Kell, D. B., Rowland, J. J., & Goodacre, R.** (2002). Rapid and quantitative detection of the microbial spoilage of meat by fourier transform infrared spectroscopy and machine learning. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(6), 2822–2828.
- Erickson, M. C.** (2002). Lipid oxidation of muscle foods, Casimir C. Akoh ve David B. Min (Ed.), *Food Lipids*, CRC Press, s. 365-412.
- Ertl, P., Knaus, W., & Zollitsch, W.** (2016). An approach to including protein quality when assessing the net contribution of livestock to human food supply. *Animal*, 10(11), 1883–1889.
- European Food Safety Authority (EFSA)** (2012). Scientific opinion on dietary reference values for protein. *EFSA Journal*, 10(2), 2557.
- Fabian, H., Jackson, M., Murphy, L., Watson, P. H., Fichtner, I., & Mantsch, H. H.** (1995). A comparative infrared spectroscopic study of human breast tumors and breast tumor cell xenografts. *Biospectroscopy*, 1(1), 37–45.

**Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)** (2020). Meat market review. [Erişim: 16.01.2021, <https://www.fao.org/3/cb3700en/cb3700en.pdf>]

**Fenton, N. E., & Ohlsson, N.** (2000). Quantitative analysis of faults and failures in a complex software system. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 26(8), 797–814.

**Fischer, K.** (1935). A new method for the analytical determination of the water content of liquids and solids. *Angewandte Chemie International*, 48, 394–396.

**Fujioka, N., Morimoto, Y., Arai, T., & Kikuchi, M.** (2004). Discrimination between normal and malignant human gastric tissues by fourier transform infrared spectroscopy. *Cancer Detection and Prevention*, 28(1), 32–36.

**Galili, G., Amir, R., Hoefgen, R., & Hesse, H.** (2005). Improving the levels of essential amino acids and sülfür metabolites in plants. *Biological Chemistry*, 386(9), 817–831.

**Girish, P. S., & Karabasanavar, N. S.** (2020). Molecular techniques for speciation of meat, Ashim Kumar Biswas ve Prabhat Kumar Mandal (Ed.), *Meat Quality Analysis*, Advanced Evaluation Methods, Techniques, and Technologies, 133–151.

**Grewal, M. K., Jaiswal, P., & Jha, S. N.** (2014). Detection of poultry meat specific bacteria using FTIR spectroscopy and chemometrics. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3859–3869.

**Gurbanov, R., Bilgin, M., & Severcan, F.** (2016). Restoring effect of selenium on the molecular content, structure and fluidity of diabetic rat kidney brush border cell membrane. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1858(4), 845–854.

**Gurbanov, R., S. Ozek, N., Tunçer, S., Severcan, F., & Gozen, A. G.** (2018). Aspects of silver tolerance in bacteria: Infrared spectral changes and epigenetic clues. *Journal of Biophotonics*, 11(5), e201700252.

**Gurbanov, R., Tunçer, S., Mingu, S., Severcan, F., & Gozen, A. G.** (2019). Methylation, sugar puckering and Z-form status of DNA from a heavy metal-acclimated freshwater gordoniasp. *Journal of Photochemistry and Photobiology Biology*, 198, 111580.

**Gurbanov, R., & Unal, D.** (2018). The biomolecular alterations in cladonia convoluta in response to lead exposure. *Spectroscopy Letters*, 51(10), 563–570.

- Han, Z., Zhang, J., Zheng, J., Li, X., & Shao, J. H.** (2019). The study of protein conformation and hydration characteristics of meat batters at various phase transition temperatures combined with low-field nuclear magnetic resonance and fourier transform infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 280, 263–269.
- Herrero, A. M., Hernandez, P. C., Jimenez-Colmenero, F., & Perez, C. R. C.** (2017). Vibrational spectroscopy for quality assessment of meat,, Massimiliano Petracci ve Cecile Berri (Ed.), *Poultry Quality Evaluation*, Woodhead Publishing ss. 247–276.
- Huang, J., Zhao, L., Yang, J., Zhang, B., Xu, X., Chen, K., & Huang, M.** (2019). The effect of  $\mu$ /m-calpain on protein degradation of chicken breast meat. *Journal of Food Science*, 84(5), 1054–1059.
- Huang, X., & Ahn, D. U. D.** (2019). Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. *Food Science and Biotechnology*, 28(5), 1275–1285.
- Huifang, L., Jingting, S., Yanju, S., Wenjuan, X., Weitao, S., Ming, Z., Hongxiang, L, Zhiyun, T., & Gaige, J.** (2018). Chicken muscle fiber-type property-related gene molecule marker and use thereof. Rüşhan No: CN20151031819.
- Ismail, I., & Joo, S.** (2017). Poultry meat quality in relation to muscle growth and muscle fiber characteristics. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(6), 873-883.
- Jayasena, D. D., Ahn, D. U., Nam, K. C., & Jo, C.** (2013). Flavour chemistry of chicken meat: A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Scienses*, 26(5), 732-742.
- Jowto Tech Co Ltd.** (2018). Broiler chicken feed capable of promiting growth of broiler chickens and improving meat quality flavor, and preparation method of broiler chicken feed. Rüşhan No: CN201810347555.
- Katz, D. L., Doughty, K. N., Geagan, K., Jenkins, D. A., & Gardner, C. D.** (2019). Perspective: The public health case for modernizing the definition of protein quality. *Advances in Nutrition*, 10(5), 755-764.
- Kee, J. D.** (2018). Composition for discriminating quality of poultry raw meat and uses thereof. Rüşhan No: KR20160169947.
- Keshavarzi, Z., Barzegari Banadkoki, S., Faizi, M., Zolghadri, Y., & Shirazi, F. H.** (2020). Comparison of transmission FTIR and ATR spectra for discrimination between beef and chicken meat and quantification of chicken in beef meat mixture using ATR-FTIR combined with chemometrics. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1430–1438.

- Kılınç, D., Borandağ, E., Yücalar, F., & Bozyiğit, F.** (2015). Yazılım hata kestiriminde kolektif sınıflandırma modellerinin etkisi. T. Tuğlular, & M. Komesli (Ed.). *Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu (UYMS)*, 113-121.
- Kosa, G., Shapaval, V., Kohler, A., & Zimmermann, B.** (2017). FTIR spectroscopy as a unified method for simultaneous analysis of intra-and extracellular metabolites in high-throughput screening of microbial bioprocesses. *Microbial Cell Factories*, 16(1), 195.
- Lewis, J. L.** (2012). The regulation of protein content and quality in national and international food standards. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), 212-221.
- Lihai, G., Huafen, L., Stephen, L., Si, M., Peibin, Q., & Lei, X.** (2018). L/MS/MS analysis for meat speciation In raw and processed meat product. Rüçhan No: US201662384925P.
- Liu, C., Wang, Y., Cui, L., Zhang, G., & Xu, B.** (2020). Synthesis, characterization, and properties of acyl glycine, alanine, valine, and leucine derived from vegetable oils and beef tallow. *Tenside Surfactants Detergents*, 57(4), 340–346.
- Lopez, M. J., & Mohiuddin, S. S.** (2020). Biochemistry, essential amino acids. [Erişim: 17.01.2021, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557845/?report=classic>]
- Maita, T., Chen, J. I., & Matsuda, G.** (1981). Amino-acid sequence of the 20 000- molecular-weight light chain of chicken gizzard-muscle myosin. *European Journal of Biochemistry*, 117(2), 417–424.
- Malva, A. D., Albenzio, M., Santillo, A., Russo, D., Figliola, L., Caroprese, M., & Marino, R.** (2018). Methods for extraction of muscle proteins from meat and fish using denaturing and nondenaturing solutions. *Journal of Food Quality*, 2018, 1–9.
- Marangoni, F., Corsello, G., Cricelli, C., Ferrara, N., Ghiselli, A., Lucchin, L., & Poli, A.** (2015) Role of poultry meat in a balanced diet aimed at maintaining health and wellbeing: An Italian consensus document. *Food & Nutrition Research*, 59(1), 27606.
- Melina, V., Craig, W., & Levin, S.** (2016). Position of the academy of nutrition and dietetics: vegetarian diets. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(12), 1970–1980.
- Mir, N. A., Rafiq, A., Kumar, F., Singh, V., & Shukla, V.** (2017). Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 2997–3009.

- Mishra, B., & Jha, R.** (2019). Oxidative stress in the poultry gut: Potential challenges and interventions. *Frontiers in Veterinary Science*, 6, 60.
- Miyaoka, R., Ando, M., Harada, R., Osaka, H., Samuel, A. Z., Hosokawa, M., & Takeyama, H.** (2020). Rapid inspection method for investigating the heat processing conditions employed for chicken meat using raman spectroscopy. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 129(6), 700–705.
- Movasaghi, Z., Rehman, S., & Rehman, I.** (2008). Fourier transform (FTIR) spectroscopy of biological tissues. *Applied Spectroscopy Reviews*, 43(2), 134–179.
- Nishinari, K., Zhang, H., & Ikeda, S.** (2000). Hydrocolloid gels of polysaccharides and proteins. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*. 5(3–4), 195–201.
- Nishio, Y., Ushimura, Y., Ueda, S., Maeda, N., Hattori, A., & Yamanoue, M.** (2018). Structural differences between myofibrillar protein, paratropomyosin, and tropomyosin as revealed by high-performance liquid chromatography. *Animal Science Journal*, 89(8), 1161-1168.
- Nunes, K. M., Andrade, M. V. O., Santos Filho, A. M. P., Lasmar, M. C., & Sena, M. M.** (2016). Detection and characterisation of frauds in bovine meat in natura by non-meat ingredient additions using data fusion of chemical parameters and ATR-FTIR spectroscopy. *Food Chemistry*, 205, 14–22.
- Pebriana, R. B., Rohman, A., & Lukitaningsih, E. S.** (2017). Development of FTIR spectroscopy in combination with chemometrics for analysis of rat meat in beef sausage employing three lipid extraction systems. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 1995-2005.
- Perisic, N., Afseth, N. K., Ofstad, R., & Kohler, A.** (2011). Monitoring protein structural changes and hydration in bovine meat tissue due to salt substitutes by fourier transform infrared (FTIR) microspectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(18), 10052-10061.
- Pikul, J., Leszczynski, D. E., & Kummerow, F. A.** (1984). Relative role of phospholipids, triacylglycerols, and cholesterol esters on malonaldehyde formation in fat extracted from chicken meat. *Journal of Food Science*, 49(3), 704-708.
- Purslow, P. P.** (2018). Contribution of collagen and connective tissue to cooked meat toughness; some paradigms reviewed. *Meat Science*, 144, 127–134.



- Rohman, A.** (2019). The employment of Fourier transform infrared spectroscopy coupled with chemometrics techniques for traceability and authentication of meat and meat products. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 6(1), 9–17.
- Severcan, F., Bozkurt, O., Gurbanov, R., & Gorgulu, G.** (2010). FT-IR spectroscopy in diagnosis of diabetes in rat animal model. *Journal of Biophotonics*, 3(8–9), 621–631.
- Silva-Buzanello, R. A. D., Schuch, A. F., Gasparin, A. W., Torquato, A. S., Scremin, F. R., Canan, C., & Soares, A. L.** (2019). Quality parameters of chicken breast meat affected by carcass scalding conditions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(8), 1186–1194.
- Sinanoglou, V., Cavouras, D., Xenogiannopoulos, D., Proestos, C., & Zoumpoulakis, P.** (2018). Quality assessment of pork and turkey hams using FT-IR spectroscopy, colorimetric, and image analysis. *Foods*, 7(9), 152.
- Skvortsova L. N.** (2018). Method of increasing the productivity and meat quality of chicken-broilers. Rüşhan No: RU20170141877.
- Song, Q., Shepperd, M., Cartwright, M., & Mair, C.** (2006). Software defect association mining and defect correction correction effort prediction. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 32(2), 69–82.
- Soren, N. M., & Biswas, A. K.** (2020). Methods for nutritional quality analysis of meat, Ashim Kumar Biswas ve Prabhat Kumar Mandal (Ed.), *Meat Quality Analysis*, Advanced Evaluation Methods, Techniques, and Technologies, 21–36.
- Stangierski, J., & Lesnierowski, G.** (2015). Nutritional and health-promoting aspects of poultry meat and its processed products. *World's Poultry Science Journal*, 71(1), 71–82.
- T. C. Tarım ve Orman Bakanlığı** (2021). Tavuk Eti. [Erişim: 19.11.2021, <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2021Haziran%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/Tavuk%20Eti,%20Haziran2021,%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu,%20TEPGE.pdf>]
- Thomson, J. L., Manore, M. M., & Vaughan, L. A.** (2010). The science of nutrition (2nd ed.). San Francisco, Benjamin Cummings.
- Tome, D.** (2013). Digestibility issues of vegetable versus animal proteins: Protein and amino acid requirements-functional aspects. *Food and Nutrition Bulletin*, 34(2), 272–274.

**Troy, D. J., Ojha, K. S., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K.** (2016). Sustainable and consumer-friendly emerging technologies for application within the meat industry: An overview. *Meat Science*, 120, 2–9.

**Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)** (2021). Kümes Hayvancılığı Üretimi, Kasım 2021. [Erişim: 24.11.2021, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kumes-Hayvanciligi-Uretimi-Kasim-2021-45688>]

**Tunçer, S., & Gurbanov, R.** (2020). A novel approach for the discrimination of culture medium from vascular endothelial growth factor (VEGF) overexpressing colorectal cancer cells. *Turkish Journal of Biochemistry*, 45(6), 715-724.

**Tunçer, Sinem, Gurbanov, R., Sheraj, I., Solel, E., Esenturk, O., & Banerjee, S.** (2018). Low dose dimethyl sulfoxide driven gross molecular changes have the potential to interfere with various cellular processes. *Scientific Reports*, 8(1), 14828.

**Usoltsev, D., Sitnikova, V., Kajava, A., & Uspenskaya, M.** (2019). Systematic FTIR spectroscopy study of the secondary structure changes in human serum albumin under various denaturation conditions. *Biomolecules*, 9(8), 9(8), 359.

**Uzun, E.** (2007). *İnternet tabanlı bilgi erişimi destekli bir otomatik öğrenme sistemi*. (Yayınlanmamış Yüksek lisans Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Edirne.

**Vasconcelos, H., Saraiva, C., & de Almeida, J. M.** (2014). Evaluation of the spoilage of raw chicken breast fillets using fourier transform infrared spectroscopy in tandem with, chemometrics. *Food and Bioprocess Technology*, 7(8). 2330-2341.

**Vladyslavivna, K. B., Viktorivna, Y. H., & Hennadiivna, P. O.** (2008). Method for morphological analysis of meat quality at different types of conservation. Rüşhan No: UAU200804132U.

**Wang, J., Wang, S., Zhong, C., Tian, T., & Zhou, X.** (2015). Novel insights into a major DNA oxidative lesion: Its effects on Z-DNA stabilization. *Organic & Biomolecular Chemistry*, 13(34), 8996–8999.

**Wang, S., Li, X., Wang, W., Zhang, H., & Xu, S.** (2019). Application of transcriptome analysis: Oxidative stress, inflammation and microtubule activity disorder caused by ammonia exposure may be the primary factors of intestinal microvilli deficiency in chicken. *Science of the Total Environment*, 696, 134035.

- Weston, A. R., Rogers, R. W., & Althen, T. G.** (2002). Review: The role of collagen in meat tenderness. *Professional Animal Scientist*, 18(2), 107–111.
- Xiong, Z., Sun, D. W., Pu, H., Gao, W., & Dai, Q.** (2017). Applications of emerging imaging techniques for meat quality and safety detection and evaluation: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(4), 755–768.
- Xiong, Z., Sun, D. W., Pu, H., Zhu, Z., & Luo, M.** (2015). Combination of spectra and texture data of hyperspectral imaging for differentiating between free-range and broiler chicken meats. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2), 649–655.
- Yang, Y., Sule-Suso, J., Sockalingum, G. D., Kegelaer, G., Manfait, M., & El Haj, A. J.** (2005). Study of tumor cell invasion by fourier transform infrared microspectroscopy. *Biopolymers: Original Research on Biomolecules*, 78(6), 311–317.
- Yoshida, S., Miyazaki, M., Sakai, K., Takeshita, M., Yuasa, S., Sato, A., Kobayashi, T., Watanabe, S., & Okuyama, H.** (1997). Fourier transform infrared spectroscopic analysis of rat brain microsomal membranes modified by dietary fatty acids: Possible correlation with altered learning behavior. *Biospectroscopy*, 3(4), 281–290.
- Zhang, X., Wei, W., Hu, W., Wang, X., Yu, P., Gan, J., Liu, Y., & Xu, C.** (2017). Accelerated chemotaxonomic discrimination of marine fish surimi based on tri-step FT-IR spectroscopy and electronic sensory. *Food Control*, 73, 1124–1133.
- Zhang, Y., Li, X., Zhang, D., Ren, C., Bai, Y., Ijaz, M., Wang, X., & Zhao, Y.** (2021). Acetylation of sarcoplasmic and myofibrillar proteins were associated with ovine meat quality attributes at early postmortem. *Food Science of Animal Resources*, 41(4), 650–663.
- Zhang, Y., Zhang, D., Huang, Y., Chen, L., Bao, P., Fang, H., & Zhou, C.** (2020). L-Arginine and L-lysine degrade troponin-T, and L-arginine dissociates actomyosin: Their roles in improving the tenderness of chicken breast. *Food Chemistry*, 318, 126516.
- Zhou, L., Yang, Y., Wang, J., Wei, S., & Li, S.** (2019). Effects of low fat addition on chicken myofibrillar protein gelation properties. *Food Hydrocolloids*, 90, 126–131.
- Zou, Y., Shi, H., Xu, P., Jiang, D., Zhang, X., Xu, W., & Wang, D.** (2019). Combined effect of ultrasound and sodium bicarbonate marination on chicken breast tenderness and its molecular mechanism. *Ultrasonics Sonochemistry*, 59, 104735.