

T.C.  
İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

D<sub>2</sub>O VE FARKLI ISIL İŞLEMLERİN YUMURTA AKI  
PROTEİNLERİNİN FİZİKOKİMYASAL  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN  
SPEKTROSKOPİ, RADYOGRAFİ VE YAPAY ZEKÂ  
TEKNİKLERİ İLE ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bahar ÖZATİLA

İstanbul  
Şubat-2023

T.C.  
İSTANBUL SABAHATTİN ZAİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

D<sub>2</sub>O VE FARKLI ISIL İŞLEMLERİN YUMURTA AKI  
PROTEİNLERİNİN FİZİKOKİMYASAL  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN SPEKTROSKOPİ,  
RADYOGRAFİ VE YAPAY ZEKÂ  
TEKNİKLERİ İLE ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bahar ÖZATİLA

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Osman ARSLAN

İkinci Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı TEKİNER

İstanbul

Şubat -2023

## TEZ ONAYI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman ARSLAN

Üye: Doç. Dr. Ertan ERMİŞ

Üye: Doç. Dr. Murat DOĞAN

Onay

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

Doç. Dr. Erhan İÇENER

Enstitü Müdürü

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ

Yüksek lisans tezi olarak hazırladığım “**D<sub>2</sub>O Ve Farklı Isıl İşlemlerin Yumurta Akı Proteinlerinin Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkilerinin Spektroskopi, Radyografi Ve Yapay Zekâ Teknikleri İle Araştırılması**” adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

**Bahar ÖZATİLA**

## ÖN SÖZ

Tez çalışmam süresince akademik çalışmaya bakışımda farklı uzak görüşlülük kazandıran Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Osman ARSLAN ve Eş Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı TEKİNER'e, ısıtma ve spektroskopik uygulamalarında Dr. Öğr. Üyesi Nasim KIANPOUR'a, yapay zekâ analizinde Dr. Öğr. Üyesi Sajat EINY' ye, MR ve BT cihaz parkını tahsis eden Kolan Hastaneler Grubu'ndan Dr. Şilan KOLAN'a, Grup Genel Md Yard. Özcan GÜZEL'e, Radyoloji Birimi Teknisyeni Osman Can CİRİT'e ve eğitim hayatım süresince desteklerini esirgemeyen ebeveynlerim Sultan ve Abdullah ÖZATİLA'ya teşekkürlerimi sunarım.

**Bahar ÖZATİLA**  
**İstanbul-2023**

**ÖZET**

**D<sub>2</sub>O VE FARKLI ISIL İŞLEMLERİN YUMURTA AKI  
PROTEİNLERİNİN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ  
ÜZERİNE ETKİLERİNİN SPEKTROSKOPİ, RADYOGRAFİ VE  
YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ İLE ARAŞTIRILMASI**

**Bahar ÖZATILA**

Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Osman ARSLAN

Şubat, 2023- 108 Sayfa

Bu çalışmada, döteryum oksit (D<sub>2</sub>O) ve farklı ısıl işlemlerin yumurta akı proteinlerinin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkilerinin spektroskopi, radyografi ve yapay zekâ teknikleri ile araştırılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda D<sub>2</sub>O içeren ve içermeyen toplam 6 adet (3 adet denatürasyon ve 3 adet koagülasyon) taze yumurta akı örnekleri 60 °C/4,1 dk (denatürasyon) ve 85 °C/8,2 dk (koagülasyon) ısıl işleme maruz bırakılmıştır. Isıl işlem sonrası dondurularak kurutulmuş, FTIR ile Amid I bandı spektrumları elde edilmiş ve  $\alpha$ -heliks,  $3_{10}$  heliks,  $\beta$ -tabaka,  $\beta$ -dönüşler ve düzensiz sarmal yapılarıdaki % değişimleri eğri uydurma pik analizi yöntemi ile hesaplanmıştır. Veriler Pearson korelasyon tekniği ile SPSS 20 paket programı kullanılarak istatistiksel olarak test edilmiştir (p<0.05). Örneklerin MR ve BT görüntüleri alınmış ve makine öğrenmesi basit lineer regresyon (MÖBLR) yöntemi ile incelenmiştir. Bulgular, D<sub>2</sub>O ilavesinin protein Amid I ikinci yapı unsurlarını ( $\alpha$ -heliks,  $3_{10}$  heliks,  $\beta$ -tabaka,  $\beta$ -dönüş ve düzensiz sarmal) denatürasyon sıcaklığında anlamlı derecede koruduğunu (p=0.0158), MÖBLR yaklaşımının ise, gri renkli MR ve BT görüntülerini renkli olanlara göre (0.75) yüksek doğrulukla (1.00) sınıflandırdığını göstermiştir. Sonuç olarak, D<sub>2</sub>O ilavesinin protein denatürasyonunu ısıl işleme karşı farklı düzeylerde koruduğu, FTIR testi ile ikincil yapı unsurlarındaki % değişimlerin, spektroskopik MR ve radyografik BT görüntülerinin MÖBLR yaklaşımı ile yüksek doğruluklu sınıflandırılabilirdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Isıl İşlem, Protein, Yumuşak Madde, Spektroskopi, Radyografi, Yapay Zekâ, Makine Öğrenmesi.

**ABSTRACT**

**INVESTIGATION OF EFFECTS OF D<sub>2</sub>O AND DIFFERENT  
THERMAL TREATMENTS ON PHYSICOCHEMICAL  
PROPERTIES OF EGG WHITE PROTEINS BY  
SPECTROSCOPY, RADIOGRAPHY AND ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE TECHNIQUES**

**Bahar ÖZATILÄ**

Master, Food Engineering

Thesis Advisor: Asst. Prof. Dr. Osman ARSLAN

February, 2023- 108 Pages

This study uses spectroscopy, radiography, and artificial intelligence techniques to investigate the effects of deuterium oxide (D<sub>2</sub>O) and different heat treatments on the physicochemical properties of egg-white proteins. In this context, 6 (3 denaturations and 3 coagulation) fresh egg white samples with/without D<sub>2</sub>O were subjected to heat treatments (60 °C/4.1 min for denaturation; 85 °C/8.2 min for coagulation), followed by freeze-drying. The dried samples were examined with FTIR analysis and curve-fitting peak technique to assess the changes in the Amide I secondary structures ( $\alpha$ -helix,  $3_{10}$  helices,  $\beta$ -sheet,  $\beta$ -turns, and random coil) in %. The Pearson Correlation technique was statistically used for curve-fitting results by SPSS 20 package program ( $p < 0.05$ ). MR and CT images of the samples were analyzed using the machine learning simple linear regression (MLSLR) method. The findings showed that D<sub>2</sub>O could significantly preserve the secondary structural elements ( $\alpha$ -helix,  $3_{10}$  helices,  $\beta$ -sheet,  $\beta$ -turns, and random coil) against denaturation ( $p = 0.0158$ ), and the MLSLR approach could classify MR and CT images in gray with high accuracy (1.00) rather than colorful ones (0.75). Overall, we concluded that D<sub>2</sub>O could significantly preserve the protein denaturation to thermal treatments at different levels; the % changes in the secondary structures determined by the FTIR test could also be classified with high accuracy through processing spectroscopic MR and radiographic CT images by MLSLR.

**Keywords:** Thermal Treatment, Protein, Soft Matter, Spectroscopy, Radiography, Artificial Intelligence, Machine Learning.

# İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI .....	i
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİMİ.....	ii
ÖN SÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR .....	1

## BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ .....	2
İKİNCİ BÖLÜM .....	4

## ISIL İŞLEM, PROTEİN, YUMUŞAK MADDE FİZİĞİ, SPEKTROSKOPİ, RADYOGRAFİ VE YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ

2.1 Isıl İşlem.....	4
2.1.1 Isıl İşlem Türleri .....	4
2.1.1.1 Konvansiyonel Isıl İşlemler .....	6
2.1.1.2 Alternatif Isıl İşlemler .....	8
2.2 Proteinler .....	10
2.2.1 Protein Yapısı ve Özellikleri .....	11
2.2.1.1 Birincil Yapı.....	12
2.2.1.2 İkincil Yapı.....	13
2.2.1.3 Üçüncül Yapı .....	14
2.2.1.4 Dördüncül Yapı.....	14
2.2.2 Yumurta.....	15
2.2.2.1 Yumurta Akı Proteinleri.....	16
2.3 Isıl İşlem ve Yumurta Akı Protein Görüntüleri.....	18

2.3.1 Denatürasyon ve Koagülasyon.....	19
2.4 Yumuşak Madde Kavramı ve Tanımı .....	22
2.4.1 Yumuşak Madde Fiziki Gözüyle Gıda .....	22
2.4.2 Yumuşak Madde ve Gıda İlişkisi .....	23
2.4.3 Uygulama Alanları ve Fırsatlar .....	25
2.5 Spektroskopi Yöntemleri ve Gıdalarda Uygulama Alanları .....	27
2.5.1 Manyetik Rezonans Görüntüleme .....	27
2.5.2 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometri .....	27
2.5.3 Diğer Spektroskopik Yöntemler.....	28
2.6 Radyografi Yöntemleri ve Gıdalarda Uygulama Alanları .....	29
2.6.1 Bilgisayarlı Tomografi .....	29
2.7 Yapay Zekânın Gıda Bilimi ve Teknolojisinde Uygulama Alanları.....	30

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

<b>GEREÇ VE YÖNTEM.....</b>	<b>32</b>
3.1 Gereç .....	32
3.2 Yöntem(ler).....	32
3.2.1 Kuru Madde ve Rutubet Miktarı Tayini.....	32
3.2.2 Örnek Hazırlama .....	32
3.2.3 Isıl İşlemler.....	33
3.2.4 Dondurarak Kurutma.....	34
3.2.5 FTIR ve Eğri Uydurma Pik Analizi .....	34
3.2.6 Manyetik Rezonans ve Bilgisayarlı Tomografi Analizleri.....	34
3.2.7 Makine Öğrenmesi Basit Lineer Regresyon Analizi.....	35
3.2.8 İstatistik Analiz.....	36

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

<b>BULGULAR .....</b>	<b>37</b>
4.1 Yumurta Akı Kuru Madde ve Rutubet Tayini Bulguları .....	37
4.2 FTIR ve Eğri Uydurma Analizi Bulguları .....	37
4.3 MR ve BT Analizleri Bulguları .....	43

4.3.1 MR Analizi Bulguları .....	43
4.3.2 BT Analizi Bulguları .....	47
4.4 MÖBLR Analizi Bulguları.....	49
MR ve BT sonuçlarından elde edilen veriler ROC olarak bilinen, AUC'nin kullanıldığı, gerçek pozitif karşı yanlış pozitif oranların bir grafiği kullanılarak yapılan basit lineer regresyon yöntemi ile karşılaştırılmıştır. ....	49
4.4.1 Renkli MR Bulguları .....	50
4.4.2 Gri Renkli MR Bulguları.....	51
4.4.3 Renkli BT Bulguları .....	53
4.4.4 Gri Renkli BT Bulguları.....	53
4.5 İstatistik Analiz Bulguları .....	55

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

<b>DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA .....</b>	<b>56</b>
--	-----------

<b>ALTINCI BÖLÜM .....</b>	<b>64</b>
----------------------------	-----------

<b>SONUÇ.....</b>	<b>64</b>
-------------------	-----------

<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>67</b>
-----------------------	-----------

<b>EKLER.....</b>	<b>92</b>
-------------------	-----------

EK-1: FT-IR Spektrumları Pikleri .....	92
--	----

EK-2: Denatürasyon ve Koagülasyon Sıcaklıkları Eğri Uydurma Analizi Pik Bulguları .....	92
---	----

EK-1: FT-IR Spektrumları Pikleri .....	93
--	----

EK-2: Denatürasyon ve Koagülasyon Sıcaklıkları Eğri Uydurma Analizi Pik Bulguları .....	94
---	----

<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>97</b>
----------------------	-----------

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1: Konvansiyonel ve Alternatif Isıl İşlemler .....	5
Tablo 2.2: Kabuksuz Yumurtanın Kompozisyonu (100 g).....	16
Tablo 2.3: Sıvı Yumurta Akı Protein Kompozisyonu.....	16
Tablo 2.4: Peptit bağlarının karakteristik kızılötesi bantları .....	28
Tablo 3.1: Örnekler .....	33
Tablo 4.1 YA örnekleri için kuru madde ve rutubet oranları (%).....	37
Tablo 4.2: Denatürasyon (61 °C) İkincil Yapıların Dağılımı (%) .....	40
Tablo 4.3: Koagülasyon (85 °C) İkincil Yapıların Dağılımı (%) .....	41
Tablo 4.4: Denatürasyon ve Koagülasyon Sıcaklıkları Örneklerin Karşılaştırmalı İkincil Yapı Oranları (%) .....	42
Tablo 4.5: Renkli MR Sınıflandırma Raporu.....	51
Tablo 4.6: Gri Renkli MR Sınıflandırma Raporu .....	53
Tablo 4.7: Gri Renkli BT Sınıflandırma Raporu .....	54

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1: Konvansiyonel Isıl İşlemlerden Pastörizatör ve Sterilizatör Örnekleri .....	8
Şekil 2.2: Alternatif Isıl İşlemlerden Mikrodalga (A) ve Ohmik Isıtma (B) Şematik Gösterimleri.....	10
Şekil 2.3: Protein Birincil Yapısı .....	12
Şekil 2.4: Protein İkincil Yapısı .....	13
Şekil 2.5: Protein Üçüncül Yapısı.....	14
Şekil 2.6: Protein Dördüncül Yapısı .....	15
Şekil 2.7: Farklı sıcaklıklarda iletken hidro kurutma ile kurutulmuş yumurta akı tozlarının Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri.....	21
Şekil 2.8: Sprey Kurutucuda (a) ve Dondurarak Kurutulmuş (b) Yumurta Akı SEM görüntüleri.....	22
Şekil 2.9: Nişastada doğal olarak oluşan hiyerarşik yapılanma.....	25
Şekil 2.10: Gıdaların karakteristik uzunluk ölçekleri ve temsili gıda yapıları örnekleri .....	26
Şekil 2.11: Protein-polisakkarit jelde $\kappa$ -karragenan ile moleküler etkileşimler (a) lizozim (b) $\kappa$ -karagenan (c) lizozim ve $\kappa$ -karagenan kompleksi (artan beta-tabaka durumu). Renk kodlaması: $\alpha$ -sarmal: kırmızı, $\beta$ -tabaka: mavi, C atomu: yeşil, S atomu: sarı, O atomu: kırmızı, H atomları gösterilmemiştir. ....	26
Şekil 3.1: MÖBLR analizi işlem adımları.....	35
Şekil 4.1: 0-2-4 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b).....	38
Şekil 4.2: 1-3-5 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b).....	38
Şekil 4.3: 0 ve 1 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b).....	39
Şekil 4.4: 2 ve 3 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b).....	39
Şekil 4.5: 4 ve 5 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b).....	40
Şekil 4.6: 61 °C Eğri Uydurma Analizi İkincil Yapıların Oranları (%) .....	41
Şekil 4.7: 85 °C Eğri Uydurma Analizi İkincil Yapıların Oranları (%) .....	42

Şekil 4.8: 61 °C ve 85 °C Örneklerin Karşılaştırmalı İkincil Yapı Oranları (%) .....	43
Şekil 4.9: 0 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri.....	44
Şekil 4.10: 1 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri.....	44
Şekil 4.11: 2 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri.....	45
Şekil 4.12: 3 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri.....	45
Şekil 4.13: 4 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri.....	46
Şekil 4.14: 5 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri.....	46
Şekil 4.15: Tüm Örneklerin Renkli ve Gri MR Grup Görüntüleri.....	47
Şekil 4.16: Tüm Örneklerin Renkli ve Gri BT Görüntüleri (a) 0, (b) 1, (c) 2, (d) 3, (e) 4 ve (f) 5 .....	48
Şekil 4.17: Tüm Örneklerin Grup İçi/Arası Renkli ve Gri BT Görüntüleri.....	49
Şekil 4.18: Renkli MR Karışıklık Matrisi .....	50
Şekil 4.19: Renkli MR ROC Eğrisi Analizi .....	51
Şekil 4.20: Gri Renkli MR Karışıklık Matrisi.....	52
Şekil 4.21: Gri Renkli MR ROC Eğrisi Analizi.....	52
Şekil 4.22: Gri Renkli BT Karışıklık Matrisi.....	53
Şekil 4.23: Gri Renkli BT ROC Eğrisi Analizi.....	54
Şekil 5.1: (a)Tüm Örneklerin Renkli ve Gri MR Grup Görüntüleri, (b) Gıda jelinin kurutma esnasındaki nem kaybını takip için NMR görüntüleri ve (c) 80 °C ısıtılma işlemde YA'ndaki çözünür protein derişimi ve su relaksasyonu .....	61

## KISALTMALAR

<b>3B</b>	: Üç Boyutlu
<b>AUC</b>	: ROC Eğrisinin Altındaki Alan
<b>BT</b>	: Bilgisayarlı Tomografi
<b>DLS</b>	: Dinamik Işık Saçılımı
<b>DNA</b>	: Deoksiribonükleik Asit
<b>FTIR</b>	: Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektrometri
<b>H</b>	: Hidrojen
<b>IR</b>	: Kızılötesi
<b>k</b>	: Boltzman Sabiti
<b>MÖ</b>	: Makine Öğrenmesi
<b>MR</b>	: Manyetik Rezonans
<b>MSI</b>	: Kütle Spektrometresi Görüntüleme
<b>Nd</b>	: Indis Değeri
<b>OI</b>	: Ohmik Isıtma
<b>PCS</b>	: Foton Korelasyon Spektroskopisi
<b>PS</b>	: Protein Stabilitesi
<b>ROC</b>	: Alıcı İşletim Özellikleri
<b>SH</b>	: Sülfidril
<b>SMA</b>	: Salınımlı Manyetik Alan
<b>TSP</b>	:Termostabil Proteinler
<b>UHT</b>	: Ultra Yüksek Isı
<b>UV</b>	: Ultraviyole Işık
<b>UV- Vis</b>	: Ultraviyole Görünür
<b>VEA</b>	: Vurgulu elektrik alan
<b>VI</b>	:Vurgulu Işık
<b>VL</b>	: Görünür Işık
<b>XRF</b>	: X-Işını Floresansı
<b>YA</b>	: Yumurta Akı
<b>YHB</b>	: Yüksek Hidrostatik Basınç
<b>YS</b>	: Yumurta Sarısı
<b>YZ</b>	: Yapay Zekâ

# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

Isıl işlem, gıdaların mikrobiyal ve kimyasal değerini korumak ve ürün stabilitesini sağlamak için kullanılan bir yöntemdir. Gıdaların saklama koşullarına ve özelliklerine bağlı olarak, kurutma, pastörizasyon, Ultra Yüksek Isı (UHT), sterilizasyon gibi geleneksel ısıl işlem biçimlerinde uygulanmakta olup, aynı zamanda vurgulu elektrik alan (VEA), ohmik ısıtma (OI), mikrodalga, vurgulu ışık (VI) ve kızılötesi (IR) ısıtma gibi elektriksel ısıtma yöntemleri de kullanılmaktadır. Aynı zamanda gıdalarda tekstür bozulması, renk değişimi, lezzet değişiklikleri, bazı besin bileşenlerinin kaybı ve duyu kalite üzerinde olumsuz etkilere de yol açabilmektedir. Isı, proteinlerin sülfidril gruplarında azalışa yol açmakta, yüzey hidrofobikliğini arttırmakta ve bunun sonucu olarak denatürasyon ve koagülasyona sebep olmaktadır (Jiang vd., 2018; Razi vd., 2022).

Protein, organizmalarda farklı biyokimyasal süreçleri gerçekleştirerek büyüme, doku onarımı, regülasyon ve enerji ihtiyacını sağlayan bir besin ögesidir (Akyüz ve Bilek, 2018; Ünsal, 2019). Yumurta, yüksek protein içeriğine sahip bir gıda maddesidir. Gıda endüstrisinde köpüklenme, emülsifiye etme ve jelleşme gibi çok sayıda işlevi yerine getirmektedir (Liao vd., 2018; Begam vd., 2021).

Proteinler, ısıl işleme bağlı olarak doğal durumundan daha düzensiz bir duruma kısmen veya tamamen açılarak yapısal değişikliklere uğramaktadır. Bu durum protein denatürasyonu olarak ifade edilmektedir (Mukhametzhanov vd., 2022). Protein koagülasyonu ise denatüre proteinlerin rastgele kümeleşmesi ile çözünmez duruma gelmesine sebep olan değişiklikler sonucunda oluşmaktadır (Yaşkır, 2019).

Yumuşak madde, ısıl dalgalanmalarla kolaylıkla deforme olabilen, toplam enerjisi ve bir sistemin termodinamik entropisini k kadar artırmak için gereken ısı miktarı  $kT$  (Enerji) (k: Boltzmann sabiti, T: Sıcaklık) katlarında değişen bir fiziki durumu ifade etmektedir (Ubbink vd., 2008). Gıdalar, karmaşık bileşen özellikleri, çeşitli zaman ve uzunluk ölçekleri, farklı kümelenme durumları ile yumuşak yoğun madde sistemleri (kolloidler, proteinler, amfifilik polimerler)

olarak kabul edilmektedir (Zhang vd., 2021). Son yıllarda, gıda bilimciler, biyomoleküllerin (protein, lipid ve karbonhidrat) gıda matrisindeki etkileşimlerini, faz geçişlerini ve yapısal özelliklerini yumuşak yoğun madde fiziği ile açıklamaya çalışmaktadır (Boire vd., 2018).

Gıdaların fiziksel özelliklerini belirlerken spektroskopik yöntemlerden sıklıkla yararlanılmaktadır (Tarcan ve Küplülü, 2021). Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometri (FTIR), spektroskopik yöntemlerden birisi olup, küçük yapısal değişikliklere duyarlı amino asitlerin ve kofaktörlerin titreşimsel özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır (Al-Lafi ve Al-Naser, 2022). Bir diğer teknik ise son yıllarda hızlı, kolay ve güvenilir sonuçlar vermesi sebebiyle tercih edilmeye başlayan Manyetik Rezonans (MR) görüntülemesidir. MR, malzemenin kimyasal içeriğini kantitatif olarak belirlemede kullanılan bir diğer metottur (Olgun vd., 2020).

Tıbbi görüntüleme cihazları kullanarak gıdaların duyuşal kalitesini, stabilitesini ve supramoleküler yapılarını inceleyerek fiziki boyutunu anlamak son dönemlerde mümkün hale gelmiştir. Radyografik tekniklerden birisi ise Bilgisayarlı Tomografi (BT) olup, malzemelerin karmaşık iç geometrik yapılarını tahribatsız şekilde incelemek için fırsatlar sunmaktadır. Görüntüleme tekniklerinin kendine özgü analitik ve tanımlayıcı dizileri olduğu için Yapay Zekâ (YZ) çerçeveleri için gerekli veri girdilerini de oluşturmaktadırlar. YZ, gıdanın yapısal değişimlerinden elde edilen görüntüleri kullanarak gıdanın özellikleri arasındaki karmaşık ilişkileri bulmak için tercih edilebilmektedir (Yang vd., 2021; Mengucci vd., 2022; van der Geest vd., 2022).

Bu çalışmada, D<sub>2</sub>O ve farklı ısı işlemlerin yumurta akı proteinlerinin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkilerinin spektroskopi, radyografi ve yapay zekâ teknikleri ile araştırılması amaçlanmıştır.

# İKİNCİ BÖLÜM

## ISIL İŞLEM, PROTEİN, YUMUŞAK MADDE FİZİĞİ, SPEKTROSKOPİ, RADYOGRAFİ VE YAPAY ZEKÂ TEKNİKLERİ

### 2.1 Isıl İşlem

Isı (thermal) enerji, ekstraksiyon, modifikasyon, olgunluk (dönüşüm) ve sterilizasyonu içeren gıda işleme girdileri için en yaygın kullanılan enerji formlarından birisidir. Termal etkiler makro besin öğelerini parçalayarak insan sindirimi ve vücuttaki emilimi için uygun koşulu oluşturmaktadır. Örneğin, nişasta ısıl işlem ile jelatinize edilerek dekstrin ve polisakkaritlerine parçalanmaktadır. Benzer şekilde, proteinler denatüre edilerek polipeptitlere ve amino asitlere ayrıştırılmakta, mikro besinler ve diğer fonksiyonel besinler iskelet yapılarında değişim geçirmekte, biyoyararlanım ve aktivite artmakta, likopen izomerizasyonu ve kalsiyum iyonizasyonu gibi yapısal dönüşümler gerçekleşmektedir (Marsanasco ve Alonso, 2021; Xu vd., 2022; Li, 2022).

Bir gıda ürününe ısıl işlem uygulandığında, organoleptik, besleyici ve fonksiyonel niteliklerinin korunması dikkate alınmalıdır. Bu işlemlerin malzeme değişiklikleri üzerindeki etkisini kontrol etmek için çoğunlukla duyu analizi, mikrobiyolojik numaralandırma, biyokimyasal prosedürler, fiziko-kimyasal ölçümler ve spektroskopik yöntemler kullanılmaktadır (Ait-Kaddour vd., 2021; Snyder, 2022).

#### 2.1.1 Isıl İşlem Türleri

Gıda endüstrisinde, sterilizasyon, pastörizasyon, tütsüleme, fırınlama, kurutma, buharlaştırma, kızartma ve ızgara gibi yüksek sıcaklık kullanılarak uygulanan geleneksel ısıl işlem uygulamaları mevcuttur. Termal uygulamalardan olan kurutma ve buharlaştırma işlemleri daha çok gıdaların nem içeriğini ayarlamak için kullanılırken, gıdaların mikrobiyolojik bileşimini kontrol altında tutmak içinse pastörizasyon ve sterilizasyon gibi diğer uygulamalara başvurulmaktadır (Çivi vd., 2019; Wouters vd., 2022).

Isıl işlemlerin yüksek sıcaklık nedeniyle gıdalarda oluşturduğu istenilmeyen bazı olumsuzluklar, araştırmacıları alternatif ısıl süreçleri geliştirmeye yönlendirmiştir. Yeni (novel) tekniklerden bazıları arasında, yüksek hidrostatik basınç (YHB), VEA, OI, mikrodalga, VI, salınımlı manyetik alan (SMA), ultrases gibi yöntemler öne çıkmaktadır. Bu yöntemler, normal sıcaklıklarda uygulandığı için gıdaların organoleptik özelliklerini ve besin değerlerini daha iyi koruyarak özellikle mikroorganizma inaktivasyonunu sağlamaktadır (Feng vd., 2020; Karaçam, 2021).

**Tablo 2.1: Konvansiyonel ve Alternatif Isıl İşlemler**

Konvansiyonel Isıl İşlemler			Alternatif Isıl İşlemler		
Proses	Sıcaklık	Süre	Proses	Sıcaklık	Süre
Pastorizasyon	$\leq 100$ °C	2-30 dk	Yüksek Hidrostatik Basınç	0-100 °C	0-100 °C
Sterilizasyon	110 -140 °C	2 s- 20 dk	Ohmik Isıtma	20-100 °C	1 s- 85 dk
Tütsüleme	65-80 °C	1-2 sa	Mikrodalga	30-100 °C	15 s- 35 dk
Fırınlama	150-250 °C	10 dk- 2 sa	Salınımlı Manyetik Alan	0-50 °C	25-100 ms
Kızartma	170- 250 °C	4-10 dk	Ultrases	20-60 °C	10- 30 dk
Izgara	>400 °C	5- 15 dk			
Sote	160-240 °C	5-30 dk			

**Kaynak:** Karaçam, 2021

Isıl işlem genellikle proteinlerin moleküler hareketliliğini teşvik etmekte, moleküller arası bağları koparmakta ve hidrofobik amino asitlerin (örneğin, serbest kükürt veya tiol gruplarına sahip olanlar) çözücüler için kullanılabilir hale gelmesinin bir sonucu olarak ikincil ve üçüncül yapıları yeniden düzenlemektedir (Jiménez-Rosado vd., 2020) Bu değişiklikleri takiben, denatüre proteinler daha yüksek moleküler ağırlıklı bileşenler veya agregalarla çapraz bağlanmakta, sonuç olarak çözünürlük azalmakta ve ısıl işlem sonucunda protein yapılarında çökme meydana gelmektedir. Bunun sonucunda proteinlerin stabilitesi düşmektedir.

Mevcut eğilimler, proteinlerin işlevselliğini ve besin mevcudiyetini azaltan dış faktörlere karşı proteinin korunarak stabilitesinin sağlanması yönündedir (de Jong vd., 2021).

### **2.1.1.1 Konvansiyonel Isıl İşlemler**

Pastörizasyon, enzimleri inaktive etmek ve bozulmaya neden olan nispeten ısıya duyarlı mikroorganizmaları öldürmek için uygulanan bir ısıl işlemdir. Mikrobiyal ve enzimatik bozulmayı önlemek için “hafif ısıl işlem” olarak da tanımlanır. Düşük sıcaklıklarda, genellikle 4 °C'de birkaç gün (örn. süt) veya birkaç ay (örn. şişelenmiş meyve) gıdaların raf ömrünü uzatmak için kullanılır. Sıvı gıdaların 60-100 °C aralığında ısıtılması ile spor oluşturmeyen bakteri, maya ve küf gibi ısıya dayanıklı bozulma organizmalarını yok etmek için kullanılmaktadır (Ramesh, 2020; Anakız, 2022).

Sterilizasyon, gıdaya biyokimyasal ve mikrobiyolojik aktiviteleri kontrol etmek ve oda sıcaklığında uzun raf ömrü sağlamak için 100 °C' nin üzerinde uygulanan bir yüksek sıcaklık ısıl işlemidir. Gıda endüstrisinde, ısı, ısı eşanjörleri ya da otoklavlar vasıtasıyla dolaylı olarak paketlenmiş gıdalara uygulanabildiği gibi, özellikle aseptik işlem için direkt gıda üzerine uygulanabilmektedir (Çivi vd., 2019; Kataoka vd., 2020).

Kurutma, gıda ürünlerini korumak için sıklıkla kullanılan bir işlemdir. Isı transferi uygulaması ile gıda ürününün iç yapısındaki mevcut nemin hava akımına yayılmasına yardımcı olmakta ve gıda ürünlerinin hacminin azalmasına ve raf ömrünün uzamasına neden olmaktadır (Gaikwad vd., 2022). Dehidrasyona dayalı bu işlem, gıdanın su aktivitesini önemli ölçüde azaltarak gıdanın bozulmasını etkileyen kinetiği geciktirmeye yardımcı olur. Gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan kurutma yöntemleri, güneşte kurutma, konvansiyonel kurutucular (tepsi, tünel, tambur), sprey kurutucular, akışkan yataklı kurutucular, dondurucu, vakumlu veya mikrodalga kurutmadır (Alp ve Bulantekin, 2021; Balcı Torun ve Ozdemir, 2021; Jafari ve Samborska, 2021).

Tütsüleme yöntemi ile defne, gürgen, kayın, meşe, kavak, ıhlamur gibi sert ve kokulu ağaçların talaşlarının yakılması sonucu oluşan duman içerisinde gıdaların bekletilmesiyle uygulanan koruma işlemi yapılmaktadır. Tütsüleme ile gıdanın nem içeriğinin azaltılması ve dumandaki bazı gazların gıdaya nüfuz etmesi ile

patojen mikroorganizmaların üremesi ve gelişmesi engellenmektedir (Dönmez ve Pehlivan, 2019).

Fırında pişirme mekanizması, benzersiz nihai ürün yapısını üretmek için ısı ve kütle transfer işlemlerini, yani enzimatik olmayan kahverengileşme, nişasta jelatinizasyonu ve protein denatürasyonunu içermektedir. Geleneksel pişirme yöntemlerinden olan fırında pişirme uzun işlem süresi, gıda yüzeyinin aşırı ısınması ve besin kayıpları gibi birçok dezavantaja sahip olabilmektedir (Jiao vd, 2022; Devu vd., 2022).

Derin yağda kızartma, ayırt edici organoleptik ve duyuşal özelliklere sahip yiyecekleri işlemek veya korumak için evsel ve ticari pişirme yöntemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Atmosferik kızartma veya daldırma kızartması olarak da bilinen bu işlem, gıdaların 120-200 °C arasındaki sıcaklıklarda yağa batırılmasını içermektedir. Bu kızartma koşulu, nişasta jelatinizasyonu, kabuk oluşumu (kızartılmış ürünün yüzeyinin kurutulması), tat bileşeni oluşumu, büzülme ve şişme gibi fiziksel ve kimyasal değişikliklere izin vermektedir. Bu fiziksel ve kimyasal değişiklikler gıdada, makro ve mikro seviyelerde yapısal değişikliklere neden olmaktadır (Gabrielle Alves De Carvalho vd., 2022; Faruq vd., 2022).

Izgara yönteminde gıdalar kontrollü bir şekilde ısı kaynağının altında veya üzerinde tutularak pişirilirler. Izgara gibi pişirme teknikleri, gıda hazırlama sırasında ete gelişmiş lezzetlilik, sindirilebilirlik, koruma, güvenlik (patojenlerden ve parazitlerden korunma) dâhil olmak üzere çeşitli faydalar sağlamakta, ayrıca duyuşal özellikleri ve net beslenme kazancını arttırmaktadır. Bununla birlikte, ızgara, heterosiklik aminler gibi zararlı bileşiklerin oluşumuna ve gıdalardaki lipidlerin oksidasyon yoluyla değiştirilmesine yol açabilmektedir (Teyin, 2018; Masuda vd., 2019; Manful vd., 2020).

Soteleme küçük parçalar halindeki gıdayı az miktarda yağ kullanarak yüksek ısıda, hızlı şekilde, tavada pişirme işlemidir. Bu şekilde gıda, su ve mineral kaybına uğratmayarak hızlı şekilde, ancak lezzet ve kahverengileşme oluşacak kadar yeterli sürede pişirilmektedir (Baltalı, 2020).



**Şekil 2.1: Konvansiyonel Isıl İşlemlerden Pastörizatör ve Sterilizatör Örnekleri**

**Kaynak:** Yaralı, 2016

### 2.1.1.2 Alternatif Isıl İşlemler

Gıdalara uygulanan geleneksel ısıl işlemlerde bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi ısı transfer mekanizmalarının ürünün yüzeyinde aşırı ısınmaya neden olması ve bazı besin öğelerinde ve duyuşal özelliklerde kayıplar meydana getirmesidir. Bu sebeplerden ötürü son zamanlarda yeni ve alternatif ısıl işlem teknolojilerine karşı artan bir talep söz konusudur (İncedayı, 2019; Anakız, 2022).

Alternatif ısıtma yöntemleri gıda kalitesini daha iyi hale getirmekte ve verimliliği arttırmaktadır (Candan ve Bağdatlı, 2018; Munialo vd., 2022).

Yüksek Hidrostatik Basınç (YHB), gıda işleme endüstrisinde protein yapısını modüle etmek ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak uygulanmaktadır. YHB altında hacim sıkıştırması ile proteinlerin agregasyon, denatürasyon ve emülsifiye edici özellikleri, atomlar arasındaki uzak değişim, farklı kimyasal bağların kırılması ve oluşumu ile protein molekülleri arasındaki etkileşim etkilenebilmektedir (Ding vd., 2022; Ma vd., 2022). YHB, alternatif bir gıda işleme teknolojisi olarak, gıdanın orijinal lezzetini, fiziksel ve kimyasal özelliklerini maksimum ölçüde koruyabilmektedir. Geleneksel ısıl işleme ile karşılaştırıldığında, YHB, biyoaktif bileşik grupların daha iyi tutunmasını sağlayarak enzim aktivitesini azaltmakta ve mikrobiyolojik stabiliteyi de arttırmaktadır (Yang vd., 2022d; Zhang vd., 2022).

Elektriksel ısıtma yöntemleri, gıdaların korunmasında ve işleminde gerekli ısının üretilmesi için yeni kaynaklara odaklanan ve termal mekanizmalara dayanan düşük sıcaklık uygulanan yöntemlerdir. VEA, OI, mikrodalga, vurgulu

ışık ve IR ısıtma yöntemleri güncel elektriksel ısıtma yöntemleridir (Döner ve İçier, 2018; Chen vd., 2022).

OI bir elektrik akımının üründen geçtiği ve gıdanın elektriksel direnci nedeniyle, ürünün içinde ısı üretildiği bir işlemdir. Elektrik akımı gıdadan aktığında elektrik enerjisi kaybı, ısının serbest bırakılmasına neden olmaktadır (Joule Etkisi). OI hızlı ve düzgün ısıtma sağlamak ve kısa sürede etki etmesi nedeniyle vitaminlere, pigmentlere ve diğer bileşiklere daha az zarar vermektedir (Alamprese vd., 2019; Kaya ve İçier, 2019; Sharifi, 2022).

Mikrodalga kurutma mevcut geleneksel yöntemlere kıyasla kurutma oranını artırmaya yardımcı olan ısı üreten su moleküllerinin polar özellikleri nedeniyle enerji tasarruflu bir işlemdir. Mikrodalga kurutma, kalite kaybının en aza indirilmesi, hızlı kurutma ve etkili ısı dağılımı gibi avantajları nedeniyle gıda, ilaç ve kimya endüstrilerinde yaygın olarak benimsenen kurutma yöntemlerinden birisidir. Düşük güç tüketimi, zaman verimliliği ve gıda endüstrilerine faydalı olabilecek yüksek kaliteli ürünler üretmesi gibi üç benzersiz özelliğe sahiptir (Putranto ve Chen, 2020; Gaikwad vd., 2022).

Mikrodalga kurutma teknolojisinin kullanıldığı alternatif bir diğer yöntem mikrodalga destekli dondurarak kurutma teknolojisidir. Bu yöntem, gıdaları son derece düşük basınçta kurutarak, yüksek ürün kalitesi avantajı sağlamakta, ancak kısmen çok uzun kuruma süresi nedeniyle çok yüksek sermaye ve işletme maliyetleri oluşturmaktadır (Fan vd., 2019; Kast vd., 2020).

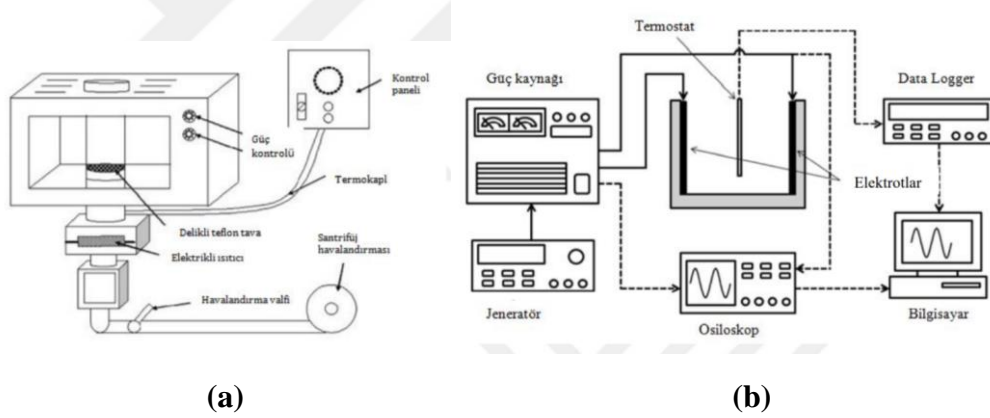
Elektromanyetik dondurma temel olarak dondurma sırasında manyetik bir alan uygulanmasını içermektedir (Hassan vd., 2017). Donma sırasında uygulanan salınımlı manyetik alanlar (SMA) suyun aşırı soğumasını arttırmakta, buz kristalleşmesini engellemekte ve ısı transferini hızlandırmaktadır. Bu şekilde, dondurulmuş gıdalarda üretilen hasar azaltılmakta ve taze ürünün kalitesi değişmeden korunabilmektedir (Otero vd., 2017; Hu vd., 2022).

Enerjinin ses dalgaları titreşimi yardımı ile meydana getirildiği ultrases uygulamalarında, 20 kHz-10 MHz aralığında değişim gösteren frekanslar kullanılmaktadır. Ses yoğunluğu ( $W/m^2$ ), ses enerjisi yoğunluğu ( $W.s/m^3$ ), ses gücü (W) ile karakterize edilmektedir. Gıda endüstrisinde ultrases; işlem süresinin kısaltılmasında, ısı transferinin daha hızlı olmasında, kimyasal

tepkimelerin yüksek hızda gerçekleşmesinde, gıdaların duyu kalitesinin iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir (Yüceer, 2020).

Bu yöntemler dışında, IR ısıtma, daha kısa ısıtma süresi, homojen ısıtma, düşük kalite kayıpları, gıda malzemesinde çözünür göçün olmaması, çok yönlü ve basit donanım ile önemli ölçüde enerji tasarrufu dâhil olmak üzere geleneksel ısıtmaya göre önemli avantajlar sağlamaktadır. IR ısıtma, enerji verimliliği, temiz, kolaylık, hızlı tepki ve düşük yatırım avantajlarına sahip olduğundan, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Lee, 2021; Tang vd., 2022; Lang vd., 2022).

Süblimasyon ile elde edilen dondurarak kurutma işlemi gıda endüstrisinde kullanılan bir diğer ısıtma işlem yöntemidir. Dondurarak kurutma, dondurulmuş bir ürünün su süblimasyonu ile dehidrasyona dayanır. Kurutulmuş malzemenin besin kalitesinin ve tadının çoğunun korunmasını sağlar (Gökkaya Erdem ve Kaya, 2022; Patrick, 2022; Zhang vd., 2022).



**Şekil 2.2: Alternatif Isıl İşlemlerden Mikrodalga (A) ve Ohmik Isıtma (B) Şematik Gösterimleri**

**Kaynak:** Karabacak, 2015

## 2.2 Proteinler

Protein, hücrenin temel yapı taşı olan, büyüme, doku onarımı, regülasyon ve enerji ihtiyacını sağlayan besin ögesidir. Aynı zamanda, enzimlerin yapı taşı olup, organizmadaki farklı biyokimyasal süreçlerin gerçekleşmesinde katalizör işlevi görmektedir (Akyüz ve Bilek, 2018; Ünsal, 2019).

Protein, insan diyetinin önemli bir bileşenidir. Fonksiyonel özellikleri nedeniyle gıda sistemlerinde birçok şekilde uygulanabilir. Yaygın protein modifikasyonu (kimyasal, enzimatik ve fiziksel) yöntemleri, gıda proteinlerinin yapısı ve işlevselliği üzerinde güçlü etkilere sahiptir (Mirmoghtadaie vd., 2016).

Proteinler, bitkisel ve hayvansal kaynaklı proteinler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Baklagiller, tahıllar, kuruyemişler bitkisel kaynaklı proteinler içermektedir. Hayvansal kaynaklı proteinler ise et, süt ve yumurta proteinleri olarak bilinmektedir. Ayrıca, canlı organizmada Deoksiribonükleik Asit (DNA), keratin, kolajen, hemoglobin, miyoglobin gibi birçok bileşen protein yapısındadır. Tahıllardaki gluten, süttteki kazein de protein yapılarına diğer örneklerdir (Akyüz ve Bilek, 2018).

### **2.2.1 Protein Yapısı ve Özellikleri**

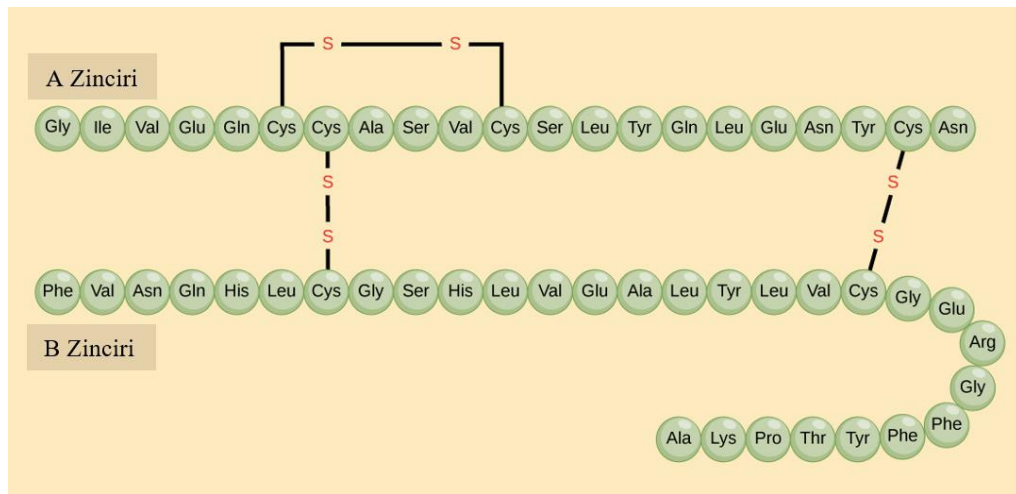
Proteinler aminoasitlerin polipeptit zinciri ile bir araya gelmesi sonucu oluşmaktadır. Her amino asit, direkt adı (örneğin Arginin) veya üç harfli kelime (ör. Arg) veya bir harfli kelime (ör. R) ile temsil edilir. Bu amino asitler, proteini oluşturmak için peptit bağı ile birleşirler. Bir proteinin yapısı dört farklı şekilde karakterize edilir. Proteinlerin dizisine proteinlerin birincil (primer) yapısı denir. Polipeptit zinciri üzerinde tekrarlanan düzenli konformasyonlara, proteinlerin ikincil (sekonder) yapıları denir. Bir proteinin üç boyutlu (3B) yapısına, ikincil bir yapıdan elde edilen üçüncül (tersiyer) yapısı denir. Bir proteinin dördüncül (kuaterner) yapısı, birkaç polipeptit zincirinin toplanmasının yanı sıra protein olmayan elementin de eklenmesi ile meydana gelmektedir (Bongirwar ve Mokhade, 2022; Yu vd., 2022).

Proteinler, pH, iyonik mukavemet, sıcaklık, basınç veya enzimatik mekanizmanın etkisi ile farklı davranırlar, yapılarını ve işlevlerini değiştirmek için yaklaşımlar geliştirirler. Proteinler doğal yapılarını kaybedebilir, işleme ve depolamanın sonucu olarak duyuşal değişiklikler oluşturabilirler. Gıda formülasyonu, proteinlerin yapısını moleküler ve makro-polimer seviyelerde etkilemektedir. Proteinin yapısal çeşitliliği ve stabilitesi, kendi işlevi ve fizikokimyasal özellikleri için çok önemlidir (Yang vd., 2022c; Munialo vd., 2022; Yu vd., 2022).

Proteinler yüzey gerilimini düşürme yetenekleri sayesinde gıda emülsiyonları ve köpüklerini stabilize etmek için kullanılabilen yüzey aktif moleküllerdir. Protein moleküllerinin ara yüz özellikleri, amino asitlerin birincil, ikincil ve üçüncül konformasyonları tarafından belirlenmektedir (Alavi vd., 2019). Proteinler, amid bağları olarak da bilinen peptit bağı ile bağlanan amino asitlerin polimerleridir. Bir polimerin protein olarak kabul edilebilmesi için, iyi tanımlanmış üç boyutlu bir yapıya katlanabilme yeteneğine sahip olması gerekmektedir. “R” grupları olarak bilinen yan zincirleri ile ayırt edilen yirmi farklı amino asit vardır. Protein yapısını belirlemek ve üzerinde kapsamlı bir analiz yapabilmek için temel yapı taşları olan amino asitleri ve özelliklerini anlamak gerekmektedir (Wilcox, 2014).

### 2.2.1.1 Birincil Yapı

Protein birincil yapısı peptid bağları ile oluşan amino asit dizisidir (Şekil 2.3) Polipeptid zincirlerinde bulunan merkezi amino asitlerde değişmeyen gruplar arasında peptid bağları kurulmaktadır. Peptit bağları her zincirde aynı olduğundan, amino asit kalıntılarında bulunan değişken R grupları asıl farklılığı sağlamaktadır. Birincil yapıyı oluşturan polipeptid zincirindeki amino asit sayısı, türü ve sırasında herhangi bir değişiklik farklı katlanmalara ve farklı protein yapılarının oluşmasına neden olmaktadır. Birincil yapı proteinin üç boyutlu yapısını ve fonksiyonel özelliklerini etkilemektedir (Li vd., 2017; Apurva ve Mazumdar, 2020; Çakmak, 2021).

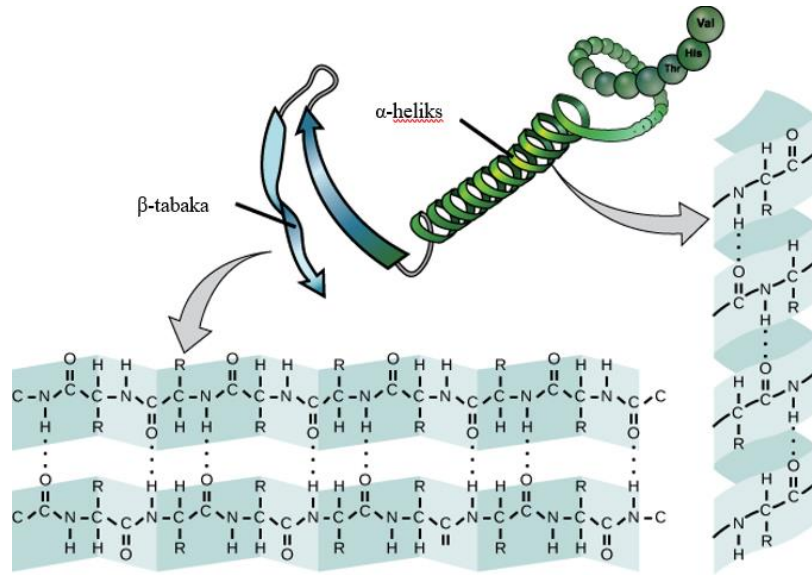


Şekil 2.3: Protein Birincil Yapısı

Kaynak: Fidancı, 2021

### 2.2.1.2 İkincil Yapı

Protein ikincil yapısı lokal değişikliklerle oluşmaktadır. Lokal değişiklikler, birincil yapıda birbirine yakın olan amino asitler arasındaki etkileşimler sonucunda meydana gelmektedir. Küresel proteinlerde ikincil yapıların temel birimleri alfa heliks ( $\alpha$ -heliks), beta yaprağı ( $\beta$ -yaprak) ve dönüşlerdir. Protein yapılarının çoğunda ortak olan  $\alpha$ -heliksleridir. Globüler proteinlerin %30'unun amino asitlerinin  $\alpha$ -heliks formunda olduğu bilinmektedir.  $\alpha$ -heliks, heliks eksenine paralel hidrojen bağları ile stabilize edilen sarmal benzeri bir yapıya sahiptir. Bir sarmalın her dönüşü 3.6 amino asit kalıntısına sahiptir (Doğan, 2015; Xue vd., 2022). İkincil yapısal bileşenler proteinler için en önemli bilgilerden bazılarıdır. Proteinler ve peptitler için FTIR spektral verileri genellikle yapısal tekrar birimlerinin titreşimleri açısından yorumlanmaktadır. Amid I ve II bantları, protein omurgasının en belirgin titreşim bantlarıdır. Protein ikincil yapısal bileşenlerine en duyarlı spektral bölge amid I bandıdır ( $1700-1600\text{ cm}^{-1}$ ). Neredeyse tamamen peptid bağlantılarının C=O germe titreşimlerinden (yaklaşık % 80) kaynaklanmaktadır. Amid I bant bileşenlerinin frekansları, proteinin her bir ikincil yapısal elemanı ile yakından ilişkilidir (Yang vd., 2022b). Belirli bir protein için, ikincil yapı tahmininin amacı, içindeki her amino asit kalıntısına, yalnızca birincil dizi bilgisine dayanarak ikincil bir yapı tipi atamaktır (Yang vd., 2022c).



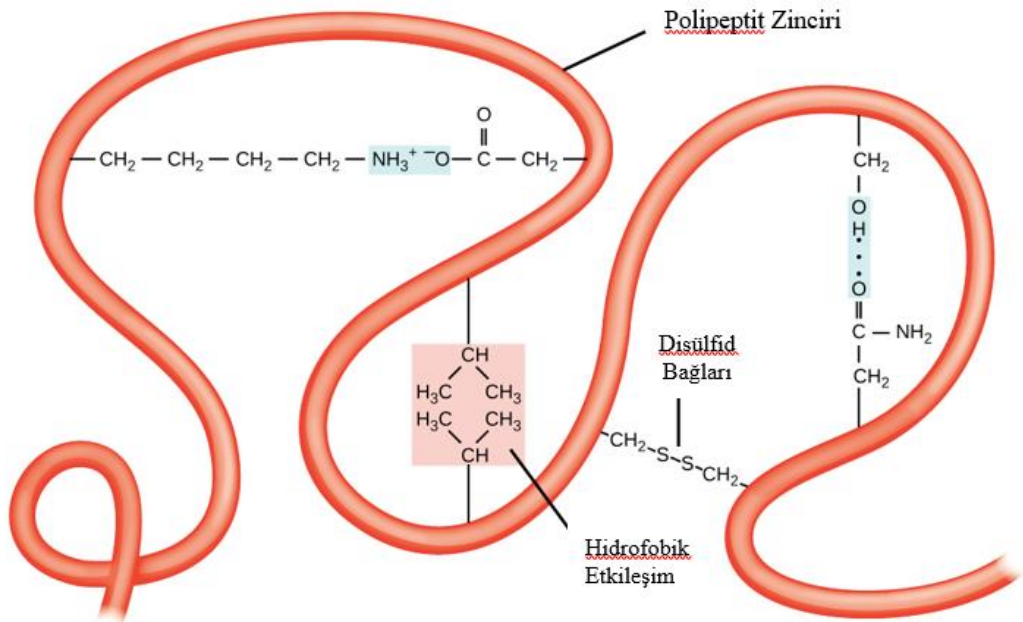
Şekil 2.4: Protein İkincil Yapısı

Kaynak: Bongirwar ve Mokhade, 2022

### 2.2.1.3 Üçüncül Yapı

Proteinin üçüncül yapısı, polipeptit zinciri katlandığında (hidrofobik etkileşimler) ve hücrel proteinler (enzimler, taşıyıcı, beslenme ve membran proteinleri) gibi küresel bir yapı oluştuğunda ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.5) (Wang vd., 2022).

Proteinin işlevselliği, yapısından kaynaklanmaktadır. Bir etken üç boyutlu konformasyonu değiştirirse, proteinin aktivitesi kaybolmaktadır. Bu gibi karmaşık yapılar, birkaç moleküler etkileşimin kombinasyonunu oluşturan zincirdeki her amino asidin R grupları tarafından bir arada tutulmaktadır. R grupları, düzenli bir ikincil yapı oluşturmayan peptit zincirlerinin bölgelerinin yapısını belirlemektedir (Polat, 2015; Mankova vd., 2022).



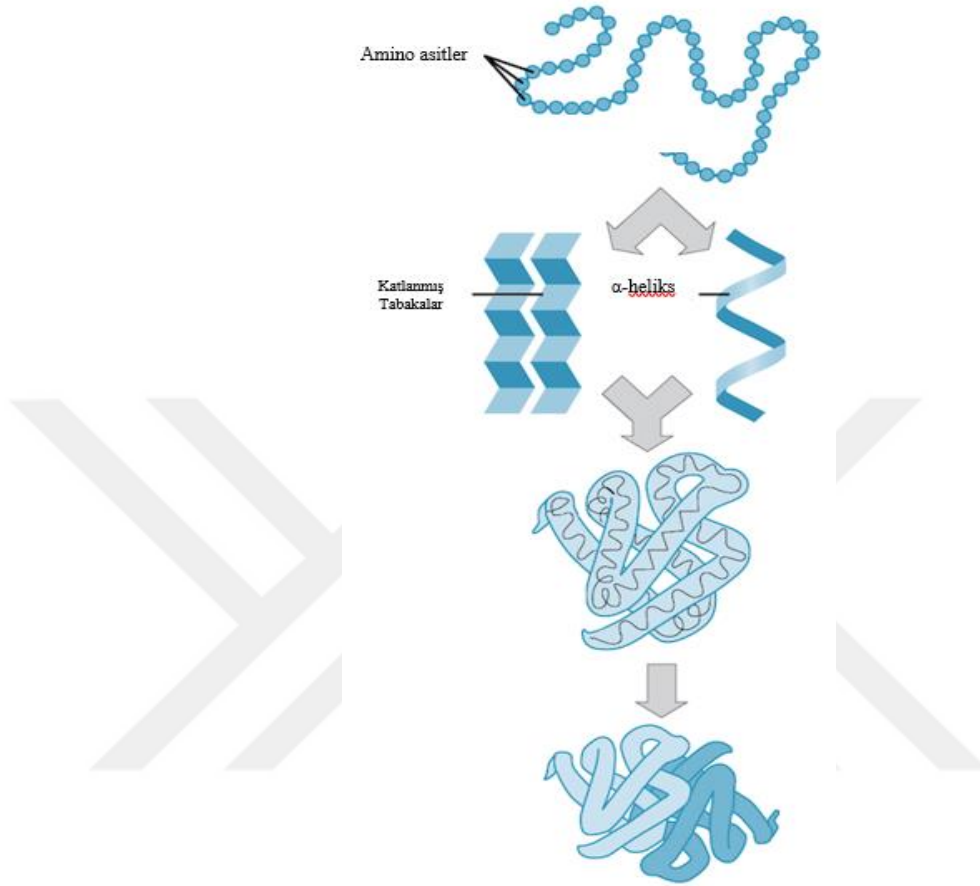
Şekil 2.5: Protein Üçüncül Yapısı

**Kaynak:** Bongirwar ve Mokhade, 2022

### 2.2.1.4 Dördüncül Yapı

Proteinin dördüncül yapısı polipeptit zincirlerinin etkileşimleri ile oluşmaktadır. Bu etkileşimler, üçüncül yapıyı oluşturan etkileşimler ile tamamen aynı olmaktadır. Ancak, üçüncül yapıdan farklı olarak, dördüncül yapıda bu

etkileşimler polipeptit zincirlerinin bir araya gelmesi sonucu meydana gelmektedir (Şekil 2.6). Dördüncül yapılarda polipeptit zincirleri genellikle alt birimler olarak adlandırılmaktadır (Doğan, 2015; Ramamirtham vd., 2021).



**Şekil 2.6: Protein Dördüncül Yapısı**

**Kaynak:** Bongirwar ve Mokhade, 2022

### 2.2.2 Yumurta

Yumurta, yüksek su, protein ve lipit içeriği ile karmaşık bir gıda matrisidir. Su içeriği ve amino asitlerce zengin doğası sebebiyle fonksiyonel olarak geniş kullanım alanına sahip bir gıdadır. Ortalama büyüklükteki bir yumurta, insanın günlük protein gereksiniminin yaklaşık %12'sine karşılık gelen 6,6 g protein içermektedir (Tablo 2.2) (Liao vd., 2018; Farjami vd., 2021). Yumurta akı (YA) ve sarısı (YS) ısıya maruz kaldığında çok iyi pıhtılaşma özelliklerine sahiptir. Pastacılıkta (kekler, turtalar ve kremalar) ve et ürünlerinde (sosis) yaygın olarak değerlendirilmektedir. Yumurta akı, tatlılar, kekler, bisküviler gibi kabarması

istenilen hamurlarda gerekli olan köpürme özelliği ile tercih edilmektedir. YS, sıcak ve soğuk sosların (mayonez, hollandaise sosu) ve bisküvi, kek ile dondurmaların hazırlanmasında emülsifiye edici özelliği ile kullanılmaktadır (Buhl vd., 2019).

**Tablo 2.2: Kabuksuz Yumurthanın Kompozisyonu (100 g)**

Bileşen	%
Su	74.5
Protein	12.4
Yağ	11.5
Kül	0.94

**Kaynak:** Yüceer, 2007

### 2.2.2.1 Yumurta Akı Proteinleri

YA proteinleri, gıda kalitesi ve stabilitesinde çeşitli işlevleri olan, et ürünleri ve kurabiyeler gibi birçok gıdanın reçetesinde yer alan bileşenlerdir (Stefanović vd.,2017). YA, yumurtanın toplam ağırlığının yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Genel olarak bileşimi; %88 su ve %10,4 proteinlerden meydana gelmektedir. YA'nda bulunan proteinler arasında başlıcaları, ovalbumin (%54), ovotransferrin (%12), ovomukoid (%11), ovoglobulin (%4), ovomusin (%3,5), lizozim (%3,4) ve ovomakroglobulin (%0,5)' dir (Tablo 2.3) (Lee ve Paik, 2019).

**Tablo 2.3: Sıvı Yumurta Akı Protein Kompozisyonu**

Protein	%
Ovalbumin	51-54
Ovotransferrin	12
Ovomukoid	11
Ovomusin	3.5
Lizozim	3.4
Globülin	8.0
Ovoinhibitor	1.5
Ovoglikoprotein	1.0
Ovoflavoprotein	0.8
Ovomakroglobulin	0.5
Sistain	0.05
Avidin	0.05

**Kaynak:** Yüccer vd., 2012

YA, amfifilik ve yüksek yüzey hidrofobisitesi ile mükemmel köpüklenme özelliklerine sahiptir. Böylece, hava-su arayüzünde verimli bir şekilde adsorbe olabilmektedirler. Moleküler esneklikleri, arayüzde konformasyonel olarak yeniden düzenlemeyi kolaylaştırabilmektedir. Ayrıca, YA proteinleri özellikle denatürasyon meydana geldiğinde sürekli viskoelastik ağ oluşturabilmektedir (Pu vd., 2022).

Son yıllarda, YA proteinlerinin ısıya bağlı toplanması ve jel özellikleri birçok bilim adamı tarafından incelenmiştir. YA proteini, çok çeşitli kaynaklara ve makul bir fiyata sahip yüksek kaliteli protein olarak kabul edilmektedir. Endüstride köpüklenme, jelleşme ve emülsifikasyon özelliklerine sahip olmasının yanı sıra, yumurta akı proteini üstün biyoyumluluğa ve biyolojik olarak parçalanabilirliğe sahiptir. Bu ise YA'nın gıda, nutrasötik ve biyomedikal amaçlı kullanılmasını sağlamaktadır (Pu vd., 2022; Zhou vd., 2022).

YA albümini, gıda endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan doğal bir emülgatördür. Son yıllarda gıda işlemede iyi bir protein kaynağı ve fonksiyonel gıda bileşeni olarak dikkat çekmektedir. Albüminin ana bileşeni ise ovalbumindir (Yaşkıır, 2019).

Ovalbumin, 386 amino asit kalıntısından oluşan monomerik bir glikoproteindir. Yumurta akı protein kompozisyonunun ortalama %54'ünü oluşturmaktadır. Ovalbümin gıda kimyası ve tekstürel çalışmalarda en çok tercih edilen bir referans maddedir (Geng vd., 2019; Kan vd., 2021).

En bol bulunan ikinci YA proteini ovotransferrin ısıya karşı en duyarlı proteindir (Wang vd., 2022).

Lizozim, YA'nın %3,5'ini oluşturmakta ve dört intramoleküler disülfid (SS) köprüsü ile stabilize edilmektedir. Lizozimin bir kısmı elektrostatik çekim (ovomüsin-lizozim kompleksi) ile ovomüsine bağlanarak YA'nın yüksek viskozitesinden ve köpük stabilitesinden sorumludur. Lizozim, vücut sıvılarında ve birçok canlı organizmanın dokularında yaygın olarak bulunmakta olup, biyolojik preparatların ana kaynağını teşkil etmektedir (Kan vd., 2021; Prabhu ve Sarkar, 2022).

Doğal lizozim ve modifiye edilmiş formları, gıda depolamada, tıp, farmakoloji ve veterinerlik gibi alanlarda koruyucu özellikleri ile kullanılmaktadır. Lizozim, 100

°C'ye ısıtıldığında asidik ortamda özelliklerini koruyabilen kararlı protein yapısı olan bir enzimdir (Leśnierowski ve Yang, 2021).

Ovomüsin YA'nın %3,5'ini oluşturan, SS köprüleri tarafından çapraz bağlanan ve bir ağ yapısı oluşturan bir biyopolimerdir. Ovomüsin ağı, sıvı YA'nın yüksek viskozitesinden sorumlu olup, köpük stabilitesine katkıda bulunmaktadır (Wang vd., 2022).

### 2.3 Isıl İşlem ve Yumurta Akı Protein Görüntüleri

Proteinler, peptid bağları ve katlama hareketi ile bağlanmış farklı bazik amino asitlerden oluşan ikincil/üçüncül yapıları ile doğal olarak heteropolimerik makromoleküllerdir. Isıl işlemi sırasında, proteinler esas olarak polipeptit zincirinin açılması, matris denatürasyonu, yapı agregasyonu ve diğer davranışlara maruz kalmaktadır. Isıl işlem, protein ikincil yapısının dönüşümüne veya proteinin mekansal yapısını korumak için kullanılan ikincil bağları kırarak protein denatürasyonuna sebep olmaktadır (Li vd., 2020).

Proteinler için, ısıya bağlı açılma, protein molekülü içindeki hidrofobik grupların maruz kalmasını teşvik etmekte ve hidrofobik bir agregasyona yol açmaktadır. Proteinlerin ikincil  $\alpha$ -sarmal yapısı genellikle bu süreçte iki dinamik moda sahiptir: I. sıralı  $\alpha$ -sarmal, rastgele bobinler oluşturmak için açılır; II. moleküller arası kuvvet,  $\alpha$  sarmalını, protein bazlı ağın oluşumunu teşvik eden  $\beta$  tabakaya veya  $\beta$  dönüşüne dönüşmeye teşvik etmektedir. Yapısının kararlılığı, termal denatürasyon ve agregasyon sürecinde moleküller arasındaki hidrofobik, elektrostatik ve hidrojen bağlanma kuvvetleri tarafından korunur (Zhao vd., 2020; Xu vd., 2022; Zhang vd., 2022).

YA protein jelleşmesi özellikle ısıya bağlı denatürasyonun bir sonucu olarak, çapraz disülfid ve hidrojen bağları yoluyla 3B bir ağ yapısına yol açmaktadır. YA proteinlerinde 57 °C' de denatürasyon başlamaktadır. Yaklaşık 80 °C'de, YA katı ve aynı zamanda optik olarak opak hale gelmektedir. Bunun nedeni, proteinlerin ısıtıldığında bir ağ yapısı oluşturmasıdır (Begam vd., 2021; Xue vd., 2022).

YA'nın koagüle olma özelliği, uygulanacak olan ısıl işlemin maksimum sınırını belirlemektedir. Bu sınır ise genellikle 2-5 dk için yaklaşık 55-57 °C civarındadır (Yaşkıır, 2019).

YA'nın pastörizasyonu (3,5 dk boyunca 56,5 °C) viskozitede azalmaya ve yüzey hidrofobikliğinde ise artışa neden olmaktadır. Pastörizasyon kaynaklı yumurta akının incilmesi, protein agregasının depolimerize olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, daha yüksek sıcaklıklarda ise depolimerize proteinler ısıl agregasyona uğramaktadır (Liu vd., 2021; Liu vd., 2022; Gao vd., 2022).

### **2.3.1 Denatürasyon ve Koagülasyon**

Denatürasyon, bir protein yapının doğal durumundan daha düzensiz bir duruma kısmen veya tamamen açılması şeklinde açıklanabilir. Denatürasyon, protein molekülünün ikincil yapısında, üçüncül yapısında veya dördüncül yapısında, kovalent bağların bozulmasıyla sonuçlanan herhangi bir değişiklik olarak tanımlanabilen bir süreçtir. Proteinlerin neredeyse tamamı katlanır, genellikle katı formdadır ve üç boyutlu (3B) yapılara sahiptir. Protein yapısında meydana gelen değişiklikler kimyasal, fiziksel ve fonksiyonel özelliklerde değişiklikler ile oluşmaktadır. Denatürasyon “geri döndürülebilir” veya “geri döndürülemez” olabilmektedir (Tarhan vd., 2020; Liu vd., 2022).

Koagülasyon fiziksel olarak akışkan haldeki sıvının jel veya katı forma dönüşmesi durumudur. Yumurta akı proteinleri, mekanik etki, sıcaklık, şeker, alkali ve asit gibi faktörlerin etkisi ile koagülasyona uğramaktadır. Yapılan incelemeler doğrultusunda yumurta akı proteinlerinin % 54'ünü oluşturan ovomukoid ve ovalbuminin görevi jel oluşturmaktır. Koagülasyon sonucunda denatüre olan proteinler rastgele kümeleşmektedir. Kümeleşme sonucu oluşan pıhtı tekrar eski formuna dönüşmemektedir (Yaşkıır, 2019; Huppertz ve Chia, 2021).

Koagülasyon, protein yapısında ısı, mekanik etki veya asitlerin neden olduğu (sıvı formdan katı veya daha kalın bir sıvıya) değişiklik olarak tanımlanır. Koagülasyon sonucunda proteinler pıhtılaşır ve sıvı formlarına geri döndürülemez. Gıda karışımlarında süt ve yumurta en yaygın protein kaynağıdır. Protein içeren bir besin karışımı ısıtılırsa, proteinler daha katı hale gelir; yani pıhtılaşırlar. Bunun nedeni, ısının, protein moleküllerinin besin karışımındaki su

içinde daha hızlı hareket etmesine neden olması ve moleküllerin çarpışarak büyük, üç boyutlu ağlarda birbirine bağlanmasıdır (Razi vd., 2023).

Stabilite, gıdalarda bulunan bileşenlerin zaman içindeki kararlılık durumlarını temsil etmektedir. Proteinler küçük çevresel değişikliklerde bile hassastırlar (Kim vd., 2018).

Çözünürlük, proteinlerin en önemli fonksiyonel özelliği olarak, belirli bir pH, sıcaklık altında ve çözücü, tuzlar ve diğer katkı maddelerinin varlığında katı bir faz (kristal veya amorf) ile dengede olan doymuş bir çözeltideki protein konsantrasyonunu ifade etmektedir. Çözünürlüğü etkileyen faktörler iç (yani, protein yüzeyinde bulunan amino asitlerin türü) ve dış (yani sıcaklık, pH, iyonik mukavemet ve katkı maddeleri) parametrelere ayrılır. Denatürasyon, protein çözünürlüğünü etkileyen bir olgudur (Huppertz ve Chia, 2021).

Protein stabilitesi (PS) tasarımı, fiziko-kimya, termodinami, entropi, kimya, protein katlanması ve dinamiği gibi alanlarda kullanılan bir kavramdır. PS, bir proteinin doğal katlanmış konformasyonunda mı yoksa denatüre bir durumda mı olacağını belirleyen net kuvvet dengesidir ve genellikle gıda işlemenin kaderini belirlemek için termodinamik stabiliteye, amino asit bileşimine ve yapısına bağlıdır. Amino asit kalıntılarındaki bir değişiklik, yapısal stabiliteyi değiştirebilmekte ve yapısal hastalıklara yol açabilmektedir (Nair vd., 2018).

PS' nin bilinmesi protein katlanma sürecinin temel termodinamiğinin anlaşılmasında, protein mühendisliği ve biyoteknolojide, özellikle gıda ve ilaç tasarımında önemli bir rol oynamaktadır (Deller vd., 2016). Proteindeki konformasyonel değişiklikleri değerlendirmek ve işleme sırasında yapısal ve fonksiyonel özellikler arasındaki ilişkiyi anlamak için etkili tespit yöntemleri geliştirmek gerekmektedir (Wang vd., 2017).

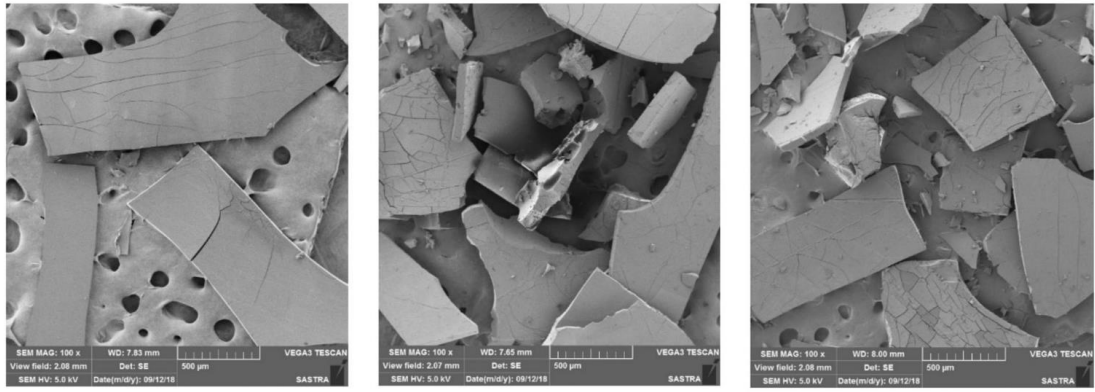
YA, %10 protein ve %90 ise sudan oluşmaktadır. Yaklaşık 60 °C'de pıhtılaşmaktadır. YS ise %15 protein, %50 su ve %35 oranında yağ içermektedir. Bu bileşimi, YS'nin beyazına göreceli olarak daha yüksek sıcaklıkta (68 °C) pıhtılaşmasına neden olmaktadır (Martins vd., 2018).

Genel olarak, proteinlerin ısıyla indüklenen agregasyonu, proteinlerin ilk denatürasyonunu ve açılmasını ve ardından fiziksel (kovalent olmayan) veya kimyasal (oksidasyon veya eSH/SeS değişimi yoluyla moleküller arası kovalent

çapraz bağlama) etkileşimleri veya her iki tipin kombinasyonu ile agregasyonu içermektedir. 60-70 °C'den yüksek sıcaklıklar, proteinlerin hidrojen, elektrostatik ve hidrofobik bağlarını yok etmektedir. Sıcaklık, su molekülleri arasındaki hidrojen bağlarını deforme ederek su yapısını bozmaktadır. Bu durum moleküler çarpışmaların sıklığını, tiyol-disülfid etkileşimlerini arttırmakta ve böylece denatürasyonu teşvik etmektedir. Yumurta proteinleri pıhtılaşma olarak bilinen kıvamlaşmaya başlamaktadır. YA 60 °C, YS 65 °C'de pıhtılaşmakta olup, tam pıhtılaşma ise 70 °C'de gerçekleşmektedir (Mishyna vd., 2019).

Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'da farklı sıcaklıklar uygulanmış, spreycuruducuda ve dondurularak kurutulmuş YA tozlarının taramalı elektron mikroskopları gösterilmektedir (Preethi vd., 2020).

Spreycuruducuda kurutulmuş yumurta akı tozu, benekli pürüzsüz yüzeyler ve porlar sergilerken (Şekil 2.8a), dondurularak kurutulmuş YA tozu ise oldukça gözenekli bir iskelet mikro yapı göstermektedir (Şekil 2.8b).



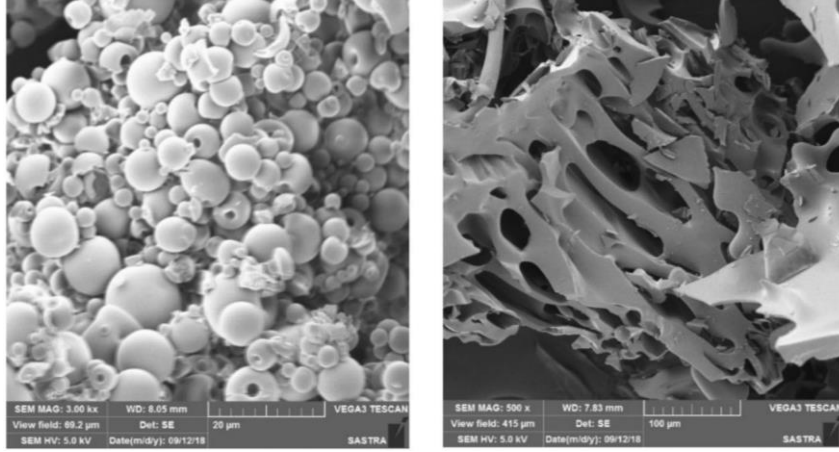
(40 °C)

(45 °C)

(50 °C)

**Şekil 2.7: Farklı sıcaklıklarda iletken hidro kurutma ile kurutulmuş yumurta akı tozlarının Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri**

**Kaynak:** Preethi vd., 2020



(a)

(b)

**Şekil 2.8: Sprey Kurutucuda (a) ve Dondurarak Kurutulmuş (b) Yumurta Akı SEM görüntüleri**

**Kaynak:** Preethi vd., 2020

## 2.4 Yumuşak Madde Kavramı ve Tanımı

Yumuşak madde, ısıl dalgalanmalarla kolaylıkla deforme olabilen veya toplam enerjisi ve karşılık gelen enerji miniması kT veya daha az sırada olan fiziksel durumların alt kümesi olarak tanımlanmaktadır (Ubbink vd., 2008).

Fizikçiler, yoğunlaştırılmış maddeyi, bir malzeme oluşturan etkileşimli atomların herhangi bir geniş koleksiyonu olarak ifade etmektedirler. Benzer şekilde, yumuşak maddeler, yumuşak yoğunlaştırılmış maddeler (gaz ve katı hallerdekiler dışında, genellikle basit sıvılar içermeyen malzemeler) olarak kabul edilmektedir (Fizik Enstitüsü, 2021).

### 2.4.1 Yumuşak Madde Fiziği Gözüyle Gıda

Yumuşak madde, hidrojen bağları, van der Waals kuvvetleri ve bazı tekniklerle (X-ışını saçılması, kalorimetri, optik mikroskopi, reoloji, sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olarak dielektrik spektroskopi) karmaşık bir organizasyon hiyerarşisine sahiptir.  $\pi$ - $\pi$  etkileşimler de dahil olmak üzere zayıf kuvvetler ve zayıf etkileşimler ile karakterize edilmektedir (Yumuşak Madde Fizik Lab, 2022).

Bir diğer ifade ile, yumuşak madde fiziği, köpüklerin, sıvı kristallerin, polimerlerin, koloidal dispersiyonların, mikroemülsiyonların, misellerin ve

çeşitli biyolojik sıvıların, süspansiyonların ve hatta granüler malzemelerin davranışlarını yöneten fiziksel ilkelerle ilgilenmektedir (Zhang vd., 2021).

Yumuşak madde bilimi, fizik, kimya, malzeme bilimi, biyoloji, nanoteknoloji ve mühendisliğin bulunduğu disiplinlerarası bir alandır. Gıda yapı olarak dengede veya denge haline yakın istikrarlı özellik sergilememektedir. Çünkü gıda doğası gereği karmaşık yapıda ve kompozisyonda olup, çok çeşitli kaynaklar ve farklı coğrafi konumların kültürel tercihlerinden etkilenmekte ve değişik yöntemlerle işlenmektedir. Bu durum, yumuşak madde fiziği yaklaşımının gıda bilimi ve teknolojisinde uygulanmasını kısmen zorlaştırmaktadır (Ubbink, 2012).

Bu nedenle, salt fizik perspektifinden bakıldığında, gıda mühendislik, işleme ve uygulamalı bilimler açısından oldukça karmaşık sistemler olarak görülmektedir (Vilgis, 2015).

#### **2.4.2 Yumuşak Madde ve Gıda İlişkisi**

Gıdalar, bileşimlerinde farklı özelliklere sahip ögeler içermeleri, çeşitli uzunluk ölçekleri olması (Örn. gıda tozlarının ilgili uzunluk ölçeği 10-500 nm arasında, nişastanın yapısı makromoleküler boyutta (1 µm), nişasta granüllerinin boyutu ise 1 µm boyutundaki uzunluk ölçeklerinde tanımlanır.), farklı kümelenme durumları kaynaklı karakteristikleri sebebiyle gıda kolloidleri, proteinler ve amfifilik polimerler de olduğu gibi yumuşak yoğun madde sistemleri olarak kabul edilmektedir (Zhang vd., 2021). Bu nedenle, yumuşak madde bilimi, gıdanın fiziksel özellikleri ve işlevselliği arasındaki ilişkileri teorik ve deneysel bulgular yoluyla fizik bilimi açısından kavranmasını arttırmaktadır (Ubbink, 2012).

Kimyasal proses optimizasyonu sistemin dengede ya da kısmen dengede olduğunu varsayan bir yaklaşımdır. Bu sayede kimyasal reaksiyonlar ölçeklendirilebilmekte ve optimize edilebilmektedirler. Öte yandan, gıda, dengeye yakın olma varsayımına uymayan bir matristir. Çünkü gıda süreçlerini optimize etmek kimyasal süreçlerin optimizasyonundan daha zor bir işlemdir. Gıda süreçleri aynı anda yapı, doku ve lezzet yaratma eğiliminde oldukları için, bu yaklaşım birbirlerinden ayrılması zor olan bir dizi karmaşık etkileşime yol açmaktadır (Burbidge ve le Révérend, 2016).

Sert malzemeler dış etkilere karşı dayanıklı iken, yumuşak malzemeler daha hassastırlar. Fizikçiler ekseriyetle basit ve yalın sistemlerle uğraşmayı tercih etmektedirler. Diğer taraftan, de Gennes (1992), yumuşak madde fiziği yaklaşımı ile 'düzensiz fiziksel sistemlerin" de genel fizik terimleri kullanılarak açıklanabileceğini savunmuş ve Nobel ödülünü almıştır (Zhou, 2019).

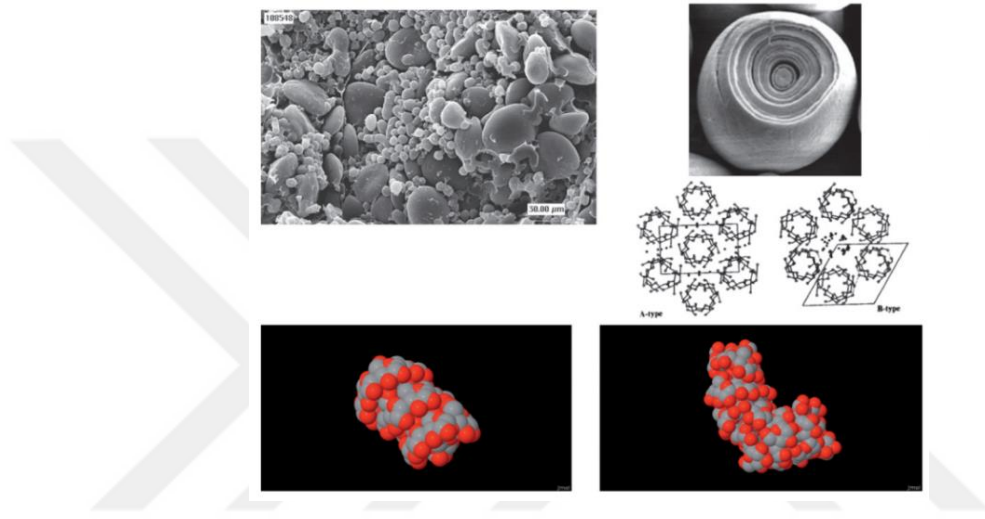
Çikolata veya kristal yağ gibi 'sert madde' sayılmayan emülsiyonlar, hamur, makarna ve et, tüm uzunluk ve zaman ölçeklerinde yumuşak madde yaklaşımı ile moleküler bir temelde açıklanabilmektedir. Bunun önemli bir sonucu, makroskopik özelliklerin ve algının, tüm uzunluk ve zaman ölçeklerinde moleküler etkileşim tarafından tanımlandığı noktadır (Vilgis, 2015).

Van der Sman (2012), gıdalara yumuşak madde yaklaşımının "dağınık fazlar (sütteki kazein miselleri, yumurta sarısındaki lipoproteinler, gıda kolloidleri) ve uzunluk ölçekleri" kavramları ile atıfta bulunurken, Ubbink vd. (2008) ise gıdayı tanımlarken "yumuşaklık" terimini kullanmaktadır. van der Sman (2012) ve van der Goot (2009) yumuşak maddelerin tümüne yakınının prensipte termodinamik olarak kararsız olduklarını ve bu nedenle stabil duruma dönüştürülmeleri gerektiğini vurgulamaktadırlar. De Kruif (2012), çoğu gıdanın dinamik olarak bütünleştiğini savunurken termodinamik olarak sütteki stabil kazein miselini örnek göstermektedir.

Vilgis (2015), gıda kimyası alanı dışında 'gıda fiziği' konusunun yeni bir alan olarak ele alınmasına gerek olduğunu savunmaktadır. Bu görüşün temelinde ise fizik biliminin basit modellemeleri kullanarak gıda sistemlerine nispeten 'düzen ve stabilite' sağlayabileceği görüşü bulunmaktadır (Vilgis, 2015).

Gıdalar yumuşak madde açısından genellikle çeşitli mezo ölçekteki (10-1000 Å) yapısal unsurlar içermektedir (Gücüyener, 2006). Örneğin, süt gıda kolloidi olarak örnek gösterilebilmektedir. Stabilizatör olarak protein parçacıkları içeren bir su-yağ emülsiyonudur. Kazein miselleri kararlı kolloidal partikül olup, sütün emülsiyon yapısında oluşmasına neden olmakta, sütün yüksek sıcaklıklarda sterilizasyona veya homojenizasyona karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Benzer şekilde, mayonez de doğal stabilizasyona bir başka örnek olarak verilebilir. Yumurta sarısının lipoprotein parçacıkları, yağ-su arayüzünün adsorpsiyon katmanında dengeleyici olarak davranmaktadır. Diğer taraftan, polisakkarit/polisakkarit (kalınlaştırıcı veya jelleştirici ajanlar) ve

polisakkarit/protein (emülsiyon stabilizatörleri) karışımları da yumuşak madde kombinasyonları olarak kabul edilmektedir. Gıda matrisinin içindeki etkileşimler ve kendi kendine yapılanabilme özelliği aynı zamanda gıdanın yumuşak madde fiziği perspektifinden incelenmesini sağlamaktadır. Şekil 2.9’da nişasta moleküllerinin kendi kendine yapılanma durumu görselleştirilmiştir. Kendi kendine yapılanma durumu genel olarak gıdaların üst düzey hiyerarşik yapısını belirlemekte ve dokusunu, duyuşal durumunu ve stabilitesini etkilemektedir (Zhang vd., 2021).



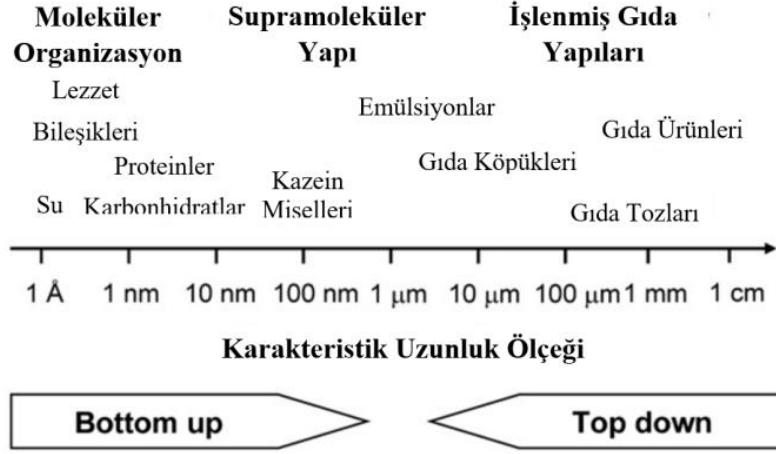
**Şekil 2.9: Nişastada doğal olarak oluşan hiyerarşik yapılanma**

**Kaynak:** Ubbink vd., 2008

### 2.4.3 Uygulama Alanları ve Fırsatlar

Gıda yumuşak madde kabul edilmesine rağmen yumuşak madde fiziği perspektifinden yapılan araştırmalar yeterli düzeyde değildir (Boire vd., 2018).

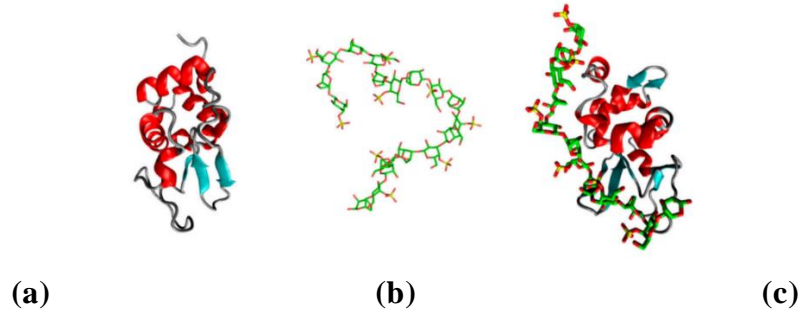
Mezoskopik yapılar (molekülerden milimetreye kadar ara uzunluk ölçekleri) gıdaların makroskopik özelliklerini belirlemekte ve yumuşak madde biliminin ana odağını oluşturmaktadır (Hogan vd., 2016). Mezoskopik boyuttaki ilgili uzunluk ölçekleri, farklı gıda örnekleri (moleküler boyuttan işlenmiş yapılara kadar) ile Şekil 2.10’da gösterilmektedir.



**Şekil 2.10:** Gıdaların karakteristik uzunluk ölçekleri ve temsili gıda yapıları örnekleri

**Kaynak:** Ubbink, 2008

Son yıllarda, gıda bilimcileri fonksiyonel yapılar, protein etkileşimleri, faz geçişleri ve gıdanın yapısal özellikleri (özellikle arayüzler) gibi karmaşık konulardaki ilişkileri anlamak için yumuşak madde yaklaşımını kullanmışlardır. Şekil 2.11’ de protein-polisakkarit jelde  $\kappa$ -karragenan ile lizozimin moleküler etkileşimi sonucunda oluşan yapı (2.11c) gösterilmektedir. Bu durum yumuşak madde perspektifinden incelendiğinde moleküler etkileşim ile kendiliğinden oluşan yapısal değişimler gözlemlenmektedir (artan beta tabaka). Yumuşak madde fiziği yaklaşımı gıda bilimcileri ve gıda endüstrisi için novel çözümler sunabilecektir (Vilgis ve Limbach, 2016; Boire vd., 2018).



**Şekil 2.11:** Protein-polisakkarit jelde  $\kappa$ -karragenan ile moleküler etkileşimler (a) lizozim (b)  $\kappa$ -karagenan (c) lizozim ve  $\kappa$ -karagenan kompleksi (artan beta-tabaka durumu). Renk kodlaması:  $\alpha$ -sarmal: kırmızı,  $\beta$ -tabaka: mavi, C atomu: yeşil, S atomu: sarı, O atomu: kırmızı, H atomları gösterilmemiştir.

**Kaynak:** Makshakova vd., 2022

Genel olarak, yumuşak madde fiziği, gıda bilimciiler açısından teorik yaklaşımlar sağlayarak karmaşık gıda bilimi konularına anlamakta yardımcı olabilecektir.

## **2.5 Spektroskopi Yöntemleri ve Gıdalarda Uygulama Alanları**

Spektroskopik yöntemler moleküllerin kızılötesi bölgede elektromanyetik radyasyon ile etkileşmesi esasına dayanmakta olup, gıda bileşenlerine ilişkin hızlı bilgi vermeleri, basit kullanımları, tahribatsız ve hassas olmaları, toksik reaktif veya çözücü gerektirmemeleri gibi avantajlara sahiptirler. Aynı zamanda, gıdanın moleküler kompozisyonu, yapı ve etkileşimleri ile ilgili yararlı veriler de sağlamaktadırlar (Tarcan ve Küplülü, 2021).

Spektroskopik yöntemlerden bazıları yakın kızılötesi spektroskopi (NIR), orta kızılötesi spektroskopi (MIR), FTIR, Raman veya nükleer manyetik rezonans (NMR) gibi yöntemlerdir. Bu yöntemler basit, hızlı, hassas ve doğru olup, deneysel alet ve ekipman gereksinimini azaltmaktadırlar (Esteki vd., 2018).

Spektroskopi yöntemleri çeşitli hammaddelerin (süt ürünleri, şekerleme ve bebek maması vb.) hızlı taranması, taklit ve hile ile kalite kontrol amaçlı kullanılmaktadır (da Costa Filho vd., 2022; Liu vd., 2022).

### **2.5.1 Manyetik Rezonans Görüntüleme**

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MR) temel prensibi, uyarılmış örneklerin içyapısını hızlı ve tahribatsız biçimde görselleştirmektir. MR tabanlı sistemler gıdanın kalite kontrolü amaçlı kullanılmaktadır (Ozel ve Oztop, 2021; Chai vd., 2022). MR, gıda için tahribatsız bir teknik olup, ön hazırlama veya çözücü gerektirmeyen hızlı, kullanımı basit ve yüksek enstrümantal stabiliteye sahip bir tekniktir (Sedaghat Doost vd., 2019; Balthazar vd., 2021).

### **2.5.2 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometri**

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometri (FTIR), organik ve inorganik bileşenlerin karakterize edilmesinde kullanılan yöntemlerden birisidir. Küçük yapısal değişikliklere duyarlı amino asitlerin ve kofaktörlerin titreşimsel özellikleri bu teknik ile araştırılabilmektedir (Al-Lafi ve AL-Naser, 2022).

**Tablo 2.4: Peptit bağlarının karakteristik kızılötesi bantları**

İsim	Yaklaşık Frekans (cm <sup>-1</sup> )	Tanım
Amid A	3300	NH germe
Amid B	3100	NH germe
Amid I	1600-1690	C=O germe, NH bükme
Amid II	1480-1575	CN germe, NH bükme
Amid III	1229-1301	CN germe, NH bükme
Amid IV	625-767	OCN bükme
Amid V	640-800	Düzlem-dışı NH bükme
Amid VI	537-606	Düzlem-dışı C=O bükme
Amid VII	200	İskelet burulması

**Kaynak:** Kong ve Yu, 2007

FTIR spektroskopisi, bir numune tarafından IR radyasyonunun absorpsiyonunun dalga boyu ve yoğunluğunun bir ölçümüdür. Yüksek polimerlerin IR spektral verileri genellikle yapısal bir tekrar biriminin titreşimleri cinsinden yorumlanmaktadır. Polipeptit ve protein tekrar birimleri, Amid A, B ve I–VII olmak üzere dokuz karakteristik IR absorpsiyon bandına yol açmaktadır. Bunlardan Amid I ve II bantları, protein omurgasının en belirgin iki titreşim bandıdır. Protein ikincil yapısal bileşenlerine en duyarlı spektral bölge, neredeyse tamamen peptit bağlantılarının C=O gerilme titreşimlerinden (yaklaşık %80) kaynaklanan Amid I bandıdır (1700–1600 cm<sup>-1</sup>). Amid I bandı bileşenlerinin frekanslarının, proteinlerin her bir ikincil yapısal elemanı ile yakından ilişkili olduğu bulunmuştur. Amid II bandı, aksine, esas olarak düzlem içi NH bükülmesinden (potansiyel enerjinin %40-60'ı) ve CN germe titreşiminden (%18-40) türemektedir. Diğer amid titreşim bantları, kuvvet alanının ayrıntılarına, yan zincirlerin doğasına ve hidrojen bağına bağlı olarak karmaşıktır. Bu nedenle protein konformasyonel çalışmalarında çok az pratik kullanımları vardır (Tablo 2.4) (Rakipov vd., 2022; Chaudhari ve Bhongale, 2022).

### 2.5.3 Diğer Spektroskopik Yöntemler

Foton korelasyon spektroskopisi (PCS) yöntemi, parçacıklar üzerindeki dağınık ışığın yoğunluğundaki dalgalanmaların korelasyon fonksiyonunu analiz ederek dağınık fazların parçacık boyutlarını belirlemek için tasarlanmıştır (Blinov vd., 2022).

Dinamik ışık saçılımı metodu (DLS) teknolojisi nanopartiküllerin ve mikron altı parçacıkların tanecik boyutu dağılımını ölçmek için etkili bir yöntemdir. Basit numune hazırlama, invaziv olmayan, yüksek derecede otomasyon, yüksek hassasiyet, yüksek hız, temassız vb. avantajlara sahiptir (Chen vd., 2022).

Raman spektroskopisi, foton-molekül etkileşimine dayanan titreşimsel bir spektroskopi tekniğidir. Titreşimsel spektroskopi tekniklerinin geri kalanından farklı olarak, raman spektroskopisi, numunenin titreşen molekülleriyle etkileşimi yoluyla yayılan olay radyasyonunun elastik olmayan saçılma fraksiyonunu ölçmeye dayanır (Arroyo-Cerezo vd., 2021).

X-ışını floresansı (XRF) tabanlı analitik yöntemler, gıda ürünlerindeki mineral içeriğini belirlemek için bir alternatif olabilmektedir. Umut verici olmasına rağmen, XRF'nin uygulanması gıda analizinde zordur. Örneğin, tanecik boyutu, formu, nemi ve matris heterojenliği, tahmin yöntemlerinin doğruluğunu etkileyebilmektedir (Sperança vd., 2021).

Kütle spektrometresi görüntüleme (MSI), genel analitik kimyanın en çekici teknolojilerinden birisidir. Kimyasal bilginin yanı sıra, moleküler türlerin matriste dağılımını yüksek verimlilikle verebilmektedir (Zou vd., 2022).

Alternatif olarak, ultraviyole görünür (UV-Vis) bölgesindeki moleküler absorpsiyon spektroskopisi rutin analiz laboratuvarlarında hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli sonuçlar vermesi ile öne çıkmaktadır (Dağlıoğlu, 2018; de Souza vd., 2021).

## **2.6 Radyografi Yöntemleri ve Gıdalarda Uygulama Alanları**

### **2.6.1 Bilgisayarlı Tomografi**

Gelişen teknoloji sayesinde tıbbi görüntüleme cihazları ile gıdaların duyu kalitesini, stabilitesini ve supramoleküler yapılarını incelemek mümkün olmaktadır. Histogram tabanlı ön işleme ve gradyan tabanlı yüksek çözünürlüklü görüntü işleme tekniklerine sahip tomografi cihazları sayesinde gıda araştırmalarının fiziki boyutunu anlamak mümkün hale gelmiştir. Bilgisayarlı Tomografi (BT) uzun zamandan beri tıbbi ve malzeme bilimi için kullanılırken, uygulama alanı son yıllarda genişleyerek gıda alanına da sızmıştır. BT,

özellikle, malzemelerin karmaşık yapılarını tahribatsız şekilde iç geometrisini ölçmek için fırsatlar sunmaktadır (Sharma vd., 2022; Mengucci vd., 2022).

## **2.7 Yapay Zekânın Gıda Bilimi ve Teknolojisinde Uygulama Alanları**

Yapay Zekâ (YZ), minimum insan müdahalesi ile akıllı davranışı modellemek için bilgisayar teknolojisinden faydalanılan bir terimdir. Doğal canlı zekâsının aksine makineler tarafından görüntülenen bir tür zekâ çeşididir. YZ prostatektomiler ve jinekolojik cerrahi prosedürler, kalp kapakçıklarına müdahale gibi alanlarda deneysel ve klinik tıp kapsamında kullanılmaktadır (Hamet ve Tremblay, 2017; Sak ve Suchodolska, 2021).

YZ teknolojileri, doğrusal olmayan fonksiyon yaklaşımı, model algılama, veri yorumlama, optimizasyon, simülasyon, tanı, kontrol, gürültü azaltma, kümeleme ve veri sıralama sorunlarını çözmek için tercih edilmektedir. Karmaşık ve dinamik olayların lineer olmayan davranışlarını haritalamak için kendi kendine öğrenme ve uyarlanabilir yeteneği, güçlü hata toleransı ve yüksek derecede doğruluk gibi avantajları nedeniyle gıda teknolojilerinde de faydalanılmaya başlanmıştır (Sun vd., 2018; Bedoya vd., 2022).

Görüntüleme teknikleri gıdaların yapısal değişimlerini açıklayabilmek için yüksek çözünürlüklü ve büyük sayıda veriler (tanımlayıcılar) üretmektedir. Ayrıca, her bir görüntüleme tekniğinin kendine özgü analitik ve tanımlayıcı dizileri bulunmaktadır. Bu gibi farklı tanımlayıcılar, YZ çerçeveleri için başlıca girdileri oluşturmaktadır (Mengucci vd., 2022).

Makine öğrenmesi (MÖ) YZ'nin bir alt dalıdır. MÖ ile yazılım kodu yazılmasına gerek duyulmadan belirli bir veri kümesi hakkında kendine özgü mantığın oluşturulduğu tahmine dayalı bir tekniktir. MÖ bu yönüyle özellikle klinik medikal alanlarda deneyim ile öğrenme konusunda önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Bilgiler klinik kanıtlara çevrilebilmekte; bilgisayarlar klinik sonuçları tahmin ederek hastalıkları tanıyabilmekte ve tedavi stratejilerini optimize edebilmektedir (Hügler vd., 2020).

MÖ teknikleri: (1) Gözetimli Öğrenme (Supervised Learning), (2) Gözetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning), (3)Yarı-Gözetimli Öğrenme, (4)Pekiştirmeli

Öğrenme (Reinforcement Learning) ve (5)Aktif Öğrenme (Active Learning) olarak beş alt kategoride sınıflandırılmaktadır (Antony ve Kumar, 2021).

YZ, gıdaların yapısal değişimlerinden elde edilen görüntüleri gıdanın farklı özellikleri arasındaki karmaşık ilişkileri anlamak için kullanılabilir. Bir diğer ifadeyle, karmaşık ve sınırlı miktardaki verilerden yola çıkarak tahmine dayalı modellemenin oluşturulmasını önleyebilmektedir. Bu sebeple, heterojen verileri işleyebilen YZ yazılımı, gıdaların fonksiyonel özelliklerinin öngörülebilmesinde ilgi çekmektedir (Camaréna, 2020; Manning vd., 2022).

Yapay bilgi teknolojileri gıda endüstrisi için de Endüstri 4.0 olarak bilinen yeni bir çağın önünü açmaktadır. YZ'nın bir alt alanı olan MÖ de bu tekniklerden birisidir (Hügler vd., 2020; Ramirez-Asis vd., 2022; Addanki vd., 2022).

Duyarlılık (Gerçek Pozitif Oran) ve özgüllük (Gerçek Negatif Oran) YZ uygulamalarında sıklıkla kullanılan terimlerdir. Gıda görüntüleri üzerinde gerçekleştirilen YZ uygulamalarında %74-85 duyarlılık ve %86-87 özgüllük elde edilebilmektedir (Jia vd., 2019; Berná ve Romero-Gomez, 2020).

Yumurta yüksek miktarda protein içeren bir gıda maddesidir. YA proteinleri ısı ile denatüre olmakta ve stabiliteleri azalmaktadır. Protein denatürasyonunun incelenmesi stabilitesinin anlaşılması için gereklidir. Bu çalışmada YA'na yumuşak madde kavramı ile yaklaşarak, farklı ısı işlemlerinde D<sub>2</sub>O'nun protein fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin spektroskopi, radyografi ve yapay zekâ teknikleri ile araştırılması hedeflenmiştir.

# ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

## GEREÇ VE YÖNTEM

### 3.1 Gereç

Bu araştırmada kullanılan yumurta akı, İstanbul piyasasındaki gıda marketlerinde satışa sunulan tüketime hazır taze-çiğ yumurtalardan elde edilmiştir. D<sub>2</sub>O (99.9 Atom % D) (Sigma Aldrich 151882-250G, Darmstadt, Almanya) atomik izini işlemi İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi (İZÜ) tarafından Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Nükleer Güvenlik Dairesi Başkanlığı'dan alınan izin yetki belgesi ile Interlab firması (İstanbul, Türkiye) tarafından temin edilmiştir.

### 3.2 Yöntem(ler)

Araştırmada uygulanan yöntemler: (1) kuru madde ve rutubet miktarı tayini, (2) örnek hazırlama, (3) ısıtma işlemi uygulama, (4) dondurarak kurutma, (5) FTIR ve eğri uydurma analizi, (6) MR ve BT görüntüleme, (7) YZ (MÖ) analizi ve (8) istatistik analiz`dir.

#### 3.2.1 Kuru Madde ve Rutubet Miktarı Tayini

Analize alınacak YA örneklerinde kuru madde (KM) miktarı (%) Dijital Abbe Refraktometre (Selecta Way 2S Model, Shandong, China) ile tayin edilmiştir. Cihaz ilk olarak saf su ile kalibre edilmiş ve briks değeri 0 (sıfır) okunmuştur. Daha sonra prizmaya 1-2 damla YA damlatılmış, prizma kapağı birkaç kez açılıp kapatılarak varsa hava kabarcıklarının çıkması sağlanmıştır. Görüntü netleştirilmiş, kırılma indisi okunmuş ve sırasıyla kütlece kuru madde ve rutubet (%) miktarları belirlenmiştir. Rutubet miktarı, ısıtma işlemi görecektir YA örneklerine eklenecek distile su ve D<sub>2</sub>O miktarlarını hesaplamak için kullanılmıştır.

#### 3.2.2 Örnek Hazırlama

Tedarik edilen taze çiğ yumurtaların kabukları kırılarak YA ayrı bir behere aktarılmıştır. Dondurarak kurutma işlemi için 5 adet steril petri plak hazırlanmıştır. Hazırlanan petri plaklarına iki farklı ısıtma işlemi uygulaması yapılan

YA örneklerinden 10 g aktarılmış, kapakları kapatılmış ve dondurarak kurutma işlemine kadar +4 °C`de bekletilmiştir.

Sıcaklık ve yüksek su aktivitesi yumurta ve yumurta ürünlerini son derece hassas gıdalar haline getirmektedir. Su, biyomoleküllerin yapısını, stabilitesini ve fonksiyonlarını belirlemekte önemli roller oynamaktadır. D<sub>2</sub>O, normal suya göre daha vizkoz olup, erime ve kaynama noktaları yüksektir (Morawietz vd., 2016). Çalışmamızda, D<sub>2</sub>O'nun ısı değişimlere karşı tolere edici özelliğinden yola çıkarak, YA proteinleri sekonder yapıları üzerindeki etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu sebeple, ısı işlem alınacak örnekler için toplam 12 adet 20 ml falkon tüp hazırlanmıştır. Denatürasyon sıcaklığına (61 °C) maruz kalacak tüpler 0, 2 ve 4 ve koagülasyon sıcaklığında (85 °C) işleme girecek tüpler ise 1, 3 ve 5 olarak numaralandırılmıştır. İlk seri için, 0 ve 1 numaralı falkon tüplerine 10 ml YA, 2 ve 3 numaralı falkon tüplerine 10 ml YA ve 1,4 ml distile su, 4 ve 5 numaralı falkon tüplerine ise 10 ml YA ve 1,4 ml D<sub>2</sub>O pipetlenmiştir (Tablo 3.1). Aşılarda %7-25 oranında D<sub>2</sub>O ilavesi protein denatürasyonunu önlemektedir (Sen vd., 2009). Bu sebeple, distile su ve D<sub>2</sub>O, YA örneklerine rutubet miktarının ortalama %16'sı olacak şekilde ilave edilmiştir. Tüplerin ağızları kapatılmış ve 2 dk vortekslenmiştir (Vortex Mixer, Four E15 Scientific) (Yalçın, 2022; Ekmekçi, 2022). Vortekslenen örnekler ısı işlem uygulamalarına alınmıştır.

**Tablo 3.1: Örnekler**

Isıl İşlem	Örnek No		
Denatürasyon (61 °C)	0	2	4
Bileşim	YA – çiğ	YA + dH <sub>2</sub> O	YA + D <sub>2</sub> O
Koagülasyon (85 °C)	1	3	5

### 3.2.3 Isıl İşlemler

Madde 3.2.2`de hazırlanan YA örnekleri Membert su banyosunda (WNB 14/, E-114-EBL, Almanya) sırasıyla; (1) 61 °C/4,1 dk denatürasyon ve (2) 85 °C/8,2 dk koagülasyon ısı uygulamasına alınmıştır (Uysal vd., 2017). Isıl işlem uygulamaları bitiminde bir seri örnek petri plaklarına aktarılmış ve dondurarak kurutma işlemine alınmıştır. İkinci seri örnekler ise +4 °C`de MR ve BT

analizleri için Kolan Sağlık Grubu (Bayrampaşa, İstanbul) Radyoloji Birimine götürülmüştür.

### **3.2.4 Dondurarak Kurutma**

Dondurarak (Donmalı) kurutmanın amacı, örneklerdeki rutubetin kızılötesi dalgaboyunda kuvvetli sinyal vererek FTIR spektrumu üzerinde baskın olması ve protein bantlarını maskeleyesidir. Su kaynaklı meydana gelen bu etkileşimi minimize edebilmek için örnekler kurutulmuş olarak incelenmiştir. Madde 3.2.3'te ısıtma işlemi görmüş örneklerin ilk olarak rutubet miktarı ISO 1442:2007 protokolüne göre belirlenmiştir. Rutubet miktarı belirlenen, distile su ve D<sub>2</sub>O eklenen örnekler donmalı kurutucuya (Teknosem Toros TRS 2/2 V, Almanya) yerleştirilmiştir. Cihazın sıcaklığı -55 °C'ye ayarlanmış ve 21,5 saat boyunca 1,0x10<sup>3</sup> mbar vakum altında 20 °C'de kurutma sona ermiştir (Zhao vd., 2020). Kurutulmuş YA örnekleri bir sonraki aşama olan FTIR ve eğri uydurma analizlerine alınmıştır.

### **3.2.5 FTIR ve Eğri Uydurma Pik Analizi**

Farklı ısıtma işlemleri gören YA örneklerinde proteinlerin Amid I bandı ikincil yapılarında denatürasyon ve koagülasyon altında değişim düzeyleri incelenmiştir. Bu bağlamda, FTIR cihazı okuma tablasına 100 µg dondurularak kurutulmuş YA örneği konulmuş, 1700-1590 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında, 4 cm<sup>-1</sup> çözünürlük ve her spektrum için 1 cm/s tarama hızı ile okumalar alınarak spektrum grafiği elde edilmiştir. Elde edilen spektrumun ikinci dereceden türevi alınmış ve Origin programı (Origin 2018 Highlights, ABD) kullanılarak eğri uydurma (curve fitting) pik analizi alan hesaplamaları ile ikincil yapıların % oranları hesaplanmıştır. Amid I bandı yapıların referans dalga boyu aralıkları: β-tabaka 1624-1642 cm<sup>-1</sup>, düzensiz sarmal 1646-1650 cm<sup>-1</sup>, α-sarmal 1654-1658 cm<sup>-1</sup>, <sub>310</sub> heliks 1660-1666 cm<sup>-1</sup> ve β-dönüşler için 1674-1687 cm<sup>-1</sup> olarak kabul edilmiştir (Kong ve Yu, 2007; Shimadzu, 2019; Tarhan vd., 2020).

### **3.2.6 Manyetik Rezonans ve Bilgisayarlı Tomografi Analizleri**

Madde 3.2.4'de ısıtma işlemi gören örneklerden bir serisi Manyetik Rezonans (MR) ve Bilgisayarlı Tomografi (BT) testleri için +4 °C'de Kolan Sağlık Grubu

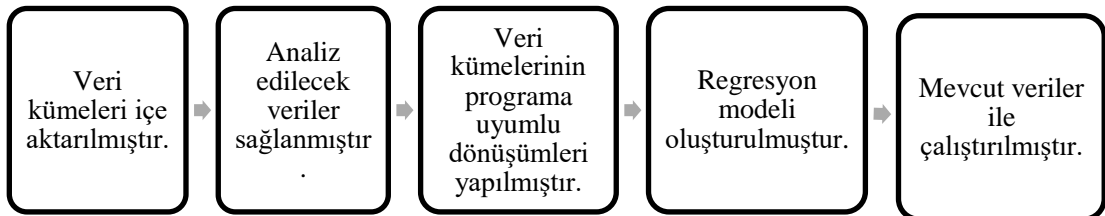
Bayrampaşa Hastanesi Radyoloji Birimine getirilmiştir. MR görüntüleme için Radyoloji birimi beyin MR protokolü izlenmiş ve Magnetom Essenza 1,5 Tesla MR (Siemens, Almanya) cihazı kullanılmıştır. Örnekler T<sub>2</sub> ve T<sub>1</sub> Space Sagittal Plan 1mm'lik sekans ve 3B TOF sekansı olmak üzere 3 tane en hassas sekans kullanılarak görüntülenmiştir. Bu 3 sekanstan alınan her görüntü ile sagittal, aksiyal ve koronalda 3 boyutlu görüntüler elde edilmiştir. BT görüntüleme için Radyoloji Birimi BT protokolü takip edilerek, 400x400 matris rekonda 95 mm<sup>3</sup> ile en yüksek çözünürlüklü Biograph Vision BT (Siemens, Almanya) cihazı kullanılmıştır. Testlerin bitiminde görüntüler CD'lere aktarılmış ve YZ (MÖ) analizine alınmıştır.

### 3.2.7 Makine Öğrenmesi Basit Lineer Regresyon Analizi

Madde 3.2.6'da elde edilen MR (42 adet renkli ve 300 adet gri) ve BT (12 adet renkli ve 873 adet gri) veri kümeleri (görüntüler), farklı ısıl işlemlere maruz bırakılmış YA örneklerdeki fizikokimyasal değişimleri sınıflandırma ve tahmine dayalı modelleme için MÖBLR analizine alınmıştır.

MÖBLR alt tekniği olarak "Gözetimli Öğrenme (Supervised Learning)" tercih edilmiştir. Gözetimli öğrenme, algoritmaya gönderilen (eğitim) verilerini, etiket (label) olarak adlandırmakta ve istenilen çözümleri içermektedir. En çok rastlanan gözetimli öğrenme görevi ise sınıflandırmadır (classification). Aynı zamanda, gözetimli öğrenme örneklerinden birisi olan regresyon, eldeki verilerden tahminler yapabilmeye dayanmaktadır (Antony ve Kumar, 2021).

MÖBLR beş temel adımda gerçekleştirilmiş ve test bitiminde model sonuçlarının doğruluk düzeyleri kontrol edilmiştir (Şekil 3.1) (Spiliopoulou vd., 2014).



Şekil 3.1: MÖBLR analizi işlem adımları

Kaynak: Spiliopoulou vd., 2014

Bu çalışmada, verileri önceden işlemek, boyutluluğu azaltmak, regresyon, sınıflandırma ve kümeleme uygulamak için kullanışlı araçlar sunan SK-LEARN (Python kütüphanesi) yardımı ile lineer regresyon yaklaşımı uygulanmıştır. Lineer regresyon, veri setinde gözlenen hedefler ile lineer yaklaşımla tahmin edilen hedefler arasındaki artık kareler toplamını en aza indirmek için katsayılı lineer bir model uygulanmaktadır. MÖ algoritmasının ölçümü ve değerlendirmesi Karışıklık Matrisi ile yapılmıştır. Karışıklık Matrisi, yer gerçeği etiketlerine karşı model tahminlerinin tablo şeklinde görselleştirilmesidir. Karışıklık matrisinin her satırı, tahmin edilen sınıftaki örnekleri ve her sütunu ise gerçek sınıftaki örnekleri temsil etmiştir. Karışıklık Matrisi tam olarak performans ölçüsü olmayıp, diğer ölçütlerin sonuçlarının değerlendirildiği bir tür temel yaklaşımdır. Bu matrise göre Doğru Pozitif (DP), Doğru Negatif (DN), Yanlış Pozitif (YP) ve Yanlış Negatif (YN) olarak adlandırılan değerler sonucunda "Pozitif" ve "Negatif" olarak iki sınıfa ait dört farklı değer elde edilmektedir. Bu değerler, verilen bir veri kümesinde gerçekte ait olduğu sınıfı ve tahmin sonucu öngörülen sınıf ile eşleşen ve eşleşmeyen örneklerin sayısını göstermektedir. Doküman sınıflandırmada sıklıkla kullanılan karşılaştırma yöntemleri kesinlik ve anma ölçüleri ile belirlenmektedir. Kesinlik ve anma değerleri tek başlarına anlamlı bir karşılaştırma sonucu için yeterli değildir. Her ikisini beraber değerlendirmek daha doğru sonuçlar vermektedir. Kesinlik ve anma değerlerinin her ikisinin de aynı anda iyi olması amacıyla F-puanı değeri hesaplanmaktadır (Kutlugün, 2017). Bu bağlamda, veri setleri (görüntüler) ilk olarak 512 x 512 piksel olarak yeniden boyutlandırılmıştır. MR ve BT veri kümeleri (görüntüler), A (Denatürasyon) ve B (Koagülasyon) etiketine sahip görüntünün dijital sayı değerinin matrisi ve model girişi olarak kullanılmıştır. Karışıklık matrisi oluşturulmuş, kesinlik, anma ve F-puanı değerleri ile hesaplanmıştır.

### 3.2.8 İstatistik Analiz

Denatürasyon ve koagülasyon işlemlerine maruz bırakılan YA örneklerinin gruplar arası ikincil yapılarında  $\alpha$ -heliks,  $3_{10}$  heliks,  $\beta$ -tabaka,  $\beta$ -dönüş ve düzensiz sarmal % değişimler arasındaki ilişki düzeyi parametrik yöntem Pearson Korelasyon tekniği ile istatistiksel olarak test edilmiştir ( $p < 0.05$ ). İstatistik analiz SPSS 20 (IBM Corporation, NY, ABD) paket programı kullanılarak yapılmıştır.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### BULGULAR

#### 4.1 Yumurta Akı Kuru Madde ve Rutubet Tayini Bulguları

Taze çiğ YA'ndan alınan üç örnek için İndis (nD), Brix (KM) ve rutubet içerikleri Tablo 4.1'de sunulmuştur. Örneklerin ortalama İndis (nD)  $1.3540 \pm 0.0075$ , ortalama brix (KM) değeri  $\%11.8 \pm 2.3$  ve ortalama rutubet değeri ise  $\%98.6460 \pm 0.0075$  olarak belirlenmiştir (Tablo 4.1.).

**Tablo 4.1 YA örnekleri için kuru madde ve rutubet oranları (%)**

Parametre/Örnek no	1	2	3	Ort $\pm$ Ss
İndis (nD)	1.3536	1.3468	1.3617	$1.3540 \pm 0.0075$
Brix (KM) (%)	13.7	9.3	12.5	$11.8 \pm 2.3$
Rutubet (%)	98.6464	98.6532	98.6383	$98.6460 \pm 0.0075$

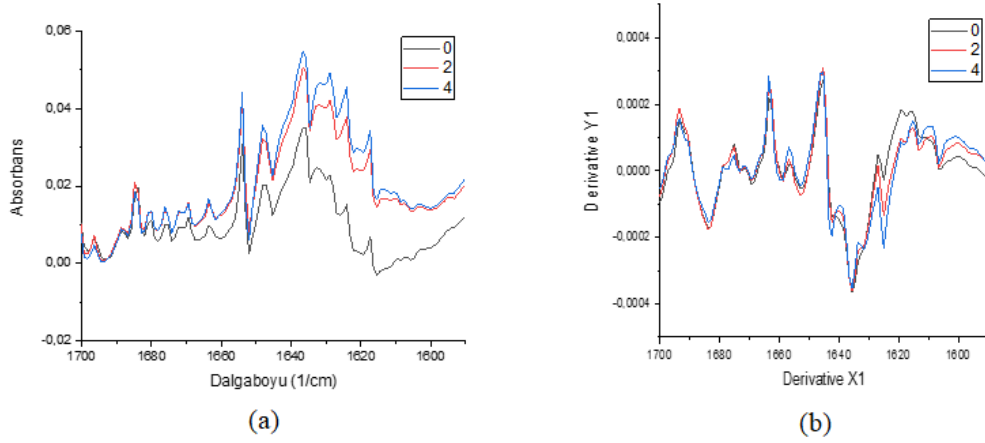
#### 4.2 FTIR ve Eğri Uydurma Analizi Bulguları

FTIR analizi, farklı ısıl işlemler görmüş ve dondurularak kurutulmuş YA örneklerinde Amid I bandı ( $1700-1590 \text{ cm}^{-1}$  dalga boyu aralığı) spektrumu elde edilmiştir. Bantların pik değerleri EK-1'de sunulmuştur. Bu banttaki ikincil yapı unsurlarındaki değişimler ise Origin programı kullanılarak ikinci dereceden türev alındıktan ve referans dalgaboylarına göre  $\alpha$ -heliks,  $3_{10}$ -heliks,  $\beta$ -tabaka,  $\beta$ -dönüşler ve düzensiz sarmal unsurların % değişimleri eğri uydurma analizi ile hesaplanmıştır. Denatürasyon (0, 2 ve 4) ve koagülasyon (1, 3 ve 5) örneklerinin eğri uydurma analizi bulguları EK-2'de gösterilmiştir.

Denatürasyon grup içi örneklerin FTIR ve ikinci türev spektrumları aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

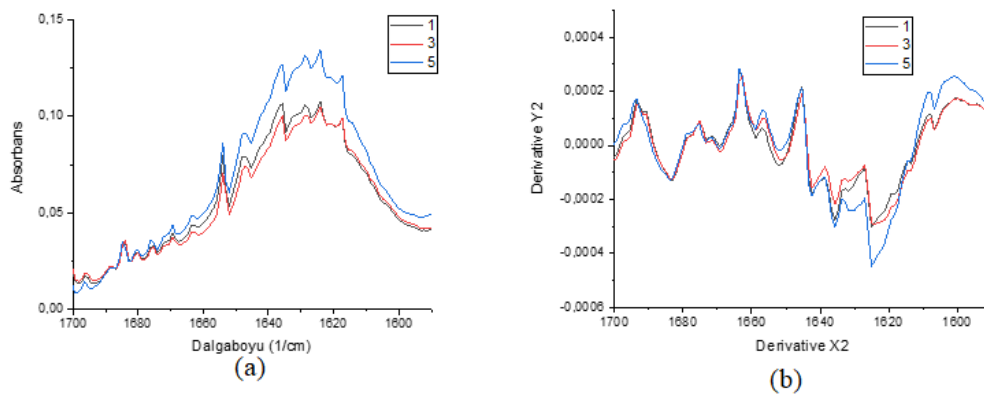
Denatürasyon serisi grup için absorbands değerlerine bakıldığında, 0 numaralı örneğin  $1640$  ve  $1620 \text{ cm}^{-1}$  dalga boyu aralığına karşılık gelen absorbands

değerlerinin 2 ve 4 numaralı örnekler göre düşük olduğu görülmektedir. Distile su ve D<sub>2</sub>O eklenen 2 ve 4 numaralı örneklerde ise absorptans değerlerinde anlamlı bir farklılık olmadığı anlaşılmıştır (Şekil 4.1). 1640 ve 1620 cm<sup>-1</sup> aralığı β-tabakalara karşılık gelmektedir.



**Şekil 4.1: 0-2-4 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b)**

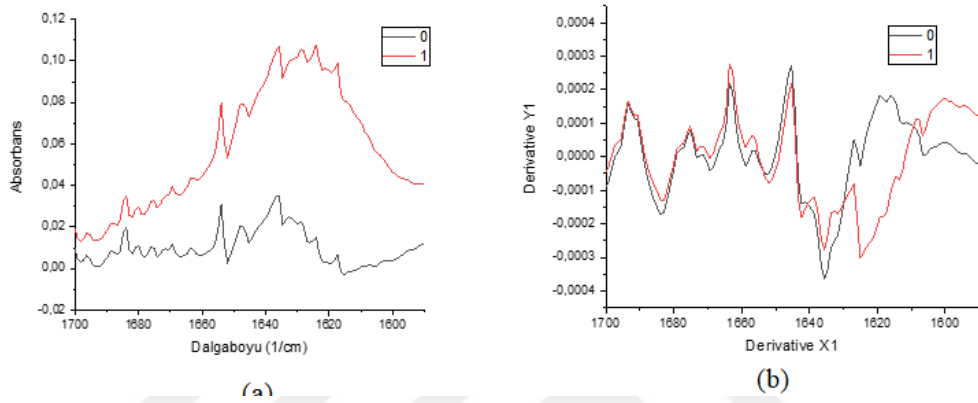
Koagülasyon serisi grup için absorptans değerlerine bakıldığında, D<sub>2</sub>O ilave edilmiş olan 5 numaralı örnekte absorptans değerinin 1650 ve 1620 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında 1 ve 3 numaralı örnekler göre göreceli olarak yüksek olduğu görülmektedir. Çiğ YA ve distile su eklenen 1 ve 3 numaralı örneklerin Amid I band spektrumu ve absorptans değerlerinde göreceli olarak anlamlı bir farklılık olmadığı görülmüştür (Şekil 4.2). 1650 ve 1620 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığı β-tabaka ve düzensiz sarmal yapılar karşılık gelmektedir.



**Şekil 4.2: 1-3-5 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b)**

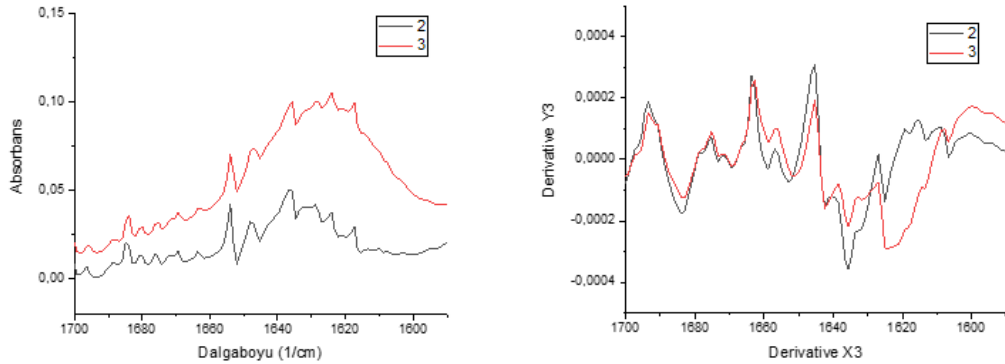
Denatürasyon ve Koagülasyon gruplarında farklı ısı işlemlere maruz kalmış ancak benzer kompozisyondaki örnekler arası (0 ve 1, 2 ve 3, 4 ve 5) FTIR ve ikinci türev spektrumları aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.

0 numaralı çığ YA Denatürasyon örneğinin absorptans değerlerinin 1 numaralı koagülasyon örneğine göre özellikle 1680 ve 1620  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında anlamlı derecede düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.3). Bu aralık, tüm ikincil yapı unsurlarında yapısal değişimler olduğuna işaret etmektedir.



**Şekil 4.3: 0 ve 1 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b)**

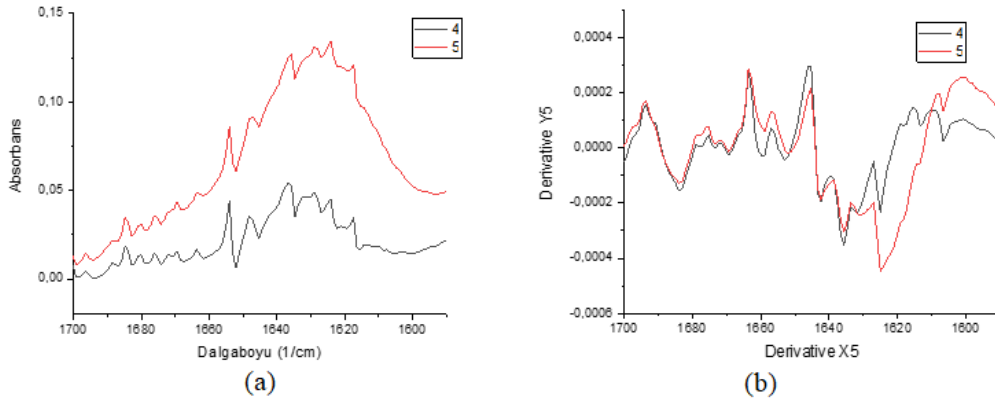
2 numaralı çığ YA ve distile su denatürasyon örneğinin absorptans değerlerinin 3 numaralı koagülasyon örneğine göre özellikle 1680 ve 1620  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında anlamlı derecede düşük olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.4). Bu aralık, tüm ikincil yapı unsurlarında yapısal değişimler olduğuna işaret etmektedir.



**Şekil 4.4: 2 ve 3 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b)**

4 numaralı çığ YA ve  $\text{D}_2\text{O}$  denatürasyon örneğinin absorptans değerlerinin 5 numaralı koagülasyon örneğine göre 1680 ve 1620  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyu aralığında

anamlı derecede düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Bu aralık, ikincil yapı unsurların tümünde değişimler olduğunu göstermektedir.



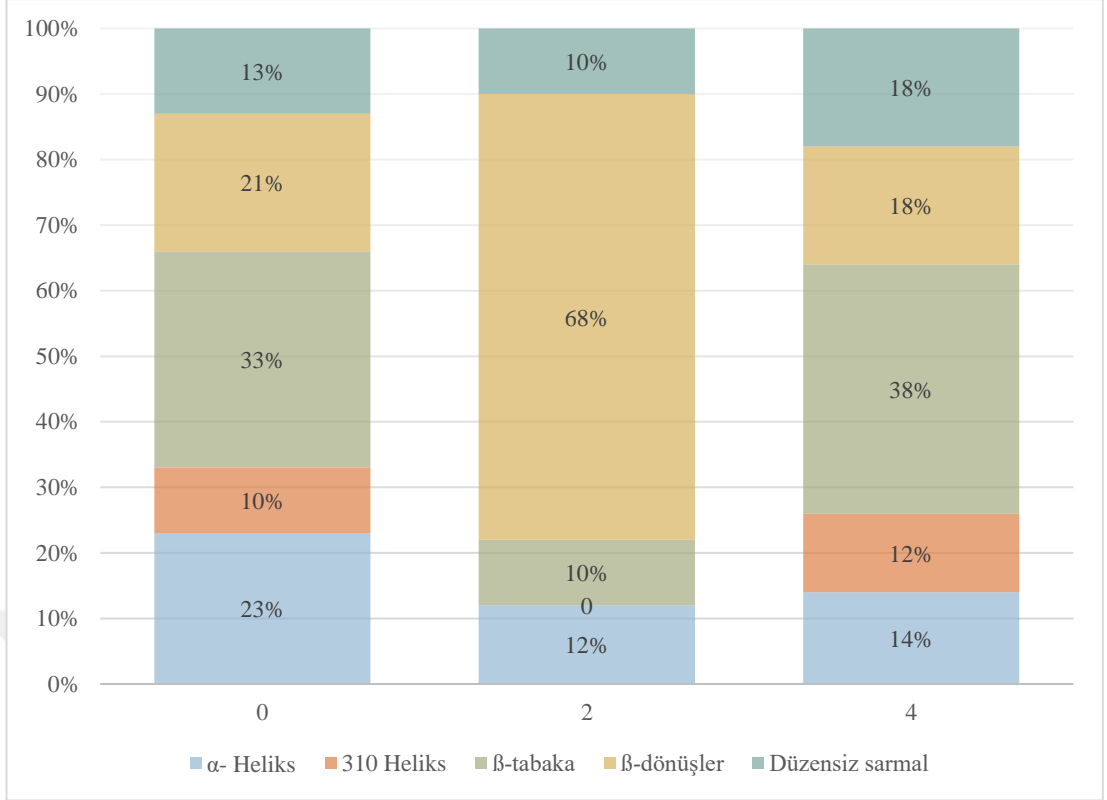
Şekil 4.5: 4 ve 5 numaralı örneklerin FTIR (a) ve ikinci türev spektrumları (b)

Tablo 4.2: Denatürasyon (61 °C) İkincil Yapıların Dağılımı (%)

Denatürasyon (61 °C) İkincil Yapı (%)	Örnek no		
	0	2	4
$\alpha$ - Heliks	%23	%12	%14
$3_{10}$ Heliks	%10	-	%12
$\beta$ -tabaka	%33	%10	%38
$\beta$ -dönüşler	%21	%68	%18
Düzensiz sarmal	%13	%10	%18
<b>Toplam</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>

Denatürasyon sıcaklığında (61 °C), denatürasyona işaret eden  $\beta$ -tabaka ve  $\beta$ -dönüşler toplam oranının çığ YA örneğinde %54 iken, distile su eklenen örnekte %78 ve D<sub>2</sub>O eklenen örnekte ise %56 oranında kaldığı görülmüştür. Bu bağlamda, D<sub>2</sub>O ilavesinin Amid I bandı ikincil yapı unsurlarını çığ YA denatürasyon profiline benzer sonuç verdiği belirlenmiştir. Ancak, distile su eklenmiş 2 numaralı örnekte denatürasyonun göreceli biçimde 0 ve 4 numaralı örneklerden yüksek seyrettiği belirlenmiştir.

Denatürasyon grup içi 61 °C eğri uydurma analizi ikincil yapıların oranları (%) Şekil 4.6'da gösterilmektedir.



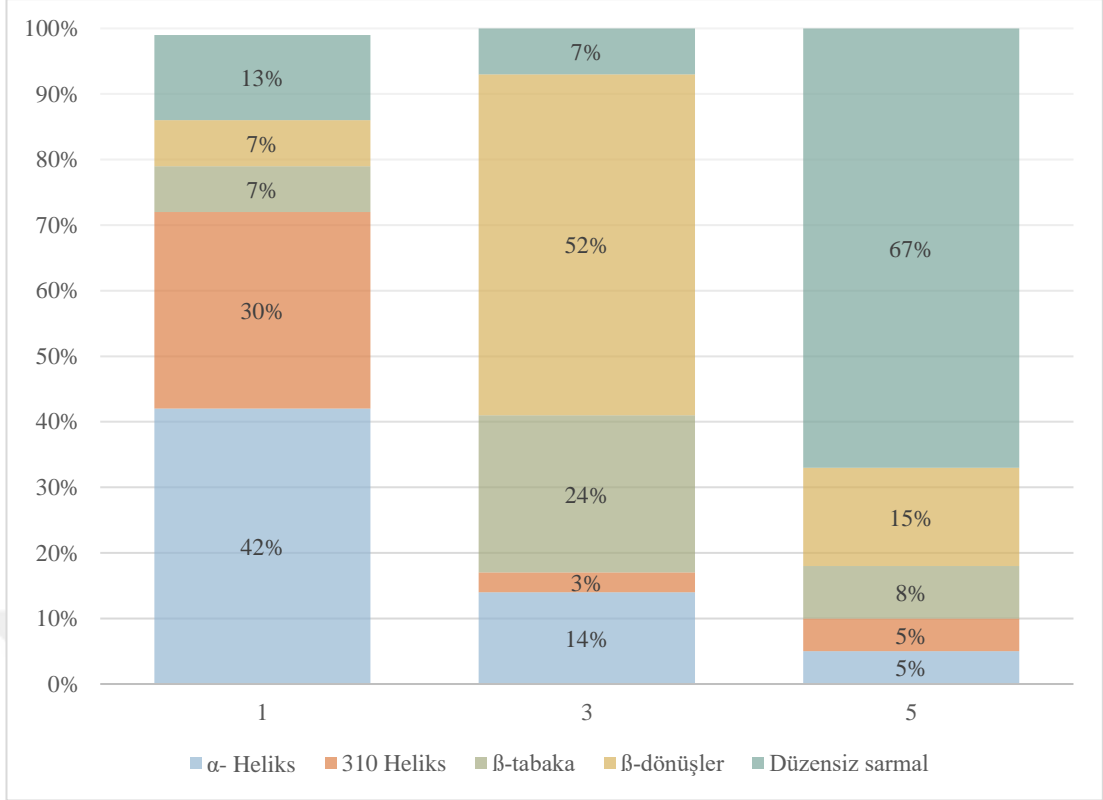
Şekil 4.6: 61 °C Eğri Uydurma Analizi İkincil Yapıların Oranları (%)

Tablo 4.3: Koagülasyon (85 °C) İkincil Yapıların Dağılımı (%)

Koagülasyon (85 °C) İkincil Yapı (%)	Örnek no		
	1	3	5
α- Heliks	%42	%14	%5
3 <sub>10</sub> Heliks	%30	%3	%5
β-tabaka	%7	%24	%8
β-dönüşler	%7	%52	%15
Düzensiz sarmal	%13	%7	%67
<b>Toplam</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>

Koagülasyon sıcaklığında (85 °C), D<sub>2</sub>O ilavesi yapılan 5 numaralı örnekte düzensiz sarmal oranının (%67), 1 e 3 numaralı örneklere göre dikkat çekici şekilde yükseldiği belirlenmiştir.

Koagülasyon grup içi 85 °C eğri uydurma analizi ikincil yapıların oranları (%) Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



**Şekil 4.7: 85 °C Eğri Uydurma Analizi İkincil Yapıların Oranları (%)**

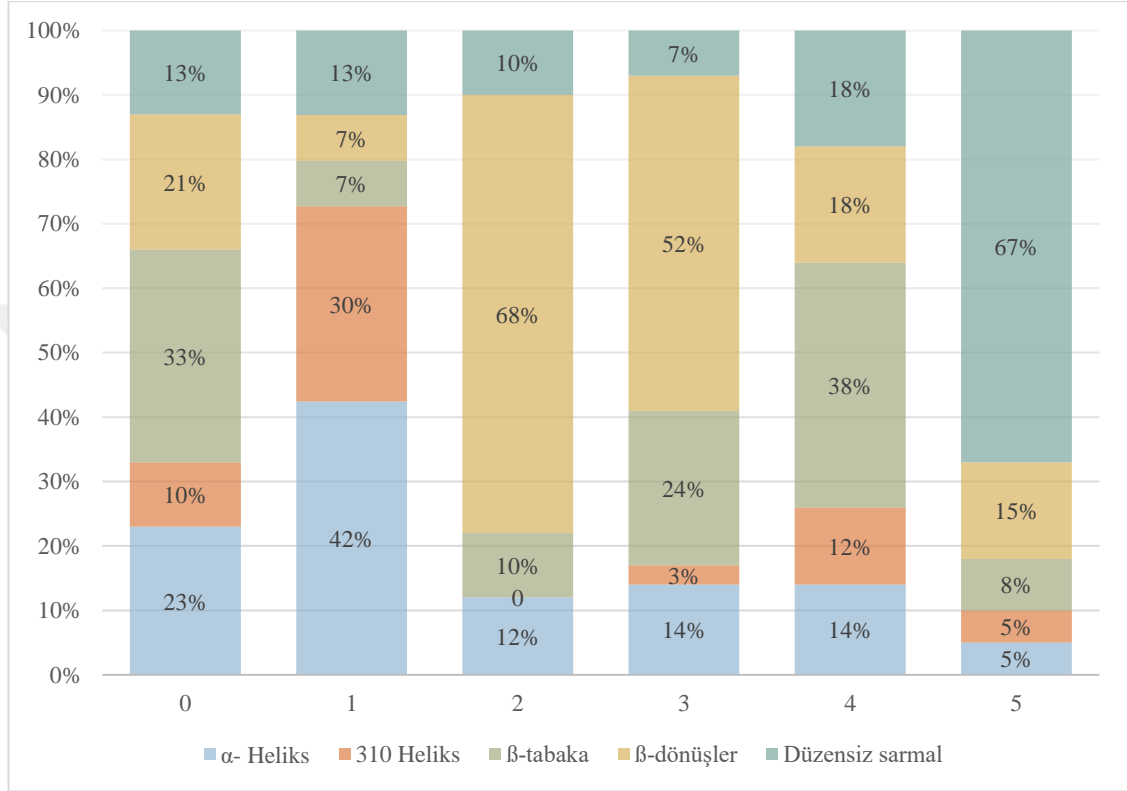
**Tablo 4.4: Denatürasyon ve Koagülasyon Sıcaklıkları Örneklerin Karşılaştırmalı İkincil Yapı Oranları (%)**

İkincil Yapı (%)	Örnek no					
	0	1	2	3	4	5
α- Heliks	% 23	% 42	% 12	% 14	% 14	% 5
3 <sub>10</sub> Heliks	% 10	% 30	-	% 3	% 12	% 5
β-tabaka	% 33	% 7	% 10	% 24	% 38	% 8
β-dönüşler	% 21	% 7	% 68	% 52	% 18	% 15
Düzensiz sarmal	% 13	% 13	% 10	% 7	% 18	% 67
<b>Toplam</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>	<b>%100</b>

Denatürasyon ve koagülasyon gruplarında farklı ısıl işlemlere maruz kalmış ancak benzer kompozisyondaki örnekler arası (0 ve 1, 2 ve 3, 4 ve 5) eğri uydurma ikincil yapıların oranlarının karşılaştırması Tablo 4.4'de sunulmaktadır. Bulgularda en dikkat çeken ayrıntının, D<sub>2</sub>O'nun düzensiz sarmal (tesadüfi kırılmalar) unsurunda koagülasyon sıcaklığında göreceli artış göstermesidir.

Ancak, bu durum 4 numaralı denatürasyon sıcaklığındaki davranış ile benzerlik göstermemektedir.

Denatürasyon ve koagülasyon gruplarında farklı ısıl işlemlere maruz kalmış ancak benzer kompozisyondaki örnekler arası (0 ve 1, 2 ve 3, 4 ve 5) eğri uydurma ikincil yapıların oranları Şekil 4.8’de gösterilmektedir.



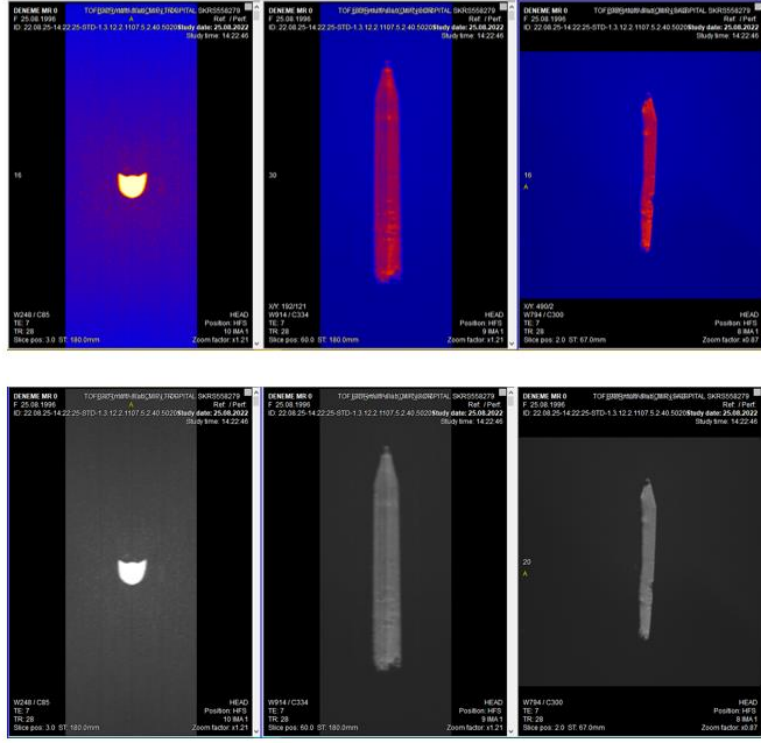
**Şekil 4.8: 61 °C ve 85 °C Örneklerin Karşılaştırmalı İkincil Yapı Oranları (%)**

### 4.3 MR ve BT Analizleri Bulguları

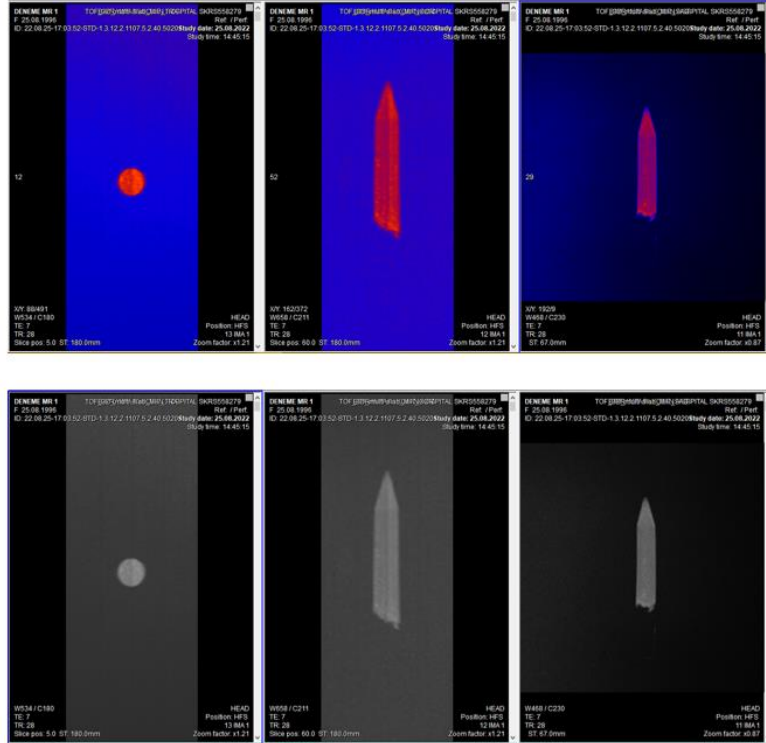
#### 4.3.1 MR Analizi Bulguları

MR analizi, denatürasyon (60 °C) ve koagülasyon (85 °C) ısıl işlemlerine maruz kalan tüm örnekler için uygulanmıştır. MR analizi ile taze, distile su ve D<sub>2</sub>O eklenmiş YA örnek grupları fizikokimyasal değişimlerin YZ (MÖ) analizi ile sınıflandırılabilirliğini teste dönük spektroskopinin yöntemle yüksek çözünürlüklü renkli ve gri renkli görüntüler (veri kümeleri) elde edilmiştir.

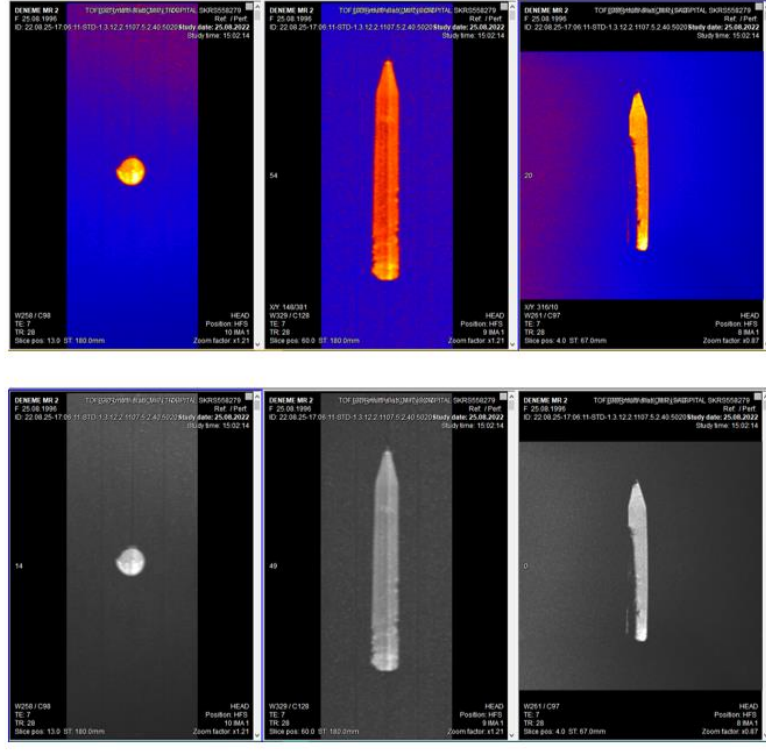
Elde edilen renkli ve gri renkli MR görüntüleri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



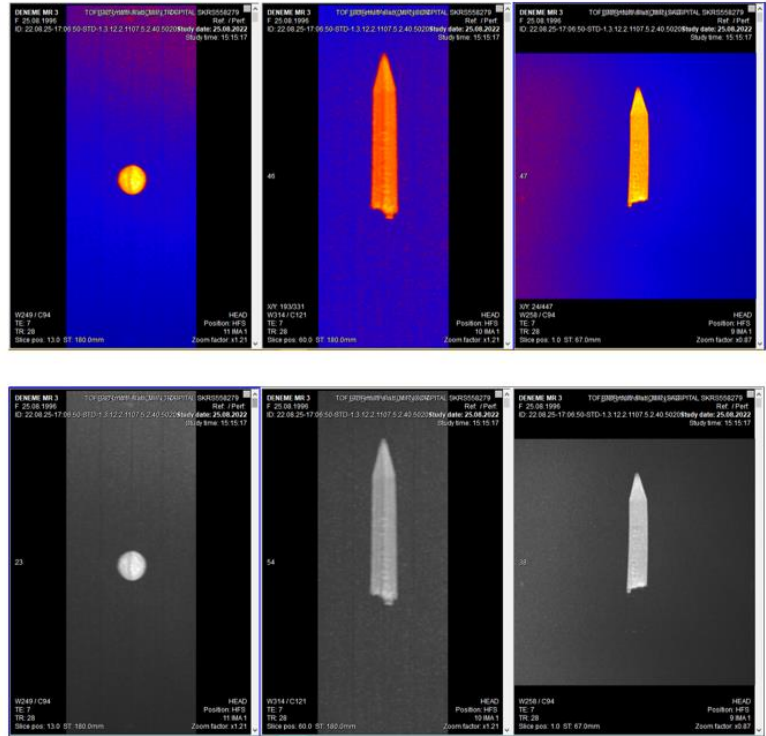
Şekil 4.9: 0 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri



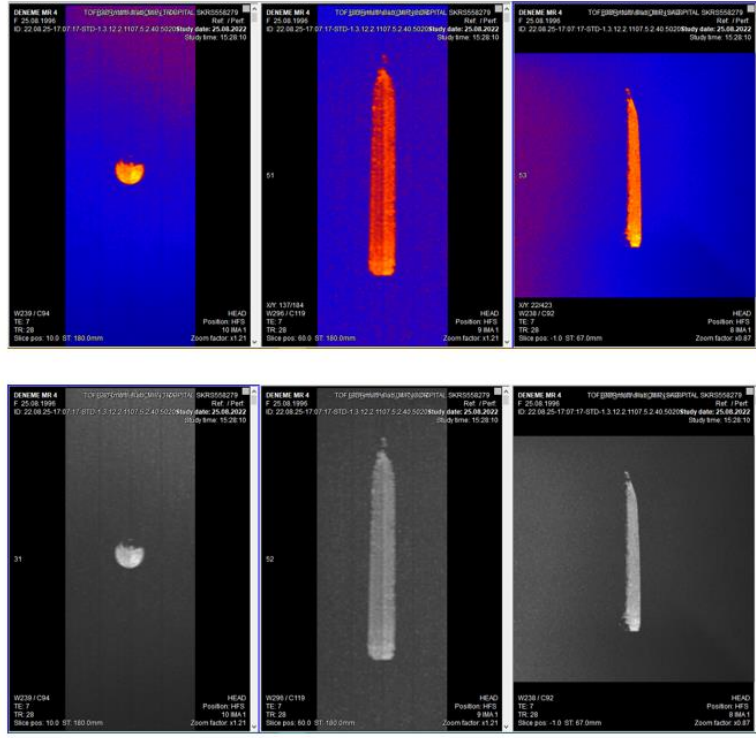
Şekil 4.10: 1 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri



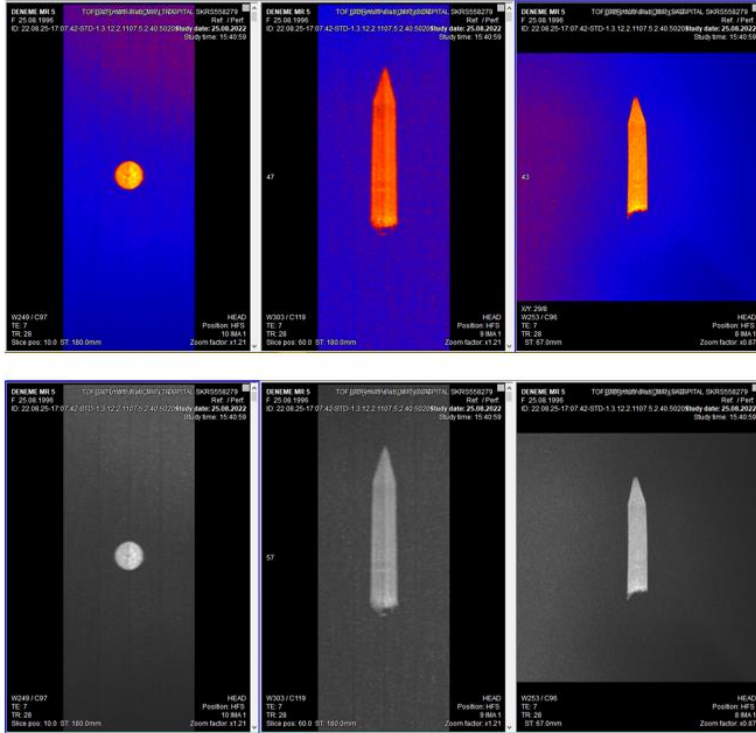
Şekil 4.11: 2 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri



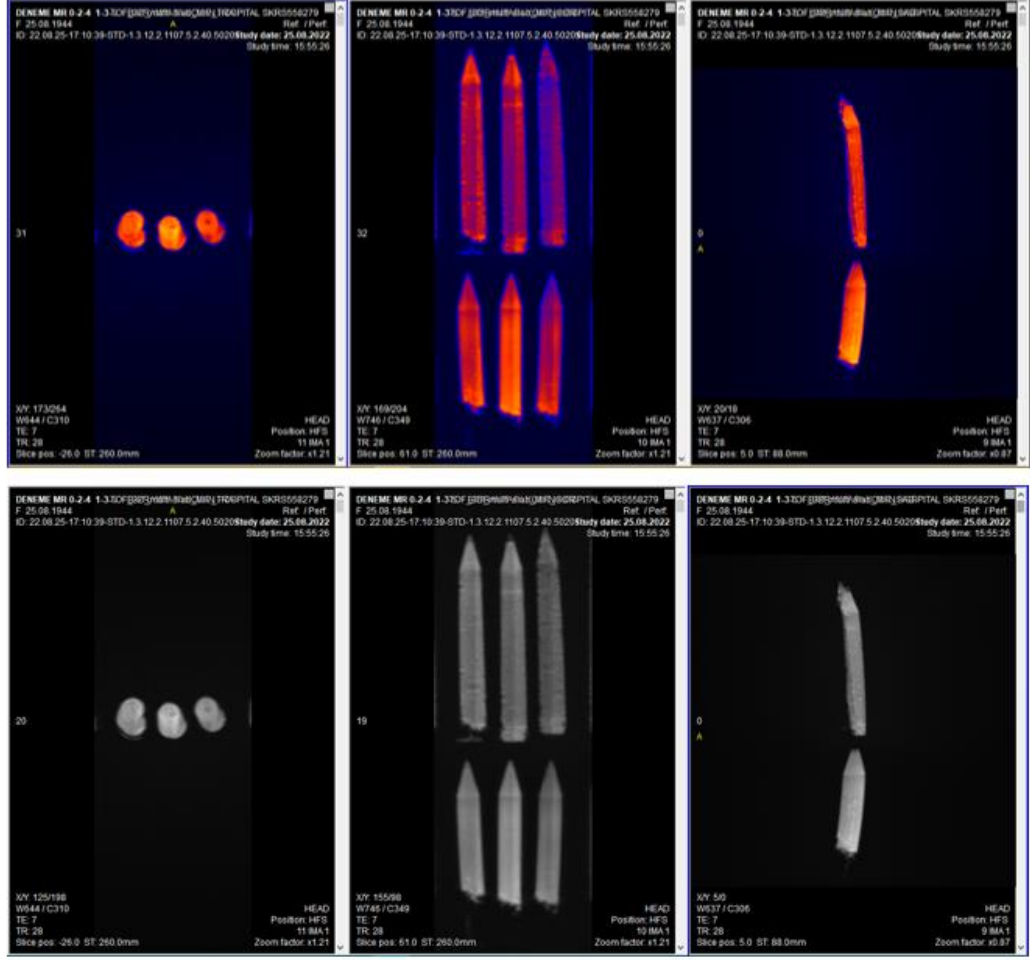
Şekil 4.12: 3 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri



Şekil 4.13: 4 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri



Şekil 4.14: 5 Numaralı Örnek Renkli ve Gri MR Görüntüleri

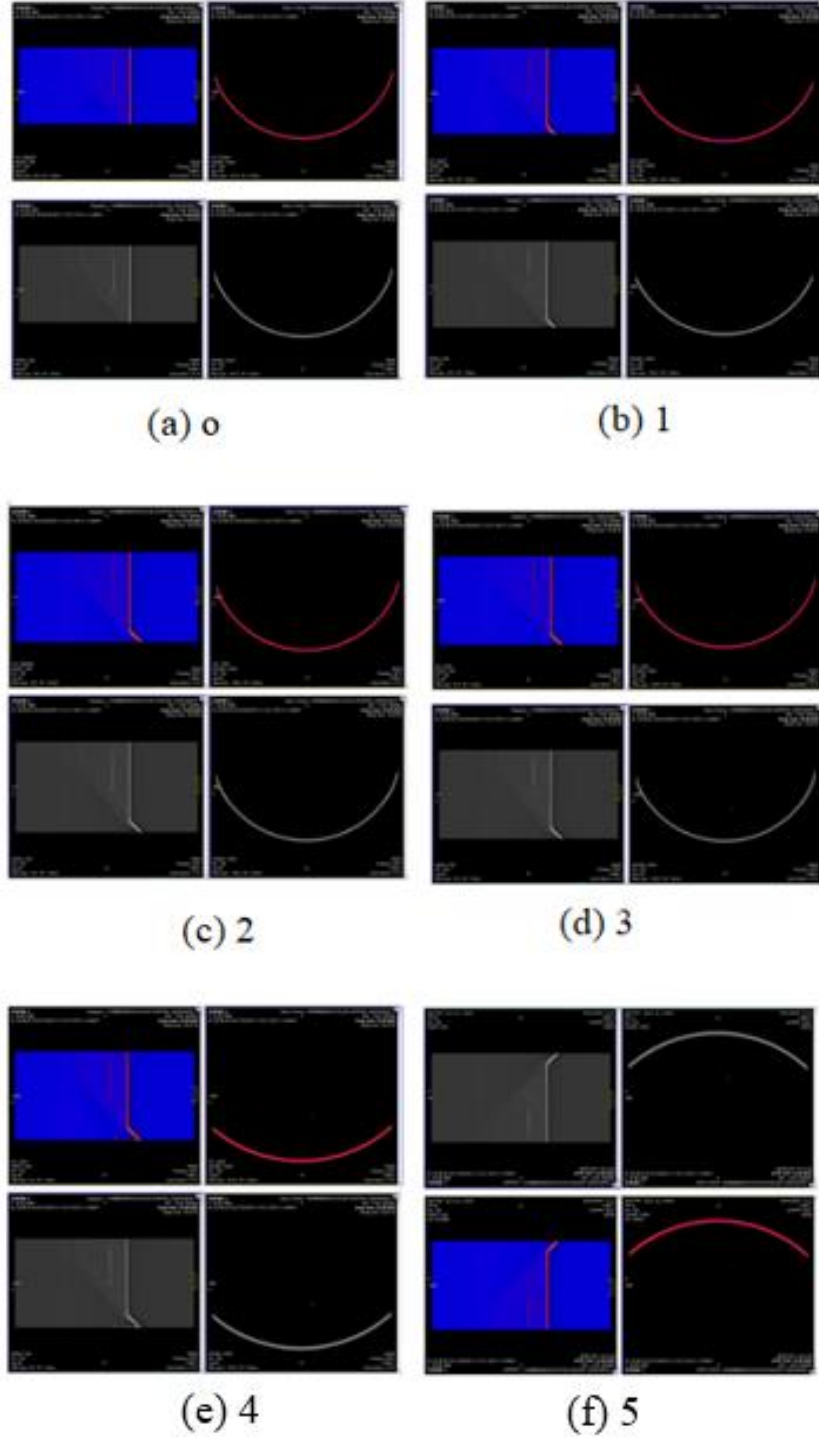


Şekil 4.15: Tüm Örneklerin Renkli ve Gri MR Grup Görüntüleri

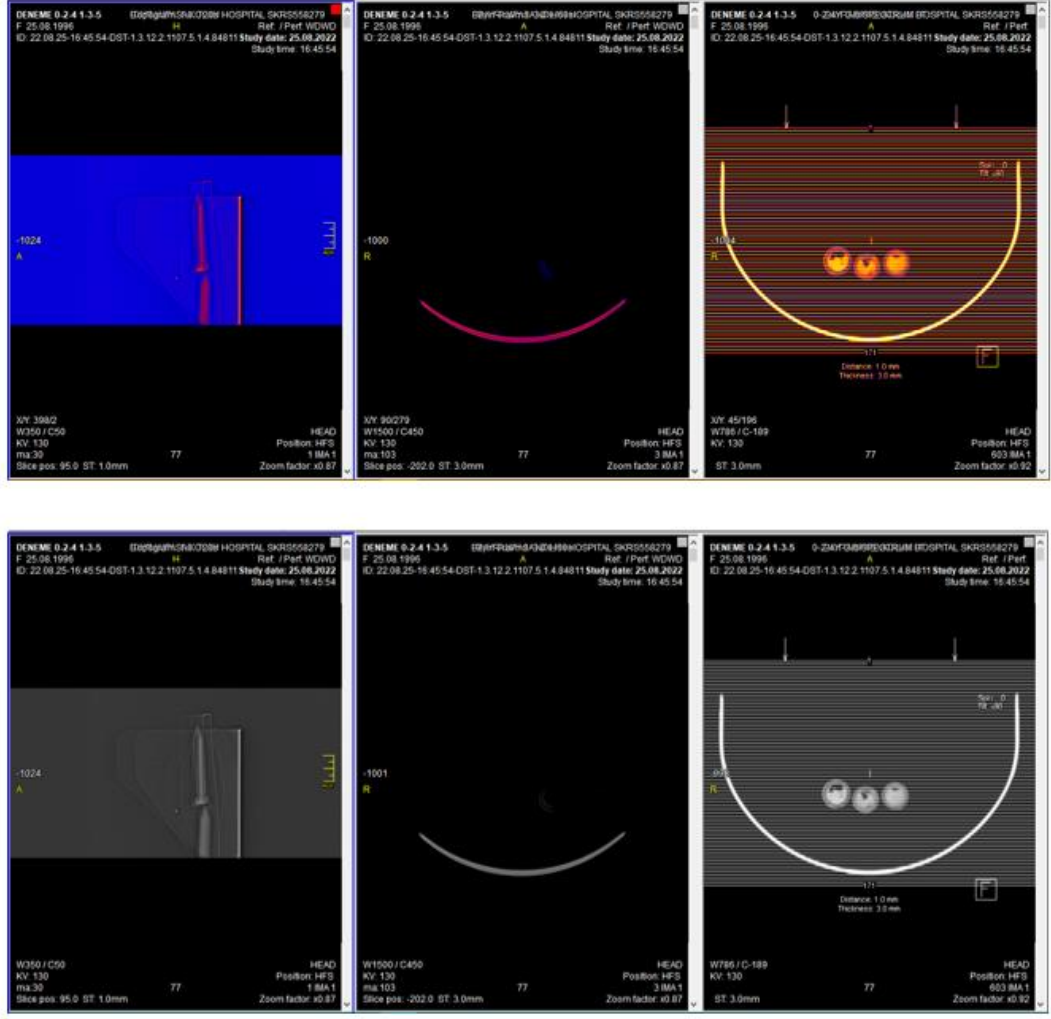
#### 4.3.2 BT Analizi Bulguları

BT analizi, denatürasyon (60 °C) ve koagülasyon (85 °C) ısıl işlemlerine maruz kalan tüm örnekler için uygulanmıştır. BT analizi ile taze, distile su ve D<sub>2</sub>O eklenmiş YA örnek grupları fizikokimyasal değişimlerin YZ (MÖ) analizi ile sınıflandırılabilirliğini teste dönük radyografik yöntemle yüksek çözünürlüklü renkli ve gri renkli görüntüler (veri kümeleri) elde edilmiştir.

Elde edilen renkli ve gri renkli BT görüntüleri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir (Şekil 4.16).



**Şekil 4.16: Tüm Örneklerin Renkli ve Gri BT Görüntüleri (a) 0, (b) 1, (c) 2, (d) 3, (e) 4 ve (f) 5**



**Şekil 4.17: Tüm Örneklerin Grup İçi/Arası Renkli ve Gri BT Görüntüleri**

#### 4.4 MÖBLR Analizi Bulguları

MR ve BT sonuçlarından elde edilen veriler ROC olarak bilinen, AUC'nin kullanıldığı, gerçek pozitiflere karşı yanlış pozitif oranların bir grafiği kullanılarak yapılan basit lineer regresyon yöntemi ile karşılaştırılmıştır.

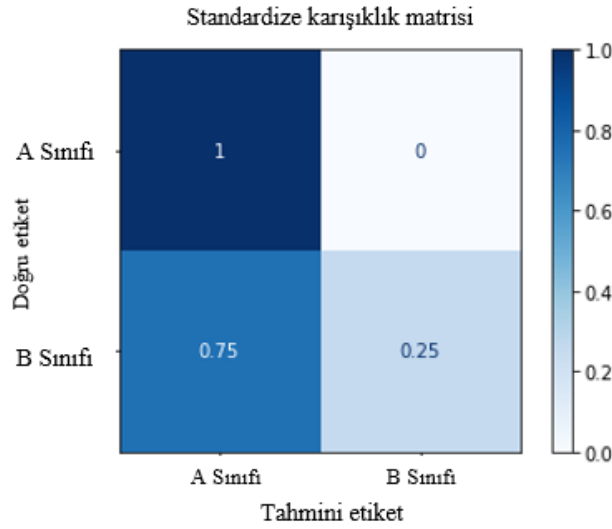
Ölçüm araçları ile elde edilen verilerin sınıflandırılmasında yararlanılan veri analizi tekniklerinden birisi de Alıcı İşletim Özellikleri (ROC) yöntemidir. ROC analizi, sınıflandırıcıları tahmin performanslarına göre karşılaştırmak, değerlendirmek ve seçmek için kullanılmaktadır. Bu yöntem ile iki kategorili sınıflamalı durumlar incelenebilmekte ve ikili sınıflandırma hatasının olası kombinasyonları için sınıflandırıcı eşliğinin yanlış pozitif ve yanlış negatif oranları kullanılmaktadır. Bir

ROC grafiğinde sınıflandırıcılar performanslarına göre görselleştirilmekte, düzenlenmekte ve seçilebilmektedir (Negida vd., 2019; Taşdemir, 2022).

ROC Eğrisinin Altındaki Alan (AUC) analizi, sınıflandırıcının sıralayıcı olarak ne derece iyi davrandığını öngören basit bir ölçme tekniğidir. Bu sayede sınıflandırıcının sınıflandırma gücü karar eşiğine başvurulmadan toplu biçimde değerlendirilmektedir. AUC, rastgele seçilmiş bir negatif örneğin, rastgele seçilmiş bir pozitif örnekten, daha düşük bir puan alma olasılığını tahmin etmektedir. İki kategorili bir ROC eğrisi, y ekseninde gerçek pozitif oranın ve x ekseninde yanlış pozitif oranın çizildiği iki boyutlu bir eğridir (Muschelli III, 2020).

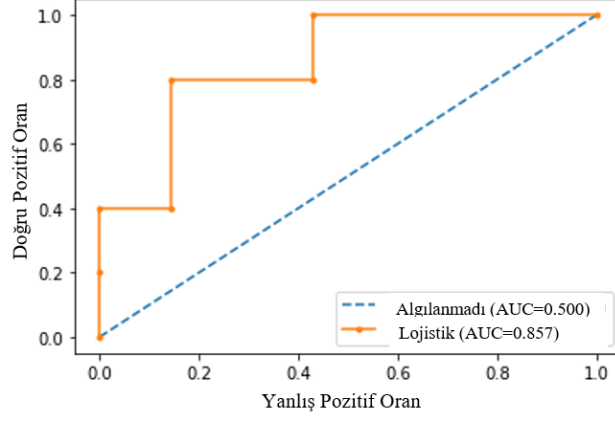
#### 4.4.1 Renkli MR Bulguları

Lineer regresyon (LR) sınıflandırma yöntemi tüm A sınıfı (denatürasyon) görüntülerini 1 puanla doğru bir şekilde saptayabilmiştir. Ancak, bu yöntem B sınıfı (koagülasyon) için 0,25 puana ulaşmıştır. Bu metodun ikinci sınıfı doğru saptayamadığı anlamına gelmektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: Renkli MR Karışıklık Matrisi

Sonuçları iyileştirmek için ROC eğrisi analizi sunulmuştur. Şekil 4.16'ya göre, ROC eğrisi analizi yöntemi 0.875 (AUC) puan almıştır. Bu sonuç, MÖ yönteminin A sınıfını (denatürasyon) B sınıfından (koagülasyon) daha doğru sınıflandırabildiğini göstermektedir (Şekil 4.19).



**Şekil 4.19: Renkli MR ROC Eğrisi Analizi**

LR'nın sınıflandırma raporuna göre, önerilen sistemin 0,75 doğruluk oranına ulaşarak A (denatürasyon) ve B sınıfı (koagülasyon) sınıflandırmasında uyumlu sonuçlar elde ettiği söylenilebilir. Bu testlerde 8 görüntü eğitim için,4 görüntü ise test için kullanılmıştır. Kesinlik, F1-puanı ve duyarlılık ölçümleri sonuçları, görüntünün sınıfları doğrulamak için sağlam ve gelişmiş özellikler içerdiğini göstermektedir (Not: Ölçü değerleri 0.5'ten büyük ve birbirlerine yakındır) (Tablo 4.5).

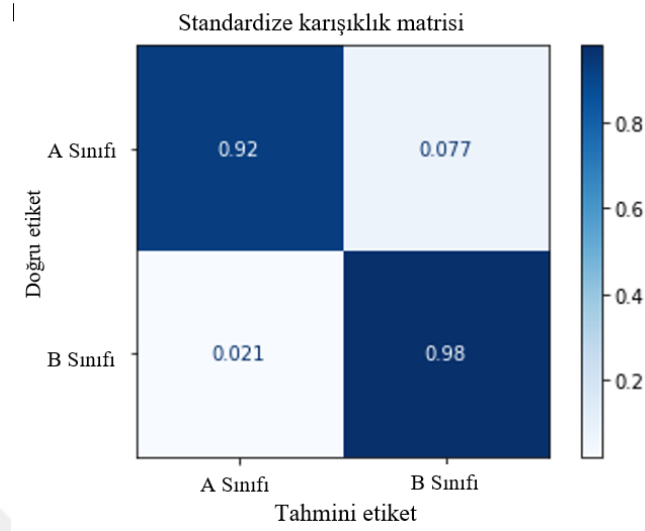
**Tablo 4.5: Renkli MR Sınıflandırma Raporu**

Sınıflar	Kesinlik	Hatırlatma	F1-puanı	Duyarlılık
A Sınıfı	0.83	0.71	0.77	7
B Sınıfı	0.67	0.80	0.73	5
<b>Doğruluk = 0.75</b>				

#### 4.4.2 Gri Renkli MR Bulguları

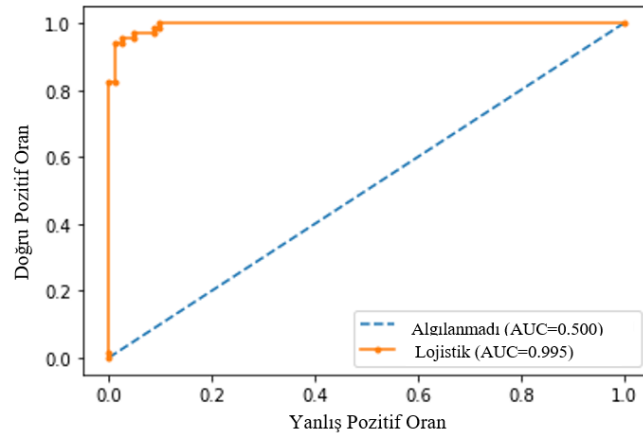
LR sınıflandırma yöntemi A sınıfı (denatürasyon) görüntülerini 0,92 puan, B sınıfı (koagülasyon) görüntülerini ise 0,25 puan ile saptayabilmiştir. Bulgular, gri renkli MR analizinin renkli olanlara göre daha iyi sonuç verdiklerini ortaya koymuştur (Şekil 4.20). Bu farkın başlıca sebebi gri renkli veri kümesindeki eğitim verisi sayısının (n=300) renkli veri eğitim sayısından (n=12) daha fazla olmasıdır. MÖ açısından veri kalitesi önemli olduğu kadar, daha kesin öngörüler

yapabilmek açısından yeterli hacimde (miktar) verinin de olması gereklidir (Luca vd., 2022).



**Şekil 4.20: Gri Renkli MR Karışıklık Matrisi**

Sonuçları iyileştirmek için ROC eğrisi analiz yöntemi kullanılmıştır. LR yöntemi, ROC eğrisi analizinde 0,955 AUC puanına ulaşmıştır. Bu puan A (Denatürasyon) ve B (Koagülasyon) gruplarının sınıflandırması için uyumlu olmaktadır.



**Şekil 4.21: Gri Renkli MR ROC Eğrisi Analizi**

Gri renkli MR veri setinde kullanılan LR yöntemi sınıflandırma raporları sonuçlarına göre, yöntemin her iki veri kümesi için de en yüksek kesinlik, F1-puanı ve duyarlılık ölçüm değerlerine ulaştığı görülmüştür. Gri renkli MR

görüntülerinin sınıflandırma doğruluk değeri (0,95) renkli MR görüntülerinin doğruluk değerinden (0,75) daha yüksek hesaplanmıştır (Tablo 4.6).

**Tablo 4.6: Gri Renkli MR Sınıflandırma Raporu**

Sınıflar	Kesinlik	Hatırlatma	F1-puanı	Duyarlılık
Sınıf A	0.97	0.93	0.95	81
Sınıf B	0.92	0.97	0.94	69

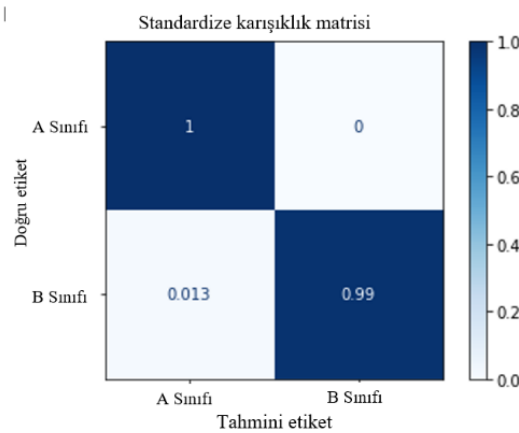
**Doğruluk = 0.95**

#### 4.4.3 Renkli BT Bulguları

Renkli BT veri setinde yeterli sayıda görüntü bulunmaması sebebiyle MÖBLR yöntemi sonuç vermemiştir. MÖ açısından veri kalitesi önemli olduğu kadar, daha kesin öngörüler yapabilmek açısından yeterli hacimde (miktar) verinin de olması gereklidir (Luca vd., 2022).

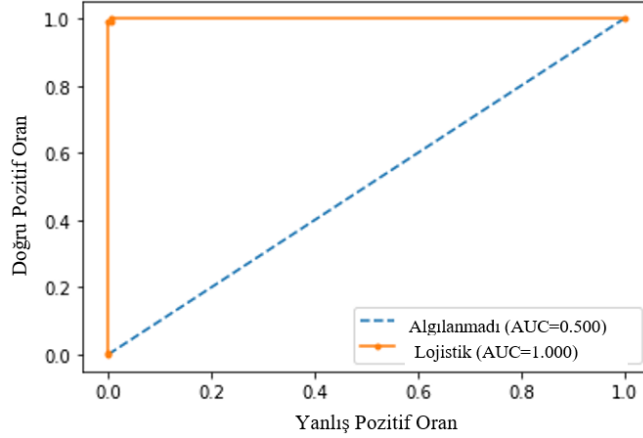
#### 4.4.4 Gri Renkli BT Bulguları

LR yöntemi, gri renkli BT görüntülerinin analizinde A sınıfı (denatürasyon) için 0,99, B sınıfı (koagülasyon) içinse 1,0 saptama oranına ulaşmıştır (Şekil 4.22). Elde edilen bulgular, renkli ve gri renkli MR'dan daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu doğruluğun temel nedeni gri renkli BT veri sayısının 873 adet ile daha yüksek olmasıdır.



**Şekil 4.22: Gri Renkli BT Karışıklık Matrisi**

Gri renkli BT veri seti için sonuçları iyileştirmek amacı ile ROC eğrisi analizi yöntemi kullanılmıştır. LR yöntemi, ROC eğrisi analizinde önemli sonuçlar elde ederek A sınıfı (denatürasyon) ve B sınıfı (koagülasyon) sınıflandırması için uyumlu olan 1,00 AUC sonucunu vermiştir (Şekil 4.23).



**Şekil 4.23: Gri Renkli BT ROC Eğrisi Analizi**

Gri renkli BT veri setinde kullanılan LR yöntemi sınıflandırma raporu sonuçlarına göre, yöntemin her iki veri kümesi için en yüksek kesinlik, F1-puanı ve hatırlatma ölçüm değerlerine ulaştığı görülmüştür. Gri renkli BT görüntülerinin sınıflandırma doğruluk değerleri A sınıfı için 1,00 ve B sınıfı içinse 0,99 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar ile, gri renkli BT sınıflandırmasının renkli ve gri renkli MR sınıflandırmalarından göreceli daha yüksek doğruluk skoruna sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.7).

**Tablo 4.7: Gri Renkli BT Sınıflandırma Raporu**

Sınıflar	Kesinlik	Hatırlatma	F1-puanı	Duyarlılık
<b>A Sınıfı</b>	0.99	1.00	1.00	214
<b>B Sınıfı</b>	1.00	0.99	1.00	223
<b>Doğruluk = 1.00</b>				

#### 4.5 İstatistik Analiz Bulguları

Pearson korelasyon katsayısı, iki değişken arasında aynı yönlü bir ilişki varsa 0 ile 1 arasında, ters yönlü bir ilişki varsa -1 ile 0 arasında değerler almaktadır. Nokta çift serili ilişki katsayısının değeri ne kadar yüksek ise, iki değişken arasındaki ilişki de o kadar kuvvetli anlamına gelmektedir (Ekmekçi, 2022).

- 0 ve 1 numaralı YA örneklerinin Amid I bandı ikincil yapıların oranları arasında negatif yönlü zayıf ( $R=-0.2959$ ,  $p=0.6288>0.05$ );
- 2 ve 3 numaralı distile su içeren YA örneklerinin Amid I bandı ikincil yapı oranları arasında pozitif yönlü ve anlamlı ( $R=0.9439$ ,  $p=0.0158<0.05$ );
- 4 ve 5 numaralı D<sub>2</sub>O içeren YA örneklerinin Amid I bandı ikincil yapı oranları arasında negatif yönlü ve zayıf korelasyon ( $R=-0.0814$ ,  $p=0.8964>0.05$ );

olduğu tespit edilmiştir.

## BEŞİNCİ BÖLÜM

### DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Bu araştırmada, D<sub>2</sub>O ve farklı ısıl işlemlerin YA proteinlerinin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkileri spektroskopisi (FTIR ve MR), radyoskopisi (BT) ve YZ (MÖBLR) yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Bulgular, D<sub>2</sub>O ilavesinin protein Amid I ikinci yapı unsurlarını denatürasyon sıcaklığında koruduğunu (p=0.0158), YA'ndaki fizikokimyasal değişimlerin ise MÖBLR yaklaşımı ile gri renkli MR ve BT görüntülerini yüksek doğrulukla (1.00) sınıflandırdığını göstermiştir.

Stabilite, biyomoleküllerin temel niteliklerinden birisi olup, işleme ve saklama aşamalarında yapısal özelliğini ve işlevselliğini devam ettirme kapasitesini ifade etmektedir (Ma vd., 2022). Bir diğer ifadeyle, protein stabilitesi hakkında bilgi sahibi olmak demek, özellikle gıda ürünlerinin ileri aşamaları (işleme, saklama vb.) ve formülasyon geliştirme çalışmalarında daha önceden hazırlıklı bulunmak anlamına gelmektedir (Ribeiro vd., 2022). Gıda proteinlerinin gıda sistemlerinde değişik işlevsellikleri (çözünürlük, viskozite, jel oluşturma, su tutma, elastiklik, emülsifye etme vb.) bulunmaktadır. Ancak, bu işlevsellikler farklı işleme koşullarından (pH, sıcaklık vd.) etkilenmektedir (Demirhan Yılmaz, 2012). Örneğin, proteinler genellikle 50-60 °C sıcaklık aralığında yapısal değişime uğramaktadır. Orta derece ısıl işlemler (60-90 °C, 1 saat veya daha az) ise protein ikincil yapısında denatürasyon (protein yapının açılması) ve koagülasyon (denatüre proteinlerin rastgele kümeleşmesi) ile sonuçlanmaktadır. Bu süreçte, protein yapının yüzey hidrofobisitesinde artış ve disülfid değişimi eşlik etmektedir (Farjami vd., 2021). Bu çalışma, gıda endüstrisinde sıklıkla kullanılan farklı sıcaklıklarda ısıl işlemin YA proteinlerinin Amid I bandı ikincil yapısındaki unsurlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uygulanan ısıl işlemler YA protein matrisinde denatürasyon ve koagülasyon sıcaklıkları olan 61 °C ve 85 °C olarak seçilmiştir. Seçilen sıcaklıklar, Farjami vd. (2021)'nin proteinlerin yapısal değişime uğradıkları sıcaklık aralığı ile örtüşmektedir. Özetle, çalışmamız biyomakromolekül olan YA proteinlerinin yapısal özellikleri ve işlevselliğini sürdürme kapasitesi olarak ifade edilen stabilite kavramı hakkında gıda mühendisliği ve bilimi alanına katkıda bulunmuştur.

YA, proteince zengin ve farklı işlevsellikleri olan bir gıda maddesidir. Gıda endüstrisinde köpük oluşumunu kolaylaştırma, köpük stabilitesi verme, emülsifiye etme, jelleştirme (Abeyrathne vd., 2013; Yüceer, 2021), antioksidan, nutrasötik (Julmanlık ve Kongruang, 2019), kıvamlaştırıcı ve belirli sıcaklıklarda denatüre ve koagüle olduğu için stabil gıda matrisi oluşturma (Razi vd., 2023) gibi önemli işlevleri yerine getirmektedir. Bu çalışmada, YA proteinlerinin farklı ısı işlemlerde Amid I bandı ikincil yapılarının denatürasyon ve koagülasyon davranışı D<sub>2</sub>O ve distile su varlığında spektroskopik FTIR yöntemi ile incelenmiştir. Elde edilen bulgular, YA proteinlerinin gıda ısıl işlemede fizikokimyasal özelliklerinin spektroskopik yöntemle belirlenebileceğini, bu şekilde işlevselliklerin öngörülebileceğini göstermiştir.

Tüm proteinler birincil yapıdan oluşmaktadır. İkincil, üçüncül ve/veya dördüncül unsurların varlıkları yapısal karmaşıklık durumlarına bağlıdır (Yu vd., 2022). Proteinlerin ikincil yapısındaki yapısal değişimler peptit bağların C=O gerilme titreşimlerinden kaynaklanan amid I bandında olmaktadır (1700–1600 cm<sup>-1</sup>) (Shimadzu, 2019). İkinci türev spektrumu ise protein yapının ikincil unsurları olan  $\alpha$ -heliks,  $\beta$ -tabaka,  $\beta$ -dönüşler ve düzensiz sarmal yapılarının belirlenmesini sağlamakta ve eğri uydurma (curve fitting) tekniği ile nicel hesaplamalar mümkün olmaktadır (Kong ve Yu, 2007).

Protein ikincil yapısını esas olarak  $\alpha$ -heliks ve  $\beta$ -tabakalar meydana getirmektedir (Ding vd., 2003). Bu düzenli ve tekrarlayan unsurlar katlanmış protein yapısı ve topolojisinin belirleyici unsurlarıdır (Bhattacharjee ve Biswas, 2010; Baronio ve Barth, 2020).  $\beta$ -tabaka, genellikle uzun ve pileli bir yapıya sahiptir (Newton vd., 2022). YA proteinlerinin yaklaşık% 1-3'ü çapraz  $\beta$ -tabaka yapılarından oluşan ve YA'nın jel özelliklerine katkıda bulunan amiloid fibrilleridir (Rombouts vd., 2020). Bu çalışmada, YA proteinlerinin iki farklı ısıl işlemde ikincil yapı unsurlarındaki değişimler FTIR tekniği ve eğri uydurma analizi ile incelenmiştir. Elde edilen bulgular, YA Amid I ikincil yapı unsurlarının stabilitesi anlamak açısından faydalı veriler sağlamıştır.

Proteinler, maruz kaldıkları çevresel koşullara bağlı olarak değişik supramoleküler yapılara organize olabilmektedir. Proteinlerin bu özelliği birçok biyolojik işlevi olan daha karmaşık yapıların üretilmesini olanaklı kılmaktadır (Tomadoni vd., 2020; Zeng vd., 2021; Yu vd., 2022). Proteinlerin kendi kendine

yapılanma özellikleri gıda mühendisliği ve bilimi alanına yumuşak madde fiziği kavramını sunmuştur (Asaithambi vd., 2022). Kolloid teorisi basit modellerini kullanan yumuşak madde fiziği yaklaşımı, proteinlerin bu gibi davranışlarının altında yatan nedenleri daha iyi açıklayabilmektedir. Protein, kızılötesi emilim, NMR veya nötron saçılması teknikleri ile incelenecekse, H<sub>2</sub>O yerine sıvı-sıvı faz ayrımı ve protein-protein etkileşimleri gibi faz geçişlerini önemli ölçüde değiştirilebilen D<sub>2</sub>O kullanılması önerilmektedir (Matsarskaia vd., 2017).

Literatürde, YA proteinlerinin farklı ısıl işlemlerde uğradıkları fizikokimyasal değişimleri belirlemeye dönük araştırmalar bulunmaktadır. Yao vd. (2022), YA'nın 80 °C, 90 °C ve 100 °C'lerde ve 10, 15, 20 ve 25 dk sürelerde ikincil yapılarında artan sıcaklık ve zamana bağlı olarak dokusunda sertleşme, düşük rutubetli jelimsi yapıya dönüşme, kompakt agregasyon, serbest sülfidril grubu ve β-tabakası oranında ise artış olduğunu göstermiştir. Murayama ve Tomida (2004), albümininin 57 °C ve 75 °C'lerde ısı kaynaklı denatürasyona uğradığını saptamışlardır. Ma vd. (2022), YA proteini sulu çözeltilerinin ısıtıldıklarında agregalar oluşturma eğiliminde olduğunu, α-helikslerin β-tabakalara dönüştüğünü ve ısı nedeniyle daha fazla hidrofobik grupların oluştuğunu gözlemlemiştir. Xue vd. (2022), ısıl işlemin YA proteinlerinin β-dönüşler ve düzensiz sarmal frekanslarında anlamlı bir değişikliğe yol açmadığını, α-heliks düzeyi ilk olarak arttığını, sonrasında ise azalışa geçtiğini, bu değişimin ise protein yapının tekrar düzenlenmesinden kaynaklanabileceğini ifade etmiştir. Ai vd. (2021) ise YA'ndan hazırlanan emülsiyonların stabilitesini arttırmak için ısıl işlem (90 °C, 30 dk) ve ultrasonik dalgalar (800 W, 20 kHz, %30 genlik, 15 dk) kullanmıştır. İkincil yapı analizi, ultrasonik ve ısıl işlemin β-tabakalarını önemli ölçüde azalttığını ve düzensiz sarmal içeriğini ise önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Bu çalışmada, seçilen sıcaklıklar (61 °C ve 85 °C) Yao vd. (2022), Murayama ve Tomida (2004) ve Ma vd. (2022)'nin ısıl işlem uygulamaları ile benzerlik göstermektedir. Denatürasyon ve koagülasyon serilerinin benzer kompozisyona sahip örnekleri arasında Pearson testi ile ikincil yapıların ilişkisel analizi, 0 ve 1 (p=0.6288>0.05) ile 4 ve 5 (p=0.8964>0.05) numaralı örnekleri arasında negatif ve zayıf ilişki olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, 2 ve 3 numaralı örneklerde (p=0.0158<0.05) pozitif yönlü ve anlamlı bağlantı tespit edilmiştir. İstatistiksel sonuçlara göre, distile su içeren YA'nın denatürasyon ve

koagülasyon sıcaklıklarında yakın yapısal değişikliklere uğradıkları ifade edilebilir. Ancak, çiğ YA ile D<sub>2</sub>O içeren YA örneklerinin Amid I bandı unsurlarının farklılaşan davranışlar sergiledikleri anlaşılmaktadır. Denatürasyon serisinde (61 °C) (0, 2 ve 4), distile su içeren 2 numaralı örnekte β-dönüşlerin %68 seviyesine yükselmesi distile sulu YA çözeltisinin daha düşük stabilite gösterdiğini ifade etmektedir. 0 ve 4 numaralı örneklere bakıldığında, D<sub>2</sub>O ilavesi (0 numaralı YA örneğinin yapısal dağılımına göreceli olarak benzer kompozisyon) distile sudan daha farklı etki göstermiştir. Koagülasyon (85 °C) serisinde (1,3 ve 5), D<sub>2</sub>O ilave edilmiş 5 numaralı örnekte düzensiz sarmal oranı %67'ye yükselmiştir. Düzensiz sarmal yapı frekansının artışı Tomadoni vd. (2020), Zeng vd. (2021) ve Yu vd.(2022) ile benzerlik taşımaktadır. D<sub>2</sub>O, yapının koagüle olmasını kısmen önlemiş, ancak düzensiz sarmal yapı artmıştır. Bu sebeple, bulgular, β-tabaka frekansının azalışı ve düzensiz sarmal unsurların artan prevalansı Ai vd. (2021) ile örtüşen sonuçlar ortaya koymuştur.

Spektroskopik yöntemlerden gıdaların kalite ve doğrulama analizlerinde faydalanılmakta olup, ileri yıllarda özellikle doğrulama analizlerinde daha yaygın şekilde kullanım alanı bulacağı öngörülmektedir. Tercih edilen spektroskopik teknikler arasında başlıcaları, manyetik rezonans (MR), yakın kızılötesi spektroskopisi (NIR), Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektroskopisi (FTIR), Raman spektroskopisi (RS) ve üstün uzaysal görüntüleme (HSI) gelmektedir (Çağlar vd., 2019). MR protein yapıların katlanma ve açılma gibi yapısal dönüşümlerini araştırmak için de tercih edilmektedir (Wang vd., 2017).

Bu çalışmada, iki farklı spektroskopik teknik kullanılmıştır. FTIR analizi ile dönüşümlü kızıl ötesi spektrumlar elde edilmiştir. Amid I (1590-1700 cm<sup>-1</sup>) spektrumun ikinci türevi alınarak eğri uydurma analizi ile ikincil yapı unsurlarındaki değişimler incelenmiştir. Eğri uydurma analizi bulguları 1673 cm<sup>-1</sup> pikinde β-dönüşü, 1664 cm<sup>-1</sup> pikinde α-heliksi ve 1641 ve 1695 cm<sup>-1</sup> piklerinde ise β-tabaka elemanları tespit etmiştir. Literatürde, YA'nın 40 °C' den 100 °C' ye ısıtıldığında, 60 °C'de denatürasyonun başladığı, α-heliks frekansı azalırken β-tabaka frekansının arttığı rapor edilmiştir. Termal denatürasyon ikincil ve daha yüksek dereceli yapıları bozmakta ve α-heliks yapıların açılmasına yol açmaktadır (Shimadzu, 2019). Rutubetin kızılötesi dalgaboyunda kuvvetli sinyal vererek FTIR spektrumu üzerinde baskın olması ve protein bantlarını

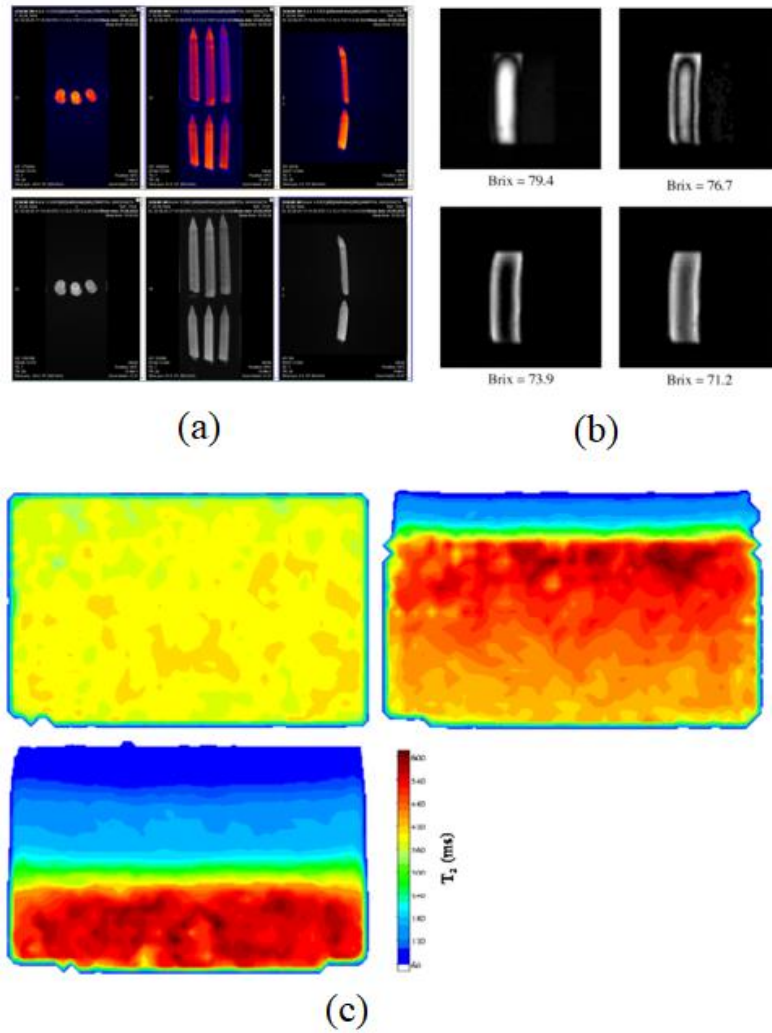
maskelemesi sebebiyle (Shimadzu, 2019), FTIR analizi, donmalı kurutucuda rutubeti düşürülmüş örneklerde yapılmıştır. Su kaynaklı etkileşim dondurarak kurutma ile minimize edilmiştir. Literatürde, FTIR ile YA analizlerine dönük çalışmalar bulunmaktadır. Sarıbay ve Köseoğlu (2012), 1, 2 ve 3 kGy gama ışınlamanın YA proteini ikincil yapıları olan  $\alpha$ -heliks ve  $\beta$ -tabaka % alan değerlerine etkisini istatistiksel olarak önemsiz bulmuşlardır. Ancak, Uygun-Sarıbay vd. (2016) ise FTIR tekniği ile 0, 1, 2 ve 3 kGy gama maruziyetinin sıvı YA'nın  $\alpha$ -heliksten düzensiz yapıya konformasyonel dönüşüme sebep olduğu rapor etmiştir. Günışık (2022), kırımın pencereless kurutma yöntemi ile YA için en ideal sıcaklık ve süreyi 80 °C/10 dk olarak bildirmiştir. Ancak, denatürasyon entalpisinin azalması ikincil yapıda denatürasyona işaret etmektedir. Zhu vd. (2018), mikrodalgaya maruz bırakılan YA örneklerinde 60 °C/1 dk ve 70 °C/3 dk uygulamalarında  $\alpha$ -heliks oranının azaldığını,  $\beta$ -tabaka oranının arttığını ve 80 °C/5 dk'da  $\alpha$ -heliks frekansının sabit kaldığını tespit etmiştir. Bu çalışmada, iki farklı sıcaklık uygulamasına maruz kalan distile su ve/veya D<sub>2</sub>O içeren YA örneklerinde ikincil yapı % değişimleri ulusal ve Uluslararası çalışmalar ile benzerlik ya da farklılıklar göstermiştir. Özetle, ikincil Amid I unsuru olan düzensiz sarmal yapının D<sub>2</sub>O'nun hidrofobik etkisi ile arttığı söylenebilir.

NMR görüntüleri gıda analizinde kullanılmaktadır. Örneğin, mikroskobik su bölmeciklerinin NMR su relaksasyonu üzerindeki etkileri, nişasta-temelli ürünlerin (dehidre patates) işlenmesinde (enzimatik olmayan esmerleşme), glutenin yeniden kristalizasyon kinetiğinde, glutenin ekmekte jelleşmesinde, pişirilmiş pirincin saklanması ve kahvaltılık tahılların rehidrasyonunda araştırılmıştır (Mariette, 2009).

Literatürde MR'ın kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Lurie vd. (2010), MR ile YA albüminin ısı işleminde denatüre olduğu ve çapraz bağlanma gerçekleştiği belirlenmiştir. Kruk vd., (2021), NMR kullanarak YA'da bağlı ve serbest su dinamiklerinin gıda matrisi ile bağlantılı olduğunu tespit etmiştir. C. Li vd. (2017), NMR görüntü işleme tekniği ile YA'nda 64-66 °C/8 dk ısı işleminin denatürasyona neden olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada, ısı işlemin gören tüm örneklerin renkli ve gri renkli MR görüntüleri (a), Mariette (2009) tarafından yapılan çalışmada elde edilen gıda jelinin kurutma esnasındaki nem kaybı (b) ve 80 °C ısı işleminde YA'ndaki çözünür protein

derişimi ve su relaksasyonu MR görüntüleri ile birlikte Şekil 5.1’de karşılaştırılmalı gösterilmektedir. NMR görüntü bulgularımızın, Mariette (2009) ve C. Li vd. (2017) ile benzerlikler göstermektedir. Ancak, gıda kalite kontrolü amaçlı NMR kullanımı ekseriyetle iki boyutlu görüntüleme şeklinde kullanılmaktadır (Hills vd., 2004). Bizim araştırmamızda Kolan Hastanesi radyoloji Biriminin yüksek çözünürlüklü üç boyutlu beyin tarama protokolü izlenmiştir. MR bulgularımız gıda literatüründe yer alan iki boyutlu görüntülemelerden üç boyutlu oluşu nedeniyle ayrılmaktadır.



**Şekil 5.1: (a)Tüm Örneklerin Renkli ve Gri MR Grup Görüntüleri, (b) Gıda jelinin kurutma esnasındaki nem kaybını takip için NMR görüntüleri ve (c) 80 °C ısıtma işlemde YA’ndaki çözünür protein derişimi ve su relaksasyonu**

FTIR ve MR spektroskopik tekniklerdir. Ancak, her ikisi birbirlerini tamamlayıcı kimyasal bilgi sağlayabilmektedirler. FTIR spektroskopisi, fonksiyonel grupların

varlıklarını ya da eksikliklerini tespit edebilirken, MR spektroskopisi ise en etkili biçimde organik yapıyı tiplendirmek için kullanılabilir (Muthu ve Elamuruğu Porchelvi, 2013; Markoska vd., 2021). Bu çalışmada, MR görüntüleri, FTIR sonuçlarından ayrı olarak, YZ (MÖ) algoritması için girdi olarak kullanılmıştır. Bu sebeple, araştırmamız YA denatürasyon ve koagülasyon ile distile su ve D<sub>2</sub>O etkilerinin sınıflandırmalarının MÖBLR yaklaşımı ile yapılabildiğini ortaya koymuştur.

Konvansiyonel görüntüleme teknikleri genellikle örneklerden yüzey ve yan kesit olmak üzere iki boyutlu görüntüler elde etmektedirler. Ancak, BT, üç boyutlu görüntü sunabilme avantajı sağlamaktadır. BT tekniği, bazı gıdaların (çikolata, kek, ekmek vb.) yapısal özelliklerinin (gözenek boyutu dağılımı, açık gözenekli yapıların büyüklük dağılımı ve donmuş ürünler gibi) ölçülmesinde kullanılabilir. Örneğin, ekmek pişirme esnasında matristeki fiziksel değişimler BT tekniği ile dinamik görüntülenebilmektedir. Bu teknikten gıda modelleme için de faydalanılmaktadır. BT yalnızca gıda yapısal analizi için değil, istenmeyen fiziksel empuritelerin tespitinde de olumlu sonuçlar vermektedir (Schoeman vd., 2016; Cornish, 2019). Bu çalışmada, BT görüntüleri, spektroskopik MR görüntülerinden ayrı olarak Kolan Hastanesi Radyoloji Birimi beyin protokolü izlenerek üç boyutlu olarak elde edilmiştir. Elde edilen gri renkli BT görüntüleri MÖBLR yaklaşımı ile yüksek doğrulukla sınıflandırılmıştır. Ancak, renkli BT veri setinde yeterli sayıda görüntü bulunmaması sebebiyle MÖBLR yöntemi sonuç vermemiştir. MÖ açısından veri kalitesi önemli olduğu kadar, daha kesin öngörüler yapabilmek açısından yeterli hacimde (miktar) verinin olması gereklidir (Luca vd., 2022).

MÖ, YZ'nin bir alt alanıdır. Büyük miktarda lineer veya lineer olmayan işlenmiş veri üretimi sinir ağlarının kullanımını teşvik eden karmaşık algoritmaların ortaya çıkışını sağlamıştır. MÖBLR testi, görüntü kaynağı türüne bağlı olarak üç boyutlu evrişimli sinir ağı, topluluklar arası derin öğrenme ve çok modlu derin öğrenme gibi durumlarda kullanılabilir (Cao vd., 2019; Villalobos-Alva vd., 2022). YZ algoritmalarını arttırmak için BT (%49) ve MR (%25,2) sıklıkla kullanılan tekniklerdendir. BT ve MR son yirmi yıl zarfında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde algoritma arttırmak amacı ile kullanımı en hızlı artan iki yöntemdir (Smith-Bindman vd., 2019). BT ve MR'ın son yıllarda (nöro) radyoloji alanındaki

çalışmaların %50'sinden fazlasında yer almaktadır (Pesapane vd., 2018; Khunte vd., 2022). Literatürde, Topol (2019), inme veya kafa travması gibi nörolojik 37 bin vakada BT taraması gerçekleştirmiştir. Geliştirilen algoritma 0,73'lük AUC sonucu ile taramaları radyologlardan 150 kat daha hızlı yorumlayabilmiştir. Xu vd. (2022) ise Parkinson Hastalığı (PH) tespiti için MR görüntülerini MÖ teknikleri ile sınıflandırmış ve %94,4 düzeyinde yüksek doğruluk rapor etmiştir.

Gıda endüstrisi dünyada en büyük sektörlerden birisidir. Bu sektörde, arz-talep zincirinin korunması, gıda güvenliği ve diğer aşamalarda insan faktörü kaynaklı risklerin minimize edilebilmesi önemlidir. Bu nedenle, endüstriyel otomasyona ağırlık verilmektedir. YZ ve alt alanlarının endüstriyel otomasyonu destekleyecek biçimde süreçlere dâhil edilmesi gıda zincirinin pek çok aşamasında olası riskleri önleyebilecektir (Kumar vd., 2021). YZ (MÖ), karmaşık bir süreç olan gıda üretiminde, ürün sınıflandırma ve ambalajlama, personel sanitasyonu, müşteri beklentileri için karar verme süreçleri, makine/donanım bakımı, yeni ürün geliştirme ve lansmanı ile gıda arz-talep zinciri yönetimi konularında artan şekilde ilgi görmeye başlamıştır (Garre vd., 2020). Bizim çalışmamızda farklı sıcaklıklarda ısıtılma maruz bırakılan YA örnekleri MR ve BT radyoloji beyin tarama protokolü ile görüntülenmiş ve MÖBLR gözetimli öğrenme (supervised learning) regresyon teknikleri ile sınıflandırılmıştır. Bu şekilde, farklı sıcaklıklar, dH<sub>2</sub>O ile D<sub>2</sub>O içeriklerine ait yüksek kaliteli görüntüler arasında anlamlı ilişki olup olmadığı tespit edilebilmiştir. Elde edilen gri MR görüntüleri için sınıflandırma doğruluk değeri 0,95 olarak bulunmuş olup, Topol (2019) ve Xu vd. (2022)'inin sonucu ile paralellik göstermiştir. Özetle, bu çalışma farklı ısıtılma işlemlerde distile su ve D<sub>2</sub>O varlığında YA fizikokimyasal değişimlerin MR ve BT görüntülerini MÖ algoritmaları yoluyla sınıflandırarak yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilebileceğini ortaya koymuştur.

Bu araştırmada, D<sub>2</sub>O ilavesinin, farklı ısıtılma işlemlere maruz bırakılan YA proteinlerinin fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkisi spektroskopik, radyografik ve yapay zekâ (MÖ) yöntemleri ile incelenmiştir. Çalışmamız bu yönü ile gıda mühendisliği ve bilimi alanında farklı tekniklerin ürün stabilitesini anlama ve tahmin yapabilme hakkında birlikte tamamlayıcı şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

## ALTINCI BÖLÜM

### SONUÇ

Bu çalışmada, D<sub>2</sub>O ve farklı ısı işlemlerin YA proteinlerinin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkileri spektroskopi, radyografi ve yapay zekâ (MÖ) teknikleri ile araştırılmıştır. Sonuç olarak, D<sub>2</sub>O ilavesinin ısı işleme karşı protein denatürasyonunu farklı düzeylerde koruduğu, FTIR testi ile ikincil yapı unsurlarındaki % değişimlerin, spektroskopik MR ve radyografik BT görüntülerinin MÖBLR gözetimli öğrenme (supervised learning) ve regresyon teknikleri ile yüksek doğruluklu sınıflandırılabilirdiği görülmüştür. Çalışmamız bu yönü ile gıda mühendisliği ve bilimi alanında farklı tekniklerin ürün stabilitesini anlama ve tahmin yapabilme hakkında birlikte tamamlayıcı şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Nükleer reaktörlerde proton yavaşlatıcı ve ısı tolere edici işlevsellikleri olan D<sub>2</sub>O famasötik, biyolojik bilimler ve veterinerlikte de değerlendirilmeye başlanmıştır. Isı soğurma kabiliyeti ile (normal suya göreceli) daha yüksek erime ve kaynama noktaları, D<sub>2</sub>O'nun sıcak bölgelerde soğuk zincirin kırılma olasılığına karşı aşuların koruyucu amaçlı formülasyonlarda yer almasını sağlamaktadır. Bu noktadan hareketle, araştırmamız, D<sub>2</sub>O'nun ısı işleme karşı gıda mühendisliği ve bilimi alanında değerlendirilme potansiyelini anlamaya dönük ilk çalışma olmuştur. Aynı zamanda, gıda endüstrisinde yoğun biçimde kullanılan YA'nın farklı sıcaklıklarda işlevselliklerini tahmin edebilme, ürün stabilitesi ve kalitesine dönük veri sağlamak bakımından literatüre katkı sağlamıştır.

Gıdaların zorlu fiziki koşullara uyum sağlamaları karmaşık ve farklı moleküllerarası etkileşmelerde değişimler olmasını gerektirmektedir. Sıcaklık gibi fiziki stres faktörleri gıda stabilitesini sağlamaya için gerekli karmaşık, uygulanabilir ve fizikokimyasal özellikleri etkilemektedir. Bildiğimiz kadarı ile gıda stabilitesini tam anlamı ile sağlayabilen çözüm(ler) henüz ortaya konulamamıştır. Aynı zamanda, suyun gıdaların davranışlarını ve yapısal değişimlerini kavramakta rolü bulunmaktadır. Bu sebeple, geleneksel bakış dışında konuya yeni açılardan yaklaşılması gelecek için potansiyel fırsatlar sunmaktadır. Bu bağlamda, araştırmamız, farklı alanlarda uygulama fırsatı bulan

yaşamın kaynağı normal suyun farklı izotopu D<sub>2</sub>O'nun gıda mühendisliği ve bilimi açısından daha geniş kapsamlı çalışmaları hak ettiğini göstermiştir.

Proteince zengin gıda ürünlerinde protein stabilitesinin farklı teknikler kullanarak incelenmesi önem taşımaktadır. Karmaşık bir süreç olan gıda üretiminde kimya bilim dalından olduğu kadar, fizik kurallarından da faydalanılması gerektiği görülmüştür. Bu durum ise gıda mühendisliği ve bilimini çok yönlü ve çok disiplinli bir alan yapmaktadır.

Özetle, araştırmamız, YA ve proteinlerinin ısıl işleme maruz bırakıldıklarında yapısal değişimlerini spektroskopik ve radyografik görüntüleme teknikleri ile fonksiyonel grup ve yapısal temelli ele alması ve de görüntü işleme yoluyla ürün stabilitesini anlama ve tahmin yapabilme hakkında deneyim kazanılmasını sağlamıştır.

Bir diğer ifadeyle, görüntüleme tekniklerinin kendine özgü analitik ve tanımlayıcı dizilerini YZ (MÖ) temelli veri girdileri formuna dönüştürerek gıda mühendisliği ve bilimin alanında birlikte kullanılabileceğini göstermiştir. Bu sebeple, benzer çalışmaların sürdürülmesi gerekliliği anlaşılmıştır.

Yapay zekâ ve MÖ teknikleri özellikle klinik süreçlerde artan şekilde rağbet görmektedir. Diğer taraftan, bu çağdaş analiz teknikleri gıda mühendisliği ve bilim dalının da ilgisini çekmektedir. YZ (MÖ) gibi novel yaklaşımların gıda üretimi zincirinin her aşamasında kullanılması ve geliştirilmesinde fayda olduğu görülmüştür. Bu sebeple, çalışmamız, yapay zekâ ve MÖ gibi alt alanlarının Ar-Ge ve ürün geliştirme fırsatları sunduğunu ortaya koymuştur.

Bu bağlamda, önerilerimiz aşağıda sunulmaktadır:

- D<sub>2</sub>O'nun gıda mühendisliği ve bilim dalında değerlendirilme potansiyeli doğa ve yaşam bilimlerinde olduğu gibi ileri çalışmalar ile incelenmeye devam edilmelidir;
- Gıda mühendisliği ve bilim dalının çok yönlü ve çok disiplinli doğası dikkate alındığında, fizik ve kimya bilim dallarının ortaklaşa kullanıldıkları araştırmalara ağırlık verilmelidir;
- Gıda stabilitesi konusu karmaşık ve holistik yaklaşım içermektedir. Bu sebeple, mültidisipliner işbirlikleri geliştirilmelidir;

- Farklı analiz tekniklerinin bir arada kullanıldıkları lisansüstü ve bilimsel temelli çalışmalar özendirilmelidir;



## KAYNAKÇA

- Abeyrathne, E., Lee, H., & Ahn, D. (2013). Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents—A review. *Poultry Science*, 92(12): 3292–3299.
- Addanki, M., Patra, P., & Kandra, P. (2022). Recent advances and applications of artificial intelligence and related technologies in the food industry. *Applied Food Research*, 2(2): 100126.
- Ai, M., Zhang, Z., Fan, H., Cao, Y., & Jiang, A. (2021). High-intensity ultrasound together with heat treatment improves the oil-in-water emulsion stability of egg white protein peptides. *Food Hydrocolloids*, 111: 106256.
- Aït-Kaddour, A., Hassoun, A., Bord, C., Schmidt-Filgueras, R., Biancolillo, A., di Donato, F., Temiz, H. T., & Cozzolino, D. (2021). Application of Spectroscopic Techniques to Evaluate Heat Treatments in Milk and Dairy Products: an Overview of the Last Decade. *Food and Bioprocess Technology*, 14(5): 781–803.
- Akyüz, A., & Bilek, S. E. (2018). Protein çöktürme yöntemlerinin karşılaştırılması. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 33(2): 83-92.
- Alamprese, C., Cigarini, M., & Brutti, A. (2019). Effects of ohmic heating on technological properties of whole egg. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 58: 102244.
- Alavi, F., Emam-Djomeh, Z., Momen, S., Mohammadian, M., Salami, M., & Moosavi-Movahedi, A. A. (2019). Effect of free radical-induced aggregation on physicochemical and interface-related functionality of egg white protein. *Food Hydrocolloids*, 87: 734–746.
- Al-Lafi, A. G., & AL-Naser, I. (2022). Application of 2D-COS-FTIR spectroscopic analysis to milk powder adulteration: Detection of melamine. *Journal of Food Composition and Analysis*, 113: 104720.

- Alp, D., & Bulantekin, Z. (2021). The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review. *European Food Research and Technology*, 247(6): 1333–1343.
- Anakız, S. (2022). *Mikrodalga ve ultrases–destekli mikrodalga pastörizasyon yöntemlerinin koruk suyunun kalite özelliklerine etkisi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Antony, M. A., & Kumar, R. S. (2021). *A Comparative Study on Predicting Food Quality using Machine Learning Techniques*. 7th International Conference on Advanced Computing, Coimbatore, India. Erişim: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9441743>
- Apurva, M., & Mazumdar, H. (2020). Predicting structural class for protein sequences of 40% identity based on features of primary and secondary structure using Random Forest algorithm. *Computational Biology and Chemistry*, 84: 107164.
- Arroyo-Cerezo, A., Jimenez-Carvelo, A. M., González-Casado, A., Koidis, A., & Cuadros-Rodríguez, L. (2021). Deep (offset) non-invasive Raman spectroscopy for the evaluation of food and beverages – A review. *Food Science and Technology*, 149: 111822.
- Asaithambi, N., Singha, P., & Singh, S. K. (2022). Comparison of the effect of different desugarization techniques on the functionality of egg white protein hydrolysates. *Applied Food Research*, 2(2): 100152.
- Balcı Torun, F., & Ozdemir, F. (2021). Çilek Aromasının Depolama Kararlılığı Üzerine Püskürterek Kurutma Yöntemiyle Enkapsülasyon İşleminin Etkisi ve Mikrokapsüllerin Model Gıdalarda Etkinliğinin Belirlenmesi. *The Journal Of Food*, 46(3): 751-765
- Baltalı, B. (2020). *Sous-vide Pişirme Tekniği Temel Aktörlerinin Farklı Turizm İşletmeleri Bağlamında Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği* (Yayımlanmamış Doktora Tezi) Anadolu Üniversitesi, Türkiye.
- Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Rocha, R. S., Pimentel, T. C., Neto, R. P., Tavares, M. I. B., Graça, J. S., Alves Filho, E. G., Freitas, M. Q.,

- Esmerino, E. A., Granato, D., Rodrigues, S., Raices, R. S., Silva, M. C., Sant'Ana, A. S., & Cruz, A. G. (2021). Nuclear magnetic resonance as an analytical tool for monitoring the quality and authenticity of dairy foods. *Trends in Food Science & Technology*, *108*: 84–91.
- Baronio, C. M., & Barth, A. (2020). The amide I spectrum of proteins—optimization of transition dipole coupling parameters using density functional theory calculations. *The Journal of Physical Chemistry B*, *124*(9): 1703-1714
- Bedoya, M. G., Montoya, D. R., Tabilo-Munizaga, G., Pérez-Won, M., & Lemus-Mondaca, R. (2022). Promising perspectives on novel protein food sources combining artificial intelligence and 3D food printing for food industry. *Trends in Food Science & Technology*, *128*: 38–52.
- Begam, N., Ragulskaya, A., Girelli, A., Rahmann, H., Chandran, S., Westermeier, F., & Schreiber, F. (2021). Kinetics of network formation and heterogeneous dynamics of an egg white gel revealed by coherent x-ray scattering. *Physical review letters*, *126*(9): 098001.
- Berná, G., & Romero-Gomez, M. (2020). The role of nutrition in non-alcoholic fatty liver disease: Pathophysiology and management. *Liver International*, *40*(S1): 102–108.
- Bhattacharjee, N., & Biswas, P. (2010). Position-specific propensities of amino acids in the beta-strand. *BMC Structural Biology*, *10*(1): 29.
- Blinov, A. V., Siddiqui, S. A., Blinova, A. A., Khramtsov, A. G., Oboturova, N. P., Nagdalian, N. S., Simonov, A. N., & Ibrahim, S. A. (2022). Analysis of the dispersed composition of milk using photon correlation spectroscopy. *Journal of Food Composition and Analysis*, *108*: 104414.
- Boire, A., Bouchoux, A., Bouhallab, S., Chapeau, A. L., Croguennec, T., Ferraro, V., & Anton, M. (2018). Proteins for the future: A soft matter approach to link basic knowledge and innovative applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *46*: 18–28.

- Bongirwar, V., & Mokhade, A. (2022). Different methods, techniques and their limitations in protein structure prediction: A review. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 173: 72–82.
- Buhl, T. F., Christensen, C. H., & Hammershøj, M. (2019). Aquafaba as an egg white substitute in food foams and emulsions: Protein composition and functional behavior. *Food Hydrocolloids*, 96: 354–364.
- Burbidge, A. S., & le Révérend, B. J. D. (2016). Biophysics of food perception. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 49(11): 114001.
- Camaréna, S. (2020). Artificial intelligence in the design of the transitions to sustainable food systems. *Journal of Cleaner Production*, 271: 122574.
- Candan, T., & Bağdatlı, A. (2018). Et Teknolojisinde Alternatif Isıtma Yöntemleri. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2): 656–670.
- Cao, H., Wang, J., He, L., Qi, Y., & Zhang, J. Z. (2019). DeepDDG: Predicting the stability change of protein point mutations using neural networks. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 59(4): 1508–1514.
- Chai, J. J., O’Sullivan, C., Gowen, A. A., Rooney, B., & Xu, J. L. (2022). Augmented/mixed reality technologies for food: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 124: 182–194.
- Chaudhari, R. R., & Bhongale, C. J. (2022). Simultaneous TG-FTIR analyses on molluscan shells: Characterization and thermal stability of organic-inorganic components. *Chemical Geology*, 611: 121132.
- Chen, M., Wang, Y., Li, W., Xia, M., Meng, Z., & Xia, L. (2022). A Dual-angle fiber dynamic light scattering system integrated with microfluidic chip for particle size measurement. *Optics & Laser Technology*, 150: 107891.
- Chen, Y., Llave, Y., Jiao, Y., Okazaki, E., Sakai, N., & Fukuoka, M. (2022). Ohmic tempering using a high frequency ohmic heating and model food of minced tuna based on Allaska pollock surimi – Evaluation of electrical conductivities. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76: 102940.
- Cornish, A. (2019). X-ray CT imaging of food. *Food Science and Technology*, 33(3): 30–33.

- Çağlar, M. Y., Demirci, M., Şahiner, A., Çakır, B., & Çağlar, A. F. (2019). Gıda Analizlerinde Kullanılan Spektroskopik Teknikler. *Akademik Gıda* 17(1): 121-130.
- Çakmak, E. (2021). *Derin öğrenme yöntemi ile protein ikincil yapı tahmini* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Çavdaroglu, C., & Ozen, B. (2021). Prediction of vinegar processing parameters with chemometric modelling of spectroscopic data. *Microchemical Journal*, 171: 106886.
- Çivi, C., Yılmaz, T., & Başaran, A. (2019). Gıda İşleme Proseslerinde İndüksiyon ile Isıtma Kullanımının Değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2): 158–168.
- da Costa Filho, P. A., Chen, Y., Cavin, C., & Galluzzo, R. (2022). Mid-infrared spectroscopy: Screening method for analysis of food adulterants in reconstituted skimmed milk powder. *Food Control*, 136: 108884.
- Dağlıoğlu, Y. (2018). Ekotoksosite Deneylerinde Nanopartikül Karakterizasyonunun Önemi ve Yöntemleri. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30(1): 1-17.
- De Gennes, P. G. (1992). Yumuşak madde. *Fen Bilimleri*, 256(5056): 495-497.
- de Jong, L., Roseboom, W., & Kramer, G. (2021). Towards low false discovery rate estimation for protein-protein interactions detected by chemical cross-linking. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1869(7): 140655.
- de Kruif, C. G. K. (2012). Concluding remarks: the future of soft matter and food structure. *Faraday Discussions*, 158: 523.
- de Souza, R. R., Fernandes, D. D. D. S., & Diniz, P. H. G. D. (2021). Honey authentication in terms of its adulteration with sugar syrups using UV–Vis spectroscopy and one-class classifiers. *Food Chemistry*, 365: 130467.
- Deller, M. C., Kong, L., & Rupp, B. (2016). Protein stability: A crystallographer's perspective. *Acta Crystallographica Section F Structural Biology Communications*, 72(2): 72–95.

- Demirhan Yılmaz, E. (2012). *Susam Küspesindeki Proteinin Enzimatik Hidrolizinin, Çözünürlüğünün, Enzim İnaktivasyon Kinetiğinin ve Fonksiyonel Özelliklerinin İncelenmesi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Devu, S. S., Dileepmon, R., Kothakota, A., Venkatesh, T., Pandiselvam, R., Garg, R., & Khaneghah, A. M. (2022). Toksik bileşiklerin oluşumunu azaltmak için pişirme teknolojilerindeki son gelişmeler: Bir gözden geçirme. *Gıda Kontrolü*, 108707.
- Ding, F., Borreguero, J. M., Buldyrey, S. V., Stanley, H. E., & Dokholyan, N. V. (2003). Mechanism for the alpha-helix to alpha-hairpin transition. *Proteins: Structure, Function, and Genetics*, 53(2): 220–228.
- Ding, Q., Liu, X., Sang, Y., Tian, G., Wang, Z., & Hou, Y. (2022). Characterization and emulsifying properties of mantle proteins from scallops (*Patinopecten yessoensis*) treated by high hydrostatic pressure treatment, *Food Science and Technology*, 167: 113865.
- Doğan, B. (2015). Artificial Intelligence Based Methods For The Solution Of Protein Folding Problem By Using Coarse-Grained Lattice And Off-Lattice Models. (*Master Thesis*).
- Döner, D., & İçier, F. (2018). Gıdaların Elektriksel Yöntemlerle İşlenmesinde Uygulanan Farklı Frekans ve Dalga Şekillerinin Proses Etkinliği Üzerine Etkisi. *Akademik Gıda: 16*(4): 470–482.
- Dönmez, Ö. Ç., & Pehlivan, T. (2019). Gaziantep İlinde Kışlık Hazırlıklar ve Kurutmalıklar. *Safran Kültür ve Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2(2): 275-292.
- Ekmekçi, K. (2022). Döteryum Oksitin Sıcaklık, Gama ve Ultraviyole Maruziyetlerine Karşı Yağ Asitleri Profiline Etkilerinin İncelenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Esteki, M., Shahsavari, Z., & Simal-Gandara, J. (2018). Use of spectroscopic methods in combination with linear discriminant analysis for authentication of food products. *Food Control*, 91: 100-112.

- Fan, K., Zhang, M. & Mujumdar, A. S. (2019). Recent developments in high efficient freeze-drying of fruits and vegetables assisted by microwave: A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(8):1357-1366.
- Farjami, T., Babaei, J., Nau, F., Dupont, D., & Madadlou, A. (2021). Effects of thermal, non-thermal and emulsification processes on the gastrointestinal digestibility of egg white proteins. *Trends in Food Science & Technology*, 107: 45–56.
- Faruq, A. A., Khatun, M. H. A., Azam, S. R., Sarker, M. S. H., Mahomud, M. S., & Jin, X. (2022). Recent advances in frying processes for plant-based foods. *Food Chemistry Advances*, 1: 100086.
- Feng, X., Zhou, Z., Wang, X., Bi, X., Ma, Y., & Xing, Y. (2020). Comparison of High Hydrostatic Pressure, Ultrasound, and Heat Treatments on the Quality of Strawberry–Apple–Lemon Juice Blend. *Foods*, 9(2): 218.
- Fizik Enstitüsü (IOP). (2021). Soft matter physics. Retrieved April 23, 2022,
- Gabrielle Alves De Carvalho, A., Olmo-García, L., Rachel Antunes Gaspar, B., Carrasco-Pancorbo, A., Naciuk Castelo-Branco, V., & Guedes Torres, A. (2022). Evolution of the metabolic profile of virgin olive oil during deep-frying: Assessing the transfer of bioactive compounds to the fried food. *Food Chemistry*, 380:132205.
- Gaikwad, P. S., Sunil, C., Negi, A., & Pare, A. (2022). Effect of microwave assisted hot-air drying temperatures on drying kinetics of dried black gram papad (Indian snack food). *Applied Food Research*, 2(2): 100144.
- Gao, J., Shi, Q., Ye, Y., Wu, Y., Chen, H., & Tong, P. (2022). Effects of guar gum or xanthan gum addition in conjunction with pasteurization on liquid egg white. *Food Chemistry*, 383: 132378.
- Garre, A., Ruiz, M. C., & Hontoria, E. (2020). Application of Machine Learning to support production planning of a food industry in the context of waste generation under uncertainty. *Operations Research Perspectives*, 7: 100147.

- Geng, F., Xie, Y., Wang, J., Li, S., Jin, Y., & Ma, M. (2019). Large-scale purification of ovalbumin using polyethylene glycol precipitation and isoelectric precipitation. *Poultry Science*, 98(3): 1545–1550.
- Gökkaya Erdem, B., & Kaya, S. (2022). Edible film fabrication modified by freeze drying from whey protein isolate and sunflower oil: Functional property evaluation. *Food Packaging and Shelf Life*, 33:100887.
- Güçüyener, Özlem. (2006). *Bir Kuantum Kutusu İçerisindeki Safsızlık Enerji Seviyelerinin Belirlenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Gümişik, A. (2022). *Kırınım Pencereli Kurutma Şartlarının Yumurta Tozlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Hamet, P., & Tremblay, J. (2017). Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*, 69: 36–40.
- Hassan, M., Zeeshan, A., Majeed, A., & Ellahi, R. (2017). Particle shape effects on ferrofluids flow and heat transfer under influence of low oscillating magnetic field. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 443: 36–44.
- Hills, B., Benamira, S., Marigheto, N., & Wright, K. (2004). T 1-T 2 correlation analysis of complex foods. *Applied Magnetic Resonance*, 26(4): 543–560.
- Hogan, S., O’Loughlin, I., & Kelly, P. (2016). Soft matter characterisation of whey protein powder systems. *International Dairy Journal*, 52: 1–9.
- Hu, R., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2022). Novel assistive technologies for efficient freezing of pork based on high voltage electric field and static magnetic field: A comparative study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80: 103087.
- Huppertz, T., & Chia, L. W. (2021). Milk protein coagulation under gastric conditions: A review. *International Dairy Journal*, 113: 104882.

- Hügler, M., Omoumi, P., van Laar, J. M., Boedecker, J., & Hügler, T. (2020). Applied machine learning and artificial intelligence in rheumatology. *Rheumatology Advances In Practice*, 4(1).
- İncedayı, B., Seyhan, B., & Çopur, Ö. U. (2019). Ohmik ısıtma destekli işlemlerin gıdalarda kullanımını ve kalite üzerine etkisi 33(2): 341-354.
- Jafari, S. M., & Samborska, K. (2021). Spray drying for the retention of food bioactive compounds and nutraceuticals – 150th anniversary of spray drying. *Drying Technology*, 39(12): 1773.
- Jia, W., Li, Y., Qu, R., Baranowski, T., Burke, L. E., Zhang, H., Bai, Y., Mancino, J. M., Xu, G., Mao, Z. H., & Sun, M. (2019). Automatic food detection in egocentric images using artificial intelligence technology. *Public Health Nutrition*, 22(7): 1168-1179.
- Jiang, Q., Han, J., Gao, P., Yu, L., Xu, Y., & Xia, W. (2018). Effect of heating temperature and duration on the texture and protein composition of Bighead Carp (*Aristichthys nobilis*) muscle. *International Journal of Food Properties*, 21(1): 2110–2120.
- Jiao, Q., Lin, B., Mao, Y., Jiang, H., Guan, X., Li, R., & Wang, S. (2022). Effects of combined radio frequency heating with oven baking on product quality of sweet potato. *Food Control*, 139: 109097.
- Jiménez-Rosado, M., Rubio-Valle, J. F., Perez-Puyana, V., Guerrero, A., & Romero, A. (2020). Use of heat treatment for the development of protein-based bioplastics. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 18: 100341.
- Julmanlik, T., & Kongruang, S. (2019). Functional Properties and Applications of Egg White Protein Hydrolysates. *Journal of Food Technology, Siam University*, 14(1): 69–87.
- Kan, X., Chen, G., Zhou, W., & Zeng, X. (2021). Application of protein-polysaccharide Maillard conjugates as emulsifiers: Source, preparation and functional properties. *Food Research International*, 150: 110740.
- Karabacak, A. Ö. (2015). Gıda Bileşenleri Üzerine Isıl Olmayan İşleme Yöntemlerinin Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi

- Karaçam, H., & Konak, Ü. İ. (Eds.). (2021). *Gıda Alerjenleri, Bulaşanları ve Halk Sağlığı Açısından Önemi* (1st ed., Vol. 1) [E-book]. Avrasya Üniversitesi.
- Kast, O., Schaible, T., & Bonten, C. (2020). Interdependence of Hygroscopic Polymer Characteristics and Drying Kinetics during Desiccant Drying and Microwave Supported Drying. *International Polymer Processing*, 35(4): 376–384.
- Kataoka, N., Sekiguchi, M., & Kawahara, D. (2020). Dose Evaluation for Sterilization of Shell Egg Using Low Energy Electron Beam. *Radioisotopes*, 69(5): 163–170.
- Kaya, O., & İçier, F. (2019). İndüksiyon ve Ohmik Isıtma İşlemlerinin Gıdalara Uygulanabilirliğinin Karşılaştırılması. *Akademik Gıda*, 17(1): 111–120.
- Khunte, M., Chae, A., Wang, R., Jain, R., Sun, Y., Sollee, J. R., & Bai, H. X. (2022). Trends in clinical validation and usage of US Food and Drug Administration-cleared artificial intelligence algorithms for medical imaging. *Clinical Radiology*. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2022.09.122>
- Kim, N. A., Thapa, R., & Jeong, S. H. (2018). Preferential exclusion mechanism by carbohydrates on protein stabilization using thermodynamic evaluation. *International journal of biological macromolecules*, 109: 311-322.
- Kong, J., & Yu, S. (2007). Fourier Transform Infrared Spectroscopic Analysis of Protein Secondary Structures. *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 39(8): 549–559.
- Kruk, D., Florek-Wojciechowska, M., Oztop, M., Ilhan, E., & Wieczorek, Z. (2021). Water dynamics in eggs by means of Nuclear Magnetic Resonance relaxometry. *Journal of Magnetic Resonance*, 327: 106976.
- Kumar, I., Rawat, J., Mohd, N., & Husain, S. (2021). Opportunities of Artificial Intelligence and Machine Learning in the Food Industry. *Journal of Food Quality*, 2021: 1–10.

- Kutlugün, M. A. (2017). *Gözetimli Makine Öğrenmesi Yoluyla Türe Göre Metinden Ses Sentezleme* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lang, G. H., Timm, N. D. S., Neutzling, H. P., Ramos, A. H., Ferreira, C. D., & de Oliveira, M. (2022). Infrared radiation heating: A novel technique for developing quick-cooking rice. *Food Science and Technology*, *154*: 112758.
- Lee, E. H. (2021). A Review on Applications of Infrared Heating for Food Processing in Comparison to Other Industries. *Innovative Food Processing Technologies*, 431–455.
- Lee, J. H., & Paik, H. D. (2019). Anticancer and immunomodulatory activity of egg proteins and peptides: A review. *Poultry science*, *98*(12): 6505-6516.
- Leśniewski, G., & Yang, T. (2021). Lysozyme and its modified forms: A critical appraisal of selected properties and potential. *Trends in Food Science & Technology*, *107*: 333–342.
- Li, C., Zang, X., Zhu, B. W., & Tan, M. (2017). A Method to Analyze the Protein Denaturation of Whole Quail Egg Based on in situ NMR and MRI. *International Journal of Food Engineering*, *13*(5): 20160379.
- Li, C. (2022). Recent progress in understanding starch gelatinization - An important property determining food quality. *Carbohydrate Polymers*, *293*: 119735.
- Li, S., Yan, Y., Guan, X., & Huang, K. (2020). Preparation of a hordein-quercetin-chitosan antioxidant electrospun nanofibre film for food packaging and improvement of the film hydrophobic properties by heat treatment. *Food Packaging and Shelf Life*, *23*: 100466.
- Li, Z., Wang, J., Zhang, S., Zhang, Q., & Wu, W. (2017). A new hybrid coding for protein secondary structure prediction based on primary structure similarity. *Gene*, *618*, 8–13.
- Liao, W., Jahandideh, F., Fan, H., Son, M., & Wu, J. (2018). Egg protein-derived bioactive peptides: Preparation, efficacy, and absorption. *Advances in food and nutrition research*, *85*: 1-58.

- Liu, B., Jin, F., Li, Y., Wang, H., Chi, Y., Tian, B., & Feng, Z. (2022). Pasteurization of egg white by integrating ultrasound and microwave: Effect on structure and functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79: 103063.
- Liu, X., Ma, L., Zhong, M., Wei, S., Liu, Y., Dong, S., & Li, S. (2022). Formation mechanism of high-viscosity gelatinous egg white among “Fenghuang Egg”: Phenomenon, structure, and substance composition. *International Journal of Biological Macromolecules*, 217: 803–813.
- Liu, X., Wang, J., Liu, L., Cheng, L., Huang, Q., Wu, D., Peng, L., Shi, X., Li, S., & Geng, F. (2021). Quantitative N-glycoproteomic analyses provide insights into the effects of thermal processes on egg white functional properties. *Food Chemistry*, 342: 128252.
- Liu, Z., Huang, M., Zhu, Q., Qin, J., & Kim, M. S. (2022). A packaged food internal Raman signal separation method based on spatially offset Raman spectroscopy combined with FastICA. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 275: 121154.
- Luca, A. R., Ursuleanu, T. F., Gheorghe, L., Grigorovici, R., Iancu, S., Hlusuac, M., & Grigorovici, A. (2022). Impact of quality, type and volume of data used by deep learning models in the analysis of medical images. *Informatics in Medicine Unlocked*, 29: 100911.
- Lurie, D. J., Aime, S., Baroni, S., Booth, N. A., Broche, L. M., Choi, C. H., ... & Pine, K. J. (2010). Fast field-cycling magnetic resonance imaging. *Comptes Rendus Physique*, 11(2): 136-148.
- Ma, J., Tong, P., Chen, Y., Wang, Y., Ren, H., Gao, Z., & Long, F. (2022). The inhibition of pectin oligosaccharides on degranulation of RBL-2H3 cells from apple pectin with high hydrostatic pressure assisted enzyme treatment. *Food Chemistry*, 371: 131097.
- Ma, Y., Zang, J., Qing, M., Xiao, Y., Zhang, H., Chi, Y., & Chi, Y. (2022). Glycosylation of egg white protein with maltodextrin in the dry state: Changes in structural and gel properties. *Food Chemistry*, 401: 134113.

- Ma, Z., Chi, Y., Zhang, H., Chi, Y., & Ma, Y. (2022). Inhibiting effect of dry heat on the heat-induced aggregation of egg white protein. *Food Chemistry*, 387: 132850.
- Makshakova, O. N., & Zuev, Y. F. (2022). Interaction-Induced Structural Transformations in Polysaccharide and Protein-Polysaccharide Gels as Functional Basis for Novel Soft-Matter: A Case of Carrageenans. *Gels*, 8(5), 287.
- Manful, C. F., Vidal, N. P., Pham, T. H., Nadeem, M., Wheeler, E., Hamilton, M. C., & Thomas, R. H. (2020). Unfiltered beer based marinades reduced exposure to carcinogens and suppressed conjugated fatty acid oxidation in grilled meats. *Food Control*, 111:107040.
- Mankova, A., Nagaeva, A., Brandt, N., & Chikishev, A. Y. (2022). Comparison of vibrational spectra of proteins with similar secondary and different tertiary structures. *Vibrational Spectroscopy*, 120: 103375.
- Manning, L., Brewer, S., Craigon, P. J., Frey, J., Gutierrez, A., Jacobs, N., Kanza, S., Munday, S., Sacks, J., & Pearson, S. (2022). Artificial intelligence and ethics within the food sector: Developing a common language for technology adoption across the supply chain. *Trends in Food Science & Technology*, 125: 33–42.
- Mariette, F. (2009). Investigations of food colloids by NMR and MRI. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 14(3): 203-211.
- Markoska, T., Daniloski, D., Vasiljevic, T., & Huppertz, T. (2021). Structural Changes of  $\beta$ -Casein Induced by Temperature and pH Analysed by Nuclear Magnetic Resonance, Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, and Chemometrics. *Molecules*, 26(24): 7650.
- Marsanasco, M., & Alonso, S. D. V. (2021). Physicochemical, functional, and sensory characterization of orange juice containing food additives with bioactive compounds under heat treatment and storage conditions. *Food Bioscience*, 44: 101393.

- Martins, J. T., Bourbon, A. I., Pinheiro, A. C., Fasolin, L. H., & Vicente, A. A. (2018). Protein-based structures for food applications: From Macro to nanoscale. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2: 77.
- Masuda, M., Wang, Q., Tokumura, M., Miyake, Y., & Amagai, T. (2019). Simultaneous determination of polycyclic aromatic hydrocarbons and their chlorinated derivatives in grilled foods. *Ecotoxicology and environmental safety*, 178: 188-194.
- Matsarskaia, O., Braun, M., Da Vela, S., Zhang, F., & Schreiber, F. (2017). Proteins As Soft Matter: Interactions, Phase Behavior And Health Research. University of Tübingen, Germany.
- Mengucci, C., Ferranti, P., Romano, A., Masi, P., Picone, G., & Capozzi, F. (2022). Food structure, function and artificial intelligence. *Trends in Food Science & Technology*, 123: 251–263.
- Mirmoghtadaie, L., Shojaee Aliabadi, S., & Hosseini, S. M. (2016). Recent approaches in physical modification of protein functionality. *Food Chemistry*, 199: 619–627.
- Mishyna, M., Martinez, J.-J. I., Chen, J., Davidovich-Pinhas, M., & Benjamin, O. (2019). Heat-induced aggregation and gelation of proteins from edible honey bee brood (*apis mellifera*) as a function of temperature and pH. *Food Hydrocolloids*, 91: 117–126.
- Morawietz, T., Singraber, A., Dellago, C., & Behler, J. (2016). How van der waals interactions determine the unique properties of water. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(30): 8368–8373.
- Mukhametzyanov, T. A., Fatkhutdinova, A. A., & Schick, C. (2022). Step-scan differential calorimetry of protein denaturation: Modeling and experiment. *Thermochimica Acta*, 710: 179181.
- Munialo, C. D., Stewart, D., Campbell, L., & Euston, S. R. (2022). Extraction, characterisation and functional applications of sustainable alternative protein sources for future foods: A Review. *Future Foods*, 6: 100152.

- Murayama, K., & Tomida, M. (2004). Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ile araştırılan sığır serum albümininin ısıya bağlı sekonder yapısı ve konformasyon değişimi. *Biyokimya*, 43(36): 11526-11532.
- Muschelli III, J. (2020). ROC and AUC with a binary predictor: a potentially misleading metric. *Journal of classification*, 37(3): 696-708.
- Muthu, S., & Elamurugu Porchelvi, E. (2013). FTIR, FT-RAMAN, NMR, spectra, normal co-ordinate analysis, NBO, NLO and DFT calculation of N,N-diethyl-4-methylpiperazine-1-carboxamide molecule. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 115: 275–286.
- Nair Varun, N., & George, J.J. (2018). Computational Approaches for Protein Stability Studies. *Recent Trends in Science and Technology-2018* (ISBN: 9788192952130). 51-56.
- Negida, A., Fahim, N. K., & Negida, Y. (2019). Sample size calculation guide-part 4: how to calculate the sample size for a diagnostic test accuracy study based on sensitivity, specificity, and the area under the roc curve. *Frontiers in Emergency Medicine*, 3(3): 33-33.
- Newton, M. H., Zaman, R., Mataeimoghadam, F., Rahman, J., & Sattar, A. (2022). Constraint guided beta-sheet refinement for protein structure prediction. *Computational Biology and Chemistry*, 101: 107773.
- Olgun, M., Dikmen, G., Budak Başçiftçi, Z., Karaduman, Y., Ayter, N. G., Aydın, D., Belen, S., Ardiç, M., Koyuncu, O., & Sezer, O. (2020). Nmr spektroskopisi ile ekmeçlik buğdayda kimyasal içerik analizi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(2): 190–197.
- Otero, L., Pérez-Mateos, M., Rodríguez, A. C., & Sanz, P. D. (2017). Electromagnetic freezing: Effects of weak oscillating magnetic fields on crab sticks. *Journal of Food Engineering*, 200: 87-94.
- Ozel, B., & Oztop, M. H. (2021). A quick look to the use of time domain nuclear magnetic resonance relaxometry and magnetic resonance imaging for food quality applications. *Current Opinion in Food Science*, 41: 122–129.

- Patrick, C. (2022). Freezing instead of freeze-drying before spectroscopy preserves sample surface structure. *Scilight*, 2022(12): 121109.
- Pesapane, F., Codari, M., & Sardanelli, F. (2018). Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *European radiology experimental*, 2(1): 1-10.
- Polat, Ö. (2015) *Protein Fold Classification And Motif Retrieval Methods By Using The Primary And Secondary Structures* (Doctora Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Prabhu, M. T., & Sarkar, N. (2022). Inhibitory effects of carbon quantum dots towards hen egg white lysozyme amyloidogenesis through formation of a stable protein complex. *Biophysical Chemistry*, 280: 106714.
- Preethi, R., Shweta, D., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Conductive hydro drying as an alternative method for egg white powder production. *Drying Technology*, 39(3): 324-336.
- Prof. Dr. Fidancı - Proteinler. (2021). Ankara Üniversitesi. Retrieved December 26: 2021.
- Pu, X., Zhang, M., Lin, X., Tuo, Y., Murad, M. S., Mu, G., & Jiang, S. (2022). Development and characterization of acid-induced whey protein concentrate and egg white protein composite gel. *Food Science and Technology*, 164: 113624.
- Putranto, A., & Chen, X. D. (2020). Reaction engineering approach modeling of intensified drying of fruits and vegetables using microwave, ultrasonic and infrared-heating. *Drying Technology*, 38(5–6): 747–757.
- Rakipov, I. T., Petrov, A. A., Akhmadiyarov, A. A., Khachatryan, A. A., & Varfolomeev, M. A. (2022). FTIR spectral study of intermolecular interactions of C=O groups of amides in solution. *Journal of Molecular Liquids*, 354: 118838.
- Ramamirtham, S., Whitby, C. P., Zare, D., Weeks, M., & Williams, M. A. (2021). The rheological properties of bovine  $\beta$ -Lactoglobulin stabilized oil/water

interfaces depend on the protein's quaternary structure. *Food Hydrocolloids*, 120: 106834.

Ramesh, M. N. (2020). Handbook of food preservation: Pasteurization and food preservation. 599-608

Ramirez-Asis, E., Vilchez-Carcamo, J., Thakar, C. M., Phasinam, K., Kassanuk, T., & Naved, M. (2022). A review on role of artificial intelligence in food processing and manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 51: 2462–2465.

Razi, S. M., Fahim, H., Amirabadi, S., & Rashidinejad, A. (2023). An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocolloids*, 135: 108183.

Ribeiro, A. C., Casal, S., Barba, F. J., Lopes-da-Silva, J. A., & Saraiva, J. A. (2022). Sublethal moderated pressure pre-treatments for subsequent shorter and improved egg white thermal pasteurization. *Applied Food Research*, 2(2): 100200.

Rombouts, I., Wouters, A. G., Lambrecht, M. A., Uten, L., Van Den Bosch, W., Vercruyse, S. A., & Delcour, J. A. (2020). Food protein network formation and gelation induced by conductive or microwave heating: A focus on hen egg white. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66:102484.

Sak, J., & Suchodolska, M. (2021). Artificial Intelligence in Nutrients Science Research: A Review. *Nutrients*, 13(2): 322.

Sarıbay, M. U. & Köseoğlu, T. (2012). Işınlamanın Yumurta Beyazının Köpük Oluşturma Özelliği Üzerine Etkisi. *Gıda*, 37(5): 273-278.

Schoeman, L., Williams, P., Du Plessis, A., & Manley, M. (2016). X-ray micro-computed tomography ( $\mu$ CT) for non-destructive characterisation of food microstructure. *Trends in Food Science & Technology*, 47: 10–24.

Sedaghat Doost, A., Akbari, M., Stevens, C. V., Setiowati, A. D., & van der Meeren, P. (2019). A review on nuclear overhauser enhancement (NOE) and rotating-frame overhauser effect (ROE) NMR techniques in food

- science: Basic principles and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 86: 16–24.
- Sen, A., Balamurugan, V., Rajak, K. K., Chakravarti, S., Bhanuprakash, V., & Singh, R. K. (2009). Role of heavy water in biological sciences with an emphasis on thermostabilization of vaccines. *Expert Review of Vaccines*, 8(11): 1587–1602.
- Sharifi, A., Hamidi-Esfahani, Z., Ahmadi Gavlighi, H., & Saberian, H. (2022). Assisted ohmic heating extraction of pectin from pomegranate peel. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 172: 108760.
- Sharma, P., Vimal, A., Vishvakarma, R., Kumar, P., de Souza Vandenberghe, L. P., Kumar Gaur, V., & Varjani, S. (2022). Deciphering the blackbox of omics approaches and artificial intelligence in food waste transformation and mitigation. *International Journal of Food Microbiology*, 372: 109691.
- Shimadzu. (2019). Protein analysis using FTIR - analysis on changes of secondary structures in egg white proteins caused by thermal denaturation. Shimadzu. Erişim: <https://www.shimadzu.com/an/literature/ftir/jpa219009.html>
- Shimadzu. (2019). Protein Analysis Using FTIR [Online]. [https://www.shimadzu.com/an/sites/shimadzu.com.an/files/pim/pim\\_document\\_file/applications/application\\_note/13330/jpa219009.pdf](https://www.shimadzu.com/an/sites/shimadzu.com.an/files/pim/pim_document_file/applications/application_note/13330/jpa219009.pdf) (Erişim Tarihi: 04 Ağustos 2022).
- Smith-Bindman, R., Kwan, M. L., Marlow, E. C., Theis, M. K., Bolch, W., Cheng, S. Y., & Miglioretti, D. L. (2019). Trends in use of medical imaging in US health care systems and in Ontario, Canada, 2000-2016. *Jama*, 322(9): 843-856.
- Snyder, A. B. (2022). The role of heat resistance in yeast spoilage of thermally processed foods: highlighting the need for a probabilistic, systems-based approach to microbial quality. *Current Opinion in Food Science*, 46: 100852.

- Sperana, M. A., Mayorquín-Guevara, J. E., da Cruz, M. C. P., de Almeida Teixeira, G. H., & Pereira, F. M. V. (2021). Biofortification quality in bananas monitored by energy-dispersive X-ray fluorescence and chemometrics. *Food Chemistry*, 362: 130172.
- Spiliopoulou, M., Schmidt-Thieme, L., Janning, R. (2014). *Data Analysis, Machine Learning and Knowledge Discovery*, Springer.
- Stefanović, A. B., Jovanović, J. R., Dojčinović, M. B., Lević, S. M., Nedović, V. A., Bugarski, B. M., & Knežević-Jugović, Z. D. (2017). Effect of the Controlled High-Intensity Ultrasound on Improving Functionality and Structural Changes of Egg White Proteins. *Food and Bioprocess Technology*, 10(7): 1224–1239.
- Sun, Q., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2018). Recent developments of artificial intelligence in drying of fresh food: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(14): 2258–2275.
- Tang, T., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Teng, X. (2022). 3D printed white radish/potato gel with microcapsules: Color/flavor change induced by microwave-infrared heating. *Food Research International*, 158: 111496.
- Tarcan, B., & Küplülü, Ö. (2021). Kızılötesi (IR) Spektroskopinin Et ve Et Ürünlerinde Kullanımı. *Akademik Et ve Süt Kurumu Dergisi*, (1): 52-62.
- Tarhan, Z., Gözler, M., Yavuz, R. C., & Şimşek, M. (2020). Isıl İşlemin Yenilebilir Kanatlı Yumurtalarındaki Protein Fraksiyonlarına Etkisi. *Akademik Gıda*, 18(3): 233–240.
- Taşdemir, F. (2022). ROC Analizi ve R Yazılımı ile Verilerin Sınıflama Doğruluklarının Karşılaştırılması. *Ulusal Eğitim Akademisi Dergisi*, 6(2): 230-241.
- Teyin, G. (2018). *Piştirme ekipmanlarından gıdalara ağır metal geçişinin belirlenmesi* (Doktora Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Turkey.
- Tomadoni, B., Capello, C., Valencia, G. A., & Gutiérrez, T. J. (2020). Self-assembled proteins for food applications: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 101: 1–16.

- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature medicine*, 25(1): 44-56.
- Ubbink, J. (2012). Soft ingredient approaches to structured foods: from "cook and look" to rational food design? *Faraday Discussions*, 158(1): 9-35.
- Ubbink, J., Burbidge, A., & Mezzenga, R. (2008). Food structure and functionality: a soft matter perspective. *Soft Matter*, 4(8): 1569.
- Uygun-Sarıbay, M., Ergun, E., Kalaycı, Y., & Köseoğlu, T. (2016). The secondary structure of proteins in liquid, frozen, and dried egg-white samples: Effect of gamma irradiation treatment. *International Journal of Food Properties*, 20(Sup2): 1–9.
- Uysal, R. S., Boyacı, İ. H., Soykut, E. A., & Ertaş, N. (2017). Effects of heat treatment parameters on liquid whole egg proteins. *Food chemistry*, 216: 201-208.
- Ünsal, A. (2019). Beslenmenin Önemi ve Temel Besin Öğeleri. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(3): 1-10.
- van der Geest, K. S., Jamar, F., Brouwer, E., Slart, R. H., & Gheysens, O. (2022). PET imaging in vasculitis. *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 574–584.
- van der Sman, R. (2012). Soft matter approaches to food structuring. *Advances in Colloid and Interface Science*, 176–177: 18–30.
- van der Sman, R. G. M., & van der Goot, A. J. (2009). The science of food structuring. *Soft Matter*, 5(3): 501–510.
- Vilgis T. A. (2015). Soft matter food physics--the physics of food and cooking. *Reports on progress in physics. Physical Society (Great Britain)*, 78(12): 24602.
- Vilgis, T., & Limbach, H. J. (2016). The physics of food. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 49(11): 110401.
- Villalobos-Alva, J., Ochoa-Toledo, L., Villalobos-Alva, M. J., Aliseda, A., Pérez-Escamirosa, F., Altamirano-Bustamante, N. F., Ochoa-Fernández, F., Zamora-Solís, R., Villalobos-Alva, S., Revilla-Monsalve, C., Kemper-

- Valverde, N., & Altamirano-Bustamante, M. M. (2022). Protein science meets artificial intelligence: A systematic review and a biochemical meta-analysis of an Inter-field. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *10*: 788300.
- Wang, B., Wei, W., Aputexiakere, J., Li, Y., & Ma, H. (2022). Surface decontamination of whole eggs using pulsed light technology and shelf life study of combined pulsed light and vaseline coating during room temperature storage. *Food Control*, *137*: 108411.
- Wang, H., Wang, P., Shen, Q., Yang, H., Xie, H., Huang, M., & Chen, X. (2022). Insight into the effect of ultrasound treatment on the rheological properties of myofibrillar proteins based on the changes in their tertiary structure. *Food Research International*, *157*: 111136.
- Wang, J., Liu, X., Li, S., Ye, H., Luo, W., Huang, Q., & Geng, F. (2022). Ovomucin may be the key protein involved in the early formation of egg-white thermal gel. *Food Chemistry*, *366*: 130596.
- Wang, K., Sun, D. W., Pu, H., & Wei, Q. (2017). Principles and applications of spectroscopic techniques for evaluating food protein conformational changes: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *67*: 207-219.
- Wilcox, K. (2014). Using regression analyses for the determination of protein structure from FTIR spectra (Doctoral dissertation), University of Manchester.
- Wouters, A. G., Boeve, J., Dams, H., & Joye, I. J. (2022). Heat treatment as a food-grade strategy to increase the stability of whey protein particles under food system relevant conditions. *Food Hydrocolloids*, *124*: 107254.
- Xu, E., Wang, J., Tang, J., Ruan, S., Ma, S., Qin, Y., Wang, W., Tian, J., Zhou, J., Cheng, H., & Liu, D. (2022). Heat-induced conversion of multiscale molecular structure of natural food nutrients: A review. *Food Chemistry*, *369*: 130900.

- Xu, N., Zhou, Y., Patel, A., Zhang, N., & Liu, Y. (2022). Parkinson's Disease Diagnosis beyond Clinical Features: A Bio-marker using Topological Machine Learning of rs-fMRI. *Neuroscience*, 509: 43-50.
- Xue, H., Tu, Y., Zhang, G., Xu, M., Xin, X., & Zhao, Y. (2022). Mechanism of the amelioration of the protein digestibility of whole marinated eggs by strong alkali pickling: Physicochemical properties, gel structure, and proteomics. *Food Research International*, 156: 111348.
- Xue, H., Xu, M., Zhang, G., Wang, P., Yu, L., Zhao, Y., Tu, Y., & Zhao, Y. (2022). Study on the mechanism of enhanced gel strength of heat-induced egg white by shikimic acid braising. *Poultry Science*, 101(5): 101774.
- Yalçın, N. N. (2022). Döteryum Oksitin Sıcaklık ve Radyoaktif Streslere Maruz Kalan Pastörize Yumurthanın Amino Asit Profili Üzerine Etkilerinin Araştırılması (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- Yang, S., Zhang, Q., Yang, H., Shi, H., Dong, A., Wang, L., & Yu, S. (2022b). Progress in infrared spectroscopy as an efficient tool for predicting protein secondary structure. *International Journal of Biological Macromolecules*, 206: 175–187.
- Yang, W., Liu, Y., & Xiao, C. (2022c). Deep metric learning for accurate protein secondary structure prediction. *Knowledge-Based Systems*, 242: 108356.
- Yang, Y., Li, R., Xiang, Y., Lin, D., Yan, A., Chen, W., Li, Z., Lai, W., Wu, X., Wan, C., Bai, W., Huang, X., Li, Q., Deng, W., Liu, X., Lin, Y., Yan, P., & Lin, H. (2021). Standardization of collection, storage, annotation, and management of data related to medical artificial intelligence. *Intelligent Medicine*.
- Yang, Z., Duan, X., Yang, J., Wang, H., Liu, F., Xu, X., & Pan, S. (2022d). Effects of high hydrostatic pressure and thermal treatment on texture properties of pickled kohlrabi. *Food Science and Technology*, 157: 113078.

- Yao, K., Guo, W., Yao, Y., Wu, N., Xu, M., Zhao, Y., & Tu, Y. (2022). Properties, digestion and peptide release of heat-induced duck egg white. *LWT*, 154: 112788.
- Yaralı, E. (2016). Gıdalarda Temel İşlemler II. Ders Notu, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- Yaşkır, M. (2019). *Laktik asit bakterileri kullanılarak üretilen yumurta akı tozlarının fonksiyonel özelliklerin belirlenmesi* (Doctora Tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya
- Yu, C., Liang, D., Yang, C., Zhao, B., Dong, Q., Wu, A., Li, L., & Zang, H. (2022). Research progress and the application of near-infrared spectroscopy in protein structure and molecular interaction analysis. *Vibrational Spectroscopy*, 121: 103390.
- Yu, R., Chi, Y., Ma, Y., Chi, Y., & Wang, L. (2022). Differences in protein composition and functional properties of egg whites from four chicken varieties. *Food Bioscience*, 46, 101614.
- Yumuşak Madde Fizik Lab. (2022). Soft Matter Science. Retrieved April 23, 2022, from <http://softmatter.physics.uoi.gr/>
- Yüceer, M. (2007). Kolesterolü Azaltılmış Yumurta Sarısı Üretimi Ve Düşük Kolesterolü Mayonez Üretiminde Kullanımı (Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yüceer, M. (2020). Sıvı Yumurta Sarısının Ultrases Tekniğiyle İşlenmesi ile Yapısal Özelliklerinin Karakterizasyonu ve Reolojik Davranışının Belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 18(4): 402-410.
- Yüceer, M. (2021). Yumurta Biyoaktif Bileşenleri (1): Ovalbumin. *Akademik Makale*, 57: 15.17.
- Yüceer, M., Temizkan, R., & Caner, C. (2012). Fonksiyonel gıda olarak yumurta: bileşenleri ve fonksiyonel özellikleri. *Akademik Gıda*, 10(4): 70-76.
- Zeng, R., Lv, C., Wang, C., & Zhao, G. (2021). Bionanomaterials based on protein self-assembly: Design and applications in biotechnology. *Biotechnology Advances*, 52: 107835.

- Zhang, J., Wang, J., Li, M., Guo, S., & Lv, Y. (2022). Effects of heat treatment on protein molecular structure and in vitro digestion in whole soybeans with different moisture content. *Food Research International*, 155: 111115.
- Zhang, Q., Wu, K., Qian, H., Ramachandran, B., & Jiang, F. (2021). The advances of characterization and evaluation methods for the compatibility and assembly structure stability of food soft matter. *Trends in Food Science & Technology*, 112: 753–763.
- Zhang, S., Zheng, Z., Zheng, C., Zhao, Y., & Jiang, Z. (2022). Effect of high hydrostatic pressure on activity, thermal stability and structure of horseradish peroxidase. *Food Chemistry*, 379: 132142.
- Zhang, Y., Zheng, Z., Liu, C., Tan, C. P., Xie, K., & Liu, Y. (2022). A comparative study between freeze-dried and spray-dried goat milk on lipid profiling and digestibility. *Food Chemistry*, 387: 132844.
- Zhao, J.-H., Liu, L.-S., Sablani, S. S., Peng, Y.-J., Xiao, H.-W., Bai, J., & Guo, H. (2020). Comparison of the thermal transitions of spray-dried and freeze-dried egg whites by differential scanning calorimetry. *Food and Bioprocess Technology*, 13(8): 1329–1343.
- Zhao, L., Zhang, S., Lu, J., & Lv, J. (2020). Effects of heat treatment and stabilizing salts supplementation on the physicochemical properties, protein structure and salts balance of goat milk. *Food Science and Technology*, 132: 109878.
- Zhou, H., Vu, G., & McClements, D. J. (2022). Formulation and characterization of plant-based egg white analogs using RuBisCO protein. *Food Chemistry*, 397: 133808.
- Zhu, Y., Vanga, S. K., Wang, J., & Raghavan, V. (2018). Effects of Ultrasonic and Microwave Processing on Avidin Assay and Secondary Structures of Egg White Protein. *Food and Bioprocess Technology*, 11(11): 1974–1984.

Zou, Y., Tang, W., & Li, B. (2022). Mass spectrometry imaging and its potential in food microbiology. *International Journal of Food Microbiology*, 371: 109675.



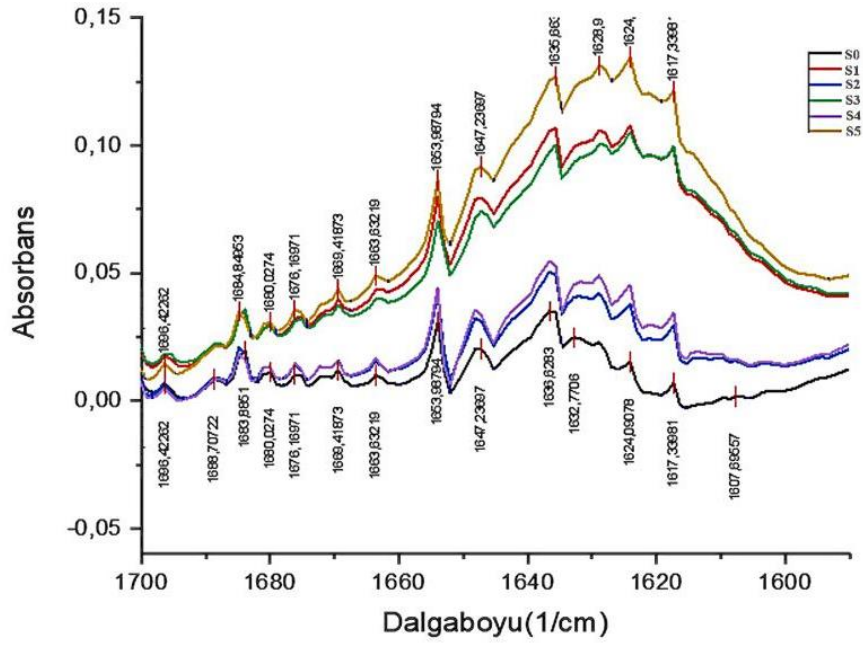
## **EKLER**

**EK-1:** FT-IR Spektrumları Pikleri

**EK-2:** Denatürasyon ve Koagülasyon Sıcaklıkları Eğri Uydurma Analizi Pik Bulguları



## EK-1: FT-IR Spektrumları Pikleri



**EK-2:** Denatürasyon ve Koagülasyon Sıcaklıkları Eğri Uydurma Analizi Pik Bulguları

	Örnek no 0			Örnek no 1		
	Absorbans (cm <sup>-1</sup> )	Amid I	Alan (cm <sup>2</sup> )	Absorbans (cm <sup>-1</sup> )	Amid I	Alan (cm <sup>2</sup> )
Pik 1	1602.9		-0.000046	1595.2		0.002380
Pik 2	1606.7		0.000000	1603.8		-0.010890
Pik 3	1609.6		-0.029430	1609.6		0.004020
Pik 4	0		0.000000	1613.5		0.014980
Pik 5	1617.3		-0.001110	1617.3		-0.008990
Pik 6	1624.1	β-tabaka	-0.007190	1624.1	β-tabaka	-0.002080
Pik 7	1628.9	β-tabaka	-0.007240	1628.9	β-tabaka	-0.007480
Pik 8	1632.8	β-tabaka	-0.000528	1632.8	β-tabaka	0.008100
Pik 9	1636.6	β-tabaka	-0.014020	1636.6	β-tabaka	-0.014340
Pik 10	1642.4	β-tabaka	-0.000048	1643.4	β-tabaka	0.019660
Pik 11	1647.2	Düzensiz sarmal	-0.011330	1648.2	Düzensiz sarmal	-0.020480
Pik 12	1654.0	α- Heliks	-0.019850	1654.0	α- Heliks	-0.026740
Pik 13	1657.8	α- Heliks	0.000000	1657.8	α- Heliks	0.090680
Pik 14	1663.6	3 <sub>10</sub> Heliks	-0.008400	1663.6	3 <sub>10</sub> Heliks	-0.047120
Pik 15	1669.4	β-dönüşler	-0.003510	1669.4	β-dönüşler	-0.003870
Pik 16	1672.3	β-dönüşler	-0.000008	1672.3	β-dönüşler	0.004770
Pik 17	1676.2	β-dönüşler	-0.001300	1676.2	β-dönüşler	-0.006633
Pik 18	1680.0	β-dönüşler	-0.001070	1680.0	β-dönüşler	0.005440
Pik 19	1683.9	β-dönüşler	-0.012190	1683.9	β-dönüşler	-0.010360
Pik 20	1688.7	β-tabaka	-0.000009	1688.7	β-tabaka	0.010880
Pik 21	1696.4	β-tabaka	0.000000	1696.4	β-tabaka	-0.004320
Pik 22				1700.3		-0.001230
Pik 23				1704.1		0.004430

Örnek no 2			Örnek no 3			
	Absorbans (cm <sup>-1</sup> )	Amid I	Alan (cm <sup>2</sup> )	Absorbans (cm <sup>-1</sup> )	Amid I	Alan (cm <sup>2</sup> )
	1590.2		0.005110	1517.3		-0.007680
Pik 1	1614.3		0.051760	1595.6		-0.001480
Pik 2	1614.3		-0.010830	1603.1		-0.002510
Pik 3	1616.5		0.039150	1609.7		-0.005610
Pik 4	1617.5		-0.029250	1613.6		-0.003170
Pik 5	1617.5		-0.024160	1617.7		-0.011460
Pik 6	1628.6	β-tabaka	-0.004080	1624.3	β-tabaka	-0.014280
Pik 7	1634.3	β-tabaka	0.011190	1628.8	β-tabaka	-0.016860
Pik 8	1636.4	β-tabaka	-0.010470	1632.2	β-tabaka	-0.014990
Pik 9	1645.2	Düzensiz sarmal	0.009200	1636.3	β-tabaka	-0.023560
Pik 10	1648.3	Düzensiz sarmal	-0.002490	1641.5	β-tabaka	-0.074450
Pik 11	1653.8	α- Heliks	-0.094210	1648.5	Düzensiz sarmal	-0.092710
Pik 12	1653.8	α- Heliks	0.141130	1653.9	α- Heliks	-0.043670
Pik 13	1654.7	α- Heliks	-0.038800	1658.3	α- Heliks	-0.145140
Pik 14	1669.7	β-dönüşler	-0.004230	1663.5	3 <sub>10</sub> Heliks	-0.031200
Pik 15	1671.9	β-dönüşler	-0.006270	1670.1	β-dönüşler	-0.331860
Pik 16	1676.0	β-dönüşler	-0.006250	1670.2	β-dönüşler	1.178520
Pik 17	1680.0	β-dönüşler	-0.000499	1676.1	β-dönüşler	-0.036170
Pik 18	1680.0	β-dönüşler	0.065480	1680.3	β-dönüşler	-0.073450
Pik 19	1688.9	β-tabaka	-0.003580	1684.2	β-dönüşler	-0.038020
Pik 20	2386.9		0.000000	1688.8	β-tabaka	-0.154520
Pik 21				1695.9	β-tabaka	-0.025890
Pik 22				1700.1		

Örnek no 4			Örnek no 5			
	Absorbans (cm <sup>-1</sup> )	Amid I	Alan (cm <sup>2</sup> )	Absorbans (cm <sup>-1</sup> )	Amid I	Alan (cm <sup>2</sup> )
Pik 1	1590.3		0.002950	1583.6		-0.020720
Pik 2	1595.2		-0.039300	1590.3		-0.023460
Pik 3	1603.8		0.036020	1595.2		-0.000026
Pik 4	1610.6		-0.038570	1603.8		-0.001530
Pik 5	1613.5		0.034110	1610.6		-0.011520
Pik 6	1617.3		-0.013720	1613.5		0.008630
Pik 7	1624.1	β-tabaka	-0.019860	1617.3		-0.012940
Pik 8	1628.9	β-tabaka	-0.008740	1624.1	β-tabaka	-0.012530
Pik 9	1632.8	β-tabaka	0.016280	1628.9	β-tabaka	-0.009550
Pik 10	1636.6	β-tabaka	-0.017210	1632.8	β-tabaka	-0.000010
Pik 11	1643.4	β-tabaka	-0.028070	1636.6	β-tabaka	-0.015950
Pik 12	1648.2	Düzensiz sarmal	0.028690	1642.4	β-tabaka	0.016790
Pik 13	1654.0	α- Heliks	-0.010980	1648.2	Düzensiz sarmal	-0.179300
Pik 14	1659.8	α- Heliks	-0.009880	1654.0	α- Heliks	-0.022390
Pik 15	1663.6	3 <sub>10</sub> Heliks	0.017920	1658.8	α- Heliks	0.008530
Pik 16	1669.4	β-dönüşler	-0.000703	1663.6	3 <sub>10</sub> Heliks	-0.013310
Pik 17	1672.3	β-dönüşler	-0.021580	1669.4	β-dönüşler	-0.001970
Pik 18	1676.2	β-dönüşler	0.007880	1672.3	β-dönüşler	-0.004470
Pik 19	1680.0	β-dönüşler	-0.006460	1676.2	β-dönüşler	-0.008670
Pik 20	1684.8	β-dönüşler	-0.002810	1681.0	β-dönüşler	-0.005440
Pik 21	1688.7	β-dönüşler	-0.004380	1684.8	β-dönüşler	-0.013020
Pik 22	1696.4	β-tabaka	-0.001240	1688.7	β-dönüşler	-0.005450
Pik 23	1700.3		0.001850	1696.4		

# ÖZGEÇMİŞ

**Bahar ÖZATILA**

## A. EĞİTİM

**Yüksek Lisans:** İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 2021-2023, İstanbul, Türkiye.

**Lisans:** İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2017-2021, İstanbul, Türkiye.

## B. YAYINLARI

Tekiner, İ. H., Knoblauch, A., **Özatila, B.**, & Ay, M. (2022). Soft Matter Physics Can Set Biological Clock of Food Biotechnology Industry. *4<sup>th</sup> International Conference Business Meets Technology*, Ansbach-Valencia, Germany-Spain.

Tekiner, İ. H., Darama, G., **Özatila, B.**, & Yetim, H. (2022). Edible Insects in Nutritional and Food Sciences Perspective. *Academic Platform Journal of Halal Life Style*, 4(1): 18-29.