T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİNDİ DERİSİNDEN (*Meleagris gallopavo*) JELATİN ÜRETİMİ ve YENİLEBİLİR FİLM ÜRETİMİNDE KULLANIM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Yılmaz ÖZCAN

DOKTORA TEZİ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Ömer Said TOKER

Eş Danışman

Doç. Dr. Abdullah KURT

Temmuz, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİNDİ DERİSİNDEN (*Meleagrıs gallopavo*) JELATİN ÜRETİMİ ve YENİLEBİLİR FİLM ÜRETİMİNDE KULLANIM POTENSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Yılmaz ÖZCAN tarafından hazırlanan tez çalışması 11.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Gıda Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ömer Said TOKER
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Doç. Dr. Abdullah KURT
Selçuk Üniversitesi
Eş-Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ömer Said TOKER, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Muhammet ARICI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Salih KARASU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Gürbüz GÜNEŞ, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Suzan TİREKİ, Üye
Özyeğin Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Ömer Said TOKER ve eş danışmanım Doç. Dr. Abdullah KURT sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Hindi Derisinden (*Meleagris gallopavo*) Jelatin Üretimi ve Yenilebilir Film Üretiminde Kullanım Potansiyelinin Belirlenmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yılmaz ÖZCAN

OĞLUM' a

TEŞEKKÜR

Doktora eğitim süreci boyunca desteklerini her alanda ve her zaman hissettiğim, bilgi, öneri ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, bu süreç boyunca gösterdikleri hoşgörü ve sabırdan dolayı danışmanlarım Sayın Doç. Dr. Ömer Said TOKER ve Sayın Doç. Dr. Abdullah KURT'a teşekkürlerimi sunarım. Akademik gelişimimdeki katkıları yadsınamaz derecede büyüktür.

Tez çalışmam boyunca yapıcı eleştirileri ile beni yönlendiren tezimin niteliğinin gelişmesinde önemli pay sahibi olan ve bakış açımı genişletmemi sağlayan Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Doç. Dr. Salih KARASU ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Suzan TİREKİ'ye saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Hindi atıklarının temininde bana her türlü kolaylığı sağlayan Sayın Güntaç DEMİR ve Bolca Hindi Tesisleri A.Ş'ne desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez çalışmalarım süresince labarotuvar analizlerimi gerçekleştirirken desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Duygu ÖZMEN'e, Dr. Öğr. Üyesi Meral YILDIRIM YALÇIN'a ve Doç. Dr. Furkan Türker SARICAOĞLU'na teşekkürü borç bilirim.

Maddi ve manevi destekleriyle beni bu günlere getiren aileme, her zaman her koşulda yanımda duran, sabır ve iyi niyetiyle desteğini her şartta hissettiğim sevgili eşime ve varlığıyla hayata bakışımı tamamen değiştiren ve hayatıma anlam katan oğluma sonsuz teşekkürlerimi sunarım

Yılmaz ÖZCAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR **iv**
SİMGE LİSTESİ **ix**
KISALTMA LİSTESİ **xi**
ŞEKİL LİSTESİ **xii**
TABLO LİSTESİ **xiv**
ÖZET **xvi**
ABSTRACT **xviii**
1 GİRİŞ **1**
1.1. Literatür Özeti 1
1.1.1 Kolajen……...2
1.1.2 Jelatin…….3
1.1.3 Jelatin Üretim Aşamaları……8
1.1.4. Yenilikçi Jelatin Üretim Yöntemleri……10
1.1.5. Jelatin Üretiminde Farklı Kolajen Kaynaklarının Değerlendirilmesi……...13
1.1.6. Kanatlı Jelatini, Fonksiyonel Özellikler ve Kullanım Alanları…14
1.1.6 Hindi Atıkları……...19
1.1.7. Tez Konusu Kapsamında Literatürde Yapılan Çalışmalar……21
1.2. Tezin Amacı 27
1.3. Hipotez 29
2 MATERYAL-METOT **30**
2.1. Materyal ve Kimyasallar 30
2.2. Hindi Jelatini Üretimi İçin Sıcaklık-Süre Optimizasyonu 30
2.2.1. Jelatin Verimi(%)…….32
2.2.2. Fizikokimyasal Analizler…….33
2.2.3. Renk…….33
2.2.4. Bulanıklık…….33

2.2.5. Su Aktivitesi(a_w)……...33

2.2.6. Köpük Oluşturma Aktivitesi ve Stabilitesi……...33

2.2.7. Jel Kuvveti(g)……...34

2.2.8. Jelatinlerin Yapısal Özellikleri…….34

2.2.9. Jelatin Jellerin Mikroyapısal Özellikleri……..34

2.3. Farklı Kurutma Yöntemleri İle Jelatinin Kurutulması.....35

2.3.1. Jelatin Verimi……...35

2.3.2. Kül Tayini……35

2.3.3. Renk Tayini……..35

2.3.4. Bulanıklık Tayini…….36

2.3.5. Su Aktivitesi Tayini (a_w)……..36

2.3.6. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Stabilitesi……...36

2.3.7. Bloom değeri (Jel Kuvveti)……..36

2.3.8. SDS-PAGE……...36

2.3.9. Jelatin Örneklerinin Yapısal Özellikleri……...36

2.3.10. Jelleşme-Erime Sıcaklığının Belirlenmesi……36

2.3.11. Jelleşme Kinetiği……..37

2.3.12. Kurutma Yöntemlerinin Jelatinlerin Mikroyapısal Özelliklerine Etkisi……..37

2.4. Hindi Jelatinlerinden Film Üretimi.....37

2.4.1. Film Üretimi…….37

2.4.2. Film Çözeltilerinin Reolojik Özellikleri……...38

2.4.3. Film Kalınlığı ve Yoğunluğu……38

2.4.4. Nem İçeriği ve Suda Çözünürlük…….38

2.4.5. Şişme Oranı……..38

2.4.6. Su Buharı Geçirgenliği…….39

2.4.7. Mekanik Özellikler……...39

2.4.8. Opaklık…….39

2.4.9. Jelatin Filmlerin Yapısal Özellikleri……39

2.4.10. Termal Gravimetrik Analiz(TGA)……39

2.4.11. X-Işını Kırınımı (XRD) Analizi……40

2.4.12. Jelatin Filmlerin Mikroyapısal Özellikleri……40

2.5. İstatistiksel Analiz.....40

3 BULGULAR ve TARTIŞMA 41

3.1. Jelatin Üretimi Optimizasyonu 41

3.1.1. Jelatin Verimi……...42

3.1.2. Protein ve Kül Miktarı……..44

3.1.3. Su Aktivitesi(a_w)……...45

3.1.4. Bulanıklık…….46

3.1.5. Renk…….48

3.1.6. Jelatin Örneklerinin Yapısal Özellikleri……...49

3.1.7. Köpük Oluşturma Kapasitesi (KOK) ve Stabilitesi(KS)……..53

3.1.8. Jel Kuvveti……54

3.1.9. Jelatin Jellerin Mikroyapıları ……...56

3.1.10. Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu……...58

3.2. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Hindi Jelatinlerinin Özellikleri Üzerine Etkisi 63

3.2.1 Jelatin Verimi……...63

3.2.2 Kül Miktarı……...64

3.2.3. Bulanıklık…….64

3.2.3 Renk…….65

3.2.4 Köpük Oluşturma Kapasitesi(KOK) ve Stabilitesi(KS)……..66

3.2.5 Jelatinlerin Moleküler Ağırlıklarının Dağılımı (SDS-PAGE)….67

3.2.6 Bloom(Jel Kuvveti) Değeri 70

3.2.7 Jelatin Örneklerinin Yapısal Özellikleri 72

3.2.8 Jelleşme-Erime Sıcaklığı 75

3.2.9 Jelleşme Kinetiği 77

3.2.10 Kurutma Yöntemlerinin Jelatinlerin Mikroyapısal Özellikleri Üzerine Etkisi 80

3.3. Hindi Jelatinlerinden Film Üretimi 82

3.3.1 Film Çözeltilerinin Reolojik Özellikleri…….. 82

3.3.2 Film Kalınlığı ve Yoğunluğu……....84

3.3.3 Nem İçeriği ve Suda Çözünürlük…….85

3.3.4 Şişme Oranı……..87

3.3.5 Su Buharı Geçirgenliği(SBG)……..87

3.3.6 Mekanik Özellikler……...88

3.3.7 Opaklık ve Şeffaflık……..89

3.3.8 Filmlerin Yapısal Özellikleri……91

3.3.9 Filmlerin Termal Davranış Özellikleri(TGA)……...93

3.3.10 Filmlerin Kristal Yapısının Belirlenmesi (XRD)……..94

3.3.11 Filmlerin Mikroyapısal Özellikleri……...96

4 SONUÇ VE ÖNERİLER 98

KAYNAKÇA 102

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 117

SİMGE LİSTESİ

Abs	Absorbans
W	Ağırlık
α	Alfa
β	Beta
γ	Gamma
dk	Dakika
rpm	Dakikadaki devir sayısı
G'	Depolama Modülü
°	Derece
s^{-1}	Frekans
g	Gram
°C	Santigrat Derece
V	Hacim
HCl	Hidroklorik Asit
G''	Kayıp Modülü
kDa	Kilo Dalton
kHz	Kilo hertz
kPa	Kilo paskal
kV	Kilo volt
g	Kuvvet
L	Litre
mA	Miliamper
mm	Milimetre
ml	Mililitre
M	Molar
nm	Nanometre
sa	Saat
s	Saniye

cm	Santimetre
Na	Sodyum
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
SDS-PAGE	Sodyum dodessil sülfat-poliakrilamid jel elektroforez
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	Termogravimetrik Analiz
XRD	X-Işını Kırınımı
ANOVA	Varyans Analizi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Kolajen lif ve yapısal bileşenlerin görsel temsili 3

Şekil 1.2 Kolajenin jelatine dönüşümü.....4

Şekil 1.3 Jelatinin kimyasal yapısı 5

Şekil 1.4 Jelatinin jel oluşum süreci. Sarmaldan üçlü helikse geçiş sıcaklığa bağlı olarak jelatini çözeltiden jele dönüşümü……...7

Şekil 2.1 Jelatin üretim akış şeması.....31

Şekil 2.2 Jelatin üretimi ……..……...…… 32

Şekil 2.3 Farklı kurutma yöntemlerinin şematik çizimi(a:klasik kurutma, b:püskürtmeli kurutma, c:dondurarak kurutma)…….……..35

Şekil 3.1 Toz jelatinlerin(a) ve jellerin(b) görselleri …….……42

Şekil 3.2 Hindi jelatinlerinin ATR-FTIR Spektrumları ……51

Şekil 3.3 Farklı ekstraksiyon koşullarında elde edilen jelatinler kullanılarak üretilen jel görüntüleri ……..55

Şekil 3.4 Jelatin Jellerin Mikroyapıları ……..……58

Şekil 3.5 Proses değişkenlerinin yanıt değişkenleri üzerindeki etkilerini gösteren yanıt yüzeyi ve kontur grafikleri (a) Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin ekstraksiyon verimi üzerindeki etkileri. (b) Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin jel gücü üzerindeki etkileri. (c) Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin köpük genleşmesi üzerindeki etkileri……...61

Şekil 3.6 Proses değişkenlerinin verim(%), jel kuvveti(g) ve köpük oluşturma kapasitesi(%) yanıtları üzerine etkileri(a:verim, b:jel kuvveti, c:köpük oluşturma kapasitesi)…….. 62

Şekil 3.7 CDG, SDG ve FDG örneğine ait SDS-PAGE görüntüsü …….……69

Şekil 3.8 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinin FTIR spektrumları…….74

Şekil 3.9 Hindi jelatinlerinin(sırasıyla CDG, SDG ve FDG) sıcaklık tarama grafikleri. Soğutma(a, c, e) ve ısıtma(b, d, e) sonucu depo ve kayıp modüllerinin kesişim noktaları ……...75

Şekil 3.10 Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan örneklerin zaman-tarama testi sonucu elde edilen jelleşme özellikleri …….…...78

Şekil 3.11 CDG, SDG ve FDG örneklerine ait SEM görüntüleri ……..…….81

Şekil 3.12 Film çözeltilerinin jelleşme sıcaklığı (Tg) için sıcaklık tarama grafiği .84

Şekil 3.13 Farklı gliserol içeriğine sahip film örneklerinin görüntüleri …….91

Şekil 3.14 Film örneklerinin FTIR spektrumu ……..…92

Şekil 3.15 Gliserolün bir fonksiyonu olarak film örneklerinin TGA termogramları …….93

Şekil 3.16 Jelatin filmlerin X ışını kırınım grafiği ……96

Şekil 3.17 Film örneklerinin yüzeylerine ait SEM görüntüleri ……..……...……97

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Kolajen ve jelatinin farklılıkları.....5

Tablo 1.2 Jelatinin gıda katkısı olarak kullanımı.....6

Tablo 1.3 Farklı kaynaklardan yeşil teknolojiler kullanılarak üretilen jelatinin özellikleri……11

Tablo 1.4 Jelatin üretiminde yeşil teknolojilerin avantajları-dezavantajları.....12

Tablo 1.5 Kanatlı jelatinlerinin memeli jelatinlerine kıyasla amino asit içeriği ……..……..15

Tablo 1.6 Türkiye kümes hayvan sayıları(bin adet).....……20

Tablo 1.7 Türkiye kümes hayvanları kesilen sayısı ile et ve tavuk yumurtası üretimi…….20

Tablo 2.1 Jelatin ekstraksiyonu için merkezi tümleşik deneme tasarımı……32

Tablo 3.1 Hindi jelatini verimi(%).....43

Tablo 3.2 Hindi jelatinlerinin kül ve protein oranları 44

Tablo 3.3 Hindi jelatinlerinin su aktivitesi(a_w) değerleri……46

Tablo 3.4 Hindi jelatinlerinin bulanıklık değerleri 47

Tablo 3.5 Hindi jelatinlerinin renk parametreleri 48

Tablo 3.6 Jelatin örneklerinin ikincil yapısı.....52

Tablo 3.7 Hindi jelatinlerinin KOK ve KS değerleri 53

Tablo 3.8 Farklı sıcaklık-süre koşullarında elde edilen jelatinler kullanılarak üretilen jellere ait jel kuvveti değerleri 56

Tablo 3.9 Farklı sıcaklık-süre koşullarında ekstrakte edilen jelatinler için optimum koşullarda yanıtların tahmin edilen ve deneysel değerleri.....60

Tablo 3.10 Verim (%), jel kuvveti (g) ve köpük oluşturma kapasitesi (%) değişkenlerinin her biri için belirlenen optimum ekstraksiyon koşulları.....62

Tablo 3.11 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinin verim, kül miktarı ve bulanıklık değeri 63

Tablo 3.12 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinin renk değerleri 65

Tablo 3.13 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinin KOK(%) ve KS(-%) değerleri ……..……...66

Tablo 3.14 CDG, SDG ve FDG örneklerine ait bloom değerleri.....70

Tablo 3.15 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinden elde edilen jelatin çözeltilerinin jelleşme ve erime sıcaklıkları 76

Tablo 3.16 Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan jelatin örneklerinin jelleşme profillerine uyarlamak için kullanılan logaritmik model parametreleri……...….79

Tablo 3.17 Farklı gliserol miktarlarına sahip film çözeltilerinin jelleşme-erime sıcaklıkları.....82

Tablo 3.18 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerin kalınlığı ve yoğunluğu …….85

Tablo 3.19 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerin nem içerikleri ve suda çözünürlük değerleri … 86

Tablo 3.20 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerim şişme oranları 87

Tablo 3.21 Farklı gliserol miktarına sahip jelatin filmlerin su buharı geçirgenliği(SBG) değerleri.....88

Tablo 3.22 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerin gerilme mukavemeti (GM) ve kopma uzaması (KU) değerleri……. 89

Tablo 3.23 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerin opaklık ve geçirgenlik değerleri……...90

ÖZET

Hindi Derisinden (*Meleagris gallopavo*) Jelatin Üretimi ve Yenilebilir Film Üretiminde Kullanım Potansiyelinin Belirlenmesi

Yılmaz ÖZCAN

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ömer Said TOKER

Eş-Danışman: Doç. Dr. Abdullah KURT

Bu çalışmada hindi kesimhane atıklarından olan deriden jelatin üretimi ve yenilebilir film üretiminde kullanım potansiyeli belirlenmiştir. İlk olarak, hindi derisinden jelatin üretimi için optimum ekstraksiyon koşullarının belirlenmiştir. Sıcaklık (50, 60 ve 70 °C) ve süre (5, 7 ve 9 saat) bağımsız faktörler olup verim, jel kuvveti ve köpük oluşturma kapasitesi parametreleri dikkate alınarak optimum ekstraksiyon koşulları 62,90 °C' de 6,84 saat olarak bulunmuştur.

Çalışmanın ikinci kısmında, etüvde kurutma (CDG), püskürtmeli kurutma (SDG) ve dondurarak kurutma (FDG) gibi farklı kurutma yöntemlerinin jelatinlerin tekno-fonksiyonel özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Köpük oluşturma kapasitesi (KOK), köpük stabilitesi (KS) ve renk değerleri kurutma yöntemlerinden etkilenmiştir. FDG ile CDG en yüksek KOK değerini(sırasıyla %75, %80) gösterirken SDG en yüksek KS (KS30 için -%6,67, KS60 için -%10) değerlerini

göstermiştir. Maillard Reaksiyonunun sonucu CDG' de daha düşük L değeri elde edilmiştir. Kurutma yöntemleri, protein degredasyonu sonucu jelleşme ve erime sıcaklıklarını değiştirmiştir. FDG en yüksek erime noktasına sahipken CDG en düşük jelleşme noktasına sahip olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, FDG ve SDG benzer jelleşme kinetiğine sahipken, düşük moleküler ağırlıklı peptitlerin fazla bulunması CDG numunesinin jelleşme davranışını değiştirmiştir. Jel kuvvetleri FDG, SDG, CDG için sırasıyla 370,86, 365,02, 321,55 g şeklinde elde edilmiştir.

Son kısımda ise elde edilen jelatinler ile %20 (TG20), %30 (TG30) ve %40 (TG40) oranlarında gliserol ilavesiyle üretilen filmler ile %30 gliserol ilavesiyle sığır jelatininden üretilen film (BG30) karşılaştırılmıştır. Hindi jelatini filmleri (TGF) farklı gliserol içeriklerinde homojen, şeffaf ve pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Kompakt yapısı sayesinde gliserol artışı nem içeriğini artırırken kalınlık, yoğunluk ve su bariyer özellikleri sabit kalmıştır. Düşük gliserol içeriğine sahip TGF en yüksek gerilme mukavemeti ve en düşük kopma uzama değerine sahipken, TG40 ve BG30 en yüksek esneklik ve uzayabilirliği göstermiştir. Düşük bozunma oranları ile TG20 ve TG30 yüksek termal stabilite göstermiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde hindi jelatininden üretilen filmlerin sığır jelatini filmlerine iyi bir alternatif olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hindi jelatini, Ekstraksiyon optimizasyonu, Yenilebilir film, Kurutma, Reoloji

ABSTRACT

Gelatin Production from Turkey Skin (*Meleagris gallopavo*) and Determination of Potential Usage in Edible Film Production

Yılmaz ÖZCAN

Department of Food Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ömer Said TOKER

Co-supervisor: Assoc. Prof. Dr. Abdullah KURT

In this study, gelatin production from turkey slaughterhouse waste skin and its potential for use in edible film production were determined. First, the optimum extraction conditions for gelatin production from turkey skin were determined. Temperature (50, 60 and 70 °C) and time (5, 7 and 9 hours) were independent factors and the optimum extraction conditions were found to be 6.84 hours at 62.90 °C considering yield, gel strength and foam forming capacity parameters.

In the second part of the study, the effects of different drying methods such as oven drying (CDG), spray drying (SDG) and freeze drying (FDG) on the techno-functional properties of gelatins were investigated. Foam forming capacity (KOK), foam stability (KS) and color values were affected by the drying methods. FDG and CDG showed the highest KOK values (75% and 80%, respectively), while SDG showed the highest KS values (-6.67% for KS30 and -10% for KS60). Lower L value was obtained in CDG as a result of Maillard reaction. Drying methods changed the gelation and melting temperatures as a result of protein degradation. FDG had the highest melting point while CDG had the lowest gelling point. On the other hand, while FDG and SDG had similar gelation kinetics, the presence of low

molecular weight peptides altered the gelation behavior of the CDG sample. Gel strengths were 370.86, 365.02, 321.55 g for FDG, SDG and CDG, respectively.

In the last part, the films produced with the gelatins obtained with 20% (TG20), 30% (TG30) and 40% (TG40) glycerol addition and the film produced from bovine gelatin with 30% glycerol addition (BG30) were compared. Turkey gelatin films (TGF) have a homogeneous, transparent and smooth surface at different glycerol contents. Due to its compact structure, the increase in glycerol increased the moisture content, while the thickness, density and water barrier properties remained constant. TGF with low glycerol content had the highest tensile strength and lowest elongation at break, while TG40 and BG30 showed the highest flexibility and extensibility. TG20 and TG30 showed high thermal stability with low degradation rates. As a result of the studies, it was determined that films produced from turkey gelatin can be a good alternative to bovine gelatin films.

Keywords: Turkey gelatin, Extraction optimization, Edible film, Drying method, Rheology

1
GİRİŞ

1.1. Literatür Özeti

Hidrokolloidler, suda dağıldıklarında viskoz dispersiyon ve/veya jel oluşturma özellikleriyle bilinen uzun zincirli polimerlerden (polisakkaritler ve proteinler) oluşan heterojen bir gruptur. Çok sayıda hidroksil (OH^-) grubunun varlığı, su moleküllerini bağlama eğilimlerini önemli ölçüde artırarak onları hidrofilik bileşikler haline getirmektedir. Ayrıca, gerçek bir çözelti ile süspansiyon arasında bir dağılım oluşturarak kolloidin sahip olduğu özellikleri sergilemektedirler. Bu iki özellik göz önünde bulundurulduğunda, bu bileşikler "hidrofilik kolloidler" veya "hidrokolloidler" olarak adlandırılmaktadır (Saha & Bhattacharya, 2010).

Hidrokolloidlerin gıdalarda yaygın olarak kullanılmasındaki en önemli neden, gıda sistemlerinin reolojik özelliklerini değiştirme kapasiteleridir. Bu, gıda sistemlerinin akış davranışı (viskozite) ve mekanik katı özelliği (tekstür) olmak üzere iki temel özelliğini içermektedir. Gıda sistemlerinin yapısının ve/veya viskozitesinin değiştirilmesi, duyusal özelliklerinin değiştirilmesine yol açar ve bu nedenle belirli amaçları gerçekleştirmek için önemli gıda katkı maddeleri olarak kullanılmaktadır. Hidrokolloidler jel oluşumu veya kalınlaştırma, emülsifiye etme, kaplama ve stabilize etme yoluyla bir çözeltinin fiziksel özelliklerini değiştirebilmektedir (Pirsa & Hafezi, 2023; Saha & Bhattacharya, 2010).

Karbonhidratlar veya polisakkaritler arasında nişasta, agar, gamlar vb. gibi hidrokolloidler bulunmaktadır. Hidrokolloidler farklı kaynaklara sahip olabilir: Bitkilerden, hayvanlardan, alglerden ve hatta bazı mikroorganizmalardan doğal olarak üretilebilirler. Selüloz türevleri gibi yarı sentetik de olabilmektedir (Pirsa & Hafezi, 2023).

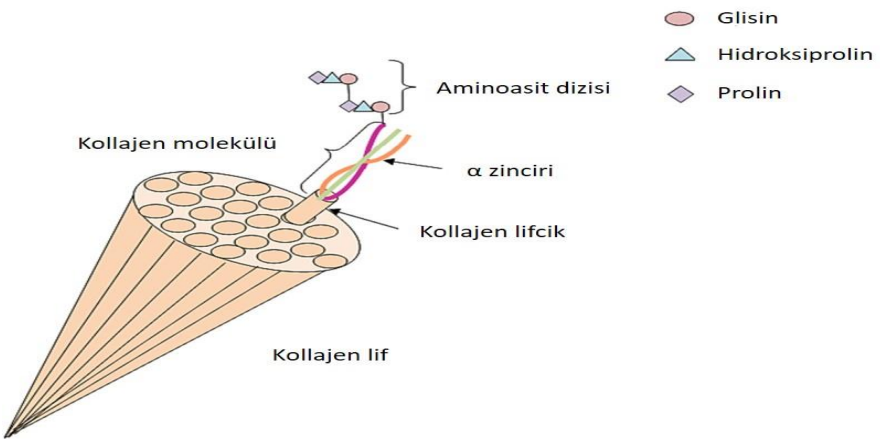
Jelatin proteini, mükemmel hidrofilikliği ve çoklu dağılım özellikleri nedeniyle, bu polisakkarit grubunun istisnai bir üyesi olarak kabul edilmekte olup çok çeşitli fonksiyonel özellikler sergilemektedir. Jöleli şekerlemelerde jelleştirici olarak kullanılabilir. Jelatin jelleri nispeten düşük sıcaklıkta (ağızda erime özelliğine sahiptir) erimekte ve yavaş jelleşmektedir. Tüm bu özellikler jelatini yoğurt

ürünlerinde, düşük yağlı sürülebilir ürünlerde ve şekerlemelerde tercih edilen bir jelleştirici ajan yapmaktadır. Havalandırılmış bir şekerleme ürünü olan marşmelovda jelatin sadece elastikiyeti ve berraklığı için jelleştirici olarak kullanılmamakta aynı zamanda köpük oluşturma özelliğinden de yararlanılmaktadır (Saha & Bhattacharya, 2010). Gıda endüstrisinde çok önemli bir yeri olan jelatin kolajenin hidrolize edilmesi sonucunda üretilmektedir.

1.1.1 Kolajen

Kolajen tüm hayvanlarda en çok bulunan bir yapısal protein olup toplam protein içeriğinin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Deri, tendon, kemik, kıkırdak, bağ, diğer doku ve organlarda bulunan kolajen yapısal bir protein olarak tanımlanmaktadır (Tang vd., 2022). Üç ana kolajen türü tip I (deri ve kemik), tip II (tendonlar) ve tip III' tür (deri ve damar sistemi). Bu kolajen türleri, dokuların bütünlüğünü ve mimarisini korumak için çok önemli olan fibriler yapılarda bulunur. Tip I kolajen en yaygın olanı olup ilaç, gıda ve içecek endüstrileri gibi çok çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır (Laasri vd., 2023). Bununla birlikte bugüne kadar sınıflandırılmış 27 farklı kolajen türü bulunmaktadır (Abedinia vd., 2020).

Kolajenin en önemli yapısal özelliği her bir α zincirinin tekrarlanan Gly-X-Y aminoasit motiflerinin bir veya daha fazla bölgesini içermesidir. Her bir α-zincirinin her üç amino asit kalıntısı kolajen üçlü sarmalının merkezindedir, bu nedenle en küçük amino asit Gly birincil yapıda her üç pozisyonu işgal eder. X ve Y genellikle prolin ve 4-hidroksiprolin olmakla birlikte farklı aminositler de olabilmektedir (Tang vd., 2022). Bununla birlikte prolin ve hidroksiprolin aminoasitleri (iminoasit), kolajen yapısından ve termal stabilitesinden sorumludur. Kolajenin yapısı Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Kolajen lif ve yapısal bileşenlerin görsel temsili (Laasri vd., 2023)

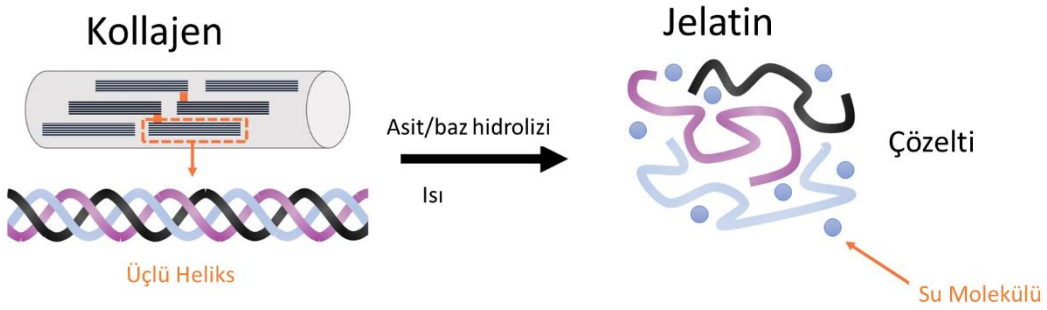
H-bağları, dipol-dipol bağları, elektrostatik etkileşimler ve van der waals etkileşimleri gibi daha zayıf bağlantılar üç zinciri üçlü-helikal bir yapıda birbirine bağlarken, kovalent bağlar kolajen molekülündeki atomları üç bağımsız zincir halinde bir arada tutar (Sionkowska vd., 2017). Kolajenler üçlü heliks yapılarına göre fibriler ve fibriler olmayan kolajen olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Fibriler olmayan kolajenlerdeki (tip-4 ve tip-6 gibi) normal Gly-X-Y tekrarlı üçlü helikal alan, helikal olmayan bölgeler tarafından parçalanarak bağ dokusu çekirdeğinin fibriler olmayan mimarisine neden olur. Geleneksel fibril oluşturan kolajenler, kolajen tip I, II ve III, tüm memeli kolajenlerinin %80-90'ını oluşturmaktadır (Laasri vd., 2023).

Kolajenler, antioksidan, emülsifiye edici, kıvam arttırıcı ve antimikrobiyal özelliklerinden dolayı gıda ürünlerinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, jelatin üretimi için de önemli bir kaynaktır (Hashim vd., 2015).

1.1.2 Jelatin

Kolajenin kısmen hidrolize edilmiş hali olan jelatin biyolojik olarak parçalanabilir ve gıdalarda yapı, su bağlayıcı, köpürtücü, emülgatör ve kalınlaştırıcı ajan, kolloid stabilizatör, biyolojik olarak parçalanabilir ambalaj malzemesi, probiyotik canlı hücrelerin enkapsüle edilmesi için iyi bir araç ve mikro kapsülleme ajanı olarak yaygın bir uygulanabilirlik sergilemektedir (Abedinia vd., 2020). Kolajenin hidrolizi ile 15-250 kDa molekül ağırlığında jelatin elde edilmektedir. Jelatin denatüre kolajenlerden elde edildiği için, amino asit bileşimi de kolajen

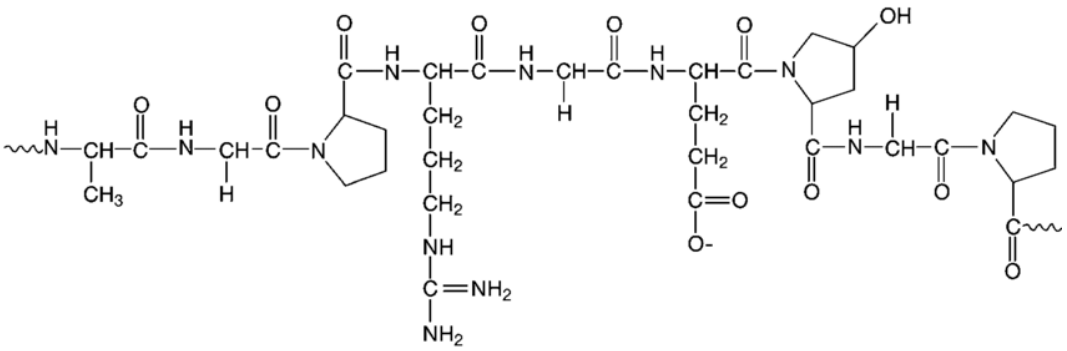
moleküllerininkine benzer içeriktedir. Ayrıca, kolajen tipi, kaynağı, hayvan cinsinin yaşı gibi faktörler de jelatinin özelliklerini etkilemektedir (Abedinia vd., 2020). Kolajenin jelatine dönüşümü Şekil 1.2'de özetlenmiştir.



Şekil 1.2 Kolajenin jelatine dönüşümü (Gelatin, 2024)

Jelatin üretim süreci sırasında, kolajen doğal yapısını kaybeder ve denatüre olur, bu da üçlü sarmal yapıların oluşmasına neden olmaktadır (M. I. Ahmad vd., 2024). Uygulanan ön işlem çeşidine (asit veya alkali) bağlı olarak, ticari olarak A tipi (pI ≈ 8-9) ve B tipi (pI ≈ 4-5) olarak bilinen iki tip jelatin elde edilebilimektedir (Gomez-Guillen vd., 2011). Farklı ön işlem ve ekstraksiyon işlemlerinin kombinasyonu ile nihai jelatin farklı yapı ve moleküler ağırlığına sahip polipeptitlerin bir karışımı haline gelir. α-zincirlerinden, α-zincirinin küçük alt birimlerinden ve daha yüksek moleküler ağırlıktaki fraksiyonlardan, örneğin β-zincirlerinden (kovalent bağlı α-zinciri dimerleri), γ-zincirlerinden (kovalent bağlı α-zinciri trimerleri) ve hatta mikro jel adı verilen daha yüksek mertebelerden oluşabilir (Duconseille vd., 2015).

18 spesifik aminoasitten oluşan polipeptit zincirlerinin heterojen karışımı sonucu oluşan jelatinler sistein aminoasidi içermemekle birlikte yapılarında bulunan metionin ise kükürt içeren tek aminoasittir (Ahmed, 2017). Jelatinin kimyasal yapısı Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3 Jelatinin kimyasal yapısı (Kommareddy, Shenoy, & Amiji, 2003).

Yapısal özelliklerindeki farklılıklardan dolayı kolajen ve jelatinin fonksiyonel özellikleri de farklılık göstermektedir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1 Kolajen ve jelatinin farklılıkları (M. I. Ahmad vd., 2024)

Özellik	**Kolajen**	**Jelatin**
Çeşidi	Fibril oluşturan-fibril oluşturmayan	A ve B
Aminoasit sayısı	Yaklaşık olarak 1050	20’ den küçük
Peptit yapısı	Polipeptit zincirinin üçlü sarmalı	Küçük peptitler
Radikal aromatikler	Var	Yok
Fiziksel karakteristik	Elastik, sağlam ve çok yönlü yapısal protein	Pürüzsüz ve jel benzeri maddeler
Çözünürlük	NaCl çözeltisi/seyreltik asit	Su
Mekanik kuvvet	Zayıf	Zayıf
Jelleşme özelliği	Yok	Var
Sindirim	Zor	Kolay

Şişme ve çözünürlük gibi temel hidrasyon özelliklerinin yanı sıra, jelatinin en önemli özellikleri iki gruba ayrılabilir:

1) Jelleşme davranışlarıyla ilişkili özellikler, yani jel oluşumu, tekstür ile ilgili özellikler ve su bağlama kapasitesi.

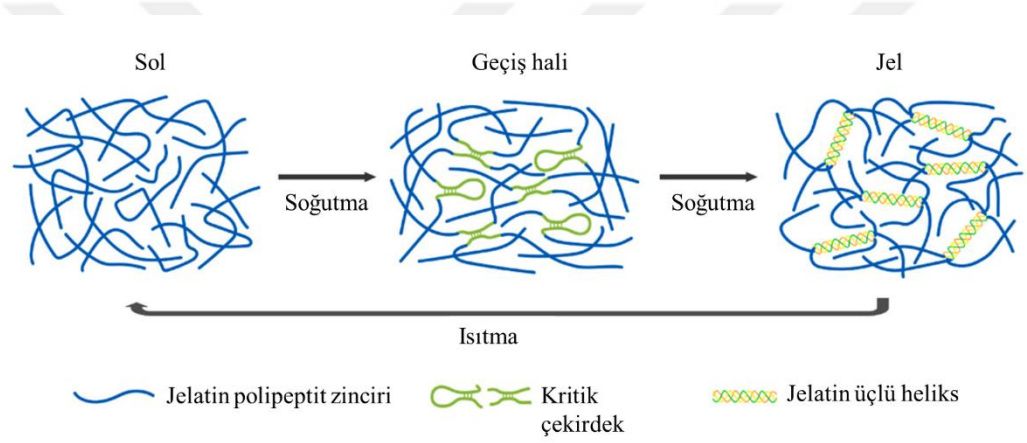
2) Emülsiyon-köpük oluşumu ve stabilizasyonu, yapışma ve kohezyon, koruyucu kolloid işlevi ve film oluşturma yetkinliği içeren yüzey davranışlarıyla ilgili özellikler (Gomez-Guillen vd., 2011).

Gıda endüstrisindeki uygulamalar açısından değerlendirildiğinde, jel gücü, viskozite, erime-jelleşme sıcaklığı jelatinin en önemli özellikleri olarak ifade edilmiştir. Bununla birlikte bu özelliklerin jelatin çözeltisi konsantrasyonu, molekül ağırlığı dağılımı, jelleşme süresi ve sıcaklığı, H^+ konsantrasyonu gibi parametrelerden etkilendiği belirtilmiştir. Tablo 1.2'de jelatinin bir gıda katkı maddesi olarak gıdalarda kullanımına ait örnekler gösterilmiştir.

Tablo 1.2 Jelatinin gıda katkısı olarak kullanımı (Tang vd., 2022)

Uygulama Alanı	Kaynak	Bloom Kuvveti(g)	Konsantrasyon	Fonksiyon
Şekerleme	-	240	5-10%	Tekstürel özelliklerin geliştirilmesi
Sürülebilir çikolata	Tavuk ayağı	-	0,3-1,2%	Kıvamın iyileştirilmesi
Marşmelov	Sığır	200	2-2,4%	Sertliğin geliştirilmesi
Jöleli şekerleme	Sığır	-	15-25%	Tekstürel özelliklerin geliştirilmesi
Dondurma	Böcek	-	0,5-1%	Tat ve tekstürel özelliklerin geliştirilmesi
Yoğurt	Sığır	125	0-1,25%	Viskozite ve tekstürel özelliklerin geliştirilmesi
Dondurma	Kedi balığı	-	0,5%	Tekstürel özelliklerin geliştirilmesi
Bira	-	-	0,02-0,06%	Berraklaştırıcı ajan
Dut şarabı	-	-	0,02-2 g/L	Berraklaştırıcı ajan
Narenciye şarabı	-	-	0,015-0,075 g/L	Berraklaştırıcı ajan
Surumi	Balık	275	0,5-1,5%	Mekanik özellikleri geliştirmek
Düşük yağlı sosis	Domuz derisi	209	0,5-1,5%	Tekstürel özellikleri geliştirmek/pişme kaybında artış
Normal yağlı sosis	-	-	-	Pişme kaybında artış
Sığır burger	-	-	-	Nem, protein ve gevreklik özelliğinde gelişme
Ekmek	Domuz derisi	-	0-1%	Kabuk sertliğinde azalma

Jelatinlerin reolojik ve mekanik özellikleri gıda, ilaç ve biyomedikal gibi endüstrilerde ürün ve ürün spesifikasyonlarının geliştirilmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Homojen jelatin çözeltisi sol-jel geçiş noktasının altına kadar soğutulduğunda kolajen benzeri sarmal yapılar yeniden oluşur ve üç zincirli sarmal yapı meydana gelir (Abedinia vd., 2020; Bohidar & Jena, 1993). Jelleşme mekanizmasında yer alan bağlar (hidrojen ve van der Waals) fiziksel olduğundan bu sürece termal tersinirlik niteliği kazandırırlar. Kolajen kaynağı, hayvanın cinsi, büyüklüğü, yaşı, peptit zincirlerinin moleküler ağırlığı ve parçalanma pozisyonu; jelatinde bulunan amino asit türü ve konsantrasyonu jelatinin reolojik özelliklerinde üzerinde etkili olan önemli faktörlerdir (Abedinia vd., 2020). Jelatinin jel oluşum süreci Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Jelatinin jel oluşum süreci. Sarmaldan üçlü helikse geçiş sıcaklığa bağlı olarak jelatini çözeltiden jele dönüşümü (Tang vd., 2022).

Bloom (jel kuvveti) değeri, bir jelatinin ticari değerinin belirlenmesinde en önemli kriterdir. Belirli bir probun standart koşullar altında standart, sabit sıcaklıktaki bir jelin yüzeyini belirli bir derinliğe kadar bastırması için gereken gram cinsinden ağırlık olarak ifade edilmektedir. Ticari jelatinler için Bloom değeri 100 ila 300 arasında değişirken, 200 ila 250 arasındaki aralık en uygun olanıdır (Gareis, 2007). Jel kuvveti ve erime noktası, amino asit bileşimi ve jelatinde bulunan α/β zincirlerinin oranı ile molekül ağırlığının doğrudan bir fonksiyonudur (Cho vd., 2004). Jelatinin bloom değerinin jelatindeki α-zinciri miktarına bağlı olduğu gösterilmiştir. Moleküler ağırlıkları α-zincirlerinden daha yüksek veya daha düşük olan peptitlerin yüksek oranda bulunmasının jel kuvvetini azaltabileceği göz önüne

alındığında, jelatin yapısında α-zincirleri ne kadar yüksekse jel mukavemetinin de o kadar yüksek olduğu sonucuna varılabilir (Liu vd., 2008).

1.1.3 Jelatin Üretim Aşamaları

Jelatin üretimi temel olarak kolajen içeren atıkların üretime hazırlanması (ön işlem), ekstraksiyon ve ekstraksiyon çözeltisinin süzülerek kurutulması olmak üzere üç ana işlemden oluşmaktadır. Üretim koşulları ve parametreler kullanılan hammaddeye ve elde edilmek istenilen jelatin çeşidine göre de farklılıklar içermektedir.

1.1.3.1 Ön İşlem

Deri, kemik ve ayak gibi kolajen içeriği yüksek olan hammaddelerin asit veya baz ile muamele edilmesi sonrasında kolajenin yapısındaki kovalent bağlar parçalanır. Bununla birlikte bu aşama yıkama, parçalara bölme, yağ ve tuzların uzaklaştırılması gibi işlemleri de içermektedir (Boran, 2011 ve Tekle, 2016). Asitle ön işlem sonucu A tipi jelatin üretilmekle birlikte bu işlem genel olarak kemikten jelatin eldesinde kullanılmaktadır. Diğer taraftan alkali ile muamele sonucu B tipi jelatin elde edilmektedir. Her iki ön işlemde de bekleme süresi, kullanılan asit/alkali çeşidi ve oranı kullanılan hammaddeye göre değişmektedir. Ön işlem sonucunda kullanılan asit/alkali çözeltisi ortamdan uzaklaştırılarak istenilen ekstraksiyon pH derecesine yıkama veya nötralizasyon ile getirilmektedir (Tekle, 2016). Bu yöntemlerin dışında hem asit hem de alkali ön işlemlerinin aynı anda kullanıldığı ektraksiyon yöntemleri günümüzde kullanılmaktadır (Boran, 2011). Alkali ön işlemle kolajen olmayan maddeler uzaklaştırılırken asit ön işlemle kolajenin şişmesi ve ekstraksiyon sırasında daha kolay hidrolize olması sağlanmaktadır (Ahmad vd., 2018).

1.1.3.2 Ekstraksiyon

Hammadde ve çeşide göre ön işlemden geçirilerek ekstraksiyona hazır hale getirilen hammadde su ile ekstrakte edilmek üzere uygun materyalin içerisine alınır. Su ile ekstraksiyon işlemi uygun sıcaklık, süre ve pH koşullarında gerçekleştirilmektedir. Ekstraksiyon koşulları üretimde kullanılacak hammadde için optimize edilmekle birlikte genel olarak artan ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin jelatin verimini artırırken yüksek sıcaklık-süre koşullarının nihai ürünün

bazı fonksiyonel özelliklerini olumsuz etkilediği bilinmektedir (Haug & Draget, 2009).

A tipi jelatin üretiminde hammadde 1,5-3,0 pH değeri aralığındaki soğuk ve seyreltik mineral asit çözeltisi içerisinde 8-30 saat arası bekletilmekte olup bu süre hammaddenin boyut ve kalınlığına göre değişmektedir. Ön işlem sonrasında su ile yıkanarak istenilen ekstraksiyon pH' sına ayarlanmaktadır (Haug & Draget, 2009).

B tipi jelatin üretiminde ise alkali ajanlar kullanılmaktadır. Genellikle bu amaçla doygun kireç suyu ($CaO(OH)_2$), pH:12,0) tercih edilmektedir. Sıcaklık 24 °C'nin altında tutulurken karıştırma işlemi uygulanmaktadır. Hammadde çeşidi ve kalınlığına bağlı olarak 20 gün ile 6 ay (genellikle 2-3 ay) arası süren işlem sonrası kireçlenmiş malzeme seyreltik asit ile muamele edilmeden önce yaklaşık nötr koşullara kadar su ile yıkanmaktadır (Haug & Draget, 2009).

Kolajenin jelatine dönüşümü ise asit veya alkali ön işlem kullanılan ve ekstraksiyon sırasında uygulanan ısıl işlemle birlikte molekül içi ve moleküller arası H ve kovalent bağların zayıflaması veya yıkıma uğramasıyla gerçekleşmektedir. Bu durum kolajenin üçlü sarmal yapısını bozmaktadır. Bu bozunma sonucunda amino asitler arasında kopmalar meydana gelmekte ve çubuk şeklinde olan sarmal yapı yumak haline dönüşmektedir. Bu yeni yapı çözünür özelliğe sahip jelatinin ilk yapısı olarak karşımıza çıkmaktadır. Asit veya baz ön işlem ve ısıl işlemle ekstraksiyon sırasında farklı molekül ağırlığına ve kompozisyonlarına sahip α, β ve γ polipeptit zincirleri oluşmaktadır. β zinciri iki α zincirinin kovalent bağlanmasıyla oluşurken γ zinciri üç α zincirinin birbirine bağlanmasıyla oluşmaktadır. Bu polipeptit zincirleri farklı amino asit kompozisyonuna sahip olmakla birlikte düşük molekül ağırlığına sahip alt birimlere de parçalanabilmektedirler (Yetim, 2011).

1.1.3.3 Süzme

Ekstraksiyon sonunda sıvı ekstrakt topaklanma ürünleri, çökeltiler ve diğer safsızlıkların giderilmesi amacıyla çeşitli özelliklerdeki süzgeçlerden geçirilmektedir. Jelatinin kalitesini artırmak amacıyla istenildiği takdirde ağartma işlemi de uygulanabilmektedir (Yetim, 2011).

1.1.3.4 Evaporasyon (Kurutma)

Süzme sonrası sıvı ekstrakt suyu uçurularak belli bir viskozite değerine kadar konsantre edilmektedir. Yüksek molekül ağırlığına sahip yüksek kalitedeki jelatinlerde %20-25 civarında nem miktarı bulunurken, düşük molekül ağırlığına sahip düşük kalitedeki jelatinlerde bu oran %40 kadardır. Hidrolizasyon, suyun bulunduğu her an mümkün olup gerekli görülen durumlarda koruyucu da ilave edilebilmektedir (Yetim, 2011).

1.1.3.5 Sterilizasyon

Viskoz yapıdaki jelatin henüz kurutulmadığı için hala bozulabilir durumdadır. Sterilizasyon işlemi doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır. Doğrudan sterilizasyonda buhar sterilizasyonu kullanılırken dolaylı sterilizasyonda plakalı ısı değiştirici kullanılmaktadır. İşlem sonrası konsantre jelatin çözeltisine soğutma işlemi uygulanarak jel haline getirilir ve ardından şeritler halinde ekstrüde edilerek kurutulduktan sonra toz jelatin elde edilir (Yetim, 2011).

1.1.3.6 Kurutma

Kurutma amacıyla filtreden geçirilmiş, nemi giderilmiş ve mikrobiyal olarak temiz hava tercih edilmektedir. Jelatin şeritlerinin nem içeriğine göre kurutma başlangıç sıcaklığı belirlenmektedir. Kurutulmuş jelatin şeritleri öğütülerek boyutları 0,1 ile 10 mm aralığında granül haline getirilmektedir (Yetim, 2011).

1.1.4. Yenilikçi Jelatin Üretim Yöntemleri

Enerji tüketimini azaltarak çevreyi korumak, verimi artırmak, zaman ve maliyeti düşürmeye yardımcı olmak için ekstraksiyona yönelik yenilikçi ve yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Bu konseptin başarısı ve uygulanması jelatin endüstrisinde ilgi uyandırmıştır. Ultrases destekli ekstraksiyon (UDE), subkritik su ekstraksiyonu(SSE), yüksek basınçlı işleme (YBİ) ve mikrodalga destekli ekstraksiyon (MDE) gibi yeni ekstraksiyon yöntemlerinin uygulanması, bu yöntemlerin çevre dostu olması ve geleneksel ekstraksiyon teknolojilerine kıyasla verimli bir alternatif sunması nedeniyle oldukça büyük bir potansiyele sahiptir

(Noor vd., 2021). Tablo 1.3'te yenilikçi jelatin üretim yöntemleri ve elde edilen jelatinlerin karakteristiğine ilişkin özellikler özetlenmiştir.

Uzun vadeli uygulanabilirliği sağlamak için modern teknolojinin kullanılması jelatin endüstrisi için kritik önem taşımaktadır. Geleneksel/konvansiyonel yöntem uzun süredir uygulanmaktadır ve jelatinin çeşitli endüstrilerde artan kullanımına bağlı olarak bu ürüne olan talep artmaya devam edecektir. Bu nedenle, yeni teknolojilerin keşfedilmesi ve mevcut yöntemlerin iyileştirilmesi için yeniliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Küresel sürdürülebilirlik gündemi doğrultusunda, bu iyileştirmeler verimlilik, maliyet ve çevre güvenliğini dikkate almalıdır (Noor vd., 2021).

Tablo 1.3 Farklı kaynaklardan yeşil teknolojiler kullanılarak üretilen jelatinin özellikleri (Noor vd., 2021)

Yöntem	Kaynak	Önemli Bulgular	Sınırlama
UDE	Büyükbaş sazan	Yüksek viskozite	Düşük verim, ön işlem ihtiyacı
	Patin balığı kılçığı	İşlem için basit kurulum	Düşük verim, düşük jel kuvveti ve Ön işlem yöntemi ve ekstraksiyon işlemi için uzun süre
	Tavuk ayağı	Kısa ekstraksiyon süresi	Düşük verim ve düşük jel kuvveti
	Sığır derisi	UDE ve enzim kombinasyonu ile yüksek jelatin verimi	Moleküler düzenin kaybı
	Ördek derisi	Yüksek verim ve kısa ekstraksiyon süresi	Farklı molekül ağırlığına sahip peptitlerin oluşması
SSE	Domuz plasentası	Ön işlem ihtiyacı yok ve hızlı ekstraksiyon	Karmaşık prosedür ve kurulum
	Ördek derisi	Optimum fizikokimyasal özellikler	Ekstraksiyon metoduna göre farklı molekül ağırlığına sahip peptitler
YBİ	Dil balığı	Kısa ekstraksiyon süresi, yüksek verim	Düşük jel kuvveti
	Domuz derisi	Yüksek verim	Ön işlemde asit kullanım ihtiyacı
MDE	Ördek ayağı	Kısa ekstraksiyon süresi, yüksek jel kuvveti ve verim	Zahmetli ve uzun ön işlem yöntemi
	Tavşan derisi	Kısa ekstraksiyon süresi, yüksek jel kuvveti	Ön işlem ihtiyacı
	Ördek derisi	Kısa ekstraksiyon süresi, yüksek jel kuvveti ve verim	Ön işlem ihtiyacı
	Sazan balığı(pul ve yüzgeci)	Kısa ekstraksiyon süresi	Uzun ön işlem süresi ve düşük verim

UDE, MDE, YBİ ve SSE kullanım potansiyeli jelatin endüstrisi için gelecek vadeden teknolojilerdir. Bu teknolojilerin çalışma süresini kısaltma ve ekstraksiyon sırasında solvent kullanımını azaltma kapasitesi, uzun çalışma süresi, kirlilik ve atık yönetimi sorunlarının üstesinden gelebilir (Noor vd., 2021). Yukarıda bahsedilen tüm prosedürlerin avantajları ve sınırlamaları Tablo 1.4'te özetlenmiştir.

Tablo 1.4 Jelatin üretiminde yeşil teknolojilerin avantajları-dezavantajları (Noor vd., 2021)

Ekstraksiyon Yöntemi	Avantajları	Kısıtlamaları
Ultrases destekli ekstraksiyon	Enerji tüketimini azaltır, ekstraksiyon süresini azaltır, ön işlem ve/veya ekstraksiyon sırasında yardımcı olur, solvent gereksinimlerini azaltır, ekstraksiyon sırasındaki ısı üretimini aralıklı dinlenme süresi uygulayarak kolayca kontrol edilebilir	Sürekli bir uygulama için enerji akısının homojenliğinin kontrol edilmesi, yüksek güçlü proses tasarımı, kurulum kolaylığı ve bakım maliyetlerinin iyileştirilmesi gerekliliği.
Subkritik su ekstraksiyonu	Enerji tüketimini azaltır,ekstraksiyon süresini kısaltır, solvent kullanımı yoktur, ekstraksiyon sırasında ısı üretmez.	Hassas sistem, karmaşık sistem kurulumu.
Yüksek basınç işleme	Zaman tasarrufu ve yüksek ekstraksiyon verimi sağlar, minimum ısı ile termal bozulmayı önleyebilir, solvent kullanımı yoktur.	Hassas sistem, karmaşık sistem kurulumu ve ısı üretimi.
Mikrodalga destekli ekstraksiyon	Ön işlem ve/veya ekstraksiyon süresini kısaltır, ön işlem ve/veya ekstraksiyona destek olur, solvent kullanımını azaltır.	Isı üretimi.

1.1.5. Jelatin Üretiminde Farklı Kolajen Kaynaklarının Değerlendirilmesi

Kolajen ve jelatin ekstraksiyonunda kullanılan en yaygın hammaddeler deri veya postlar, kemikler, tendonlar ve kıkırdaklardır. Domuz derisi günümüzde büyük ölçekli endüstriyel üretim için en önemli kolajen kaynağı olarak kullanılmaktadır. Balık ve kanatlı hayvanlarından elde edilen hammaddeler son yıllarda büyük ilgi görmüştür, ancak üretimlerinin sınırlı olması fiyat açısından memeli jelatinlerine göre daha az rekabetçi kılmaktadır. Balık jelatini ele alındığında, çok farklı karakteristik özelliklere sahip çok sayıda türün bulunması, araştırıcıların ekstraksiyon koşullarının optimize edilmesinin yanı sıra, çoğunlukla deri ve kemik kalıntılarından elde edilen jelatinlerin verimlerinin, fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin karakterize edilmesine yönelik bir ilgi uyandırmıştır (Gomez-Guillen vd., 2011). Morina, Atlantik somonu, mezgit, Alaska mezgiti veya berlam balığı gibi farklı tipik soğuk su türlerinin; siyah veya kırmızı tilapia, Nil levreği, kanal yayın balığı, sarı yüzgeçli orkinos, sin palamudu, shortfin istakozu, paten balığı veya ot sazanı gibi tropikal veya sub-tropikal türlerin; megrim, Dover dil balığı gibi yassı türlerin ve dev kalamar gibi kafadan bacaklıların derilerinden jelatinlerin ekstraksiyon prosedürleri ve jelleşme özelliklerine ilişkin çalışmalar bazı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiştir (Gómez-Guillén vd., 2009; Karim & Bhat, 2009). Her ne kadar soğuk su balıklarından elde edilen jelatinlern düşük erime ve jelleşme sıcaklığına (<17°C, 4-12°C) sahip olduğu belirlenmişse de ekstraksiyon yöntemleri arasındaki farklılıklar kesin karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Benzer şekilde jel kuvveti (bloom) değerinin 100 g ve altında olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan ılık su balıklarının jel kuvveti değeri 200 g ve üzerinde belirlenmiştir. Ticari sığır ve domuz jelatinlerini erime noktaları 30 °C'nin üzerindeyken jel kuvveti değeri 200-300 g aralığındadır. Bununla birlikte, Sarı kuyruk balığının deri ve kemikleri, mürekkep balığı, kertenkele balığı, orfoz balığı, mavi grenadier ve yayın balığı gibi türlerden elde edilen jelatinlerin ise iyi jelleşme özelikleri gösterdiği ifade edilmiştir (Aewsiri vd., 2009; Benjakul vd., 2009; Binsi vd., 2009; Jongjareonrak vd., 2010; M. S. Rahman & Al-Mahrouqi, 2009; Taheri vd., 2009). Pullar bir diğer önemli balık endüstrisi atıklarını oluşturmaktadır ve balık kolajen atıklarında bulunan malzemenin yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır. Derilerin aksine, pullar hidroksiapatit ve kalsiyum karbonat gibi kalsiyum fosfat

bileşikleri bakımından zengindir; bu nedenle, jelatinin nihai verimini, saflığını ve jel gücünü elde etmek için balık pullarından kalsiyumun ön işlemle uzaklaştırılması kritik önem taşımaktadır (Wang & Regenstein, 2009).

Kanatlı yan ürünleri de giderek daha fazla kolajen bazlı yüksek değerli ürünlere dönüştürülmektedir. Bugüne kadar, kanatlılardan kolajen ve jelatin eksrakte etmek ve özelliklerini değerlendirmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, kanatlı atıklarından kolajen ve jelatin ekstraksiyonunun fizibilitesi ve fizikokimyasal özellikleri (Almeida vd., 2013; T. K. Kim vd., 2020a; Rafieian vd., 2015; Dewi Yuliani vd., 2019), reolojik özellikleri (Abedinia vd., 2017; Mhd Sarbon vd., 2013b; Santana vd., 2020; Yasin vd., 2017), emülsifikasyon ve köpük özellikleri (Chakka vd., 2017; H. W. Kim vd., 2012; Rasli & Sarbon, 2015), biyoaktif aktivite (S. J. Lee vd., 2012; Said & Sarbon, 2020; Wan Omar & Sarbon, 2016), yağ ikamesi olarak kullanımı (Almeida & Lannes, 2017; H. W. Kim vd., 2014), duyusal özellikleri (Kim vd., 2014; Nik Muhammad vd., 2018) ve film oluşturma özellikleri (Abedinia vd., 2018; Lee vd., 2015; Nazmi vd., 2017) gibi amaçlara odaklanmaktadır.

1.1.6. Kanatlı Jelatini, Fonksiyonel Özellikler ve Kullanım Alanları

Jelatin, hayvansal deri, kemik ve bağ dokuların ana bileşeni olan fibröz kolajenden elde edilen ve suda çözünebilen bir maddedir. Bu nedenle, kolajenin çeşidi, jelatinin kaynağı ve hayvan türünün yaşı jelatinin özelliklerini etkileyen faktörlerdir. Jelatinin amino asit kompozisyonu jelatinin özelliklerini ve fonksiyonelliğini belirlemektedir (Abedinia vd., 2020). Dolayısıyla, farklı jelatin türleri, termal ve reolojik özellikleri etkileyen farklı fizikokimyasal özelliklere sahiptir (Cheow vd., 2007). Kanatlı jelatinlerinin amino asit profilinin memeli jelatini(domuz derisi) ile kıyaslandığı içerik Tablo 1.5'de verilmiştir (Abedinia vd., 2020).

Genel olarak, kanatlı kaynaklarında bulunan kolajenler, amino asit bileşimlerinde memeli kolajenlerine göre daha geniş bir çeşitlilik gösterir. Hidroksiprolin ve prolin içerikleri memeli kolajenlerinden ve glisinden daha yüksektir. Genel olarak, kanatlı jelatininin imino asit (prolin+hidroksiprolin) içeriği memeli jelatininki ile karşılaştırılabilir ölçüde ve niteliktedir. Jelatinin elde edildiği hammadde, nihai

üründeki amino asitlerin miktarını ve sırasını belirlemektedir (Nalinanon vd., 2008).

Tablo 1.5 Kanatlı jelatinlerinin memeli jelatinlerine kıyasla amino asit içeriği

Amino asit(%)	Domuz(deri)	Ördek(deri)	Tavuk(deri)	Hindi(posa)	Ördek(ayak)	Tavuk(ayak)
Alanin	8,3	9,84	10,08	12,99	8,12	10,11
Arjinin	8,5	7,87	5,57	5,74	5,67	-
Asparajin	6,0	4,81	2,11	5,82	2,72	4,24
Sistein	0,2	0,02	0,16	-	-	-
Glutamin	10,5	10,63	5,84	8,66	5,53	3,13
Glisin	20,2	26,04	33,70	35,14	29,81	31,51
Histidin	0,8	0,97	0,30	0,58	0,7	-
Hidroksi lizin	1,2	-	-	-	-	2,25
Hidroksi prolin	10,8	12,78	12,13	-	10,7	9,24
İzolösin	1,3	1,10	1,15	2,35	1,14	-
Lösin	2,9	2,70	2,63	1,36	2,5	3,47
Lizin	4,0	2,88	4,66	2,99	1,75	2,41
Metiyonin	1,1	1,34	0,07	0,89	1,47	1,12
Fenilalanin	2,1	2,19	1,77	1,65	1,84	3,16
Prolin	13,4	8,84	13,42	13,87	10,68	17,6
Serin	3,6	2,50	2,20	2,57	3,75	1,43
Treonin	1,9	2,94	1,01	2,10	2,37	-
Triptofan	-	-	0,04	-	-	1,23
Tirozin	0,8	0,72	1,22	0,43	0,46	0,96
Valin	2,4	1,85	1,94	2,24	2	1,38
İmino asit	24,2	21,62	25,55	-	21,39	26,5

Dünya'da kanatlı eti üretimi 2008 yılında 92,68 milyon ton iken (tavuk, ördek, kaz ve beç tavuğu ve hindi için sırasıyla 80,84, 3,83, 2,27 ve 5,7 milyon ton) 2018 yılında 127,29 milyon tona (tavuk, ördek, kaz ve beç tavuğu ve hindi için sırasıyla 114,26, 4,46, 2,64 ve 5,9 milyon ton) ulaşmıştır. Kanatlı endüstrisinin bu şekilde büyümesiyle birlikte yüksek miktarlarda deri, kemik ve ayak gibi kesimhane atığı ortaya çıkmaktadır (Abedinia vd., 2020). Kobya vd. (2006), bu atıkların %51,8 ham protein, %41 yağ ve %6,3 kül içerdiğini belirtmişlerdir. Bu yüzden de memeli kaynaklı jelatinler için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Diğer taraftan, organik atık miktarının yüksek olması mikroorganizmaların çoğalmasına ve bu atıkların yetersiz arıtılması sonucu çevresel problemlerin ortaya çıkmasına sebep olacağı ifade edilmiştir (Abedinia vd., 2020). Kanatlı atıklarından jelatin üretilmesi bu sorunun bertaraf edilmesi ve katma değeri yüksek ürün eldesi açısından da katkı sunmaktadır.

Kanatlı jelatinlerinin Bloom değerlerinin de yüksek olduğu yapılan çalışmalarca gösterilmiştir. Ördek derisi, tavuk yan ürünleri, tavuk kemiği, tavuk kafası, tavuk posası (kemikleri ayrılmış tavuk eti kalıntısı) ve hindi posasından elde edilen jelatinlerin bloom değerleri sırasıyla 260, 294, 439, 355, 520, 831 g olarak belirlenmiştir (Almeida vd.,2013; Du vd., 2014; Ee vd., 2019; Kim vd., 2020a; Dewi vd., 2019). Yapılan çalışmalar farklı jelatinlere ait bloom değerlerindeki farklılığın imino asit miktarındaki farklılıktan kaynaklandığını göstermiştir (Abedinia vd., 2020). Ayrıca, Montero ve Gómez-Guillén (2000) ile (Farah Badii & Howell, 2006) bloom değeri ile birlikte fiziksel özelliklerin üzerine de etkisi olan bir başka faktörün hidrofobik amino asit (Ala, Val, Leu, Ile, Pro, Phe ve Met) miktarı olduğu sonucuna varmışlardır. Ekstraksiyon koşullarının da yine aynı şekilde jel kuvveti değerini etkilediği sonucuna varılmıştır. Örneğin yüksek ekstraksiyon süresinin düşük jel kuvveti elde edilmesine neden olduğu görülmüştür. Bu durum hidroliz için ekstraksiyon süresinin kolajenin çapraz bağlanma derecesini etkileyerek, daha sonra jel oluşum kapasitesi üzerinde gözle görülür bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Rafieian vd, 2013).

Her ne kadar farklı kaynaklardan elde edilen jelatinlere ait geniş aralıklarda erime ve jelleşme noktaları tespit edilmiş olsa da, kanatlı jelatinlerinin de memeli jelatinlerine benzer özellikte erime-jelleşme özelliği gösterdiği tespit edilmiştir (Mhd Sarbon vd., 2013b; Rafieian vd., 2015). Kanatlı jelatinlerinin jelleşme-erime sıcaklıkları sırasıyla 20–28 °C ve 26,7-34,5 °C iken domuz ve sığır jelatinlerinde bu değerler sırasıyla 20–25 °C ve 28 -31 °C aralığında tespit edilmiştir. Bu durum jelatin kökeninin jel özelliklerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ortalama molekül ağırlığı, α, β ve γ zincirlerinin dağılımının jelatinin jel özelliklerinin belirlenmesinde amino asit bileşiminden daha önemli olduğu ifade edilmiştir (Abedinia vd., 2020).

Ticari jelatinlerin önemli fiziksel özelliklerinden biri de viskozitedir. Düşük viskoziteye sahip jelatinler kısa ve kolay kırılabilir jeller oluştururken yüksek viskoziteye sahip jelatinler sert ve uzayabilir jeller oluşturmaktadır(Lin vd., 2017). Tavuk ayağından elde edilen jelatinlerin tavuk kemiğinden elde edilenlere göre daha düşük viskoziteye sahip olduğu tespit edilmiştir. Moleküler ağırlık, molekül boyutu dağılımı ve jelatinin pH değerinin bu farklılığın oluşmasında önemli rol

oynadığı ifade edilmiştir. Aynı çalışmada en düşük viskozite değerinin pH değeri 6 ile 8 arasındayken elde edildiği ifade edilmiştir (Rahman & Jamalulail, 2012). β ve γ zincirleri gibi çapraz bağlı bileşenlerin yüksek miktarda bulunması ile daha yüksek viskozite ve bloom değerine sahip jelatin elde edilmektedir (Ogawa vd. 2004).

Jelatinlerin yüzey aktif özellikleri onu köpürtücü ve emülsifiye edici bir ajan olarak gıda, ilaç, tıbbi ve teknik alanlarda uygun bir aday haline getirmektedir (Lobo, 2002). Köpürme ve emülsifiye etme özellikleri peptit zincirlerindeki hidrofobik bölümlerin varlığı ile ilgilidir. Globüler proteinler ve gam arabik gibi klasik yüzey aktif maddelerin aksine jelatinlerin emülsifiye edici özellikleri daha azdır. Bu yüzden de tek başına kullanıldıklarında büyük damlacıklar oluştururlar (Huang vd. 2017). Surh vd. (2005), polar olmayan yan bağların hidrofobik olarak bağlanmasıyla veya anyonik yüzey aktif maddelerle birlikte kullanılması ile jelatinin emülsifiye özelliğinin modifiye edilebileceğini ifade etmişlerdir. Jelatinin jelleşme ve stabilizasyon özellikleri enkapsülasyon işleminde de kullanılmaktadır.

D. Yuliani vd. (2019), tavuk kemiği jelatinlerinin emülsiyon stabilitelerinin %9,82 ile %61,19 arasında olduğunu belirtirken yüksek konsantrasyon ve ekstraksiyon süresinin emülsiyon stabilitesini artırdığını gözlemlemişleridir. Rafieian vd. (2015) tavuk posasından elde ettikleri jelatinlerin domuz jelatinine benzer köpük stabilitesi gösterdiğini diğer taraftan sığır jelatinlerine oranla daha yüksek köpük stabilitesi değerlerine ulaştıklarını belirtmişlerdir. Prolin, fenilalanin, lösin ve izolösin gibi hidrofobik amino asitlerin yüksek miktarda bulunmasının yüksek köpük stabilitesi ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Rasli & Sarbon, 2015).

Kanatlı jelatinlerinden film üretimi ve karakterizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı olsa da, kanatlı jelatinlerinin mükemmel film oluşturma özellikleri sergilediği belirtilmiştir (Abedinia vd., 2018; Lee vd., Song, 2015; Nazmi vd., 2017; Said & Sarbon, 2020). Genel olarak, kanatlı jelatinlerinden elde edilen filmlerin mekanik özelliklerinden olan gerilme mukavemeti (TS), kopma uzaması (EAB), Young modülü (YM) ve ısıl sızdırmazlık mukavemetinin (HS) sığır kemiği jelatininden elde edilenlerle benzer olduğu bildirilmiştir (Abedinia vd., 2018). Gıda ambalajlamalarındaki temel amaçlardan biri ise ürün ile çevresindeki atmosfer arasındaki nem geçişini engellemek veya azaltmaktır. Özellikle yüksek nem

seviyelerindeki ortamlarda düşük su buharı geçirgenliğine sahip ambalaj filmleri geniş bir kullanım alanine sahip olmaktadır. İmino asitlerin miktarı ve oranına ek olarak moleküler ağırlık dağılımı gibi faktörler jelatin filmlerin mekanik ve bariyer özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Abedinia vd., 2018; Qi vd., 2016). Kolajen ve jelatin kaplamaları veya filmleri, arzu edilen su buharı geçirgenliği ve oksijen geçirgenliği özelliklerini göstererek diğer uygulamaların yanı sıra gıda muhafazasında kullanım için son derece idealdir. Örneğin, kirliliği azaltmak, rengi korumak, duyusal özellikleri iyileştirmek, bozulmayı yavaşlatmak ve önlemek ve aynı zamanda bir antioksidan olarak çeşitli et ürünlerini kaplamak için kullanılmıştır (Antoniewski & Barringer, 2010). Kanatlı ayak jelatinleri, yüksek prolin ve hidroksiprolin içerikleri nedeniyle memeli jelatinlerinden daha yüksek hidrofobikliğe sahiptir. Yenilebilir ördek ayağı jelatin bazlı, tavuk ayağı proteini ve gliserol ile plastikleştirilmiş tavuk ayağı jelatin filmleri, sırasıyla 5×10^{-11}, $3{,}44\times10^{-9}$ ve $1{,}27\times10^{-9}$ g m^{-1} s^{-1} Pa^{-1} ile sığır jelatini filmlerinden bile daha düşük bir su buharı geçirgenliği göstermektedir (Lee vd., 2015; Norafidah Suderman & Sarbon, 2020). Kanatlı derisi veya memelilerden elde edilenlere kıyasla kanatlı ayağı jelatin bazlı filmlerdeki daha düşük su buharı geçirgenliği, prolin ve hidroksiprolin miktarından kaynaklanmaktadır. Sonuçlar, kanatlı ayak jelatini filmlerinin özelliklerinin sığır jelatin filmine alternatif bir malzeme olarak kullanılmaya uygun olduğunu göstermektedir. Bunlara ek olarak farklı polimerleri bir araya getirerek, biyolojik olarak parçalanabilen yenilebilir filmler üretmek amacıyla kanatlı jelatinlerinin kullanıldığı farklı çalışmalar da mevcuttur (Loo & Sarbon, 2020; Nor vd., 2017; Said & Sarbon, 2020; Soo & Sarbon, 2018).

Jelatinin gıda alanında kullanımı ile ilgili öne çıkan en belirgin özelliklerinden biri de ağızda erime (genellikle vücut sıcaklığından düşük) özelliğidir. Suda çözünürlüğü ve geri dönüşebilir jelleşme özelliği jelatini tercih edilen bir malzeme haline getirmektedir (Abedinia vd., 2020).

Lezzet, renk ve aroma gibi duyusal testlerin kullanılarak jelatin örneklerinin kabul edilebilirliğinin, ticari bir jelatinin duyusal nitelikleriyle karşılaştırarak incelendiği çalışmada farklı oranlarda jelatin ve şeker içeren çözeltiler panelistler tarafından duyusal değerlendirmeye tabi tutulmuş, yağ asitleri ve kokudaki etkili bileşiklerin miktarının jelatin ekstraksiyonunda elimine edilmediği durumlarda, ticari jelatin ile

karşılaştırıldığında elde edilen jellerin genellikle daha az kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır (Almeida vd., 2013). Kim vd. (2014), ördek ayağı jelatinlerini farklı konsantrasyonlarda kullanarak ürettikleri ördek eti jölesinde ağızda erime özelliği jelatinler arasındaki farklılıkların nedenlerinden biri olarak ifade edilmiştir. Genel kabul, renk ve görünüş gibi duyusal parametrelerin artan jelatin konsantrasyonu ile birlikte arttığı tespit edilmiştir. Ekstraksiyon için kullanılan asit çeşidinin ördek ayağı jelatininin duyusal özellikleri üzerinde önemli bir fark oluşturduğu belirlenmiştir. İçeriğindeki yağ oranının ördek ayağı jelatininde güçlü bir kokuya sebep olduğu bu yüzden de ektsraksiyon sırasında yağ oranının %0,1 oranında azaltmanın önemli olduğu ifade edilmiştir.

Diğer kanatlıların deri, kemik, ayak ve kafa gibi atıklarından jelatin üretimi gerçekleştirilmesine rağmen hindi kesimhane atıklarından sadece kafa ve kemikten mekanik olarak sıyrılmış etten (posa) jelatin üretimi gerçekleştirilmiştir. Deri, kemik ve ayak gibi atıklardan jelatin üretimine yönelik herhangi bir çalışma bulunmamıştır.

1.1.6 Hindi Atıkları

Kanatlı atıklarından ticari jelatin üretimi henüz istenilen seviyeye ulaşamamıştır. Dolayısıyla, bu atıklar hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir. Kanatlı endüstrisinin başlıca atıkları piliç kaynaklı olup son yıllarda hindi atıkları da önemli bir alternatif haline gelmiştir. Dünyada kanatlı eti üretimi 2008'den 2018 yılına kadar önemli bir artış göstererek 92,68 milyon ton değerinden 127,29 milyon tona ulaşmıştır. 114,26 milyon ton ile piliç eti en fazla üretime sahipken bunu 5,9 milyon ton ile hindi eti takip etmektedir (FOASTAT, 2019).

Entegre hindi üretimi dünyada 1980'lerden sonra gelişmeye başlamışken ülkemizde 1995 yılından sonra gelişmeye başlamış olup artan talep ile birlikte piyasadaki yerini muhafaza etmiştir (Koyubenbe & Konca, 2010). 2017 yılında Türkiye'de 52,4 bin ton hindi eti üretilmiş olup kesilen hindi sayısı ise 5,2 milyon adede ulaşmıştır. Hindi eti üretimi 2005 yılına kıyasla %23 oranında artarken kesilen hindi sayısı ise yine aynı yıla oranla %18 artış göstermiştir. Türkiye kümes hayvan sayılarına ait veriler Tablo 1.6'da gösterilmiştir (Tarım ve Orman, 2024).

Tablo 1.6 Türkiye kümes hayvan sayıları(bin adet)

Yıl	Et Tavuğu	Yumurta Tavuğu	Hindi	Kaz	Ördek	Toplam
2015	213.658	98.597	2.828	851	398	316.332
2016	220.322	108.689	3.183	933	414	333.541
2017	221.245	121.556	3.872	978	492	348.144
2018	229.507	124.055	4.043	1.080	533	359.218
2019	221.842	120.725	4.541	1.157	520	348.785
2020	258.046	121.303	4.798	1.374	560	386.081
2021	270.393	121.001	4.704	1.478	540	398.115
2022	251.290	109.806	3.670	1.386	433	366.585

"İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği" ile 01.01.2017 tarihinden itibaren; kürk hayvanları hariç karasal hayvanların, aynı türden hayvanların gövdeleri veya parçalarından elde edilen işlenmiş hayvan proteinleri ile beslenmesi yasaklanmıştır. Bununla birlikte tavuk yemlerinde hindi unu, hindi yemlerinde tavuk unu kullanılabilmektedir (Tarım ve Orman, 2024). Tablo 1.7'de kesilen kümes hayvanları sayısı ile et ve tavuk üretimine ait veriler gösterilmiştir (Tarım ve Orman, 2024).

Tablo 1.7 Türkiye kümes hayvanları kesilen sayısı ile et ve tavuk yumurtası üretimi

Yıl	Kesilen tavuk sayısı(bin adet)	Tavuk eti(ton)	Kesilen hindi sayısı(bin adet)	Hindi eti(ton)	Toplam
2010	843.898	1.444.059	3.657	31.965	740.025
2011	963.245	1.613.309	4.044	36.331	809.668
2012	1.047.783	1.723.919	4.764	41.931	931.923
2013	1.060.673	1.758.363	4.574	39.627	1.031.047
2014	1.109.742	1.894.669	5.174	48.662	1.071.587
2015	1.118.719	1.909.276	5.360	52.722	1.045.469
2016	1.101.572	1.879.018	4.663	46.501	1.131.100
2017	1.228.444	2.136.734	5.219	52.363	1.205.075

Yaş, cinsiyet, genotip ve yetişme koşullarına bağlı olarak hindi kesim ağırlığının %3,41 ile %6,84'ü arasında deri, %1,62 ile %3,30'u arasında kafa, %1,53 ile %2,8'i arasıda ayak ve %3,54 ile %4,63'ü arasında tüy atık olarak çıkmaktadır (Özer & Özbey, 2013). Bu atıkların bir kısmı bazı işletmelerde rendering amacıyla değerlendirilmektedir.

1.1.7. Tez Konusu Kapsamında Literatürde Yapılan Çalışmalar

Tez konusu kapsamında literatürde alternatif kaynaklardan jelatin üretimine yönelik farklı çalışmalar mevcuttur.

Farklı deniz (Dil balığı derisi, Pisi balığı derisi, Morina balığı derisi, Hake balığı derisi, Kalamar derisi) canlılarından klasik ekstraksiyon yöntemi ile jelatin ekstraksiyonu gerçekleştirildiğinde kolajen çözünürlüğündeki farklılıktan dolayı ekstraksiyon veriminin kalamar derisinde düşük olduğu gözlemlenmiştir. Aminoasit içeriğinin örnekler arasında önemli bir fark içermediği gözlemlenirken Morina balığının iminoasit (prolin+hidroksiprolin) içeriğinin diğer örneklere göre düşük olduğu belirtilmiştir. Dil balığı ve pisi balığının jel kuvveti değeri kendilerine en yakın morina balığının jel kuvveti değerinden beş kat yüksek bulunduğu ifade edilmiştir (Gomez Guillen vd., 2002).

Surimi yapımında kullanılan Kılkuyruk balığı atıklarından enzim (bromelain) destekli ekstraksiyon ile jelatin üretimi yanıt-yüzey yöntemi ile optimize edilmiş, 0,3g/L bromelain konsantrasyonu, 1,5 saat asit önişlemi, 41 °C sıcaklık ve 5 saat ekstraksiyon süresi optimum koşullar olarak belirtilmiştir. Toplam aminoasit içeriğinin yaklaşık olarak %14'ünü oluşturan iminoasit (prolin+hidroksiprolin) içeriğinin düşük oluşu jel kuvvetinin (62,9 g) ticari balık jelatinlerinden daha düşük olmasına neden olmuştur. Enzim ön işlemi ile kolajenin fazla hidrolize olması ile düşük molekül ağırlıklı peptit zincirlerinin oluşması sonucu viskozitenin de düşük olduğu saptanmıştır (Norziah vd., 2014).

Jridi vd. (2014) mürekkep balığı derisinden aşırı doygun tasarım (supersaturated design) yöntemi ile ekstraksiyon verimini etkileyen parametreleri incelemişler ve klasik yöntemin kullanıldığı çalışmada %58,12 gibi makul bir verim elde etmişlerdir. Emülsiyon aktivitesi indeksi ve köpük stabilitesi gibi fonksiyonel özelliklerin sığır jelatinine benzer şekilde bulunduğunu belirten araştırmacılar aynı zamanda elma suyunu durultmak için kullanılan jelatinin ürünün biyokimyasal parametrelerinde bir değişime sebep olmadığını ifade etmişlerdir.

Deve derisinden elde edilen jelatin örneğinin bloom derecesi (jel kuvveti) 340 g olarak bulunmuş ve bu değerin sığır derisinden elde edilen jelatinin bloom derecesinden (266,69 g) yüksek, domuz derisinden elde edilen jelatinin ise bloom

derecesinden (350,4 g) düşük olduğu belirtilmiştir. Farklı sıcaklık, pH ve ekstraksiyon süreleri ile %9,57 ile %28,59 arasında jelatin verimi elde edilmiştir (Ahmed vd., 2020).

Hindi kemiklerinden mekanik olarak ayrılmış etlerden (MSTM) jelatin üretimi ile ilgili yapılan çalışmada %2,23 ile %4,13 arasında verim elde edilirken 309,2 g ile 338,4 g arasında bloom derecesine sahip olduğu tespit edilmiştir (Du vd., 2014). Tavuk ve hindi kafalarından üretilen jelatinlerin özelliklerinin araştırıldığı bir başka çalışmada ise verim %52,29 ile %62,76 arasında belirlenmiştir. Hindi kafasından üretilen jelatinlerin jel kuvveti ise 332,7 ile 368,4 g arasında değişim göstermiştir. Hindi kafasından elde edilen jelatinlerin tavuk kafasından elde edilen jelatinlere göre daha iyi köpük oluşturma ve emülsifiye etme özelliği gösterdiği ifade edilmiştir (Du vd., 2013).

Bununla birlikte jelatinlerin fonksiyonel özelliklerinin üretim şekli ve koşularından önemli ölçüde etkilendiği ifade edilmiştir (Khiari vd., 2017). Farklı ekstraksiyon yöntemleri ve ekstraksiyona yardımcı olarak eşlik eden enzim uygulamaları gibi yöntemler ile gerçekleştirilen çalışmalar mevcuttur.

Tilapia cinsi balık derisinden sıcak su ekstraksiyonu (SSE), asetik asit ekstraksiyonu (AAE) ve enzim destekli ekstraksiyon (EDE) yöntemi ile elde edilen jelatinlerin fonksiyonel özeliklerinin belirlendiği çalışmada SSE ve EDE uygulaması ile birbirine yakın jel kuvvetine sahip jelatinler elde edilirken AAE yöntemiyle elde edilen örneklerin jel kuvvetinin düşük olduğu belirlenmiştir. Farklı ekstraksiyon metotları jelatinlerin fonksiyonel özelliklerini etkilemiş olup EDE jelatinlerinin su tutma kapasitelerinin AAE jelatinlerini yağ tutma kapasitelerinin yüksek olduğu ifade edilmiştir (Zhang vd., 2020).

Tavuk kemiklerinden sıcak basınç uygulaması ile jelatin eldesinin araştırıldığı çalışmada 20 ve 40 dakikalık ekstraksiyon sürelerinde en yüksek sertlik, yapışkanlık, yapışkanlık, elastikiyet değerleri elde edilirken bu durumun farklı ekstraksiyon sürelerinin aminoasit kompozisyonuna ve molekül ağırlığı dağılımına bağlı olarak farklılaştığı ifade edilmiştir (Yue vd., 2017).

Üç aşamalı ekstraksiyon (50, 70, 90 °C) ile domuz derilerinden elde edilen jelatinlerde sırasıyla 97, 88 ve 58 karakteristik triptik peptit belirlenmiştir. 46 triptik

peptitin tüm jelatin örneklerinde görüldüğünün ifade edildiği çalışmada tek aşamalı ekstraksiyon işlemi ile elde edilen jelatinlerin tüm örneklerle ortak olarak 35 karakteristik tripeptit içerdiği belirlenmiştir (Sha vd., 2020).

Su kurbağası derilerinden ultrases destekli ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen jelatinlerin (UDE) ultrases koşullarından bağımsız olarak klasik ekstraksiyonla (KE) elde edilen jelatinlere göre veriminin yüksek olduğu gözlenmiştir. Ultrases süresinin bulanıklığı artırdığı gözlemlenirken ekstraksiyon işlemi sırasında çözünen diğer maddelerin bu durumda etkili olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte uygun koşullardaki ultrases işleminin ekstraksiyon verimini artırırken jel kalitesini sürdürebildiği belirtilmiştir. Uzun süreli ultrases işleminin protein degredasyonunu artırdığı ve kısa peptitlerin oluşumunu hızlandırarak jel kuvvetini azalttığı ayrıca gözlenmiştir (Karnjanapratum & Benjakul, 2020).

Kim vd. (2020) ördek derisinden farklı ekstraksiyon yöntemleri ile jelatin eldesi ve fizikokimyasal özellikler üzerine etkisini incelemişlerdir. Su banyosu, ultrases, kızgın buhar ve mikrodalga ekstraksiyon yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada kızgın buhar ekstraksiyonu ile elde edilen jelatinlerin en yüksek verime (%44,02) sahip olduğu, su banyosunda ekstraksiyon ile elde edilen jelatinlerin en düşük verime (%11,71) sahip olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin erime sıcaklıkları 31,25 ile 33,88 °C arasında değişirken kızgın buhar ekstraksiyonu ile elde edilen jelatinlerin en düşük erime sıcaklığına sahip olduğu belirlenmiştir. Su banyosu ve mikrodalga ekstraksiyon ile elde edilen jelatinlerin en yüksek jel kuvvetine sahip olduğu belirtilen çalışmada kızgın buhar ekstraksiyonunun jelatin ekstraksiyonu ve et ürünlerinde kullanımı için en uygun metot olduğu ifade edilmiştir.

Bromelain enzimi uygulamasının ardından ultrases yöntemi ile sığır derisinden jelatin eldesinde ultrases işlem süresinin artmasıyla verimin arttığı görülmesine rağmen sadece 6 saatlik ekstraksiyon süresinin verimi (%19,71) kontrol (enzim muamelesi olmayan) grubuna göre yüksek bulunmuştur. 2 ve 4 saatlik ekstraksiyon işleminin verimi kontrol grubuna göre düşük bulunmuştur. Üçlü heliks yapının stabilitesini belirleyen iminoasit miktarının yüksek oluşu jelatinin bloom derecesinin ve viskozitesinin de yüksek olmasını açıklamaktadır (Ahmad vd., 2018).

Moula Ali vd. (2018) altın sazan balığı derisinden jelatin eldesini gerçekleştirdikleri çalışmalarında ön işlemde kullanılan asidin çeşidi (asetik asit ve asetik asit+sülfürik asit) ve ön-ultrases işleminin etkisini incelemişlerdir. %80 genlikte ön-ultrases (20 kHz) işleminin asetik asit ve asetik asit+sülfürik asit ön işlemi uygulanmış örneklerde verimin sırasıyla %110,9 ve %174,8 oranında arttığı tespit edilmiştir. Ultrases ön işleminin özellikle asetik asit ön işlemi uygulanmış örneklerde jelleşme sıcaklığını önemli ölçüde etkilediği ifade edilmiştir. Asit ön işleminden bağımsız olarak ultrases ön işleminin daha güçlü jel ağı oluşturarak jelleşme özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir.

Jelatin ekstraksiyonunda ekstraksiyon yönteminin yanı sıra ekstraksiyon öncesi uygulanan ön işlemler başta olmak üzere her aşamanın jelatinin teknolojik ve fonksiyonel özellikler üzerinde önemli ölçüde etki ettiği bilinmektedir. Ekstraksiyon sonrası kurutma işlemi de bu aşamalardan biri olup son yıllara ait çalışmalarda farklı kurutma tekniklerinin jelatinlerin özellikleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmalar yayınlanmıştır. Püskürtmeli kurutmanın dondurarak kurutma ve vakum kurutma yöntemine göre verimi düşürmesine rağmen jelatinlerin fonksiyonel özelliklerini geliştirdiği belirtilmiştir (Kanwate vd., 2019). Benzer şekilde püskürtmeli kurutmanın köpek balığı derisinden elde edilen jelatinlerin su tutma, yağ bağlama köpük gibi fonksiyonel özellikleri geliştirdiği ifade edilmiştir (Salem vd., 2020).

Tavuk ayağı jelatinlerinin sıcak havada ve dondurarak kurutma işlemi yöntemleri ile kurutulduğu çalışmada sıcak havada kurutulan jelatinlerin jel kuvvetinin yüksek olduğu belirlenirken akış davranış indeksine göre kesme incelmesi özelliği gösterdiği ifade edilmektedir. Dondurarak kurutulan jelatinlerin köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesinin sıcak havada kurutulan örneklere göre daha yüksek olduğu gözlemlenirken emülsiyon oluşturma kapasitesi ve stabilitesi değerlerinde tam tersi bir durum tespit edilmiştir (Rather vd., 2022).

Hamzeh vd. (2018), kalamar derisinden elde ettikleri jelatinleri püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutmuşlardır. Püskürtmeli kurutucu için farklı sıcaklıkların da çalışıldığı araştırmada dondurarak kurutulan örneklerin jel kuvveti değerinin yüksek olduğu belirlenirken püskürtmeli kurutucu sıcaklığının artırılması ile birlikte jel kuvveti değerinin düştüğü tespit edilmiştir.

Jelatinlerdeki balıksı kokunun dondurarak kurutulan ve düşük sıcaklıklarda püskürtmeli kurutma işlemi gerçekleştirilen örneklerde fazla hissedildiği belirlenirken kurutma sıcaklığının artması ile birlikte lipit oksidasyon ürünlerinin daha fazla kaybına sebep olarak balık kokusunda azalmaya sebep olduğu ifade edilmiştir.

Mad-Ali vd. (2017), keçi derisinden ürettikleri ve ardından püskürtmeli ve dondurarak kurutma yöntemi ile kuruttukları jelatinlerin ticari sığır jelatinine kıyasla daha iyi jel özellikleri gösterdiğini belirttikleri çalışmalarında keçi derisinin iyi bir alternatif olabileceği sonucuna varmışlardır. Çalışmanın içeriğinde kurutma yöntemlerinin sonucunda benzer jel kuvveti değerinin elde edildiği ifade edilirken erime-jelleşme sıcaklıkları üzerinde de önemli bir farklılık oluşturmadığı görülmüştür. Püskürtmeli kurutucuda yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonu sonucunda kırmızılık ve sarılık değerinin yüksek olduğu tespit edilirken hidrofobik reaktif grupların yüksek sıcaklıkta yapısal değişikliğe uğrayarak bir araya gelmesi ile birlikte bulanıklık değerinin de dondurarak kurutulan örneklere göre yüksek olduğu görülmüştür.

Farklı kurutma yöntemlerinin(vakumlu etüv ve dondurarak kurutma) tavuk derisi jelatinlerinin özellikleri üzerine önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Vakumlu etüvde kurutulan örneklerin verimi yüksek bulunurken dondururak kurutulan örneklerin erime sıcaklığı ve köpük oluşturma kapasiteleri yüksek bulunmuştur. Diğer taraftan vakumlu kurutucu örneklerinin yüksek yağ bağlama ve emülsiyon stabilitesi özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Örnekler ticari sığır jelatini ile benzer yapıda olduğu FTIR sonuçları ile belirlenirken genel olarak kullanılan kurutma yöntemlerinin örneklerin reolojik, fonksiyonel ve yapısal özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı ifade edilmiştir (Rasli & Sarbon, 2015).

Dondururarak kurutulan köpekbalığı kıkırdağı jelatinleri sıcak hava ve püskürtmeli kurutucu ile kurutulan örneklere göre yüksek jel kuvveti gösterirken sıcaklık artışıyla birlikte jel yapısının zayıfladığı belirtilmiştir. Dondurarak kurutulan jelatinlerin köpük oluşturma kapasitesi yüksek bulunurken püskürtmeli kurutucuda kurutulan örneklerin ise emülsiyon kapasitesi en iyi olarak ifade edilmiştir. Köpük oluşturma ve emülsifiye etme gibi fonksiyonel özelliklerin yanı sıra kurutma yöntemlerinin reolojik özellikler üzerinde de önemli bir farklılık oluşturduğu

gözlemlenmiştir. Dondurarak kurutulan örneklerin viskoelastik özelliklerinin diğer örneklere göre daha uzun süreli sürdürülebildiği tespit edilmiştir(Kwak vd., 2009).

Tek tip kurutma yönteminin dışında farklı kurutma yöntemlerinin de ön kurutma olarak kullanılması da söz konusudur. Salem vd. (2020) dondurarak ve püskürtmeli kurutuma yöntemleri ile kuruttukları köpekbalığı derisi jelatinlerine mikrodalga ve etüvde kurutma yöntemlerini ön işlem olarak uygulamışlardır. Etüv ön işlemli dondurarak kurutulan örneklerin verimi en yüksek bulunurken ön işlem uygulanmamış püskürtmeli kurutucuda kurutulan örneklerin sertlik ve çiğnenebilirlik gibi tekstürel özellikleri en iyi olarak tespit edilmiştir. Örneklerin FTIR analizi sonucunda gözlenen spektral farklılıklarının ise molekül ağırlığı dağılımından kaynakladığı ifade edilmiştir.

Balık derisi jelatinlerini kurutmak için sıcak havalı konvektif kurutma ve kızılötesi ışıma ile kombine sıcak havalı konvektif kurutma parametrelerinin optimize edildiği çalışmada birleşik kurutma yöntemi ile daha düşük jel kuvveti elde edilirken emülsifiye etme ve köpük oluşturma kapasitesi gibi fonksiyonel özelliklerin kombine kurutma yöntemi ile daha iyi geliştiği gözlemlenmiştir. Diğer taraftan birleşik kurutma yönteminin erime noktasını düşürdüğü belirlenirken jelatin verimleri üzerinde kurutma yönteminin önemli bir etkisi bulunmamıştır (da Silva Araújo vd., 2021).

Roha balığından elde edilen jelatinler püskürtmeli kurutma, dondurarak kurutma ve vakumlu kurutma olmak üzere üç farklı yöntemle kurutulmuştur. Kurutma yöntemlerinin örneklerin protein yapılarında önemli ölçüde farklılaşmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Dondurarak kurutulan ve püskürtmeli kurutucuda kurutulan örneklerde α(α_1 ve α_2), β ve γ zincirleri baskın olarak bulunurken vakumlu kurutucuda kurutulan örneklerde β ve γ zincirlerinin daha az olduğu belirlenmiştir. FTIR spektrumları, üçlü sarmal yapıdaki kaybın tüm jelatin örneklerinde bulunduğunu ve bunun da kolajenin çözünür jelatine dönüştüğünü gösterdiğini ortaya koymuştur. Dondurarak kurutma ve püskürtmeli kurutma ile elde edilen jelatinlerin yüzey hidrofobisitesi, çözünürlük, emülsifiye etme ve köpürme gibi fonksiyonel özellikleri yüksek bulunurken jelleşme özellikleri arasında önemli bir fark görülmemiştir (Kanwate vd., 2019).

Tkaczewska vd. (2019) sazan balığı derisinden jelatin üretiminde farklı sıcaklıklarda etüvde kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerinin karakteristik ve jel özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Dondurarak kurutulan örneklerde renk, su tutma kapasitesi, yağ bağlama kapasitesi gibi optik ve tekno-fonksiyonel özelliklerin istenilen seviyede olduğu belirlenmiştir. Kurutma sıcaklığının artmasıyla SDS-PAGE bandlarının bulanıklaştığı ve bu durumunda kolajen proteinlerinin termal hidrolizinin gerçekleşmesi sonucu oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Farklı kurutma yöntemlerinin jelatinlerin teknolojik, reolojik ve yapısal özellikleri üzerine etkisi kurutma yöntemlerinin farklı sıcaklık ve süre koşullarında gerçekleşmesi sonucu protein yapılarında meydana gelen değişimlerin etkisinin sonucu olarak farklılaştığı görülmektedir. Bununla birlikte jelatin üretimi için tek bir kurutma yönteminin iyi olduğu sonucuna varılamamaktadır. Kurutma koşularındaki farklılığın yanı sıra jelatinin hammaddesi, ekstraksiyon öncesi uygulanan ön işlemler ve ekstraksiyon yöntemindeki farklılıklar da aynı koşullarda kurutulan örnekler için farklı fonksiyonel ve teknolojik özellikler elde edilmesine sebep olmaktadır.

Jelatin ile gerçekleştirilen çalışmalar, jelatin elde edilen kaynağın, ekstraksiyon koşullarının ve kurutma prosesinin elde edilen jelatinlerin kalite özelliklerini önemli derecede etkilediği görülmektedir. Bu durum, jelatinlerin kullanım alanını da belirlemektedir. Bundan dolayı da farklı kaynaklardan farklı koşullarda jelatin elde edilerek bu jelatinlerin kalite özelliklerinin araştırılması önem arz etmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Jelatin gıda endüstrisinde kıvam artırıcı olarak kullanılan bir katkı maddesi olup ülkemiz de dahil olmak üzere birçok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Saydam, kokusuz, renksiz ve ağızda kolay bir şekilde eriyebilmesi ve çok fonksiyonel olması jelatini diğer kıvam artırıcılara karşı üstün kılarak çok çeşitli ürünlerde farklı amaçlar için kullanılmasına neden olmaktadır (Boran, 2011). Jelatin son yıllarda farklı kaynaklardan üretilebilmesine rağmen tüketicilerin kaynağını ve üretim yöntemini bilmemelerinden dolayı tüketimine kuşku ile yaklaşılan bir katkı maddesidir (Aykın & Erbaş, 2016).

Gıda endüstrisi için kolajen kaynaklı jelleşme ajanı olan jelatin, alternatifi olmayan bir gıda katkı maddesi olup ülkemizde ve dünya çapında önemli bir pazara sahiptir. Ülkemiz jelatin ihtiyacının büyük bir kısmını ithalat yoluyla temin etmektedir ve bu noktada dışa bağımlıdır. İhtiyacın ithalat yoluyla karşılanıyor olması kaynağı konusunda tüketici endişelerini arttırmaktadır. Çünkü jelatinin %50'sinin domuz kaynaklı atıklardan üretildiği bilinmektedir. Bu nedenle jelatin üretimi için alternatif kaynaklara yönelik arayışlar her geçen gün artarak bu alandaki araştırmaların çoğalmasına yönelik bir trend sergilemektedir. Balık atıklarından üretilen jelatinin istenilen teknolojik özellikleri karşılayamaması ve kendine has balık kokusunun varlığı balık jelatini kullanımını sınırlandırmaktadır (Rafieian vd., 2013). Bu noktada memeli kaynaklı olmayan jelatin üretimi için kanatlı atıkları dikkat çekici bir boyuta ulaşarak önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Gerçekleştirilen tez çalışmasının amaçları şu şekilde sıralanabilir;

1) Son 20 yılda hem nüfus artışı hem de beyaz ete artan talep doğrultusunda sektörün üretimi ve kişi başı tüketiminin her geçen sene arttığı hindi kesimhane atıklarındaki kolajenin jelatin üretiminde değerlendirilerek bu atıkların katma değeri yüksek ürüne dönüştürülmesi ile ulusal ekonomiye sürdürülebilir katkı sağlanması.
2) Hindi derisinden jelatin üretimi için yüksek verimde ve istenilen teknolojik ve fonksiyonel özelliklerin sağlanarak ekstraksiyon koşullarının optimize edilmesi.
3) Ekstraksiyon sonrası kurutma yöntemi için farklı kurutma yöntemlerinin jelatinlerin fiziksel, fonksiyonel, reolojik ve yapısal özellikleri üzerine etkisinin incelenerek en iyi kurutma yönteminin belirlenmesi.
4) Jelatin bazlı filmler başta ambalaj olmak üzere birçok amaç için kullanılmaktadır. Elde edilecek hindi jelatinlerinden jelatin bazlı film üretimi gerçekleştirilerek ticari sığır jelatinlerine alternatif oluşturulması.
5) Artan jelatin ihtiyacına yönelik alternatif kaynakların değerlendirilerek ihtiyacın dışa bağımlılık oluşturmayacak şekilde karşılanabilme imkanının sağlanmasına yönelik katkıda bulunulması
6) Kaynaklarımızın etkili ve sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesi.

7) Tüketicilerin jelatin kaynakları ile ilgili kuşkuları göz önüne alınarak domuz jelatinine alternatif olarak helal jelatin üretiminin gerçekleştirilmesi.

1.3. Hipotez

Fonksiyonel gıdalara olan talebin ve farklı kullanım alanlarının oluşması ile birlikte jelatin pazarı Dünya genelinde yükselmektedir. Jelatin, elde edildiği kaynaklar açısından incelendiğinde de bazı inanç gruplarının (İslamiyet, Musevilik, Hindu vb.) tüketim konusunda hassasiyet gösterdiği bilinmektedir. Bu yüzden de jelatin üretimi için alternatif kaynakların değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Jelatin üretiminde farklı kaynakların değerlendirilmesinin önemli olması ile birlikte istenilen teknolojik özellikleri de karşılayabilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, hindi kesimhane atıklarından olan deriden jelatin üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Diğer kanatlı atıklarından (ördek, tavuk vb.) jelatin üretimine yönelik gerçekleştirilen çalışmalar detaylı bir biçimde incelenmiş ve tekno-fonksiyonel özelliklerinin istenilen düzeyde olduğu görülmüştür. Hindi atıklarından (deri) bugüne kadar jelatin üretimi ile ilgili herhangi bir çalışmanın gerçekleştirilmemiş olması ile birlikte bu atıklardan jelatin elde edilebilecek ve ticari sığır jelatinine önemli bir alternatif olacaktır. Bununla birlikte farklı kurutma yöntemlerinin jelatinlerin özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olacağı iddia edilirken model uygulama olarak da jelatin bazlı film üretimi gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

2
MATERYAL-METOT

Tez çalışması ana hatları itibariyle 3 aşamadan oluşmaktadır.

1) Hindi derisinden jelatin ekstraksiyonu için sıcaklık-süre optimizasyonunun gerçekleştirilmesi.
2) Optimum sıcaklık-süre koşulları belirlenen ekstraksiyon işlemi sonrasında farklı kurutma yöntemlerinin (etüvde kurutma, püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma) jelatinlerin özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi.
3) Hindi jelatini ve ticari sığır jelatini kullanılarak jelatin bazlı film üretiminin gerçekleştirilmesi ve hindi jelatininin biyobozunur film üretiminde alternatif olarak değerlendirilmesi.

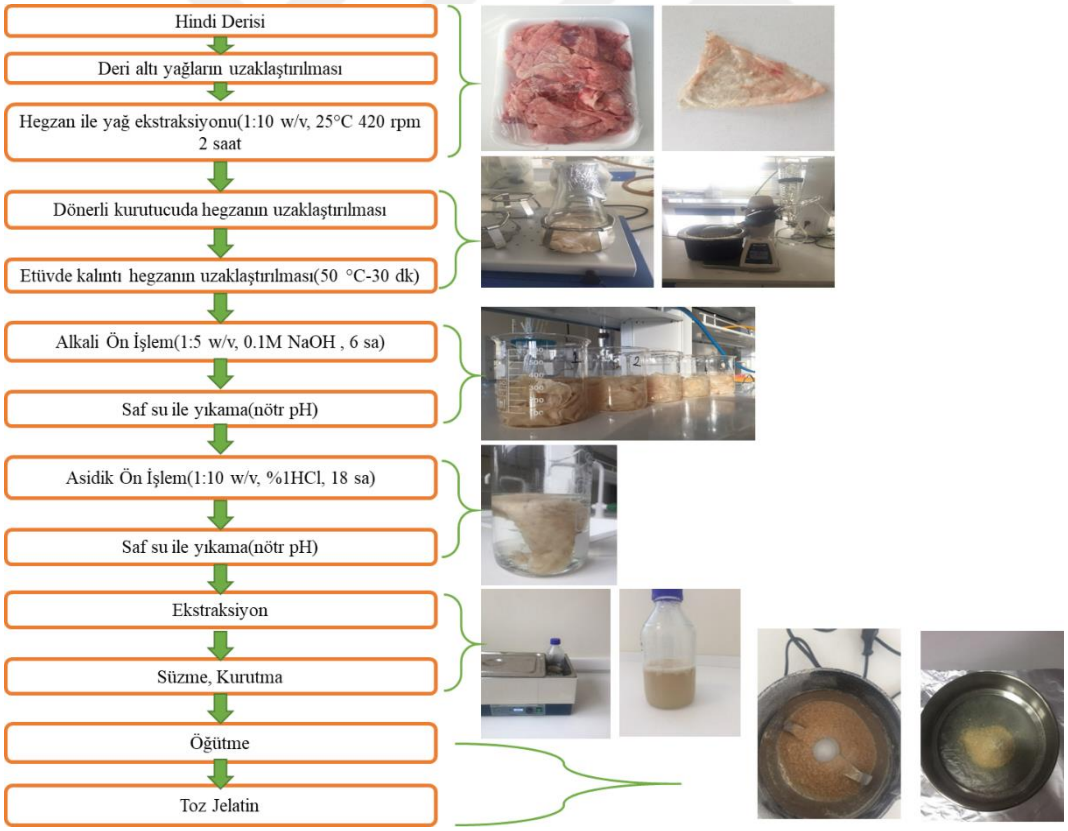
2.1. Materyal ve Kimyasallar

Taze ve sağlıklı hindi(*Meleagris gallopavo*) atıkları (deri) hindi kesimhane tesisinden (Bolca Hindi Fabrikası, Bolu, Türkiye) temin edilmiş ve kullanılıncaya kadar -18 °C' de plastik kaplarda muhafaza edilmiştir. Hindilerin derisi üzerindeki tüyler kuru yolum tekniği kullanılarak temizlenmiştir. Ticari sığır jelatini(250 Bloom) Alfasol (İstanbul, Türkiye) tarafından temin edilmiştir. Analitik saflıkta HCl (hidroklorik asit), sodium hidroksit (NaOH) ve hegzan Sigma-Aldrich (Steinheim, Almanya) firmasından temin edilmiştir.

2.2. Hindi Jelatini Üretimi İçin Sıcaklık-Süre Optimizasyonu

Hindi derisinden jelatin üretimi T. Ahmad vd. (2018) metodunda beelirtilen yöntemlerde bazı değişiklikler yapılarak gerçekleştirilmiştir. Jelatin üretim akış şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Dondurulmuş deriler gece boyunca 4 °C'de çözdürülmüştür. Deri altındaki yağ bıçakla alınmış ve su ile temizlenmiştir. Deri örnekleri yağ ekstraksiyonu için hekzan (1:10 w/v) ile oda sıcaklığında 420 rpm'de 2 saat çalkalanarak (IKA KS-130, Staufen, Almanya) muamele edilmiştir. Hekzan daha sonra döner buharlaştırıcı (Sci Logex Re100-pro, Rocky Hill, ABD)

kullanılarak buharlaştırılmış ve kalıntı hekzan etüvde 50 °C'de 30 dakika boyunca uçurulmuştur. Kolajen olmayan bileşenleri deriden uzaklaştırmak için, daha sonra deriler oda sıcaklığında (25°C) 6 saat boyunca 1:5 (w/v) oranında karıştırılarak 0.1M NaOH çözeltisine daldırılmış ve çözelti her 2 saatte bir değiştirilmiştir. Ardından 1×2 cm'lik parçalar halinde kesilerek ve pH nötr olana kadar damıtılmış su ile durulanmıştır. Şişme için oda sıcaklığında 18 saat boyunca 1:10 (w/v) oranında %1'lik HCl çözeltisine daldırılmışlardır. Deri örneklerinin pH'sı distile su ile iyice yıkanarak nötralize edilerek ekstraksiyona hazır hale getirilmiştir. Jelatin ekstraksiyonunda sıcaklık süre optimizasyonunu gerçekleştirmek amacıyla farklı sıcaklık (50, 60 ve 70 °C) ve süre (5, 7 ve 9 sa) koşullarında (Tablo 2.1) ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon için deneme planı Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease, Minneapolis, MN, ABD) programı ile merkezi tümleşik tasarım yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Jel kuvveti (g), verim (%) ve köpük oluşturma kapasitesi (%KOK) bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir.

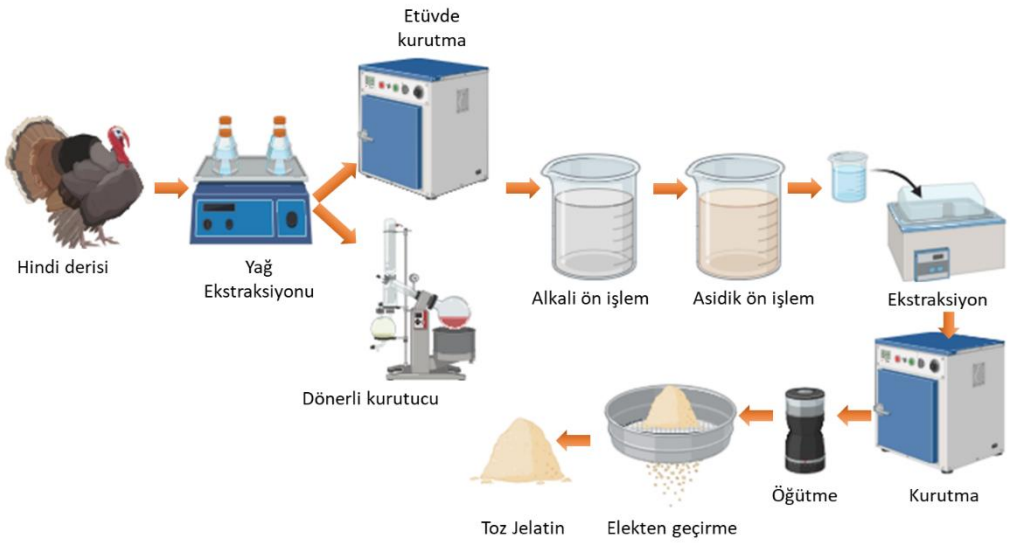


Şekil 2.1 Jelatin üretim akış şeması

Tablo 2.1 Jelatin ekstraksiyonu için merkezi tümleşik deneme tasarımı

Sıra	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)
1	70	9
2	70	7
3	70	5
4	60	9
5	60	7
6	60	7
7	60	5
8	50	9
9	50	7
10	50	5

Jelatini ekstrakte etmek için derilere 1:4 (w/v) oranında distile su eklenmiş ve Tablo 2.1'de belirtilen koşullarda su banyosunda (Daihan WB, Güney Kore) ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyonun ardından, çözelti dört katlı filtre kağıdından süzülmüş ve sabit tartıma gelene kadar (72 saat) etüvde 50 °C'de kurutulmuştur (Nüve FN 500, Ankara, Türkiye). Kurutulan numuneler son olarak öğütülmüş (Sinbo, SCM2934) ve 300-µm elekten geçirilmiştir (Şekil 2.2). Toz jelatinler polietilen torbalarda kapatılmış ve analiz için 4 °C'de saklanmıştır.



Şekil 2.2 Jelatin üretimi

2.2.1. Jelatin Verimi(%)

Jelatin verimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak derinin yaş ağırlığı üzerinden hesaplanmıştır (Balti vd., 2011).

$$Jelatin\ verimi(\%) = \frac{Toz\ jelatin\ ağırlığı(g)}{Yaş\ deri\ ağırlığı(g)} \times 100 \quad (2.1)$$

2.2.2. Fizikokimyasal Analizler

Örneklerin protein miktarları Kjeldhal yöntemine göre azot çevrim faktörü 5,55 alınarak, kül miktarları ise 600 °C'de tamamen yanana kadar belirlenmiştir (AOAC, 2005).

2.2.3. Renk

Jelatin çözeltileri toz jelatinin saf su ile %6,67 oranında 60 °C'de su banyosunda 30 dk süreyle çözdürülmesi ile hazırlanmıştır. Jelatin çözeltilerinin renklerini ölçmek için Kroma metre(Konica Minolta CR-400, Tokyo, Japonya) cihazı kullanılmıştır. Renk ölçümleri CIE L* (beyazlık veya parlaklık), a* (kırmızılık/yeşillik) ve b* (sarılık/mavilik) koordinatları kullanılarak ifade edilmiştir.

2.2.4. Bulanıklık

Jelatin çözeltileri (%6,67) UV-Spektrofotometre (Schimadzu UV-1800, Kyoto, Japonya) kullanılarak 600 nm dalga boyunda saf suya karşı Absorbans değerinin okunması ile ölçülmüştür (Avena-Bustillos vd., 2006).

2.2.5. Su Aktivitesi(a_w)

Toz jelatinlerin su aktivitesi su aktivitesi cihazı ile 25 °C'de (Novasina LabSwift, İsviçre) ile belirlenmiştir.

2.2.6. Köpük Oluşturma Aktivitesi ve Stabilitesi

Toz jelatinin saf su ile 60 °C'de su banyosunda 30 dk süreyle çözdürülmesi ile hazırlanan 20 ml(V) %6,67'lik jelatin çözeltisi 10.000 rpm'de 1 dakika homojenize edilmiştir (Wisd HG-15D, Osaka, Japonya). Homojenize edilen örnekler 25 ml'lik silindirlere alınarak hacimleri ölçülmüştür (V_0). 30 dakika (V_{30}) ve 60 dakika(V_{60}) bekledikten sonra çözelti hacimleri tekrar ölçülmüştür. Sonrasında aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak köpük oluşturma kapasitesi (KOK), 30 dakikalık (KS30) ve 60 dakikalık (KS60) köpük stabilitesi belirlenmiştir.

$$KOK = \frac{V_0}{V} \times 100 \quad (2.2)$$

$$KS30 = \frac{V_{30}}{V} \times 100 \quad (2.3)$$

$$KS60 = \frac{V_{60}}{V} \times 100 \quad (2.4)$$

2.2.7. Jel Kuvveti (g)

Jelatin çözeltileri (%6,67) 100 ml'lik bir beherde distile su ile 60 °C'de 30 dakika süreyle hazırlanmış ve ardından 4 °C'de 18 saat süreyle buzdolabında dinlendirilmiştir. Jel kuvvetini belirlemek için 45° konik prob (P/45C) ve 5 kg yük hücresi ile donatılmış Tekstür Analiz Cihazı (Stable Micro System TA-XT2, Godalming, İngiltere) kullanılmıştır. Jel kuvveti (g), probu 15 mm derinliğe kadar inerek ve penetrasyona karşı kuvvet grafiğini çizerek belirlenmiştir.

2.2.8. Jelatinlerin Yapısal Özellikleri

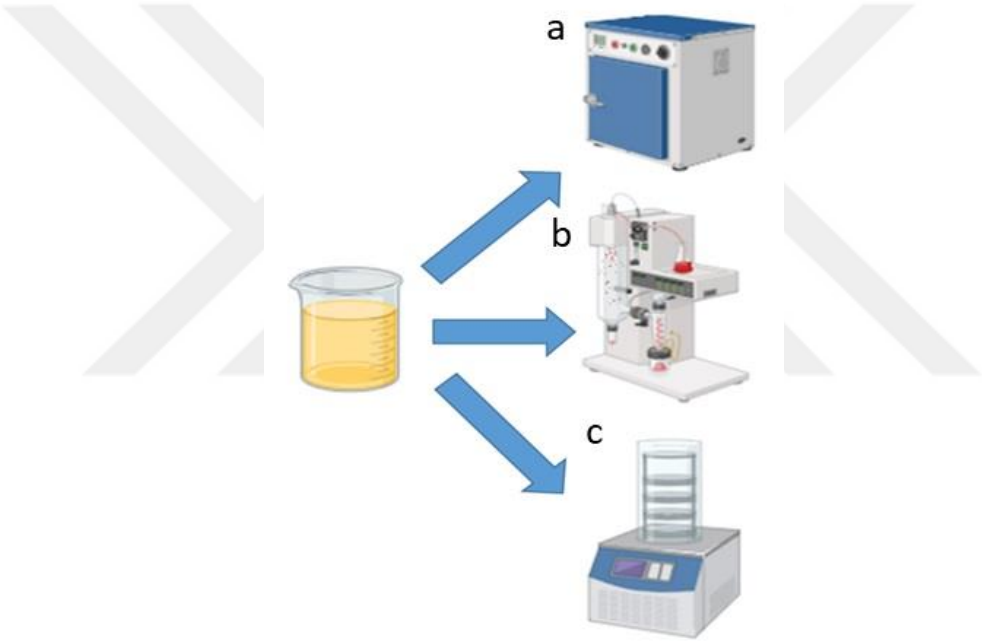
Toz jelatinlerin FTIR spektrumları FTIR (Bruker Tensor 27, Ettlingen, Almanya) cihazı ile belirlenmiştir. Her ölçümden önce havaya karşı ölçüm yapılarak zemin taraması alınmıştır. Tarama aralığı 4000-600 cm^{-1}, çözünürlük 2 cm^{-1} ve ortalama tarama sayısı 100 olarak ayarlanmıştır. Otomatik sinyaller, temiz, boş bir hücreden 25 °C'de kaydedilen bir arka plan spektrumuna göre normalize edilmiştir (Zhang vd., 2020). Örneklerin ikincil bağ yapılarındaki değişimler Originlab yazılımı (sürüm 9.5.1, Northampton, MA) ile gerçekleştirilmiştir. Amid I bölgesinde (1600 ve 1700 cm^{-1}) oluşturulan bir lineer taban çizgisi için pik dekonvulasyon uygulanarak örneklerin α-heliks, β-sheet, β-turn, β-antiparalel ve rastgele sarmal bağ yapılarındaki değişimler % olarak hesaplanmıştır(He vd., 2015; Sow vd., 2017).

2.2.9. Jelatin Jellerin Mikroyapısal Özellikleri

Jelatin jellerin mikro yapısını incelemek için peltier sistemi ile donatılmış bir Polarize Işık Mikroskobu (Carl Zeiss, Oberkochen, Almanya) kullanılmıştır. Az miktarda jelatin çözeltisi (%6,67) bir mikroskop lamına dökülmüş ve üzeri bir lamel ile kapatılmıştır. Sıcaklık başlangıçta 40 °C'ye ayarlanmış ve 2,5 °C dk^{-1} hızında kademeli olarak 5 °C'ye düşürülmüştür. 5 °C'de, 5 dakika boyunca dakikada bir görüntü alınmıştır.

2.3. Farklı Kurutma Yöntemleri İle Jelatinin Kurutulması

Bölüm 2.2'de belirtildiği şekilde ekstraksiyon işlemi yapılan örneklerin kurutulması için üç farklı yöntem uygulanmıştır (Şekil 2.3). Etüvde kurutulacak örnekler için 50 °C'de 72 saat süre ile kurutulmuştur. Püskürtmeli kurutma (Buchi B290, Flawil, İsviçre) için hava giriş sıcaklığı 160 °C olarak ayarlanmıştır. Dondurarak kurutma (Christ Beta 1-8 lscplus, Almanya) için örnekler -80 °C'de dondurulduktan sonra liyofilizatörde kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrası etüvde kurutulan örnekler (CDG) ve dondurarak kurutulan örnekler (FDG) bölüm 2.2'de belirtildiği şekilde öğütülüp muhafaza edilmiştir. Püskürtmeli kurutucuda kurutulan örnekler (SDG) öğütme işlemi olmadan muhafaza edilmiştir.



Şekil 2.3 Farklı kurutma yöntemlerinin şematik çizimi(a:klasik kurutma, b:püskürtmeli kurutma, c:dondurarak kurutma)

2.3.1. Jelatin Verimi

Bölüm 2.2.1'de açıklandığı şekilde yapılmıştır.

2.3.2. Kül Tayini

Bölüm 2.2.2'de açıklandığı şekilde yapılmıştır.

2.3.3. Renk Tayini

Bölüm 2.2.3'de açıklandığı şekilde yapılmıştır.

2.3.4. Bulanıklık Tayini

Bölüm 2.2.4'de açıklandığı şekilde yapılmıştır.

2.3.5. Su Aktivitesi Tayini (a_w)

Bölüm 2.2.5'de açıklandığı şekilde yapılmıştır.

2.3.6. Köpük Oluşturma Kapasitesi ve Stabilitesi

Bölüm 2.2.6'de açıklandığı şekilde yapılmıştır.

2.3.7. Bloom değeri (Jel Kuvveti)

Jelatin örneklerinin jel gücü Işık vd. (2024)'e göre belirlenmiştir. Jelatin jeller %6,67 (w/v) nihai konsantrasyonda bloom kavanozlara hazırlanmış ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Tekstür Analiz Cihazı (Stable Micro Systems, TA-HD Plus, Godalming, İngiltere) ile 1,27 cm çapında düz yüzlü silindirik piston ile donatılmıştır. Prob jel yüzeyinden 4 mm derinliğe 0,5 mm/s hızla girdikten sonra karşılaşılan maksimum kuvvet cihaz yazılımı tarafından hesaplanmış ve bloom değeri olarak kaydedilmiştir.

2.3.8. SDS-PAGE

Jelatinin yapısını oluşturan proteinlerin molekül ağırlıkları Işık vd. (2024)'e göre elektroforez ile belirlenmiştir. Jelatin örnekleri %4 agregasyon ve %10 separasyon jelleri ile analiz edilmiştir. Jelatin örneklerini jeller üzerinde çalıştırmak için 100 V'luk bir elektrik voltajı uygulanmıştır. Protein fraksiyonlarını belirlemek için 250 ve 50 kDa arasında sabit moleküler ağırlığa sahip standart bir çözelti (Sigma-Aldrich, Almanya) kullanılmıştır. Protein bantlarının görünürlüğünü artırmak için gümüş nitrat çözeltisi ile boyama yapılmıştır.

2.3.9. Jelatin Örneklerinin Yapısal Özellikleri

Bölüm 2.2.8'de açıklandığı şekilde yapılmıştır.

2.3.10. Jelleşme-Erime Sıcaklığının Belirlenmesi

Jelatin çözeltilerinin jelleşme-erime sıcaklığının belirlenmesi için sıcaklık tarama testi kayma gerilimi kontrollü bir reometre (Anton Paar MCR-302, Avusturya), 0,5 mm aralıklı paralel plaka konfigürasyonu ile uygulanmıştır. Sıcaklık tarama testleri 40 °C'den 5 °C'ye soğutma, 5 °C'de 5 dakika bekleme ve ardından 5°C'den 40 °C'

ye ısıtma şeklinde ve 0,5 °C/dk ısıtma/soğutma hızlarında gerçekleştirilmiştir. Depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') %0,5 gerinim ve 1 Hz frekansta belirlenmiştir. Soğutma ve ısıtma işlemleri sırasında depolama modülü (G') ve kayıp modülünün (G'') birbirini kestiği noktalar sırasıyla jelleşme ve erime noktaları olarak belirlenmiştir(Sha vd., 2019).

2.3.11. Jelleşme Kinetiği

Örneklerin jelleşme kinetiği Kuan vd. (2016) yönteminde bazı değişiklikler yapılarak reometre ile belirlenmiştir. Paralel plaka konfigürasyonu 0,8 mm boşluk ile kullanılmıştır. Isıtma sırasında buharlaşmayı önlemek ve numuneleri yalıtılmış halde tutmak amacıyla silikon yağı kullanılmıştır. Çözeltiden bir miktar konulduktan sonra ve 0,5 °C/dk hızında 35 °C'den 5 °C'ye soğutulmuştur. Sıcaklık, 1 Hz frekansında ve %0,5 sabit gerinimde sabit 90 dakika süre boyunca kayıp modülü (G") ve depolama modülü (G′) değerleri için 5 °C'de ölçülmüştür.

Süre tarama analizi sırasında G′'nün zaman içindeki gelişimi aşağıdaki logaritmik denkleme uyarlanmıştır (Kuan vd., 2016).

$$G_t = k_{gel} \ln(t_{gel}) + C \tag{2.5}$$

Burada G_t; t süresindeki depolama modülü (G′) değerini, C; eşitlik sabitini, t_{gel}; jelleşme süresini ve k_{gel}; jelleşme hız sabitini ifade etmektedir.

2.3.12. Kurutma Yöntemlerinin Jelatinlerin Mikroyapısal Özelliklerine Etkisi

Jelatin tozlarının parçacık morfolojisini görselleştirmek için taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Tozlar altınla püskürtme yöntemiyle kaplanmış ve bronz bir saplama üzerine monte edilmiştir. Numuneler sırasıyla 100, 500, 1000, 3000 ve 5000X büyütme oranları ile 10 kV hızlandırma voltajında bir SEM (Zeiss EVO LS 10, Almanya) cihazı ile gözlemlenmiştir.

2.4. Hindi Jelatinlerinden Film Üretimi

2.4.1. Film Üretimi

Film üretiminde kullanılacak jelatinler Bölüm 2.2'de belirtilen şekilde optimum sıcaklık-süre ekstraksiyon koşullarında üretilmiştir. Film oluşturucu çözeltiler hazırlanırken ilk olarak ağırlık bazında 3 g jelatinin 100 ml distile su içinde 60

°C’de 30 dakika süreyle çözündürülmesiyle hazırlanmıştır. Film oluşturucu çözeltilere 15 dakika boyunca sürekli karıştırılarak jelatinin %20, 30 ve 40’ı (w/w) kadar plastikleştirici olarak gliserol eklenmiştir. Çözelti karışımı (22 ml) 14 cm açıklığı olan bir polistiren plaka üzerine dökülmüş ve 24 saat boyunca 50 °C’de bir fırında (Binder, KB53, Tuttlingen, Almanya) kurutulmuştur. Hindi jelatini (TG) film örnekleri gliserol içeriklerine göre TG20, TG30 ve TG40 olarak adlandırılmıştır. Ayrıca, ticari sığır jelatini (Alfasol, Türkiye, 250 bloom) ve %30 (w/w) gliserol içeren bir film kontrol olarak üretilmiştir (BG30).

2.4.2. Film Çözeltilerinin Reolojik Özellikleri

Film çözeltilerinin jelleşme ve erime özelliklerini belirlemek amacıyla bölüm 2.3.10’da belirtildiği şekilde sıcaklık tarama testi uygulanmıştır.

2.4.3. Film Kalınlığı ve Yoğunluğu

Filmlerin kalınlığı, filmin rastgele beş farklı konumunda bir mikrometre (3109-25A, Insize, Almanya) ile ölçülmüştür. Yaklaşık 39x39 mm kare şeklindeki film örnekleri kesilerek kalınlık ve ağırlık ölçümleri kaydedilmiştir. Yoğunluğu belirlemek için ağırlığın filmin hacmine (alan x kalınlık) oranı hesaplanmıştır.

2.4.4. Nem İçeriği ve Suda Çözünürlük

Filmlerin nem içeriği 80 °C’de 24 saat süreyle vakum fırınında (Nüve EV018, Türkiye) gravimetrik olarak belirlenmiştir. Filmlerin sudaki çözünürlüğünü analiz etmek için 20 mm çapında disk şeklinde örnekler kesilmiştir. Filmler bir vakum fırınında kurutularak başlangıçtaki kuru madde hesaplandıktan sonra, 50 ml distile su içinde 25 °C’de 24 saat boyunca sürekli çalkalanarak bekletilmiştir (Stuart SSL1, İngiltere). Suda çözünmeyen içerik daha sonra ayrıştırılmış ve 24 saat boyunca 80 °C’de vakumlu fırında kurutulmuştur. Filmlerin suda çözünürlüğünü hesaplamak için çözünür miktarları ilk ağırlıklarına bölünmüştür.

2.4.5. Şişme Oranı

Şişme oranını analiz etmek için film örnekleri 20 mm çapında disk şeklinde kesilmiştir. Örnekler tartılmış ve 25 °C’de 30 dakika boyunca sürekli çalkalanarak suya daldırılmıştır. Daha sonra örnekler sudan çıkarılmış, fazla suyu uzaklaştırmak

için filtre kağıdı üzerinde kurutulmuş ve tartılmıştır. Şişme oranı, kazanılan suyun (g) filmdeki toplam katı maddeye (g) oranı olarak hesaplanmıştır (Cao vd., 2007).

2.4.6. Su Buharı Geçirgenliği

Filmlerin su buharı geçirgenlik katsayısı (SBG), standart yöntem E96/E96M (ASTM, 2015) temel alınarak modifiye gravimetrik su yöntemine göre belirlenmiştir (Yıldırım-Yalçın vd., 2019). Sonuçlar g mm m^{-2} h^{-1} kPa^{-1} olarak hesaplanmıştır.

2.4.7. Mekanik Özellikler

Filmlerin yüzde kopma uzamasını (KU) ve gerilme mukavemetini (GM) belirlemek için standart test yöntemi D882 (ASTM, 2012) kullanılmıştır. Filmler 15 mm x 70 mm şeritler halinde kesilmiş ve başlangıç uzunluğu 40 mm olacak şekilde çenelere tutturulmuştur. Analizler 100 N yük hücresi (Mesdan LAB3-2512A, İtalya) ve 25 mm dk^{-1} çapraz kafa hızında gerçekleştirilmiştir.

2.4.8. Opaklık

Filmlerin opaklığı spektrofotometre (PG Instruments T60UV, İngiltere) cihazı kullanılarak 600 nm'de absorbans ölçülerek belirlenmiştir. Spektrofotometre küvetinin yüzeyine 3 cm x 0,4 cm boyutlarında film örnekleri yerleştirilmiştir. Opaklık, absorbansın film kalınlığına oranı olarak hesaplanmıştır. Filmlerin geçirgenliği (%) aynı spektrofotometre ile 560 nm'de ölçülmüştür(Park & Zhao, 2004).

2.4.9. Jelatin Filmlerin Yapısal Özellikleri

Filmlerin geçirgenlik spektrum bölgeleri 4 cm^{-1} çözünürlükle 4000 cm^{-1} ile 500 cm^{1} arasında bölüm 2.2.8'de belirtildiği şekilde belirlenmiştir.

2.4.10. Termal Gravimetrik Analiz(TGA)

Film örnekleri bir termo-gravimetrik analiz cihazı (PerkinElmer, Diamond TG/DTA Waltham, Massachusetts, ABD) kullanılarak 30 ila 800 °C arasında 10 °C/dk hızında taranmıştır. Tahliye gazı olarak azot kullanılmıştır.

2.4.11. X-Işını Kırınımı (XRD) Analizi

Film örneklerinin kristal yapısının belirlenmesi amacıyla XRD spektrumları X-ışını difraktometresi (Malvern PANalytical X'Pert PRO, Malvern, İngiltere) ile 45 kV voltaj ve 40 mA elektrik akımı ile 5° ile 45° arasında 2θ aralığında analiz edilmiştir.

2.4.12. Jelatin Filmlerin Mikroyapısal Özellikleri

Filmin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (Zeiss EVO LS 10, Jena, Almanya) ile belirlenmiştir. 2×2 mm küçük şeritler halinde kesilmiş ve yüzeylerine dik bakır saplamalar üzerine monte edilmişlerdir. Örnekler altın kaplanmış ve 10 kV'luk bir hızlandırma voltajı kullanılarak 5000X, 10000X, 20000X ve 30000X büyütme oranlarında gözlemlenmiştir.

2.5. İstatistiksel Analiz

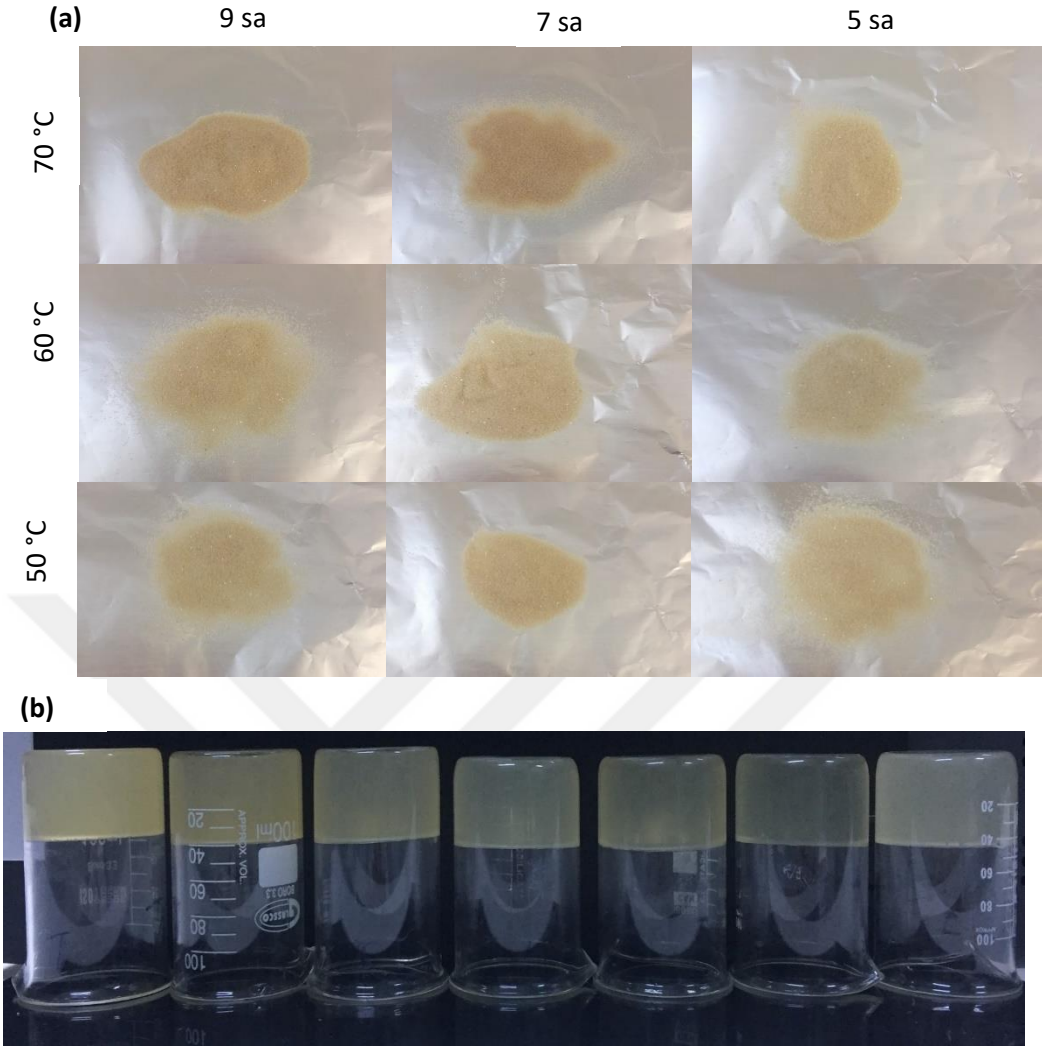
Sonuçlar, ortalama ± standard sapma olarak ifade edilmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen veriler istatistiksel olarak SPSS 18.0 yazılımı (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılarak tek yönlü varyans analizine(ANOVA) tabi tutulmuştur. Ortalamalar arası farklar $p<0,05$ anlamlılık düzeyinde Tukey testi kullanılarak belirlenmiştir. Optimizasyonun gerçekleştirilmesi Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease, Minneapolis, MN, ABD) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Regresyon katsayısı (R^2) ve ANOVA sonuçları, modelin uygunluğunun ve önemli faktörlerin değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

3
BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Jelatin Üretimi Optimizasyonu

Şekil 3.1, farklı koşullar altında ekstrakte edilen toz jelatinleri ve jelleri göstermektedir. Jelatinlerin görsel özellikleri kaynağa ve ekstraksiyon koşullarına bağlı olarak değişebilir. Hindi derisinden elde edilen jelatin, açık sarı ile soluk sarı yarı saydam granüller olarak karakterize edilen sığır jelatin tozuna benzer bir görünüme sahiptir (Wangtueai vd., 2010). Ancak, bu çalışmada çeşitli koşullar altında ekstrakte edilen toz jelatinin rengi ve diğer görsel özellikleri değişmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda ve daha uzun süre ekstrakte edilen toz jelatinler, ekstraksiyon sırasında meydana gelen enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonunun bir sonucu olarak koyu sarı renkte elde edilmiştir (Kittiphattanabawon vd., 2016).

Görsel olarak, düşük sıcaklıkta ve kısa sürede ekstrakte edilen numuneler parlak ve soluk sarı renkte görülmüştür. Jelatin tozlarının görsel özellikleri jelatin çözeltilerine de yansımıştır. Yüksek sıcaklıklarda ve uzun sürelerde üretilen jel örneklerinin koyu renklere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Jelatinin görsel karakteristiğinin fonksiyonel özellikleri üzerinde bir etkisi olmamakla birlikte tüketici tarafından kabul edilebilirliğini etkilemektedir (Songchotikunpan vd., 2008).



Şekil 3.1 Toz jelatinlerin(a) ve jellerin(b) görselleri

3.1.1. Jelatin Verimi

Hindi derisinden farklı ekstraksiyon koşullarında üretilen jelatinlerin verimleri %6,48 ile %13,68 arasında belirlenmiştir (Tablo 3.1). Lineer model, bağımlı ve bağımsız değişkenler (ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi) arasındaki ilişkiyi 0,8576 R^2 değeri ile başarılı bir şekilde tanımlamıştır (Tablo 3.9). Sıcaklık ve süre, ekstraksiyon verimini önemli ölçüde etkilemiştir. Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi arttıkça jelatin verimi de artmıştır. Genel olarak, her bir ekstraksiyon sıcaklığı için ekstraksiyon süresi arttıkça verimde de artış meydana gelmiştir. En düşük verim, 5 saat boyunca 50 °C'lik ekstraksiyon koşulunda elde edilmiştir. Hindi derisi için en yüksek verim ise 70 °C' de 9 saatlik ekstraksiyondan sonra elde edilmiştir. Bu çalışmada, derilere uygulanan asidik ön işlem, proteinlerin çapraz bağlarını ve

peptit bağlarını açarak kolajenin şişmesine neden olmuş ve kolajeni ekstraksiyon için kullanılabilir hale getirmiştir. Sinthusamran vd. (2014)'a göre yüksek ısı, kolajendeki α-zincirleri arasındaki dengeyi daha etkili bir şekilde bozmaktadır. Amorf üçlü sarmal yapının bir sonucu olarak deri kompleksinden daha fazla serbest α ve β-zinciri (α-zincirinin dimerleri) oluşur. Hidrojen ve kovalent bağların sıcaklık-zaman kaynaklı kopmasıyla kolajenin hidrolizi ve jelatine dönüşmesinin bir sonucu olarak, sıcaklığın ve zamanın jelatin verimini artırma üzerindeki etkisi, artan kolajen çözünürlüğü ile ilişkilendirilmiştir (Erge & Zorba, 2018).

Tablo 3.1 Hindi jelatini verimi(%)

Sıra	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	Verim(%)
1	70	9	13,68±0,26
2	70	7	13,01±0,22
3	70	5	10,98±018
4	60	9	12,81±0,16
5	60	7	11,92±0,21
6	60	7	11,77±0,14
7	60	5	7,97±0,18
8	50	9	7,83±0,29
9	50	7	7,62±0,19
10	50	5	6,48±0,18

Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

Bu işlem serisindeki sınırlayıcı faktör, daha yüksek jel gücüne sahip su çözeltisinde jelatin ağı üretimini korumak için kolajen liflerinin kıvamını korumaktır. Verilerin doğrusal modellere uyarlanması gerçekleştirilmiştir. Farklı verim ve karakteristiklere sahip jelatin ekstraksiyonu, yıkama adımları sırasında kolajen

kaybına neden olabilen veya kolajenin jelatine dönüştürülmesi için yeterli olmayabilen çeşitli ön işlemler içeren hammadde kaynağı ve ekstraksiyon süreciyle bağlantılıdır (Jamilah & Harvinder, 2002; Kittiphattanabawon vd., 2010; Montero & Gómez-Guillén, 2000; Nagarajan vd., 2012)

3.1.2. Protein ve Kül Miktarı

Tablo 3.2 örneklerin protein ve kül içeriğini göstermektedir. Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi örneklerin protein içeriği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ($p<0,05$). 70°C' de ekstrakte edilen jelatinin protein içeriği %91,97-94,00 ile en yüksek olurken, bunu 60 °C (%83,5-88,45) ve 50°C'de (%80,5-81,8) ekstrakte edilen jelatin izlemiştir.

Tablo 3.2 Hindi jelatinlerinin kül ve protein oranları

Sıra	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	Kül(%)	Protein(%)
1	70	9	$0,1179\pm0,0012^{aC}$	$92,40\pm0,10^{aA}$
2	70	7	$0,0871\pm0,0002^{bC}$	$94,30\pm0,10^{aA}$
3	70	5	$0,0613\pm0,0001^{cC}$	$91,20\pm0,20^{bA}$
4	60	9	$0,1708\pm0,0002^{aA}$	$88,45\pm0,15^{aB}$
5	60	7	$0,1433\pm0,0003^{bA}$	$86,50\pm0,40^{aB}$
6	60	7	$0,1453\pm0,0005^{bA}$	$86,35\pm0,15^{aB}$
7	60	5	$0,0969\pm0,0001^{cA}$	$83,55\pm0,15^{bB}$
8	50	9	$0,1528\pm0,0003^{aB}$	$81,80\pm0,10^{aC}$
9	50	7	$0,0824\pm0,0002^{bB}$	$80,50\pm0,40^{aC}$
10	50	5	$0,0770\pm0,0002^{cB}$	$81,55\pm0,35^{bC}$

Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. Aynı sütundaki farklı büyük harfler sıcaklığa göre anlamlı farkları göstermektedir($p<0,05$). Aynı sütundaki farklı küçük harfler süreye göre anlamlı farklılıkları göstermektedir($p<0,05$).

Rammaya vd. (2012) daha yüksek ekstraksiyon sıcaklıklarında protein içeriğinde bir artış olduğunu bildirmiştir. Ekstraksiyon süresinin protein oranı üzerinde önemli etkisi 70 °C'de gözlenmiş olup, artan süre jelatinlerin protein yüzdesinin artmasına neden olmuştur. Örneklerin protein içeriği jelatin ekstraksiyonu gerçekleştirilen diğer çalışmalarla uyumludur. Protein içeriği sığır, domuz ve balık derisi jelatinlerinde %89,8 ile %91,3 arasında değişmektedir (Ninan vd., 2014).

Örneklerin kül içerikleri önemli ölçüde farklı bulunmuştur ($p<0,05$). Ekstrakte edilen jelatindeki kül miktarı hammaddeye ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Farklı süre ve sıcaklıklarda ekstrakte edilen örneklerin kül içeriği %0,0613 ile %0,1710 arasında değişmektedir, bu da ekstrakte edilen proteinlerin kül içeriğine göre yüksek kaliteli olarak sınıflandırılabileceğini göstermektedir. Yüksek kaliteli jelatinin kül içeriğinin %0,5'ten az olması gerektiği bildirilmiştir (Benjakul vd., 2009). Bu durum çalışmamızda kullanılan jelatin üretim yönteminin etkinliğini göstermektedir. Mulyani vd. (2017)'e göre ekstraksiyon öncesinde sitrik, asetik ve hidroklorik asitlerle yapılan ön işlemler sonucu sırasıyla %0,62, %2,67 ve %0,56 kül seviyeleri elde edilmiştir. Ayrıca sığır derisi jelatininin %0,97 kül içerdiğini gözlemlemişlerdir ki bu oran asit ön işleminde daha düşük konsantrasyonlarda güçlü asit kullanan mevcut çalışmanın sonuçlarından daha yüksektir.

Üretilen jelatinlerin kül içeriği ekstraksiyon sıcaklığı arttıkça artmıştır. Bu çalışmada her bir ekstraksiyon sıcaklığında daha uzun ekstraksiyon süresi jelatinlerin kül içeriğini arttırmıştır. Bununla birlikte, daha yüksek kül içeriğinin bir sonucu olarak, bulanıklık ve faz ayrımı gibi bazı teknik sorunlar ortaya çıkabilir (Al-Hassan, 2020; Zilhadia vd., 2018). Hindi derisi ile sığır derisi arasındaki protein ve kül benzerlikleri (%81,15 protein ve %1,06 kül) hindi derisinin potansiyel bir alternatif jelatin kaynağı olduğunu göstermektedir (Mhd Sarbon vd., 2013).

3.1.3. Su Aktivitesi(a_w)

Jelatin numunelerinin su aktivitesi 0,176 ila 0,224 arasında değişmektedir (Tablo 3.3). Bu değer küf, maya ve bakteri gelişimini önleyecek kadar düşüktür. Ekstraksiyon sıcaklığı örneklerin su aktivitesini etkilemiştir ($p<0,05$). En yüksek su aktivitesi 50 °C'de 5 saat ekstraksiyondan sonra 0,224 olarak bulunmuştur.

Ekstraksiyondan sonra, numuneler sabit bir ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuştur. Sonuç olarak, düşük su aktivitesi değeri, tozun raf ömrünü uzatabilecek uygun bir kurutma yöntemi olmasıyla açıklanabilir. Sıcak hava ve dondurarak kurutma ile kurutulan kanatlı yan ürün jelatinleri için su aktivitesi sırasıyla 0,43 ve 0,21 olarak bildirilmiştir (Rather vd., 2022).

Tablo 3.3 Hindi jelatinlerinin su aktivitesi(a_w) değerleri

Sıra	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	Su aktivitesi(a_w)
1	70	9	$0,2130 \pm 0,002^{aB}$
2	70	7	$0,1850 \pm 0,001^{bB}$
3	70	5	$0,1815 \pm 0,000^{bB}$
4	60	9	$0,1880 \pm 0,001^{aC}$
5	60	7	$0,1770 \pm 0,002^{bC}$
6	60	7	$0,1760 \pm 0,004^{bC}$
7	60	5	$0,1800 \pm 0,001^{bC}$
8	50	9	$0,2080 \pm 0,010^{aA}$
9	50	7	$0,2230 \pm 0,002^{bA}$
10	50	5	$0,2240 \pm 0,003^{bA}$

Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. Aynı sütundaki farklı büyük harfler sıcaklığa göre anlamlı farkları göstermektedir($p<0,05$). Aynı sütundaki farklı küçük harfler süreye göre anlamlı farklılıkları göstermektedir($p<0,05$).

3.1.4. Bulanıklık

Çözünmeyen maddelerin ve diğer kontaminantların uzaklaştırıldığı berraklaştırma işlemi, geleneksel jelatin üretiminde berrak jelatin çözeltileri elde etmek açısından önemlidir çünkü parlaklık ve berraklık jelatin jeller için önemli görsel özelliklerdir.

Tablo 3.4 ekstraksiyon süresi ve sıcaklığın jelatin örneklerinin bulanıklığı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir ($p<0,05$).

Tablo 3.4 Hindi jelatinlerinin bulanıklık değerleri

Sıra	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	Bulanıklık(Absorbans)
1	70	9	$0,806 \pm 0,003^{aA}$
2	70	7	$0,654 \pm 0,001^{aA}$
3	70	5	$0,462 \pm 0,003^{bA}$
4	60	9	$0,495 \pm 0,004^{aC}$
5	60	7	$0,362 \pm 0,001^{aC}$
6	60	7	$0,366 \pm 0,002^{aC}$
7	60	5	$0,232 \pm 0,002^{bC}$
8	50	9	$0,491 \pm 0,148^{aB}$
9	50	7	$0,585 \pm 0,003^{aB}$
10	50	5	$0,569 \pm 0,002^{bB}$

Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. Aynı sütundaki farklı büyük harfler sıcaklığa göre anlamlı farkları göstermektedir($p<0,05$). Aynı sütundaki farklı küçük harfler süreye göre anlamlı farklılıkları göstermektedir($p<0,05$).

Hindi derisi jelatini için bulanıklık değerleri 0,23 ila 0,80 arasında değişmiştir. En yüksek bulanıklık 70 °C'de 7 ve 9 saatlik ekstraksiyondan sonra elde edilmiştir. Proses uzun süre yüksek sıcaklıkta gerçekleştirildiğinde, rastgele protein agregasyonu ve ayrıca ışığın iletimini engelleyen daha küçük peptitler veya proteinlerin bir sonucu olarak bulanıklık artar (Cho vd., 2004; Dara vd., 2020).

Durultma işlemine ek olarak, yüksek basınç ve ultrason gibi termal olmayan işleme yöntemlerinin, hidrofobik ve elektrostatik etkileşimleri bozarak jelatin çözeltisinde

bulanıklığa neden olan protein agregasyonunu azalttığı ve protein yapısında konformasyonel değişikliklere yol açtığı öne sürülmüştür (Sezer vd., 2020).

3.1.5. Renk

L, a ve *b* olarak ifade edilen, farklı ekstraksiyon sıcaklıkları ve sürelerinde hindi derisinden ekstrakte edilen jelatinlerin renk parametreleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Hindi jelatinlerinin renk parametreleri

Sıra	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	*L*	*a*	*b*
1	70	9	$24,21\pm0,260^{aA}$	$-0,20\pm0,015^{aA}$	$1,08\pm0,01^{cC}$
2	70	7	$23,75\pm0,185^{bA}$	$0,08\pm0,010^{aA}$	$0,81\pm0,03^{bC}$
3	70	5	$23,68\pm0,06^{abA}$	$0,04\pm0,005^{aA}$	$1,02\pm0,005^{aC}$
4	60	9	$23,37\pm0,055^{Ab}$	$0,02\pm0,000^{aB}$	$0,90\pm0,02^{cA}$
5	60	7	$23,31\pm0,010^{bB}$	$0,01\pm0,000^{aB}$	$1,62\pm0,03^{bA}$
6	60	7	$23,49\pm0,025^{bB}$	$0,02\pm0,005^{aB}$	$1,56\pm0,015^{bA}$
7	60	5	$24,08\pm0,080^{aB}$	$0,01\pm0,000^{aB}$	$1,58\pm0,02^{aA}$
8	50	9	$23,32\pm0,085^{aC}$	$0,04\pm0,000^{aA}$	$1,04\pm0,01^{cB}$
9	50	7	$23,15\pm0,045^{bC}$	$0,14\pm0,015^{aA}$	$1,16\pm0,04^{bB}$
10	50	5	$22,98\pm0,040^{abC}$	$0,16\pm0,010^{aA}$	$1,36\pm0,02^{aB}$

Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. Aynı sütundaki farklı büyük harfler sıcaklığa göre anlamlı farkları göstermektedir($p<0,05$). Aynı sütundaki farklı küçük harfler süreye göre anlamlı farklılıkları göstermektedir($p<0,05$).

En yüksek *L* değerine (daha açık renk) sahip örnekler 70 °C'de 9 saat süreyle ekstrakte edilen örneklerdir. Daha yüksek ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin örneklerin *L* değerleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu saptanmıştır($p<0,05$). Gözlemlenen parlaklık ve sıcaklık ilişkisi sonuçları Kim vd., (2012) tarafından

tavuk derisi jelatini için belirtilen bulgularla uyumludur. Belirtilen çalışmada sonuçlar, araştırmacıların 40,67- 46,85 aralığında *L* değeri bildirdiği mevcut çalışmaya kıyasla daha yüksek bir *L* değeri ortaya koymaktadır.

Ekstraksiyon sıcaklıkları arttırıldığında kırmızılık değeri (*a* değeri) artmıştır ($p<0,05$). Ayrıca, farklı ekstraksiyon sürelerinde elde edilen örneklerin a değerlerinde bir fark yoktur ($p>0,05$). Jelatin örneklerinin sarılığı (*b* değeri) ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi arttıkça artmıştır ($p<0,05$). Jelatinin karakteristik rengi soluk sarı ile koyu kehribar arasında değişmektedir. Üretilen jelatinlerin *a* ve *b* değerlerinin sıfıra yakın olması jelatinlerin soluk görünümünü göstermektedir (Cole & Roberts, 1997; Kim vd., 2020).

Jelatin örneklerinin renk farklılıkları, serbest amino gruplarındaki artış nedeniyle yüksek ekstraksiyon sıcaklıklarında enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının meydana gelebileceği hammadde ve üretim prosedürlerindeki farklılıklarla ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte, rengin jelatinin fonksiyonel özellikleri üzerinde bir etkisi yoktur, ancak eklendiği gıdada istenmeyen renk değişikliklerini önlemek için jelatinin açık ve berrak bir renkte olması tercih edilmektedir (Benjakul vd., 2009).

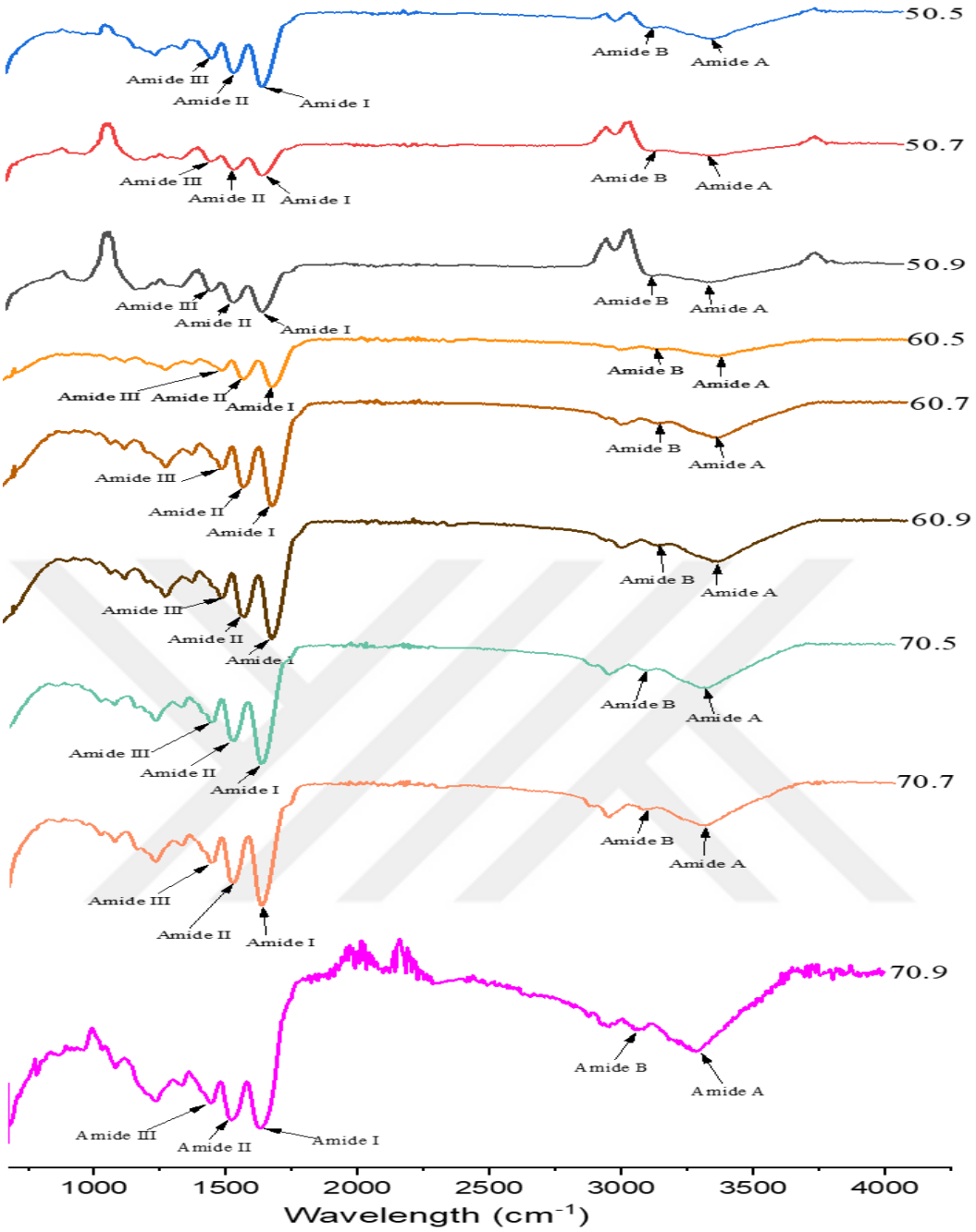
3.1.6. Jelatin Örneklerinin Yapısal Özellikleri

Farklı sıcaklık ve sürelerde ekstrakte edilen hindi jelatininin ATR-FTIR spektrumunda örnekler üç farklı Amid bölgesinde ana pikler göstermiştir (Şekil 3.2). Jelatin örneklerinin FTIR spektrumunda Amid-I, Amid-II ve Amid-III olarak sınıflandırılan üç ana pik ortaya görülmektedir. Amid-I'in C-N gerilmesinden gelen katkılarla birleşen amid grubunun C=O germe titreşimi ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek ekstraksiyon sıcaklığı, reaktif grubun (C=O) maruz kalabileceği daha düşük moleküler ağırlıklı bileşenlerle sonuçlanmıştır (Nagarajan vd., 2012). Ekstraksiyon sıcaklığı arttıkça daha yüksek bir dalga boyu elde edilmiştir. Numunelerin köpük oluşturma kapasitesi ve jel kuvveti bu durumda moleküler bozulmadan açıkça etkilenmiştir. 70 °C'de daha yüksek bir pik gözlenmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar Kittiphattanabawon vd. (2010)' de belirtilen sonuçlar ile tutarlılık göstermektedir.

Amid II bandı, N-H peptit gruplarının düzlem içi bükülme modları ve protein denatürasyonunu gösteren C-N gruplarının gerilme titreşimi ile meydana gelmiştir (Karnjanapratum & Benjakul, 2020). Diğerleriyle karşılaştırıldığında, 7, 8 ve 9 numaralı örnekler düz şekilli bir pik üretmiştir. Ekstraksiyon süresi ve sıcaklık arttıkça, özellikle 60 °C'de 5 saatten sonra pikler keskin bir şekilde artmıştır.

Amid III bantları CH_2 gruplarının sallanma titreşimlerini, C-N gerilmesini ve N-H deformasyonunu yansıtır ve α-heliks yapıdan rastgele sarmal yapıya kadar değişen düzensiz bir yapıya işaret etmektedir (Karnjanapratum & Benjakul, 2020). Düşük pik daha düzensiz bir yapıya işaret etmektedir. Ekstraksiyon süresi ve sıcaklığının artırılması, 50 °C'de ekstrakte edilen numune haricinde, daha düzensiz yapılarla sonuçlanmıştır (Şekil 3.4).

Amid A, hidrojen bağı ile bağlantılı N-H grubu gerilmesini temsil etmektedir (Karnjanapratum & Benjakul, 2020). Bir peptidin N-H grubu bir hidrojen bağı oluşturduğunda Amid A bandının genliği azalmaktadır (Karnjanapratum vd., 2017).



Şekil 3.2 Hindi jelatinlerinin ATR-FTIR Spektrumları

C-H'nin yanı sıra NH_3^+'ün asimetrik gerilme titreşimi Amid B ile temsil edilmektedir. Uzun süre ekstrakte edilen numuneler en düşük dalga sayısına sahiptir ve bu da peptit zincirleri arasında $–NH_3$ grubu etkileşimini göstermektedir (Nagarajan vd., 2012).

Tablo 3.6'da jelatin örneklerinin ikincil yapısını analiz etmek için seçilen Amid I bandının alanları gösterilmiştir (He vd., 2015; Sow vd., 2017). 1610-1642 cm^{-1}

aralığında β-yaprak, 1642-1650 cm^{-1} aralığında rastgele sarmal, 1650-1660 cm^{-1} aralığında α-heliks, 1660-1680 cm^{-1} aralığında β-döngü, 1680-1700 aralığında ise β-antiparalel yapıları belirlenmiştir (Zhang vd., 2020).

Tablo 3.6 Jelatin örneklerinin ikincil yapısı(%)

Sıra	Sıcaklık (°C)	Süre (sa)	α-heliks	β-tabaka	β-döngü	Rastgele sarım	β-antiparalel
1	70	9	16,73	51,18	14,61	14,18	3,30
2	70	7	16,74	50,70	14,64	13,51	4,41
3	70	5	16,86	51,28	14,60	14,13	3,13
4	60	9	17,01	51,98	14,79	12,67	3,55
5	60	7	16,99	51,24	14,61	14,06	3,10
6	60	7	16,97	51,24	14,64	14,01	3,11
7	60	5	16,81	51,39	14,68	13,98	3,14
8	50	9	16,74	51,89	14,54	13,41	3,42
9	50	7	16,87	50,68	15,90	13,33	3,22
10	50	5	17,00	50,73	14,81	13,41	4,05

50 °C'de ekstrakte edilen örnekler 70 °C'de ekstrakte edilen örneklerle karşılaştırılmıştır. Ekstraksiyon sıcaklığı arttıkça daha fazla moleküler bozulma gözlenmiştir. Bu durum α-heliks yapıda görülebilir niteliktedir. Ekstraksiyon sıcaklığı arttıkça α-heliks yapıdan rastgele sarmala daha fazla geçiş gözlenmiştir. 'Üçlü sarmal içeriği' olarak bilinen heliksin sarmal yapıya oranı, agregatlar azaldıkça ve malzeme daha kompakt hale geldikçe artmıştır. Bu durum jelatin bileşiminin bir sonucu olsa da, daha yüksek bir jel mukavemeti ile

sonuçlanmaktadır (Weng vd., 2014). Amid I bandı da bu bulgularla uyumlu bulunmuştur. Ancak, ekstraksiyon süresi ve sıcaklık arttıkça β-tabaka miktarı da artmıştır.

3.1.7. Köpük Oluşturma Kapasitesi (KOK) ve Stabilitesi(KS)

Arzu edilen tekstürel ve reolojik özellikler açısından, gıda köpükleri birçok gıda için önemlidir. Havalandırılmış gıda ürünleri, duyusal ve ağız hissi özelliklerinin yanı sıra marşmelov gibi ürünler üretme olasılığı nedeniyle popülerlik kazanmıştır. Jelatinin köpürme özelliği, protein yüzeyinin hidrofobikliği, özellikle de hava-sıvı ara yüzeyindeki yüzey gerilimini azaltan prolin, izolösin, lösin ve fenilalanin gibi hidrofobik amino asitlerin varlığı ile ilgilidir (Mhd Sarbon vd., 2013).

Tablo 3.7 Hindi jelatinlerinin KOK ve KS değerleri

Sıra	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	KOK(%)	KS30(-%)	KS60(-%)
1	70	9	16,67 ± 0,00	$13,33\pm0,00^{bA}$	$15,83\pm0,83^{cA}$
2	70	7	30,00 ± 0,00	$15,00\pm1,67^{aA}$	$23,33\pm0,00^{aA}$
3	70	5	30,00 ± 0,00	$16,67\pm0,00^{bA}$	$28,33\pm1,67^{bA}$
4	60	9	16,67 ± 0,00	$10,00\pm0,00^{bA}$	$15,00\pm0,00^{cB}$
5	60	7	33,33 ± 0,00	$25,00\pm1,67^{aA}$	$32,50\pm0,83^{aB}$
6	60	7	40,00 ± 0,00	$20,00\pm0,00^{aA}$	$25,00\pm1,67^{aB}$
7	60	5	33,33 ± 0,00	$10,83\pm0,84^{bA}$	$13,33\pm0,00^{bB}$
8	50	9	10,00 ± 0,00	$7,50\pm0,3^{bB}$	$10,00\pm0,00^{cC}$
9	50	7	20,00 ± 0,00	$0,00\pm0,00^{aB}$	$13,33\pm0,00^{aC}$
10	50	5	16,67 ± 0,00	$0,00\pm0,00^{bB}$	$3,33\pm0,00^{bC}$

Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. Aynı sütundaki farklı büyük harfler sıcaklığa göre anlamlı farkları göstermektedir($p<0,05$). Aynı sütundaki farklı küçük harfler süreye göre anlamlı farklılıkları göstermektedir($p<0,05$).

Tablo 3.7 jelatin örneklerinin KOK ve KS değerlerini göstermektedir. FE değerleri 0,9283 R^2 değeri ile kuadratik modele uyarlanmıştır (Tablo 3.9). Hem doğrusal parametreler (sıcaklık ve zaman), hem etkileşim faktörleri hem de kuadratik sıcaklık ve zaman faktörleri anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin KOK üzerindeki etkileri Şekil 3.5(c)'de 3D grafik olarak gösterilmiştir.

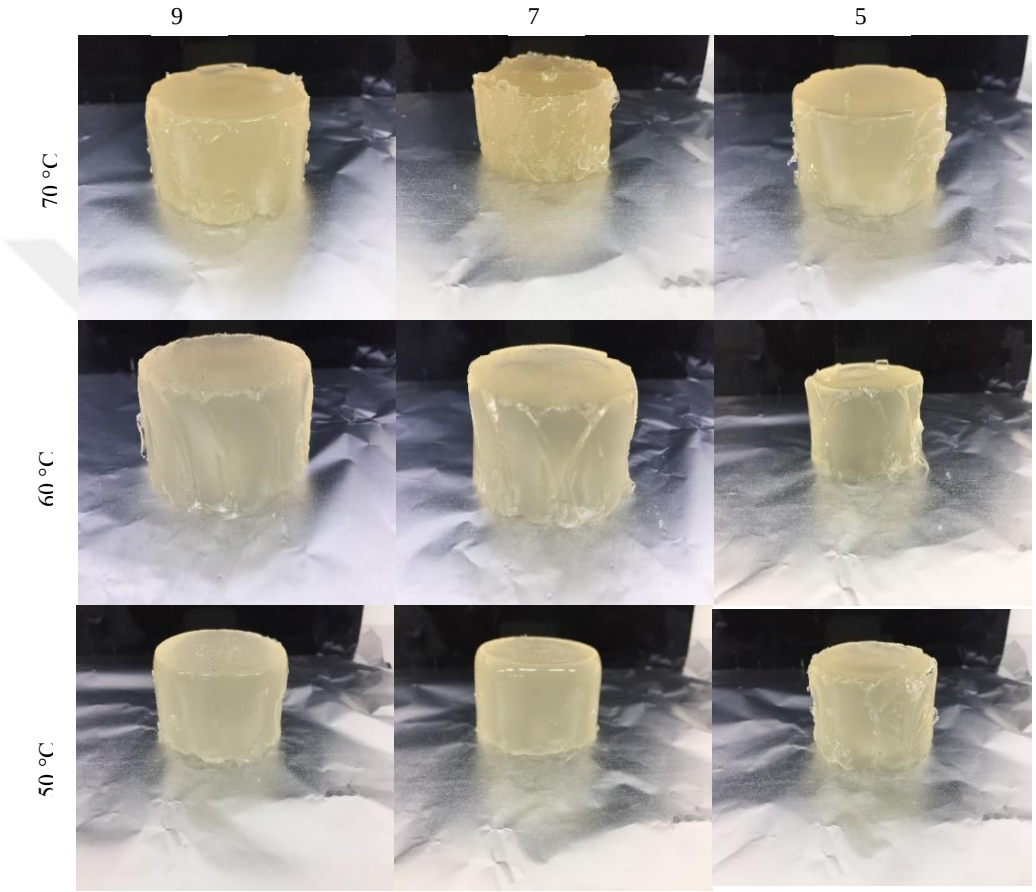
Sıcaklık ve süre artışı, ekstrakte edilen jelatinlerin KOK kapasitesinde bir noktaya kadar artışa neden olmuştur. Bu durum daha güçlü köpük oluşturabilen yüksek moleküler ağırlıklı bileşenlerin ve toplam protein içeriğinin daha yüksek konsantrasyonlarda olması ile ilişkilendirilebilir (Khiari vd., 2013). Sıcaklıktan bağımsız olarak uzun ekstraksiyon süresi, protein denatürasyonu nedeniyle KOK'ni azaltmıştır. Köpük stabilitesi ise ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi arttıkça azalmıştır. Arayüzey filmleri daha büyük bir kalınlığa sahip olduğundan, protein konsantrasyonunun artırılması daha yoğun ve daha stabil köpüklerle sonuçlanmıştır (Du vd, 2013). Bu durum, jelatinin kullanıldığı üründe köpüğün raf ömrü süresince stabil kalması açısından önemlidir.

Köpük stabilitesinin protein-su etkileşimlerini engelleyen protein agregasyonu nedeniyle azaldığı ve bu durumun köpük orantısızlığı, lamel (köpük hücresi) yırtılması ve süzülme olmak üzere üç fiziksel süreçle ilişkili olduğu öne sürülmüştür (Cho vd., 2004; Rafieian vd., 2013).

3.1.8. Jel Kuvveti

Jelatinin jel kuvveti, fonksiyonel özellikler açısından gıda endüstrisinde jelatin kalitesinin belirlenmesinde en önemli parametrelerden biridir(Sinthusamran vd., 2014). Tablo 3.8'de hindi derisi jelatin örneklerinin jel kuvveti ve Şekil 3.3'de üretilen jel görüntüleri gösterilmektedir. Hindilerden ekstrakte edilen jelatinler, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi, ekstraksiyon yönteminin başarısını ve hammaddelerin jelatin üretimi için uygun olduğunu gösteren jeller oluşturmuştur. Bağımsız faktörler (ekstraksiyon sıcaklığı ve süresi) ile jel kuvveti arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak tanımlamak için R^2 değeri 0,8386 olan kuadratik model başarıyla oluşturulmuştur. Tablo 3.9 model denkleminin anlamlı ve anlamsız terimlerini göstermektedir. Genel olarak, ekstraksiyon süresinin artırılması jel kuvvetinde azalmayla sonuçlanmıştır. Jel kuvveti, yüksek

sıcaklıklarda belli bir noktaya kadar artış göstermiştir. Protein içeriği, yüksek sıcaklıklarda ve uzun sürelerde ekstrakte edilen numunelerde daha yüksek görülmüştür (Tablo 3.2). Jel gücü, amino asit bileşimi, moleküler ağırlık dağılımı, kolajen oranı ve ekstraksiyon yöntemi gibi iç özellikler nedeniyle örnekler arasında farklılık göstermiştir (Nagarajan vd., 2012).



Şekil 3.3 Farklı ekstraksiyon koşullarında elde edilen jelatinler kullanılarak üretilen jel görüntüleri

Yüksek sıcaklıklarda ve uzun süreler boyunca protein degradasyonu α-zinciri bağlanmasını azaltabilir (Ledward, 1986). En yüksek jel kuvveti 60 °C'de 5 saat ekstraksiyon sonrasında elde edilen jelatin örneklerinden üretilen jellerde gözlemlenmiştir. tüm ekstraksiyon süreleri için 70 °C'de elde edilen jelatinlerden üretilen jel örneklerinin en düşük jel kuvveti değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Nagarajan vd. (2012) yüksek molekül ağırlıklı jelatinlerin düşük molekül ağırlıklı jelatinlere göre daha güçlü jel formları oluşturduğu sonucuna

varmıştır. Ayrıca, imino asit içeriğinin miktarı (prolin ve hidroksiprolin) jel gücünü etkilemektedir (M. Ahmad vd., 2010). Bu çalışmada elde edilen jel kuvveti değerleri, üretilen hindi derisi türevi jelatinlerin yüksek bloom kuvvetine sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.8 Farklı sıcaklık-süre koşullarında elde edilen jelatinler kullanılarak üretilen jellere ait jel kuvveti değerleri

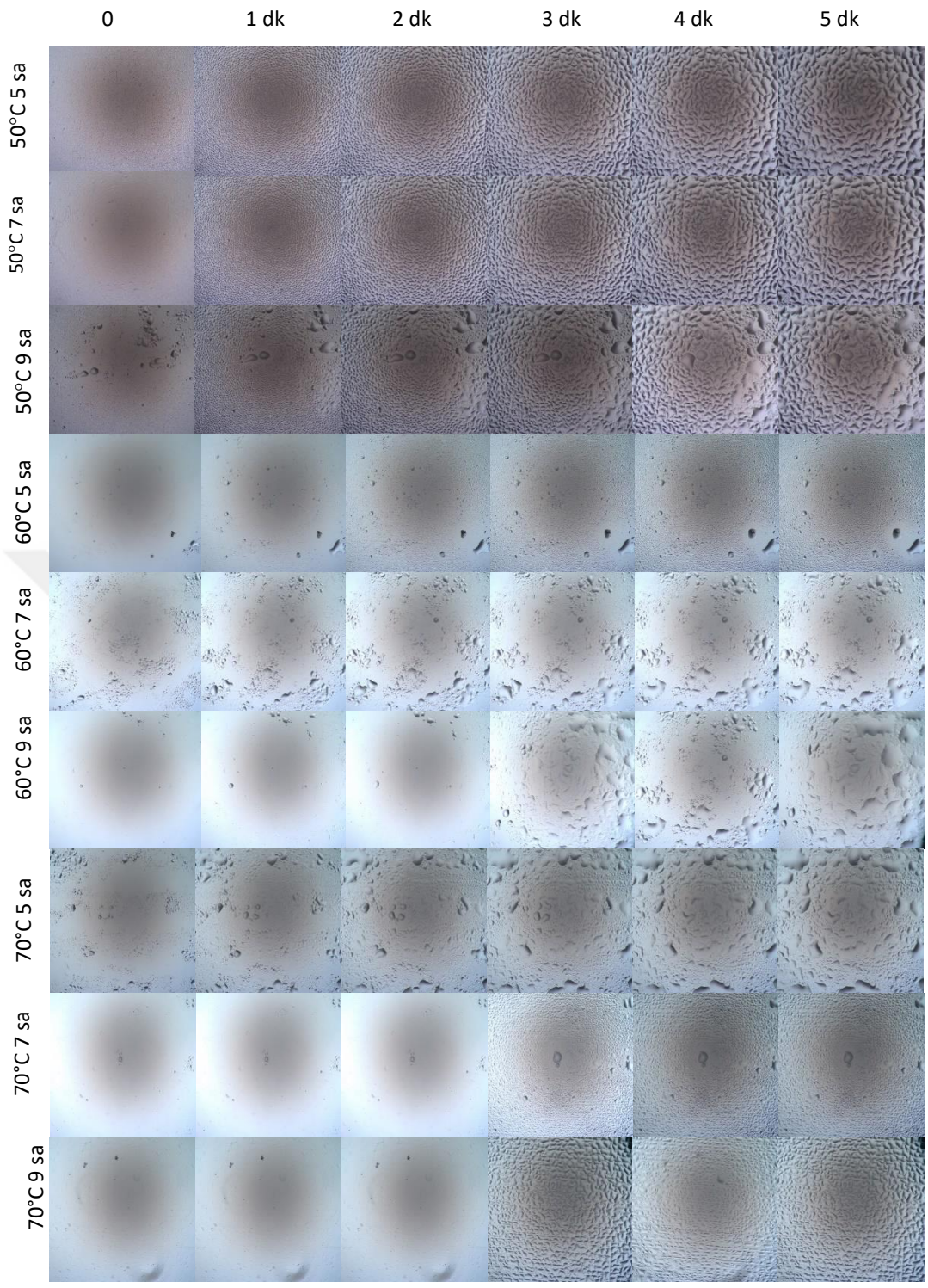
Sıra	Sıcaklık(°C)	Süre(sa)	Jel Kuvveti (g)
1	70	9	151,90±1,05
2	70	7	135,24±0,98
3	70	5	247,96±0,14
4	60	9	311,66±0,52
5	60	7	320,44±0,35
6	60	7	321,94±0,95
7	60	5	383,01±1,08
8	50	9	273,68±1,42
9	50	7	310,48±0,84
10	50	5	177,33±0,91

Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

3.1.9. Jelatin Jellerin Mikroyapıları

Jelatinden elde edilen jellerde jelleşme süreci zamana bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bundan dolayı çalışmanın bu kısmında sabit sıcaklıkta zamana bağlı bekletilen jellerin mikroskop görüntüleri belli aralıklarla incelenmiştir. Jelatin örneklerinin 5 °C'de ve çeşitli zaman aralıklarındaki jelleşme görüntüleri polarize ışık mikroskobu kullanılarak gözlemlenmiştir (Şekil 3.4). Örneklerin 3 dakika sonra sürekli ağ oluşturduğu gözlenmiştir. 50 °C'de ekstrakte edilen jelatin daha

yavaş bir jelleşme sürecinden geçmiştir ve ürünler homojen bir şekle sahip olmuştur. Jelatin ekstraksiyonu sırasında sıcaklığın ve ilgili sıcaklıklarda geçirilen sürenin artırılması jel şekillerinin daha kaba bir görünüm kazanmasına neden olmuştur. Yüksek sıcaklıklarda ekstraksiyon süresinin uzaması protein denatürasyonuna neden olarak zamana bağlı düzensiz jel oluşumuna ve daha düşük jel kuvvetine yol açabilmektedir.



Şekil 3.4 Jelatin Jellerin Mikroyapıları

3.1.10. Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu

Bağımlı faktörler (jel kuvveti, ekstraksiyon verimi ve köpük oluşturma kapasitesi) aynı anda çoklu faktör optimizasyonu kullanılarak modellendikten sonra optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

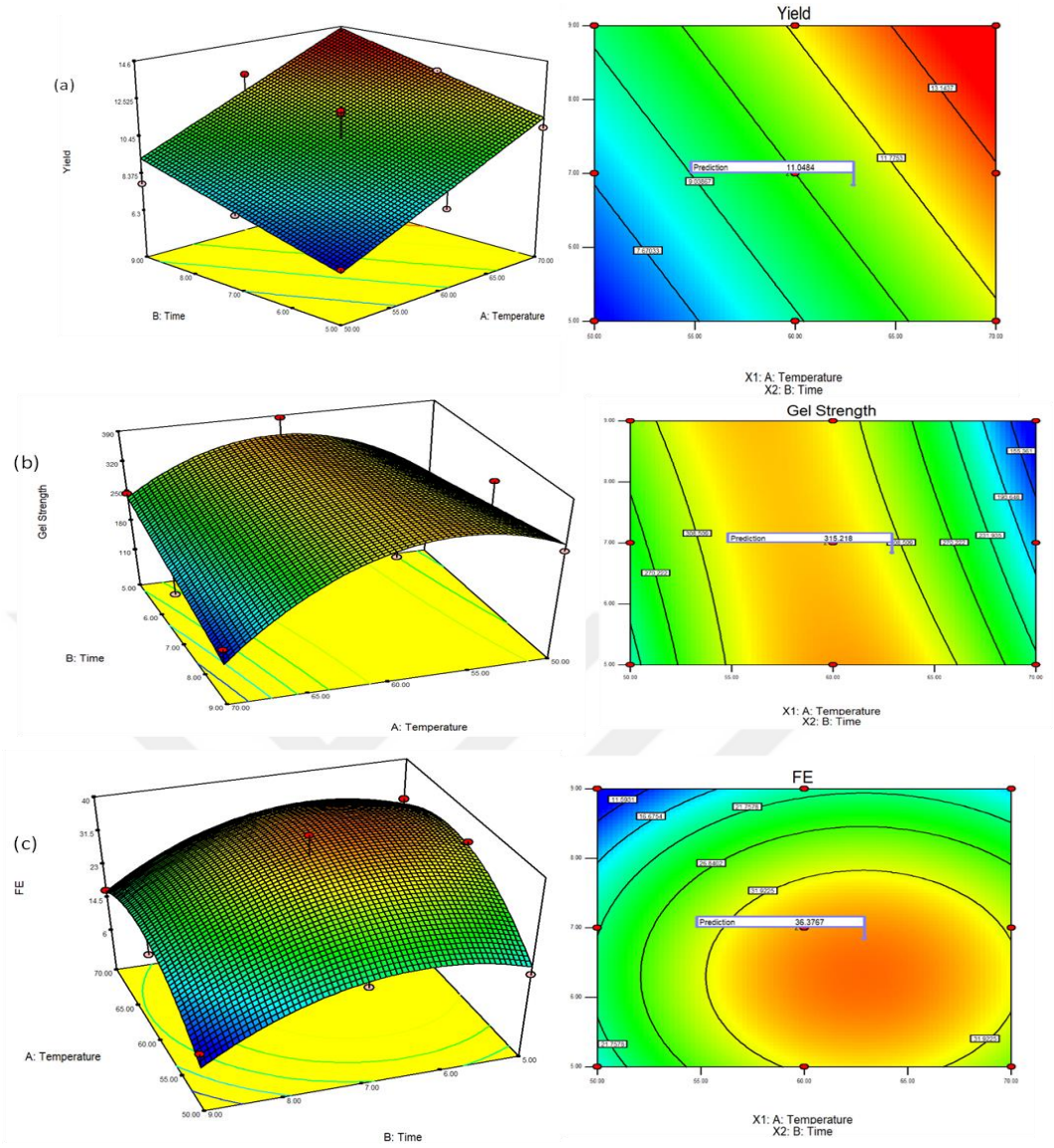
Jelatin üretiminde üretim maliyeti gibi etkenler göz önüne alındığında verim, elde edilen jelatinin ticari değerinin belirlenmesi açısından jel kuvveti ve önemli bir fonksiyonel özellik olan köpük oluşturma kapasitesi gibi kriterlerin yüksek olması istenmektedir. Bu kapsamda optimizasyon için tüm bağımlı faktörler maksimize edilmiştir. Şekil 3.5'de optimum koşullardan elde edilen tahmini ve gerçek değerlere ait veriler gösterilmektedir. Belirlenen optimizasyon koşullarına göre verim, jel gücü ve köpük oluşumu için optimum ekstraksiyon koşulları 62,90 °C'de 6,84 saat olarak bulunmuştur. Bu üretim koşulunda hindi derisinden jelatin ekstrakte edilmiş ve optimum koşullar altında ekstrakte edilen jelatin için köpük oluşum kapasitesi, verim ve jel gücü değerleri belirlenmiştir. Tablo 3.9'da optimum koşullardaki yanıtların tahmin edilen ve deneysel değerleri gösterilmiş olup, verim ve köpük oluşum kapasitesinin deneysel ve tahmin edilen değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, tahmin edilen (315,18 g) ve deneysel (384,97 g) jel kuvveti değerleri önemli ölçüde farklıdır ve bu durum hindi derisindeki homojensizliklere dayandırılabilir. Aynı analiz koşulları altında, 240 g bloom değerine sahip ticari sığır jelatininin jel mukavemeti 355 g olarak bulunmuştur, bu da jel kuvveti parametresi göz önünde bulundurulduğunda hindi derisinden elde edilen jelatinin sığır jelatini yerine kullanılabileceğini göstermektedir.

Tablo 3.9 Farklı sıcaklık-süre koşullarında ekstrakte edilen jelatinler için optimum koşullarda yanıtların tahmin edilen ve deneysel değerleri

Kaynak	Verim(%)	Jel Kuvveti(g)	Köpük Oluşturma Kapasitesi(%)
Model	0,0011[a]	0,0324[b]	0,0046[b]
A	0,0008	0,0882	0,0179
B	0,0152	0,5313	0,0082
AB	-	0,0836	-
Uyum Eksikliği	0,0661	0,0090	0,7892
R-kare	0,8576	0,8386	0,9283
Düzeltilmiş R-Kare	0,8169	0,7095	0,8710

Yanıt	**Model**	**Tahmini Değer**	**Deneysel Değer**
Verim(%)[a]	Y=10.41+2.62A+1.48B	11,0516	15,3600
Jel Kuvveti(g)[b]	Y=334.27-38.81A-12.34B-48.48AB-117.57A^2	315,18	396,61
Köpük Oluşturma Kapasitesi(%)[b]	Y=35.24+5.00A-6.11B-8.81A^2-8.81B^2	36,3728	40,0000

A: Ekstraksiyon sıcaklığı (°C), B: Ekstraksiyon süresi (saat), Y: tahmin edilen değer. (a) harfi lineer model ve (b) harfi kuadratik model içindir, $p<0,05$ istatistiksel anlamlılığı gösterir.



Şekil 3.5 Proses değişkenlerinin yanıt değişkenleri üzerindeki etkilerini gösteren yanıt yüzeyi ve kontur grafikleri (a) Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin ekstraksiyon verimi üzerindeki etkileri. (b) Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin jel gücü üzerindeki etkileri. (c) Ekstraksiyon sıcaklığı ve süresinin köpük genleşmesi üzerindeki etkileri

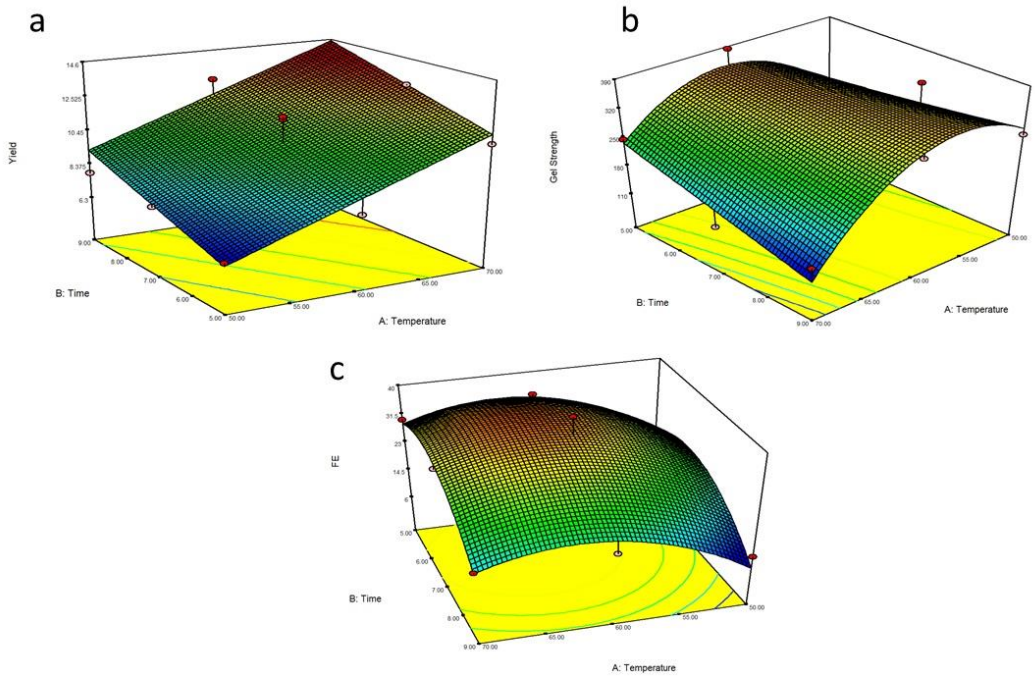
Optimizasyon, çok farklı hedefler doğrultusunda üretim yapabilmek için proses koşullarının tahmini noktasında iş gücü ve maliyet gibi faktörler açısından önemli avantaj sağlamaktadır. Bundan dolayı da bu çalışma kapsamında farklı optimizasyon kriterleri belirlenerek ekstraksiyon koşulları optimize edilebilir.

Verim (%), jel kuveti (g) ve köpük oluşturma kapasitesi (%) bağımsız değişkenlerinin her biri için ayrı optimizasyon işlemi gerçekleştirildiğinde farklı optimum ekstraksiyon koşulları elde edilmiştir (Tablo 3.10).

Tablo 3.10. Verim (%), jel kuvveti (g) ve köpük oluşturma kapasitesi (%) değişkenlerinin her biri için belirlenen optimum ekstraksiyon koşulları

Yanıt	Optimum Ekstraksiyon Koşulları	Tahmini Değer
Verim (%)	69,55 °C-8,75 sa	%14,20
Jel Kuvvei (g)	60,41 °C-5,0 sa	346,805 g
Köpük Oluşturma Kapasitesi (%)	62,83 °C-6,31 sa	%37,00

Şekil 3.6'da her bir proses değişkeni için yanıt değişkenleri üzerindeki etkilerini gösteren yanıt yüzeyi grafikleri gösterilmişir.



Şekil 3.6. Proses değişkenlerinin verim (%), jel kuvveti (g) ve köpük oluşturma kapasitesi (%) yanıtları üzerine etkileri(a:verim, b:jel kuvveti, c:köpük oluşturma kapasitesi)

3.2. Farklı Kurutma Yöntemlerinin Hindi Jelatinlerinin Özellikleri Üzerine Etkisi

Verim (%), jel kuvveti (g) ve köpük oluşturma aktivitesi (%) bağımsız değişkenlerinin maksimize edilmesiyle belirlenen optimum ekstraksiyon koşullarında jelatinler ekstrakte edilmiştir. Optimum noktada ekstrakte edilen jelatinler klasik kurutma (CDG), püskürtmeli kurutma (SDG) ve dondurarak kurutma (FDG) yöntemleri ile kurutulmuştur.

3.2.1 Jelatin Verimi

CDG, SDG ve FDG verimi sırasıyla %15,33, 12,55 ve 13,31 olarak bulunmuş ve Tablo 3.11'de sunulmuştur.

Tablo 3.11 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinin verim, kül miktarı ve bulanıklık değeri

Örnek	Verim(%)	Kül Miktarı(%)	Bulanıklık
CDG	15,33±0,27 ^{A}	0,1434±0,003 ^{A}	0,2760±0,006 ^{C}
SDG	12,55±0,13 ^{B}	0,1445±0,003 ^{A}	0,5370±0,012 ^{A}
FDG	13,31±0,15 ^{B}	0,1439±0,002 ^{A}	0,4890±0,009 ^{B}

Aynı sütundaki farklı büyük harfler kurutma yöntemlerine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).

Elde edilen sonuçlar, geleneksel kurutma işleminde elde edilen jelatinin sprey ve dondurularak kurutulmuş jelatinlerden daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Dondurularak kurutulmuş ve püskürtmeli kurutulmuş jelatinlerin verimi arasında önemli bir fark elde edilmemiştir. SDG'nin düşük verim değeri büyük ölçüde jelatin tozunun duvarlara yapışmasından ve kurutuculardan uzaklaştırılamamasından kaynaklanmaktadır. Sonuçlar, dondurarak kurutma işleminde jelatin veriminin püskürtmeli kurutma işleminden biraz daha yüksek olduğunu bulan Salem vd. (2020) tarafından açıklanan sonuçlarla örtüşmektedir. Ancak, farklı kurutma yöntemlerinin incelendiği diğer çalışmalarda farklı verim değerleri gözlemlenmiştir (Kanwate vd., 2019; Rasli & Sarbon, 2015; Rather vd., 2022). Bu değişim, pH,

sıcaklık, ekstraksiyon süresi ve ön işlem koşullarından etkilenen kolajenin jelatine dönüşümünden kaynaklanabilmektedir (Karim & Bhat, 2009).

3.2.2 Kül Miktarı

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan hindi derisi jelatinlerinin kül miktarları %0,1434 ile %0,1445 arasında bulunmuştur. CDG, SDG ve FDG'nin kül içeriğinde önemli bir farklılık görülmemiştir (Tablo 3.11). Tüm jelatin örneklerindeki kül içeriğinin tavsiye edilen maksimum değerden (2,6g/100g) daha düşük olduğu görülmüştür (Kanwate vd., 2019). Jelatinin kimyasal bileşiminde gözlenen farklılıklar, farklı hammaddeler, ön işlemler ve kurutma tekniği ile açıklanabilir. Elde edilen jelatinlerin nispeten düşük kül seviyesinin, daha iyi bir gıda kalitesine sahip olduklarını göstermesi bakımından önemlidir (Salem vd., 2020). Yüksek kül miktarı bulanıklık ve faz ayrımı gibi teknolojik problemlere yol açmaktadır. Düşük kül içeriğine sahip jelatinlerin, yüksek köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi ile yüksek su ve yağ bağlama kapasitesine sahip olduğu görülmüştür (Nagarajan vd., 2012).

3.2.3. Bulanıklık

Jelatin çözeltilerinin bulanıklığı Tablo 3.11'de gösterilmiştir. Jelatinin koyu rengi ve bulanıklığı tipik olarak ekstraksiyon işleminden sonra geride kalan safsızlıkların sonucudur (Zarai vd., 2012). Örneklerin çözelti bulanıklığı karşılaştırıldığında, SDG en yüksek bulanıklığa sahipken, CDG en düşük bulanıklığa sahiptir. Proteinler yüksek sıcaklıklarda uzun süre işlendiğinde agregasyon tetiklenmekte ve bulanıklık artmaktadır (Cho vd., 2004). SDG'den gelen jelatin moleküllerindeki konformasyonel değişiklikler, özellikle açığa çıkan hidrofobik reaktif gruplar yoluyla agregasyonun bir kısmına katkıda bulunmuş olabilir (Mad-Ali vd., 2017). FDG' nin CDG'e göre daha yüksek bulanıklığının, çok düşük sıcaklıklarda proteinin yapısında meydana gelen değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Jelatinden elde edilen jelin en önemli görsel özelliklerinden biri, tipik olarak nihai ürünün kabul edilebilirliğini ve kalitesini gösteren berraklığıdır (Zarai vd., 2012). Endüstriyel jelatin üretim sürecinde berraklaştırma işlemi uygulanmakta olup, çalışmamızda jelatin üretimi sırasında herhangi bir berraklaştırma işlemi uygulanmamıştır.

3.2.3 Renk

Farklı kurutma yöntemleriyle hindi derisinden elde edilen toz jelatinin çözeltilerine ait *L* (parlaklık), *a* (+kırmızılık, -yeşillik) ve *b* (+sarılık, -mavilik) olarak ifade edilen renk değerleri Tablo 3.12'de gösterilmiştir.

Tablo 3.12 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinin renk değerleri

Örnek	*L*	*a*	*b*
CDG	23,37±0,005 ^{C}	-0,01±0,00 ^{A}	1,26±0,01 ^{B}
SDG	23,69±0,010 ^{B}	-0,06±0,00 ^{B}	1,08±0,01 ^{C}
FDG	23,88±0,015 ^{A}	-0,05±0,00 ^{B}	1,41±0,01 ^{A}

Aynı sütundaki farklı büyük harfler kurutma yöntemlerine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).

FDG diğerlerine göre daha yüksek bir *L* değeri göstermiştir. Proteinler, mukoza materyali ve inorganik maddeler jelatini kirleterek daha koyu bir renk vermiştir. Oksijen varlığında ve yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen oksidasyon işlemleri jelatinin rengini daha da koyulaştırmıştır (Avena-Bustillos vd., 2006). CDG örneğinin *L* değerinin SDG örneğinden daha yüksek olması beklenirken, SDG daha yüksek bir *L* değerine sahiptir. Dolayısıyla, kurutma süresinin kurutma sıcaklığı kadar önemli olduğu düşünülmektedir. *b* değerleri büyükten küçüğe doğru FDG, CDG ve SDG olarak elde edilmiştir. Düşük *L* değerine yüksek *b* ve *a* değerinin eşlik etmesi Maillard reaksiyonunun göstergesidir (Rather vd., 2022). Düşük kurutma sıcaklığına rağmen, uzun kurutma süresi (72 saat) CDG numunesinde Maillard reaksiyonunun gerçekleşmesine neden olmuştur. Öte yandan SDG numunesinde de aynı durumun gerçekleşmesi beklenirken FDG numunesinde *b* değerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Püskürtmeli kurutma işleminde giriş sıcaklığı büyük önem taşımaktadır. Daha yüksek kurutma sıcaklıkları, enzimatik olmayan esmerleşme süreçlerini kolaylaştıran protein bozunmasının bir sonucu olarak jelatindeki serbest amino asit

konsantrasyonlarının artmasına neden olmuştur (Hamzeh vd., 2018; Nagarajan vd., 2012). Dolayısıyla, jelatinin kurutulduğu sıcaklık, jelatinin nihai rengi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

3.2.4 Köpük Oluşturma Kapasitesi(KOK) ve Stabilitesi(KS)

CDG, SDG ve FDG örneklerinin KOK değerleri sırasıyla %80, %55 ve %75 olarak belirlenmiş olup KS değerleri ile birlikte Tablo 3.13'te gösterilmiştir.

Tablo 3.13 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinin KOK (%) ve KS (-%) değerleri

Örnek	KOK(%)	KS30(-%)	KS60(-%)
CDG	80,0±0,00 ^{A}	5,0±1,67 ^{A}	18,33±1,67 ^{B}
SDG	55,0±1,67 ^{B}	6,67±0,00 ^{A}	10,0±0,00 ^{A}
FDG	75,0±1,67 ^{A}	20,0±0,00 ^{B}	26,67±0,00 ^{C}

Aynı sütundaki farklı büyük harfler kurutma yöntemlerine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).

Köpürme özelliği, marşmelov gibi yaygın olarak kullanılan gıda ürünleri için jelatinin en önemli özelliklerinden biridir (Cho vd., 2004). Köpük hacminin sıvı hacmine oranı köpük oluşturma kapasitesini tanımlamak için kullanılmaktadır. CDG ve FDG'nin köpük oluşturma kapasitesi SDG'e kıyasla önemli ölçüde yüksek bulunmuştur. Çözünürlük, viskozite ve protein katlanması ve agregasyonu köpük oluşumunu etkileyen faktörlerdir. Püskürtmeli kurutma için yüksek kurutma sıcaklıkları proteinlerin katlanmasına ve toplanmasına neden olmakta ve bu durum proteinler ile köpük oluşumu için gereken su arasındaki etkileşimi azaltmaktadır. Sonuç olarak, köpük oluşturma kabiliyeti de azalma göstermektedir (Kwak vd., 2009).

Bir diğer taraftan, kurutma sıcaklığı arttığında köpük stabilitesi de artarak köpük oluşturma kapasitesine ters bir eğilim göstermiştir. SDG örneğinin 30 ve 60 dakika boyunca en yüksek köpük stabilitesine sahip olduğu görülmektedir. Yüksek derecede köpük stabilitesine sahip olmasına rağmen, püskürtmeyle kurutulmuş

jelatin başlangıçtaki düşük köpük hacmi nedeniyle yetersiz fonksiyonel köpük oluşturma özelliği sergilemiştir.

Denge yüzey gerilimine ulaşma hızı, yığın ve yüzey viskoziteleri, sterik stabilizasyon ve köpük lamelinin iki tarafı arasındaki elektriksel itme de dahil olmak üzere çok sayıda faktör, bir köpüğün stabilitesini belirleyen faktörler arasında yer almaktadır (Liu vd., 2003). SDG'in yüksek köpük stabilitesi ise ara yüzeyde oluşan filmin daha kararlı olduğunu göstermektedir. Jelatinin köpük stabilitesi özellikle marşmelov, gofret dolgusu gibi ürünlerde önemlidir. Bu uygulamalarda jelatin aynı anda köpürtücü, sürekli sıvı faz için stabilizatör ve istenen elastikiyeti sağlayan bir ajan olarak görev yapmaktadır. Jelatinin sağladığı yüksek köpük stabilitesi, istenen yapısal özelliklere sahip çok çeşitli stabil, havalandırılmış gıda ürünlerinin üretilmesi için çok önemlidir (Ellis vd., 2017).

3.2.5 Jelatinlerin Moleküler Ağırlıklarının Dağılımı (SDS-PAGE)

Jelatinlerin fonksiyonel özellikleri, amino asit bileşiminden, moleküler ağırlıklarının dağılımından, yapılarından ve alt birimlerinin bileşiminden etkilenmektedir (Zarai vd., 2012). Farklı kurutma yöntemlerinin hindi derisinden elde edilen jelatinlerin protein yapıları üzerindeki etkisi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Tüm jelatin örneklerinin protein yapılarında farklılıklar görülmüştür, bu da farklı kurutma yöntemlerinin jelatinlerin moleküler yapısını etkilediğini göstermektedir. Tüm jelatin örnekleri yüksek molekül ağırlığına sahip β (α zincirinin dimeri) ve γ (α zincirinin trimeri) zincirleri ile α (α_1 ile α_2) zincirlerini içermektedir. FDG örneğinde β ve γ zincirleri en yoğun olarak bulunurken SDG örneği bu zincirlerin yoğun bulunduğu ikinci örnek olarak yer almaktadır. Tüm örneklerde 250 kDa'nun üzerinde molekül ağırlığına sahip protein bantları yoğun bir şekilde görülmektedir

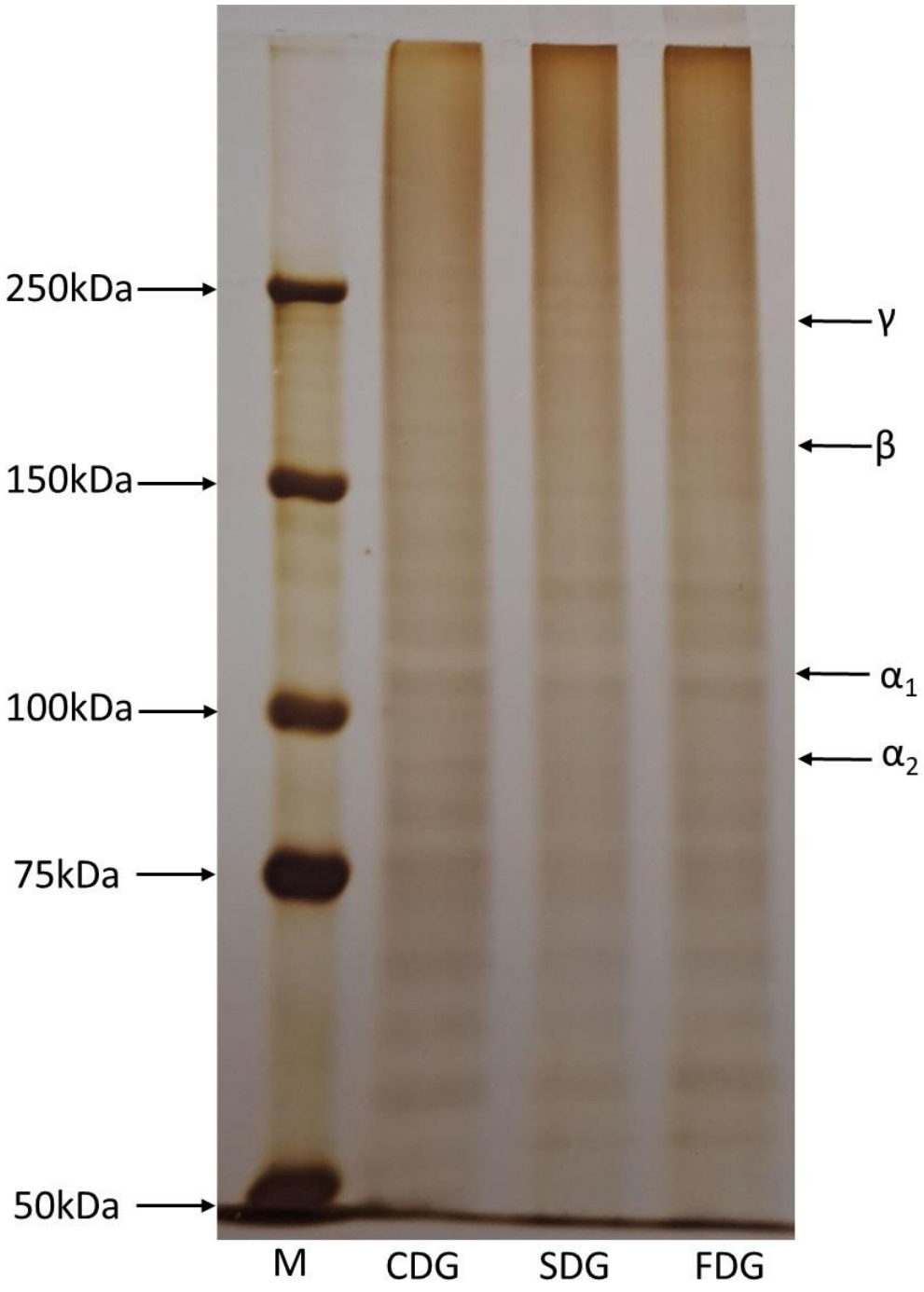
Püskürtmeli kurutma, dondurarak kurutma ve vakumlu etüvde kurutma yöntemlerinin rohu balığı jelatinlerinin protein yapılarındaki farklılıklarının incelendiği çalışmada vakumlu etüvde kurutma sonucu elde edilen örneklerin püskürtmeli ve dondurarak kurutma sonucu elde edilen örneklere oranla çok düşük oranlarda 250 kDa ağırlığının üzerinde molekül ağırlığına sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, söz konusu çalışmada vakumlu kurutucuda kurutulan örneğin α_1 ve α_2 zincirlerinden itibaren jel görüntülerinde yoğunlaşma

olduğu görülmektedir. 60 °C'de kurutmanın gerçekleştiği proseste bu seviye sıcaklığın protein yapılarında önemli ölçüde bozulmalar meydana getirdiğini açıkça göstermektedir (Kanwate vd., 2019).

Çalışmamızda etüvde kurutma işleminin 50 °C'de gerçekleşmesine rağmen kurutma süresinin uzun olmasının jel özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüşür. Ancak bu süre FDG ve SDG ile kıyaslandığında önemli farklılıklar oluşturmasına rağmen literatür sonuçlarına bakıldığında CDG örneğinin yüksek Bloom değerine sahip olduğu görülmektedir. Yüksek Bloom değeri hindi derisinden elde edilen jelatinin ticari değerinin de yüksek olduğunu göstermektedir.

Örnekler arasındaki en önemli farklılıklar 250 kDa molekül ağırlığının yukarısında ve 100 kDa'nun aşağısında (hatta 75 kDa) gerçekleşmiştir ve bu farklılığın CDG örneğine ait olduğu görülmektedir. FDG ve SDG örneğinde yüksek molekül ağırlığına sahip bantların baskın olduğu açıkça görülmektedir. SDG örneği CDG örneğine kıyasla daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmasına rağmen protein degredasyonu CDG'den az gerçekleşmiştir. Bu durum SDG örneğinin CDG örneğine göre yüksek bloom değeri ve daha iyi jelleşme özelliğine sahip olmasını açıklamaktadır.

Mad-Ali vd. (2017), farklı giriş sıcaklıklarına sahip püskürtmeli kurutma işlemlerinde yüksek giriş sıcaklığının örneklerin α zincirlerinin neredeyse kaybolduğunu tespit etmişlerdir. Diğer taraftan 160 ve 180 °C gibi daha düşük kurutma sıcaklıklarının dondurarak kurutulan örneklerle benzer protein yapısında olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.7 CDG, SDG ve FDG örneğine ait SDS-PAGE görüntüsü

Püskürtmeli kurutucu sıcaklığının yüksekliği α_2 zincirinden daha düşük molekül ağırlığına sahip peptitlerin oluşumunu sağlayan degredasyonun fark edilebilir ölçüde olduğu belirtmiştir (Sae-Leaw vd., 2016). Çalışmamızın sonuçları, kurutma koşullarının elde edilen jelatinin protein bileşenleri üzerinde etkili olduğunu ve

jelatinin düşük sıcaklıkta püskürtülerek kurutulduğunda belirgin bir bozulma meydana gelmeden gerçekleşebildiğini ortaya koymuştur.

3.2.6 Bloom(Jel Kuvveti) Değeri

Jelatin, FTIR sonuçlarında belirtildiği gibi su molekülleri ile H-bağları geliştirmede büyük ölçüde başarılıdır ve bu nedenle gıda endüstrisinde jel kuvveti açısından önemli görülen kararlı üç boyutlu jeller oluşturmaktadır (Almeida vd., 2013). Jel kuvveti veya diğer adıyla bloom değeri jelatinin gıda endüstrisinde kullanımı için oldukça önemli olup jelatinin ticari değerini belirleyen önemli bir parametredir.

Bloom değeri uygulanan ön işlemler, ekstraksiyon koşulları vb. proses şartlarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Soğuk su balık jelatinlerinde 70 g ile 110 g arasında bloom değeri elde edilirken sığır ve domuz jelatinlerinde tipik olarak 200 g ile 240 g arasında bloom değeri elde edilmektedir (Abedinia vd., 2020). Diğer taraftan domuz ve sığır jelatinlerinde bu değerlerin üzerinde bloom değeri de elde edilebilmektedir. Yine benzer şekilde farklı kanatlı atıklarından yüksek bloom değerine sahip jelatinler üretilebilmektedir (Abedinia vd., 2020; Rafieian vd., 2015).

Genel olarak, jelatinden üretilen jeller (%6,67) jel güçlerine göre yüksek bloom gücüne sahip (200-300 g), orta bloom gücüne sahip (100-200 g) ve düşük bloom gücüne sahip (50-100 g) jeller olarak çeşitli kategorilerde sınıflandırılmaktadır (Kumar vd., 2018). Jelatinlerin farklı jel güçlerine sahip olmaları, gıda ve ilaç endüstrisinde farklı uygulanabilirliklere imkan tanımaktadır.

Tablo 3.14 CDG, SDG ve FDG örneklerine ait bloom değerleri

Örnek	Bloom Değeri (g)
CDG	$321,55\pm6,55^{B}$
SDG	$365,02\pm1,11^{A}$
FDG	$370,86\pm6,27^{A}$

Aynı sütundaki farklı büyük harfler kurutma yöntemlerine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).

Farklı kurutma yöntemleri ile elde edilen hindi derisi jelatinlerinin bloom değeri sonuçları Tablo 3.14'te gösterilmiştir. FDG ve SDG örnekleri CDG'e göre yüksek jel kuvveti değeri göstermişlerdir. SDG ve FDG'in daha yüksek jel gücü, yüksek molekül ağırlıklı peptitlerin varlığından kaynaklanmaktadır. Daha uzun zincir uzunluğuna sahip jelatin molekülleri, hidrojen bağı ve hidrofobik veya iyonik etkileşim yoluyla aktif birleşme bölgesi oluşturamayan kısa zincirden etkili bir şekilde hizalanma veya kendi kendine toplanma yeteneğine sahiptir. Jelatin jel esas olarak hidrojen bağlı bağlantı bölgeleri ve tersine çevrilebilir çapraz bağlı biyopolimer ağı ile stabilize edilmiştir (Kanwate vd., 2019).

SDG ve FDG örneklerinin jel kuvveti değerleri arasındaki fark önemsiz bulunmuştur ($p>0,05$). Keçi derisinden elde edilen jelatinlerde püskürtmeli kurutucunun sıcaklığının artması ile birlikte jel kuvvetinin düştüğü gözlemlenmiştir. Aynı çalışmada dondurarak kurutulan örnek ile 160 °C giriş sıcaklığına sahip püskürtmeli kurutucudan elde edilen jelatinlerin jel kuvveti arasında önemli bir fark bulunmamıştır (Mad-Ali vd., 2017).

Yine benzer bir çalışmada keçi derisinden püskürtmeli ve dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen jelatinlerin sığır jelatinine göre yüksek jel kuvveti değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte püskürtmeli ve dondurarak kurutma yöntemlerinin jel kuvveti değerine önemli bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir (Mad-Ali vd., 2017). Rohu balığından elde edilen jelatinlerin farklı kurutma yöntemleri ile kurutulduğu çalışmada ise benzer şekilde püskürtmeli kurutucu ile dondurarak kurutma yöntemlerinin jel kuvveti açısından önemli bir fark oluşturmadığı belirlenmiştir (Kanwate vd., 2019). Literatürdeki benzer çalışmalar da sonuçlarımızla uyum göstermeketedir.

Jel kuvveti, jelatinin en önemli fonksiyonel özelliklerinden biridir ve amino asit bileşimi ile β- ve γ-bileşenlerinin miktarından etkilenmektedir. Dondurarak kurutma jelatinde daha fazla çapraz bağlanma oluşturabilir ve bu durum FDG'in daha yüksek miktarlarda β ve γ fraksiyonlarına sahip olmasına neden olabilmektedir (Kwak vd., 2009; Sinthusamran vd., 2014).

SDG örneğinin tüm örnekler arasında yüksek sıcaklığa maruz tek örnek olmasına karşın jel kuvveti değerinin yüksek olması kurutma süresinin kısa olması ile

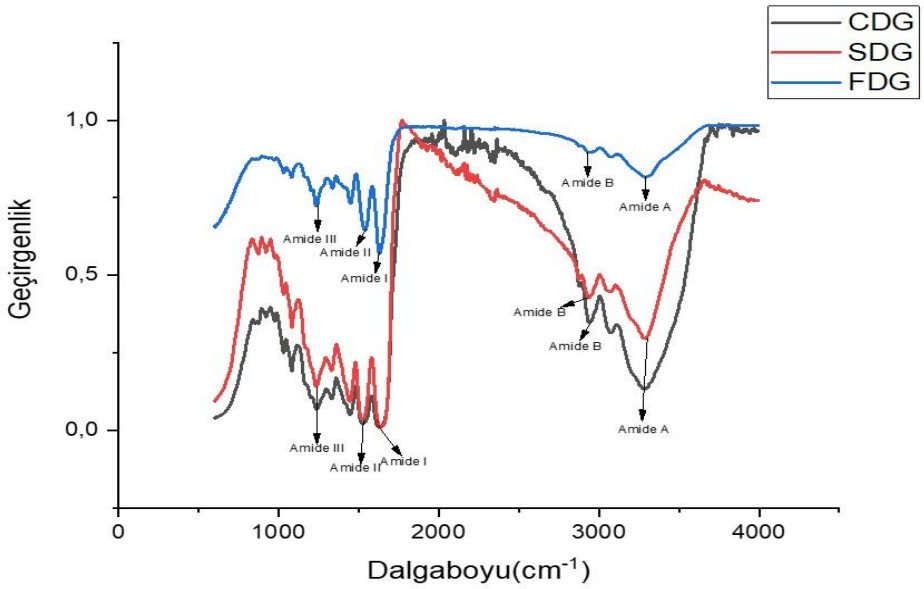
ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte örneklerin mikroyapıları incelendiğinde (Şekil 3.10) SDG örneğinin en küçük partikül boyutuna sahip olduğu görülmektedir. Bu durum jelleşme sırasında hidratasyonun iyi gerçekleşmesi ile açıklanabilir. CDG tarafından gösterilen düşük jel gücü, esas olarak sağlam bir ağ oluşturulamayan ve hatta bazı iyonik etkileşimlerin geliştirilemediği düşük molekül ağırlıklı peptitlerin varlığı ile ilişkilidir (Kanwate vd., 2019). İmino asitlerin peptit zincirindeki lokasyonu da jel oluşumunu etkilemektedir (Mad-Ali vd., 2017). Buna ek olarak CDG örneğinin daha düşük sıcaklıkta kurutulmasına rağmen düşük jel kuvvetine sahip olması örneklerin kurutulmasında kurutma sıcaklığı kadar kurutma süresinin de önemli olduğunu göstermektedir. da Silva Araújo vd. (2021), kurutma sırasında daha yüksek sıcaklık ve daha kısa süre koşullarında en yüksek jel gücü elde edilebileceğini göstermişlerdir.

3.2.7 Jelatin Örneklerinin Yapısal Özellikleri

Farklı kurutma yöntemlerinin bir sonucu olarak meydana gelebilecek değişiklikleri anlamak için FTIR spektroskopik analizi yapılmış ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Genlikteki bazı farklılıklar dışında, amid I, II, III, A ve B dahil olmak üzere tüm ana pikler ile benzer spektrumlar göstermiştir. Amid I bandı esas olarak C=O gerilmesi ve COO ile birleşen hidrojen bağı ile ilişkilidir(Sinthusamran vd., 2015). CDG, SDG ve FDG'in amid I bandı Mad-Ali vd. (2017) ile Yakimets vd. (2005) ile uyumlu olarak sırasıyla 1628,52, 1637,84 ve 1632,45 cm^{-1}'de ortaya çıkmıştır. Genel olarak, SDG'deki amid I pikinin dalga boyu FDG'den biraz daha yüksek olarak bulunmuştur. Bu durum, püskürtmeli kurutma sırasındaki yüksek sıcaklık nedeniyle üçlü sarmalın kaybolduğunu ve zincirler arası etkileşimin bozulduğunu göstermektedir (Kaewruang vd., 2013; Muyonga vd., 2004). Bununla birlikte, CDG'de daha düşük genlik gözlenmiştir, bu da C=O'nin komşu zincirlerle etkileşiminin moleküler düzendeki değişikliklerden sorumlu olduğunu göstermektedir (Sinthusamran vd., 2014). Bir jelatin molekülünün daha fazla deformasyon veya düzensizlik derecesi, amid B'deki daha düşük genlikle bağlantılıdır ve bu da geleneksel kurutma işlemi sırasında daha fazla jelatin molekülü bozunmasının gerçekleştiğini kanıtlamaktadır. Örnekler arasında amid I frekansındaki farklılıkların ana nedeni, polipeptit zincirlerinin ayırt edici formudur (Kanwate vd., 2019).

N-H gruplarının eğilme ve C-N gruplarının gerilme titreşimlerini gösteren amid II piki CDG, SDG ve FDG için sırasıyla 1528,97, 1524,58 ve 1540,03 cm^{-1} dalga boylarında görülmüştür. SDG'in düşük dalga boyu hidrojen bağlarının varlığı ile ilişkilidir (Sinthusamran vd., 2014). Diğer taraftan, Mad-Ali vd. (2017) püskürtmeli kurutma sırasında hidrojen bağlarının yok olduğunu ve N-H bağlarının bozulabileceğini belirtmiştir. Bu fark, püskürtmeli kurutucunun giriş sıcaklığının önemli olduğunu göstermektedir. FDG' nin SDG'den daha düşük bir genliğe sahip olması, N-H'in yakındaki α-zincirleri ile bağlanmaya daha aktif bir şekilde dahil olduğunu düşündürmektedir (M. Ahmad & Benjakul, 2011).

CDG, SDG ve FDG'in amid III bantları sırasıyla 1239,92, 1235,26 ve 1237,00 cm^{-1} dalga boylarında bulunmuştur. Amid bandlarından gelen C-N germe ve N-H deformasyon piklerinin kombinasyonu, C=O düzlem içi bükülme ve C-C germe titreşiminden gelen küçük katkılarla birlikte amid III bandı ile temsil edilmektedir. Glisin ana omurgasının CH_2 grupları ve prolin yan zincirlerinin salınım titreşimleri absorpsiyonların kaynağı olarak belirtilmiştir(Kanwate vd., 2019). Dolayısıyla, Amid III jelatin moleküllerindeki düzensizlikleri göstermekte ve üçlü sarmal yapıdaki muhtemel kayıpla ilişkili olduğu ifade edilmektedir (da Silva Araújo vd., 2021). CDG'in daha düşük genlik gösterdiği görülmekte, bu durumda α-heliks yapıdan rastgele sarmal yapıya geçişte daha yüksek derecede düzensizlik olduğunu düşündürmektedir (Kittiphattanabawon vd., 2016). SDG ve FDG arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir.



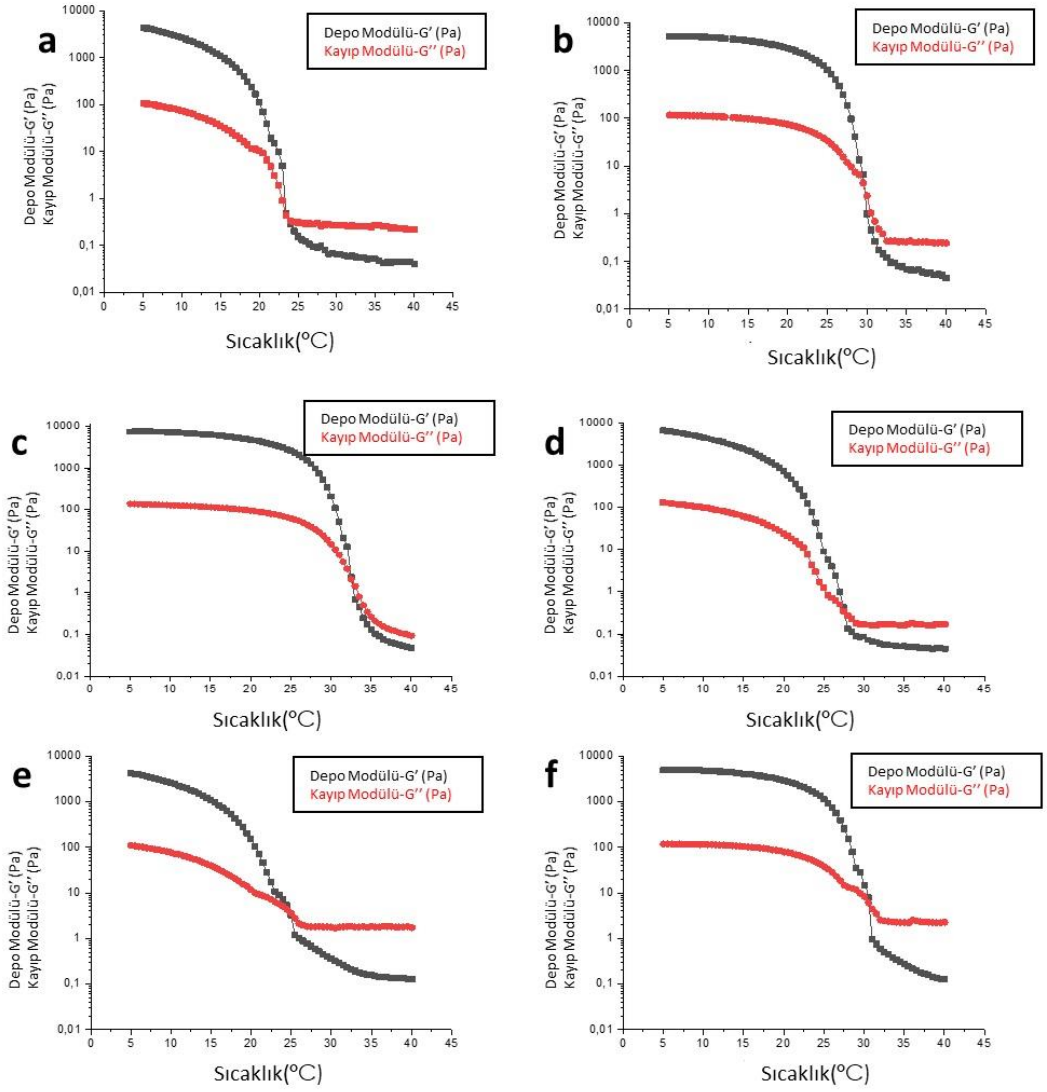
Şekil 3.8 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinin FTIR spektrumları

Serbest N-H germe titreşimlerinden kaynaklanan Amid A bandı CDG, SDG ve FDG için sırasıyla 3278,00, 3287,32 ve 3237,25 cm^{-1}' de ortaya çıkmıştır. Kanwate vd. (2019), serbest N-H germe titreşiminin 3400-3440 cm^{-1} aralığında gerçekleştiğini belirtmiştir. CDG'de diğerlerine kıyasla daha düşük dalga boyu görülmüştür. Bir peptitin N-H grubu bir hidrojen bağına katıldığında bandın konumu daha düşük frekanslara hareket etmektedir(Doyle vd., 1975). Ayrıca, jelatin moleküllerinin daha yüksek miktarda serbest amino gruplarıyla sonuçlanan degradasyonunun, CDG'de gözlenen daha düşük dalga boyu ve eş zamanlı olarak daha yüksek amid-A genliği ile ilişkili olması muhtemeldir. Bu, CDG'de görülen düşük molekül ağırlıklı peptitlerin belirgin konsantrasyonunun uyumlu olduğu sonucuna varmaktadır.

CDG, SDG ve FDG için amid B 2941,68, 2934,82 ve 2935,70 cm^{-1}'de tespit edilmiştir. Amid B hem $-NH3^{+}$ hem de C-H'in asimetrik gerilme titreşimi ile ilişkilidir (M. Ahmad & Benjakul, 2011). Tüm örnekler arasında, FDG en düşük amid B piki genliğini göstermiştir. SDG'in düşük dalga boyu, peptitlerin $–NH_3$ gruplarının etkileşiminin muhtemelen ısı tarafından oluşturulduğunu teyit etmiştir.

3.2.8 Jelleşme-Erime Sıcaklığı

Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan örneklerin jelleşme-erime sıcaklıkları Tablo 3.15'te gösterilmiştir. Jelatin çözeltilerinin soğutulması sırasında depolama modülü (G') ve kayıp modülünün (G'') kesiştiği noktalar jelleşme noktası, soğutulup beklendikten sonra tekrar ısıtıldığında depolama modülü (G') ve kayıp modülünün (G'') kesiştiği noktalar erime noktası olarak belirlenmiştir (Sha vd., 2019). Örneklerin sıcaklık tarama testine ait grafikler Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Hindi jelatinlerinin (sırasıyla CDG, SDG ve FDG) sıcaklık tarama grafikleri. Soğutma (a, c, e) ve ısıtma (b, d, e) sonucu depo ve kayıp modüllerinin kesişim noktaları

Tablo 3.15 Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan hindi jelatinlerinden elde edilen jelatin çözeltilerinin jelleşme ve erime sıcaklıkları

Örnek	Jelleşme Sıcaklığı (°C)	Erime Sıcaklığı (°C)
CDG	$23,80\pm0,22^{C}$	$29,55\pm0,15^{B}$
SDG	$32,79\pm0,23^{A}$	$27,79\pm0,26^{C}$
FDG	$25,23\pm0,23^{B}$	$30,84\pm0,28^{A}$

Aynı sütundaki farklı büyük harfler kurutma yöntemlerine göre anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$).

SDG ve FDG, CDG'e göre yüksek jelleşme noktasına sahipken SDG en yüksek jelleşme sıcaklığına sahip örnek olarak tespit edilmiştir. Düşük jelleşme noktası, hidroksiprolin içeriğinin az olması ile ilişkili olup düşük jel kuvveti ile birlikte eşlik etmektedir. Jelleşme noktası esas olarak imino asit içeriği, moleküler ağırlık dağılımı ve ayrıca jelatindeki α/β zincirlerinin oranı tarafından belirlenmektedir (Karim & Bhat, 2009). Mad-Ali vd. (2016) ayrıca jelatin ekstraksiyonundan önce gerçekleştirilen ön işlem koşullarının jelleşme noktası üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir. Önceki çalışmalar, daha yüksek elastik modülün (G′) yanı sıra termo-stabilitenin, hidroksiprolinin üçlü sarmalın stabilizasyonunda özgün bir rol oynadığı imino asit bileşimiyle ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Mhd Sarbon vd., 2013). Benzer şekilde, bu çalışmada elde edilen elastik modül (G′) sığır jelatininden daha yüksektir. En yüksek G′ ve G″ değerleri 10°C'de 1743,32 Pa ve 56,76 Pa ile vakumlu fırında kurutulmuş tavuk derisi jelatini kullanılarak kaydedilmiş, bunu sırasıyla 1153,21 Pa (*G′*) ve 41,15 Pa (*G″*) ile sığır jelatini izlemiştir. 10 °C sıcaklık ve 0,1 Pa strain koşullarında dondurularak kurutulmuş tavuk derisi jelatini için G′ ve G″ değerleri sırasıyla 127,17 Pa ve 2,672 Pa'dır. Termal jelleşme sürecinde *G′* değerindeki artış elastik yapı gelişiminin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Binsi vd., 2009). Ayrıca, yüksek jelleşme noktalarının kolajen ve jelatin moleküllerindeki prolince zengin bölgeler nedeniyle termal stabiliteyi yansıttığı sonucuna varılmıştır.

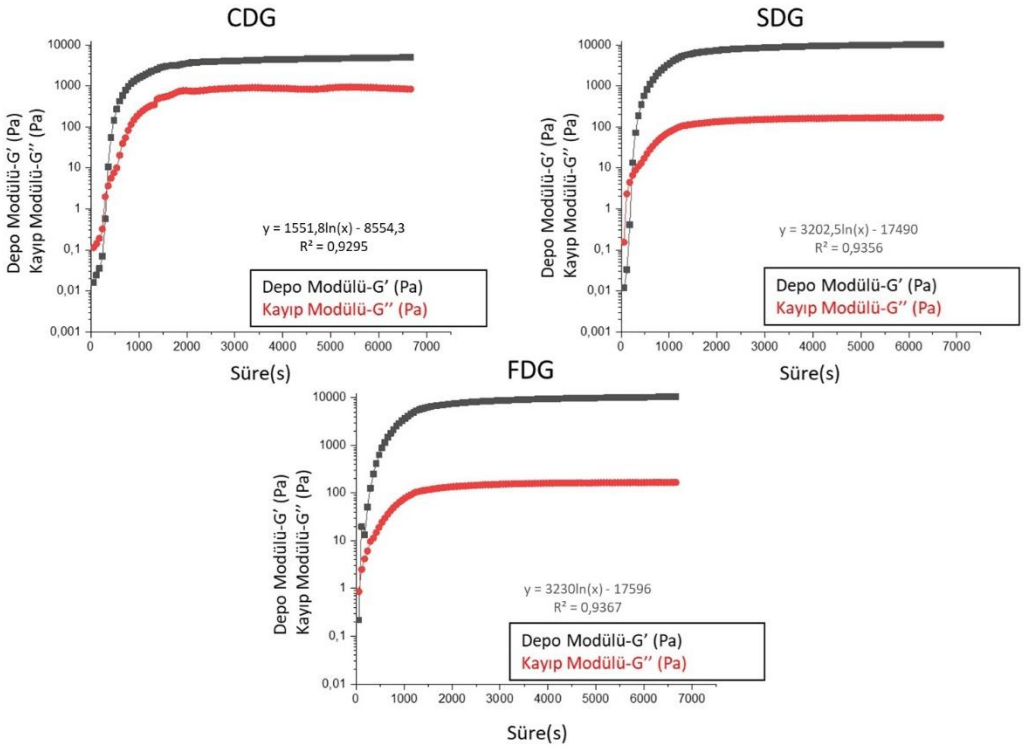
Erime sıcaklıklarına bakıldığında en yüksek erime sıcaklığı FDG örneğinde gözlemlenirken CDG ve SDG sıralamada sonradan gelmektedir. Düşük

sıcaklıklarda FDG örneği için gözlemlenen daha yüksek depolama modülü değeri, birleşme bölgelerinde üçlü sarmal yapıya yeniden dönüşme konusundaki mükemmel performansını göstermektedir (Al-Saidi vd., 2011). Prolin, poliprolin II sarmalının oluşumunu teşvik etmede çok önemli bir rol oynamaktadır (Mad-Ali vd., 2017). İmino asit içeriğinin yanı sıra artan molekül ağırlığı dağılımının da erime noktası üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır (Jamilah & Harvinder, 2002). Genel olarak, daha yüksek bir G′ değeri, ısıtma ve soğutma sırasında daha yüksek bir termal değişimin gerekli olduğu için üstün termostabiliteyi göstermektedir. Genel olarak, FDG jelatin çözeltisinin erime sıcaklığı CDG ve SDG jelatin çözeltilerinden daha yüksektir. Bu aynı zamanda FDG'in diğer örneklere göre daha yüksek jel dayanımına sahip olmasının da nedenidir (Rather vd., 2022). Kesişim noktalarındaki depo ve kayıp modüllerinin yüksekliği elastisitenin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum aynı zamanda yüksek jel kuvvetinin de bir göstergesi olarak ifade edilmektedir (Rasli & Sarbon, 2015).

Jelatin jellerin artan bloom değerine erime noktasının yükselmesi eşlik etmektedir (Ninan vd., 2010). Jelatinlerin erime noktalarının yüksek, jelleşme noktalarının düşük olması istenilen teknolojik özelliklerden biridir. Daha yüksek erime sıcaklığı ile elde edilen jel daha uzun süre muhafaza edilebilmektedir. Jelatinin jelleşme ve erime sıcaklıkları kolajen kaynağı olarak değerlendirilen canlının farklı yaşam ortamlarına ve habitat sıcaklıklarına bağlı olarak değişebilmektedir (Mad-Ali vd., 2017).

3.2.9 Jelleşme Kinetiği

Klasik kurutma, püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutulan hindi jelatinlerinin zaman tarama testi sonucu elde edilen zamana bağlı G′ ve G″ değerlerinde gözlemlenen değişimler Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Tüm örnekler benzer G′ ve G″ göstermiş olup jelleşme süresince depo modülleri kayıp modüllerinden yüksek bulunmuştur.



Şekil 3.10 Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan örneklerin zaman-tarama testi sonucu elde edilen jelleşme özellikleri

Örneklerin jelleşme kinetiği incelendiğinde FDG ile SDG örneklerinin benzer jelleşme özelliği gösterdiği görülmektedir. Ancak FDG örneğinin SDG örneğine göre daha çabuk jelleştiği de açıkça görülmektedir. FDG örneğinin diğer örneklere göre yüksek sıcaklığa maruz kalmadığı için protein degredasyonunun az olmasının bu farklılıkta rol oynadığı düşünülmektedir. CDG örneğinin ise diğer örneklere kıyasla daha geç jelleştiği görülmektedir. Genel olarak, düşük moleküler ağırlıklı peptitlere sahip jelatin daha uzun bir jelleşme süresi sergilemektedir (Kittiphattanabawon vd., 2010; Sinthusamran vd., 2014). CDG'in yüksek molekül ağırlıklı peptit zincirlerinin daha yüksek oranı nedeniyle, jel ağının oluşumu için bu zincirlerin düzenlenmesi, daha uzun jelleşme süresinin de gösterdiği gibi, muhtemelen daha uzun zaman almıştır. Ek olarak, jel oluşumu sırasında çekirdeklenme bölgesi hidroksiprolin gerektirmiştir (Sinthusamran vd., 2015). Yüksek oranda çapraz bağlar veya β ve γ zincirleri ile hidroksiprolin kalıntıları moleküllerin içinde lokalize olabilir. Bu durum, hidroksiprolinin H-bağı oluşturmak için erişilebilirliğini veya maruziyetini azaltabilir. Kurutma sırasında

jelatin içindeki peptitlerin termal degradasyonu örneklerin jelleşme sürelerini etkilemiştir (Sinthusamran vd., 2014). Daha kısa jelleşme süresi yüksek hidroksiprolin içeriğinden kaynaklanmakta olup yüksek bloom değeri ile birlikte eşlik etmektedir.

Diğer taraftan CDG örneğinin maksimum depo modülünün en düşük olduğu görülmüştür. CDG örneği SDG örneğine kıyasla daha düşük sıcaklıkta kurutulmasına rağmen uzun süreli kurutma işleminin CDG örneğinin düşük molekül ağırlığına sahip bileşenlerin fazla oluşması sonucu jelleşme özelliği farklı bulunmuştur. SDG örneğinin en yüksek sıcaklığa maruz kalan örnek olmasına rağmen partikül boyutunun diğer örneklerden çok daha küçük olması jelleşme için hidratasyonun diğer örneklere göre daha iyi gerçekleştiğini göstermektedir. Bloom değeri sonuçları jelleşme kinetiğinde elde edilen depo ve kayıp modülleri ile uyum göstermektedir.

Süre tarama analizi sonucu elde edilen deneysel veriler, farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuş jelatinlerin jelleşme oranlarını belirlemek için logaritmik bir modele (Denklem 2.5) uyarlanmış ve Tablo 3.16'da gösterilmiştir.

Tablo 3.16 Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan jelatin örneklerinin jelleşme profillerine uyarlamak için kullanılan logaritmik model parametreleri

Örnek	**R^2**	**k_{gel} (Pa)**	**C(-)**
CDG	0,9295	1551,8	8554,3
SDG	0,9356	3202,5	17490,0
FDG	0,9367	3230,0	17596,0

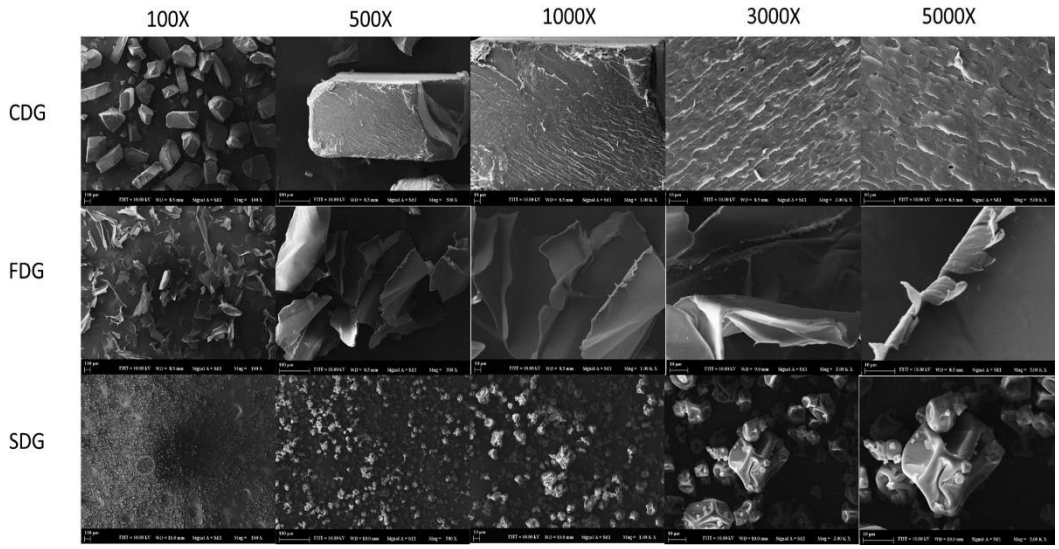
Logaritmik model eşitliği $G_t=k_{gel}\ln(t_{gel})+C$ şeklindedir. G_t; t süresindeki depolama modülünü (Pa), k_{gel}; jelleşme hız sabitini, t_{gel}; jelleşme süresini ve C; eşitlik sabitini vermektedir.

Klasik, püskürtmeli ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutulan jelatinlerin jelleşme kinetiği logaritmik modele uyarlandığında sırasıyla 0,9295, 0,9356 ve 0,9367 R^2 değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yüksek R^2 değerleri modelin uyumlu olduğunu göstermektedir.

Jelatin jelleşmesi, zincirler arası bağlantılar oluştuğunda, esnek zincirlerle ayrılan ve daha sonra kovalent olmayan etkileşimlerle stabilize edilen çapraz bağların veya birleşme bölgelerinin oluşmasıyla sonuçlanmaktadır (Işık vd., 2024). Örneklerin jelleşme hız sabiti(k_{gel}) değerleri incelendiğinde FDG'nin en yüksek jelleşme hızına sahip olduğu görülmektedir. CDG en düşük jelleşme hızına sahip örnek olarak bulunmuştur. Farklı kurutma yöntemlerinin örneklerin molekül ağırlığı dağılımını etkilediği ve yüksek molekül ağırlığına sahip peptit zincirleri içeren FDG'nin jelleşme süresinin kısa, düşük molekül ağırlığına sahip peptit zincirleri içeren CDG'nin jelleşme süresinin ise uzun olmasına neden olduğu görülmektedir.

3.2.10 Kurutma Yöntemlerinin Jelatinlerin Mikroyapısal Özellikleri Üzerine Etkisi

Klasik, püskürtücü ve dondurarak kurutma yöntemleri ile elde edilen toz jelatinlerin mikroyapılarına ait SEM görüntüleri Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Tüm örneklerin çeşitli boyu ve şekillerde olduğu görülmektedir. SDG örneğinin püskürtmeli kurutma sonrasında atomize ürünlerin karakteristiği olan içbükey şekilli partiküllerin büyük bir oranını gösterdiği görülmektedir (Subtil vd., 2014). Toz maddelerin en önemli özelliklerinden birisi partikül boyutudur. Bu özellik gıda ürünlerinin aroma, doku ve görünüm gibi özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Mad-Ali vd., 2017). Püskürtmeli kurutucu ile yüksek sıcaklıkta yüksek kurutma hızlarına erişilebilmektedir. Rodríguez-Díaz vd. (2014), daha yüksek sıcaklık gradyanlarına bağlı olarak daha hızlı kurutma hızları ile daha yavaş hızda kurutmaya göre daha büyük partiküller üretildiğini göstermiştir. Dahası, çok hızlı kurutma ile erken bir yapı oluşturduğunu ve partiküllerin kurutma sırasında küçülmesine izin vermediğini ifade etmiştir. Püskürtmeli kurutma için, kurutulan parçaların boyutu genellikle atomize damlacıkların boyutuna bağlıdır. Damlacık boyutu, atomizasyon modelinden(nozullu veya döner atomizer), besleme çözeltisinin fiziksel özelliklerinden ve besleme katı konsantrasyonundan etkilenmektedir (Kurozawa vd., 2009).



Şekil 3.11 CDG, SDG ve FDG örneklerine ait SEM görüntüleri

FDG ve CDG örnekleri SDG'in aksine ekstraksiyon sonrası öğütme ve elekten (300µm) geçme işlemleri uygulanmıştır. Öğütme işleminin gerçekleştirildiği öğütücünün hızı, öğütücü bıçağın özellikleri vb. faktörler öğütme sonrası toz partikülünün boyutunu etkileyebilecek durumda olsa da SDG örneği ile karşılaştırıldığında aralarındaki partikül boyutu farklılığının önemli olduğu düşünülmektedir. FDG örneğinin ince yapısı SDG örneğinin küçük partikül boyutu ile birlikte jel kuvveti sonuçları ile uyumluluk göstermektedir. CDG örneğindeki kaba ağ yapısı diğer örneklere kıyasla düşük jel kuvvetine sebep olabilmektedir. Kaewruang vd. (2013), kaba ağ yapısına sahip jellerin uygulanan kuvvetle daha kolay bozulabileceğini belirtmiştir.

Kaewruang vd. (2014) jelatinin özelliklerinin bir su molekülü ve karbonil grubuna doğrudan hidrojen bağı yoluyla zincirler arası hidrojen bağına katılan yüksek imino asit (özellikle hidroksiprolin) içeriğinden de etkilendiğini bildirmiştir. Jelleşme sırasında kurulan H bağı FDG örneğinin ince yapısı ile SDG örneğinin küçük partikül boyutu düşünüldüğünde daha etkili gerçekleştiği düşünülmektedir.

SDG örneğinin yüzeyinde buruşukluk benzeri yapıların oluştuğu görülmektedir. Buruşuk yüzey oluşumu, kurutmanın ilk aşamalarında hızlı bir yüzey veya kabuk oluşumu gerçekleştiğinde püskürtmeyle kurutulan tozlarda yaygın bir olgudur. Duvarın artan esnekliği, kurutma sırasında kabuğun yırtılmadan parçacığın

büzülmesine izin verebilir, böylece parçacıkların kırışıklıklarını ve pürüzlülüğünü artırabilir (S. Wang & Langrish, 2010).

3.3. Hindi Jelatinlerinden Film Üretimi

Optimum sıcaklık-süre koşullarında üretilen jelatinler klasik kurutma yöntemiyle kurutulduktan sonra yenilebilir film üretiminde kullanılmıştır. Jelatin ağırlığının %20, 30 ve 40'ı oranında gliserol eklenerek üretilen filmler (sırasıyla TG20, TG30, TG40) ile sığır jelatini kullanılarak üretilen filmin (BG30) karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

3.3.1 Film Çözeltilerinin Reolojik Özellikleri

Farklı gliserol konsantrasyonları içeren film çözeltilerinin sıcaklığa bağlı viskoelastik davranışını gözlemlemek için G' ve G'' kesişme noktalarında sırasıyla soğutma (Tg) ve ısıtma (Tm) sırasında kaydedilen jelleşme ve erime sıcaklıkları Tablo 3.17'de gösterilmiştir. Bu durum sol-jel geçişi sırasında üç boyutlu ağ konformasyonunun oluşmasına yol açan çok adımlı termodinamik süreç olarak bilinmektedir (Xiong & Blanchard, 1994).

Tablo 3.17 Farklı gliserol miktarlarına sahip film çözeltilerinin jelleşme-erime sıcaklıkları

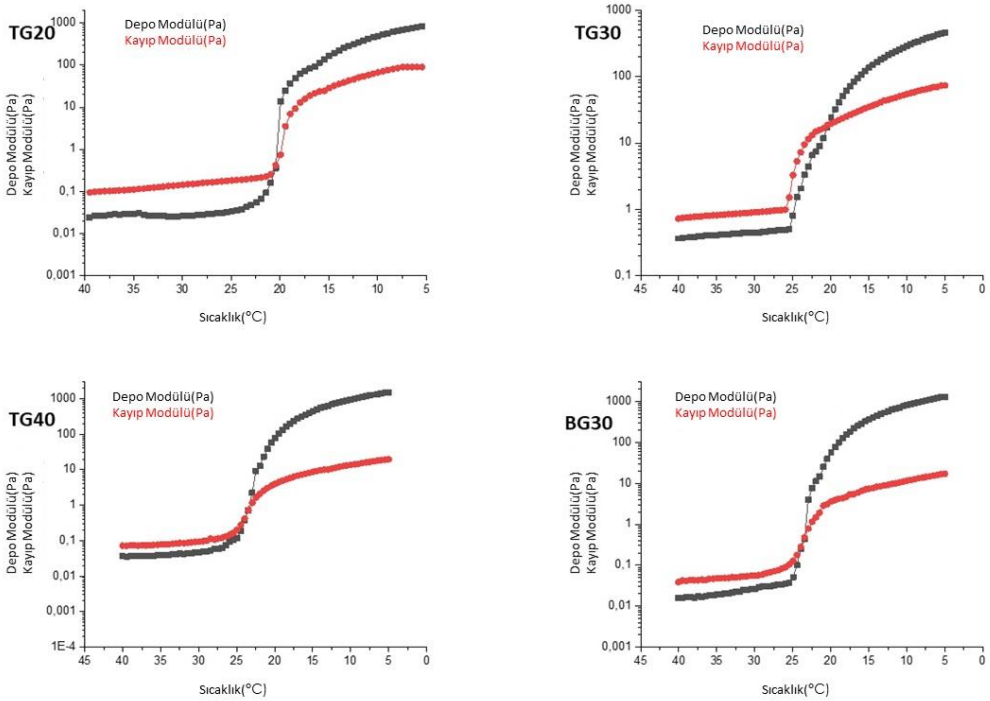
Örnek	Jelleşme Sıcaklığı (°C)	Erime Sıcaklığı (°C)
BG30	$19,70\pm0,75^{B}$	$29,50\pm1,00^{A}$
TG20	$23,23\pm1,23^{A}$	$31,75\pm1,25^{A}$
TG30	$22,50\pm1,00^{AB}$	$32,50\pm1,00^{A}$
TG40	$22,25\pm0,75^{AB}$	$29,50\pm0,50^{A}$

Aynı sütun içindeki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($p< 0,05$).

Küçük deformasyon reolojisi deneyleri, termal geçiş sıcaklıklarına yakın modülde kararlı bir değişimin (G″>G′, viskoz davranış) ve jelleşme sırasında modülde hızlı bir artışın geçişimle (G″>G′, Tg) meydana geldiğini ve son kesişim modülü (G″<G′, elastik davranış) değerlerinde film çözeltilerinde sıcaklıktan bağımsız bir soğuma meydana geldiğini göstermiştir. En düşük sıcaklığa doğru kesişim modülü değerleri artan gliserol içeriği ile artmış ve bu değerler BG filmlerinkinden daha yüksek olmuştur (Şekil 3.12), bu da muhtemelen gliserol tarafından indüklenen ek küçük bağlantı bölgeleri ve moleküller arası kuvvetler nedeniyle film çözeltilerinin akış ve yayılma özelliklerinde bir azalmaya işaret etmektedir. Tapyoka nişastası/ dekolorize Çin mesonası yaprak gamı film çözeltilerinin G′ ve G″ değerleri artan gliserol içeriğiyle birlikte artış göstermiştir (Chen vd., 2009).

Hindi film çözeltilerinin jelleşme sıcaklıkları(22-23 °C) gliserol ekleme oranından etkilenmemiştir ($p>0,05$), ancak BG film çözeltilerinden (19,7 °C) daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$), bu da TG film çözeltilerinin erken yapısal gelişiminin, polimer zincirlerinin sarmal yapıdan sarmal yapıya konformasyonel geçişi ile bir hidrojel ağı oluşumuna bağlı olduğunu düşündürmektedir (Zhu vd., 2018). Moraes vd., (2009) plastikleştirici poli(vinil alkol) konsantrasyonu %50'ye yükseldikçe 8,4°C'ye düşen domuz derisi jelatin film çözeltisinin daha düşük bir Tgel-sol (15 °C) olduğunu belirlemiştir. Gliserol düşük molekül ağırlıklı bir plastikleştiricidir. Gliserol sınır konsantrasyonundan daha fazla eklendiğinde, polimer matrisini değiştirebilir ve moleküller arası çekimleri azaltabilir ve sonuç olarak, serbest hacim ve polimer zincirinin hareketi, amino asit ve hidroksil gruplarının polar grupları arasındaki hidrojen bağları ile artmaktadır (Ramos vd., 2013).

Bu etki, bu çalışmada jelatin kuru madde bazında %40 gliserole kadar önemli ölçüde gözlenmemiştir. Bu çalışmadaki film çözeltileri 50 °C'de sol fazında kurutulduğundan, gliserol-jelatin-su etkileşiminin değerlendirilmesi, filmlerin kuruma kinetiği ve kurutma sırasında su kaybedildikçe artan konsantrasyonla ağda gelişen hidrojen bağı, elektrostatik ve hidrofobik etkileşimleri içeren yeni etkileşimlerin değerlendirilmesi açısından önemlidir. Film oluşturan çözeltide gliserol moleküllerinden daha bol bulunan su molekülleri, daha önce jelatin amino asitlerinin polar fonksiyonel grupları ile etkileşime girmiş olabilir (Moraes vd., 2009).



Şekil 3.12 Film çözeltilerinin jelleşme sıcaklığı (Tg) için sıcaklık tarama grafiği

3.3.2 Film Kalınlığı ve Yoğunluğu

Farklı gliserol konsantrasyonlarında üretilen jelatin filmler, gliserin ve jelatin matrisi arasında uygun karışabilirlik ve uyumluluk göstermiş ve çalışılan tüm konsantrasyonlarda düzgün, homojen, ince ve kullanımı kolay filmler elde edilmiştir.

Kalınlık değeri filmin geçirgenliğini, mekanik özelliklerini ve şeffaflığını etkilemekte olup film içeriğinin bileşimine ve katı maddesine bağlı olarak değişebilmektedir (Harrazi vd., 2024). Hindi jelatini (TG)'in film kalınlığı gliserol içeriğinin artmasından etkilenmemiştir ($p>0,05$). TG filmlerinin kalınlığı 0,036 ve 0,039 mm aralığında bulunurken, sığır jelatini (BG) filminin kalınlığı 0,041 mm olmuştur. TG ile aynı jelatin ve gliserol konsantrasyonuna rağmen BG'in film kalınlığının daha yüksek olması ve yoğunluk değerlerinin değişmemesi, TG'in gliserol ile daha kompakt bir yapı oluşturmasına bağlanabilir.

Tablo 3.18 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerin kalınlığı ve yoğunluğu

Örnek	Kalınlık (mm)	Yoğunluk (g/cm^3)
BG30	0,041±0,012^{A}	1,204±0,079^{A}
TG20	0,039±0,012^{AB}	1,247±0,039^{A}
TG30	0,036±0,010^{B}	1,201±0,034^{A}
TG40	0,036±0,011 ^{B}	1,134±0,076 ^{A}

Aynı sütun içindeki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($p< 0,05$).

Farklı yoğunluklar, polimer film yapısının bileşimi, moleküler ağırlığı ve etkileşimlerden ve bileşenlerinden kaynaklanmaktadır (Pelissari vd., 2013). Hindi jelatini filmi (TGF) ile sığır jelatini filminin (BGF) yoğunluk değerleri artan gliserol konsantrasyonu ile değişmemiştir (Tablo 3.18). Bunun nedeni, filmin hacmini ve kütlesini aynı anda artıran ve filmin yoğunluğunda gözle görülür bir değişikliği önleyen film formülasyonundaki bir değişikliktir (Nordin vd., 2020).

3.3.3 Nem İçeriği ve Suda Çözünürlük

Tablo 3.19, filmlerin nem içeriğinin plastikleştirici konsantrasyonuyla birlikte %14,8'den %22,46'ya yükseldiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, suyun hem jelatin film matrisi ile ilişkili olduğunu hem de gliserolün hidrofilik doğası nedeniyle film matrisinde hapsolduğunu ve filmlerin esnekliğini ve uzayabilirliğini desteklediğini göstermektedir. Benzer sonuçlar artan plastikleştirici içeriğine sahip farklı kaynaklardaki diğer jelatin filmler için de rapor edilmiştir (Liu vd., 2017; Rivero vd., 2010). Bununla birlikte, aynı gliserol konsantrasyonunda, BG' ye kıyasla daha yüksek su içeriği, TG'in daha yüksek hidrofilik karaktere sahip olduğunu göstermektedir; bu da BG ve TG'in yüksek prolin ve hidroksiprolin içeriği gibi hidrofilisiteye katkıda bulunan farklı amino asit bileşimlerine dayandırılabilir (Said & Sarbon, 2022).

Tablo 3.19 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerin nem içerikleri ve suda çözünürlük değerleri

Örnek	Nem İçeriği (%)	Suda Çözünürlük (%)
BG30	$11,872 \pm 0,350^{B}$	$63,590 \pm 0,363^{A}$
TG20	$14,802 \pm 2,743^{B}$	$44,777 \pm 1,184^{B}$
TG30	$20,333 \pm 0,304^{A}$	$46,995 \pm 0,465^{B}$
TG40	$22,461 \pm 0,403^{A}$	$61,213 \pm 1,427^{A}$

Aynı sütun içindeki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($p < 0,05$).

Suda çözünürlük, gıda ambalajının hidrofobik veya hidrofilik karakterinin yanı sıra uygulamaya veya kullanım amacına bağlı olarak gıdayı nemden ve su kaybından koruma kabiliyetini gösteren önemli bir parametredir. TG20 ve T30 filmlerinin sudaki çözünürlüğü TG40 ve BG30 filmlerinin çözünürlüğünden daha düşüktür($p<0,05$). Daha düşük çözünürlük, jelatin ve gliserol molekülleri arasındaki daha güçlü etkileşimle ilgili olabilir, bu da moleküllerin hareketliliğinde bir azalmaya yol açmaktadır (Kavoosi vd., 2014). Diğer taraftan, gliserolün güçlü suda çözünürlük davranışı nedeniyle gliserol konsantrasyonu %30'dan %40'a çıkarıldığında TGF'nin suda çözünürlüğü artmıştır. Aynı gliserol konsantrasyonunda (%30), BGF' nin TGF'nden yüksek çözünürlük değerleri, amino asit bileşimindeki farklılıklarla ilişkili olabilir; bu da BGF'nde hidrofilik amino asitlerin varlığının yüksek olduğunu düşündürmektedir (Ma vd., 2018). Balık derisinden elde edilen jelatin filmin suda çözünürlüğü, jelatin filmlerin %40 gliserol ile plastikleştirildiği domuz ve inek derisinden elde edilenlerden daha yüksek bulunmuştur (Nur Hanani vd., 2012). Sığır derisi, ton balığı ve tavşan derisi gibi çeşitli kaynaklardan üretilen jelatin filmin suda çözünürlüğünün %33-40 arasında olduğu bildirilmiştir (Gómez-Estaca vd., 2009; Ma vd., 2018).

3.3.4 Şişme Oranı

Şişme oranı, çözünebilir madde ve çözünebilir protein ile tutarlı olan protein çapraz bağlanma derecesinin bir göstergesidir (Tarique vd., 2021). TG filmlerine gliserol eklenmesi şişme oranını (Tablo 3.20) %10'dan %5'e düşürmüştür. %40 gliserol içeren TGF, %30 gliserol içeren TGF ile aynı değerleri göstermiştir. Gliserol içeriği arttıkça örneklerin üçlü sarmal içeriğinin arttığı ve dolayısıyla şişmenin azaldığı sonucuna varılmıştır (Bigi vd., 2004). Buna ek olarak, TGF'ndeki moleküller arası kuvvet %20 gliserolde daha düşük olduğu, bunun da polipeptit zincirlerinin gevşemesine ve jelatinin şişmesine neden olduğu düşünülmektedir (Ji vd., 2022).

Tablo 3.20 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerim şişme oranları

Örnek	Şişme Oranı(g kazanılan ağırlık/ g katı kütle)
BG30	$5,186 \pm 0,078^{C}$
TG20	$10,392 \pm 0,897^{A}$
TG30	$6,512 \pm 0,377^{B}$
TG40	$5,527 \pm 0,267^{BC}$

Aynı sütun içindeki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($p < 0,05$).

3.3.5 Su Buharı Geçirgenliği(SBG)

Film örneklerinin su buharı geçirgenliği (SBG) değerleri Tablo 3.21'de gösterilmektedir. Genel olarak, film formülasyonlarındaki gliserol konsantrasyonu arttıkça, filmin hidrofilikliği ve serbest hacim yapısı artmaktadır. Bu durum, filmin yoğunluğu az olan ağdaki polimer zincirlerinin hareketliliğini teşvik etmekte ve daha yüksek su geçirgenliği ile sonuçlanmaktadır(Nur Hanani vd., 2013). Ancak, plastikleştirici konsantrasyonlarının TGF üzerindeki etkileri önemli bulunmamıştır ($p>0,05$) ve bu filmler BGF ile önemli ölçüde farklılık göstermemişlerdir ($p<0,05$).

Tablo 3.21 Farklı gliserol miktarına sahip jelatin filmlerin su buharı geçirgenliği (SBG) değerleri

Örnek	Su Buharı Geçirgenliği (SBG) (gmm/m^{2}hkPa)
BG30	0,478±0,009^A
TG20	0,513±0,015^A
TG30	0,507±0,076^A
TG40	0,528±0,081^A

Aynı sütun içindeki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($p< 0,05$).

Bu çalışmada, gliserol ilavesi muhtemelen su geçiş alanını arttırmak yerine, filmlerin sabit yoğunluğu (Tablo 3.20) ile tutarlı olarak film ağında daha kompakt bir film yapısı ile protein moleküllerinin daha güçlü etkileşimlerine ve daha yüksek organizasyonuna neden olmuştur. Düşük SBG değeri gıda ambalajından beklenen en önemli özelliklerden biridir, çünkü gıda ambalajının temel işlevi gıda ile çevresi arasındaki nem transferini önlemek veya azaltmaktır (Nor vd., 2017). Dolayısıyla, filmlerin mekanik özelliklerinin modifikasyonuna olanak sağlayan plastikleştirici miktarındaki artışa rağmen SBG değerinde bir değişiklik olmaması, hindi derisi jelatini için önemli bir sonuçtur.

3.3.6 Mekanik Özellikler

TG ve BG film numuneleri için gerilme mukavemeti (GM) ve kopma uzaması (KU) sonuçları Tablo 3.22'de gösterilmektedir. Hindi jelatin filmlerinin GM değeri gliserolün %20'den %30'a artmasıyla azalma göstermiştir (30,523 MPa'dan 12,019 MPa'a). TG20 filmi en güçlü film olarak tespit edilmiştir, ancak daha az deforme olabilen film, düşük gliserol içeriğinde iyi organize olmuş film ağının gelişmesinin bir sonucu olarak ölçülen tüm numuneler arasında en yüksek GM ve en düşük KU sergilemiştir ($p<0,05$) ve böylece kırılmaya karşı direncini artırmıştır (Hajlaoui vd., 2024). GM değerleri, çalışmamızın ilk kısmında sığır jelatinine (355 g) kıyasla

hindi jelatini (384 g) için nispeten yüksek bulunan üçlü sarmal içeriği ve jel gücü ile de ilişkilendirilmiştir (Said & Sarbon, 2022). Yüksek plastikleştirici oranındaki TG filmler benzer GM değerleri göstermiş ($p>0,05$) ve benzer imino asit içeriğine işaret edecek şekilde BG filmlerden önemli bir farklılık göstermemiştir ($p>0,05$)(Said & Sarbon, 2022).

Tablo 3.22 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerin gerilme mukavemeti (GM) ve kopma uzaması (KU) değerleri

Örnek	Gerilme Mukavemeti (N/mm^2)	Kopma Uzama Yüzdesi (%)
BG30	$8,996 \pm 1,150^{B}$	$119,500 \pm 5,826^{A}$
TG20	$30,523 \pm 2,905^{A}$	$3,000 \pm 0,000^{C}$
TG30	$12,019 \pm 0,882^{B}$	$64,917 \pm 2,962^{B}$
TG40	$12,469 \pm 1,854^{B}$	$121,250 \pm 9,760^{A}$

Aynı sütun içindeki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($p< 0,05$).

Filmlerin esnekliğini ve uzayabilirliğini gösteren TGF' nin KU değerleri gliserol konsantrasyonunun artmasıyla önemli ölçüde artmış ($p<0,05$), TG40 ve BG30 sırasıyla %121 ve %119 ile en yüksek değerleri göstermiştir. Yüksek KU değeri, daha iyi viskoelastik özellikler ve daha güçlü bir jel yapısı geliştirme yeteneğini gösteren daha yüksek imino asit içeriğinden kaynaklanmaktadır (Kuan vd., 2017). Gliserol, protein ağında birikerek protein zincirleri arasındaki mesafeyi artırarak doğrudan bağlantıları azaltmaktadır (Suderman vd., 2018). Ambalaj filmlerinin yüksek mukavemetli ve esnek olması istendiğinden, daha yüksek gliserol içeriğine sahip TG filmler, BG filmlerle uyumlu olan kolay kırılmayan özellikleriyle gıda ambalajı için uygun bulunmuştur (Hajlaoui vd., 2024).

3.3.7 Opaklık ve Şeffaflık

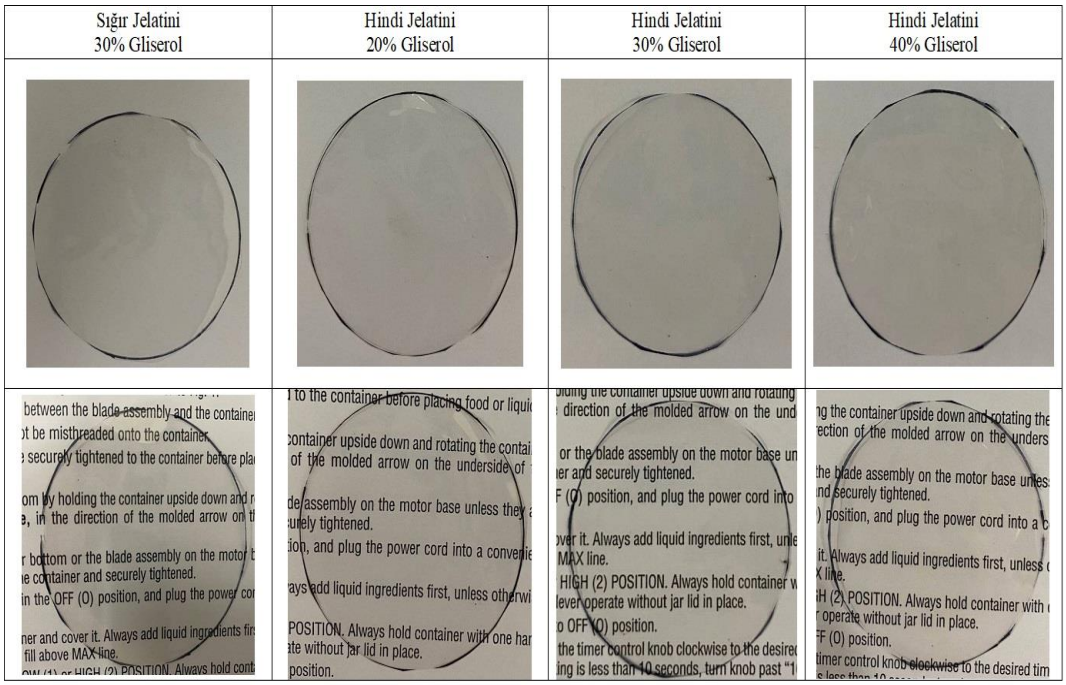
Tablo 3.23 film örneklerinin geçirgenlik ve opaklık değerlerini göstermektedir. TG20, düzenli bir mikro yapısı nedeniyle en düşük geçirgenliğe ve en yüksek

opaklığa sahip örnek olarak tespit edilmiştir (Suderman vd., 2018). Filmlerin düşük geçirgenlik değeri, gıda sistemlerinde kullanıldığında ışık kaynaklı bozulmayı engellemek için etkili bir bariyer olabileceğini göstermektedir (Gómez-Guillén vd., 2007).

Tablo 3.23 Farklı gliserol miktarlarına sahip jelatin filmlerin opaklık ve geçirgenlik değerleri

Örnek	**Opaklık (Abs/kalınlık)**	**Geçirgenlik (T%)**
BG30	$0,804 \pm 0,126^{B}$	$94,365 \pm 0,064^{A}$
TG20	$1,711 \pm 0,256^{A}$	$84,053 \pm 1,340^{B}$
TG30	$0,369 \pm 0,019^{B}$	$96,260 \pm 0,960^{A}$
TG40	$0,559 \pm 0,009^{B}$	$95,290 \pm 0,757^{A}$

Aynı sütun içindeki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki önemli farklılıkları göstermektedir ($p < 0,05$).



Şekil 3.13 Farklı gliserol içeriğine sahip film örneklerinin görüntüleri

Film örneklerinde gliserol oranının %30'a çıkarılması geçirgenliği artırmış ve opaklığı azaltmıştır ($p<0,05$), ancak %40 gliserolün bu parametreler üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır ($p>0,05$) ve BG filmlerle benzer değerler göstermiştir. Bu da BG' ye benzer optik özelliklere sahip filmler üretmek için hindi jelatininden ekstraksiyon adımlarının başarıyla gerçekleştirildiğini göstermektedir. BG ve TG filmlerin görselleri Şekil 3.13'te gösterilmiştir.

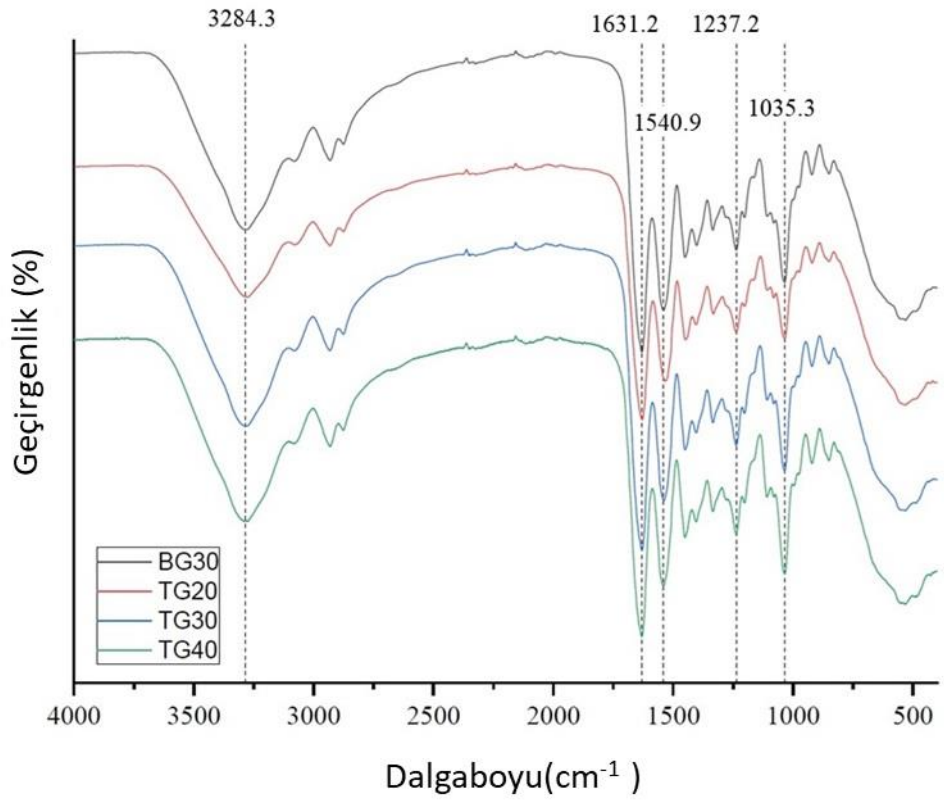
3.3.8 Filmlerin Yapısal Özellikleri

Gliserol oranlarının bir fonksiyonu olarak hindi jelatin filmlerinin yapısal özelliklerini araştırmak için FTIR analizi yapılmış ve spektrumlar Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Genel olarak, %20-30 gliserol içeren hindi jelatini filmleri ve BG30 flmi benzer FTIR spektrum modeli göstermiştir, ancak bazı piklerin yoğunluğu gliserolden etkilenerek değişmiştir. Ana bantlar amid I, amid II, amid III, amid A ve B için yaklaşık olarak sırasıyla 1631,2 cm-$^{-1}$, 1540,9 cm^{-1}, 1237,2 cm^{1}, 3284,2 cm^{-1} ve 2930,0 cm^{-1} dalga boylarında bulunmuştur (Hajlaoui vd., 2024).

Amid I, C-N gerilmesi, CCN deformasyonu ve düzlem içi N-H bükülme modlarından gelen katkılarla birleşen C=O gerilmesini temsil eder ve proteinin sarmal yapısının özelliklerini tanımladığı için proteinin ikincil yapısının en önemli

bölgesi olarak kabul edilmektedir (Rasid vd., 2018). Plastikleştirilmiş filmde alifatik alkolün varlığı, plastikleştiricinin mevcudiyeti nedeniyle belirgin bir biçimde mevcuttur (Muyonga vd., 2004). Filmdeki gliserol içeriği %20'nin üzerine çıktığında amid I bandı daha yüksek bir dalga boyuna kaymıştır, bu da karbondan karbona (C=C) gerilmede bir artış olduğunu göstermektedir.

N-H bükülme ve C-N germe titreşimlerine karşılık gelen amid II pikleri, bu çalışmada üretilen tüm jelatin filmler için 1540,9 cm^{-1} civarında tespit edilmiş olup, daha önce bildirilen deve jelatini çalışması ile örtüşmektedir (Al-Hassan, 2020).



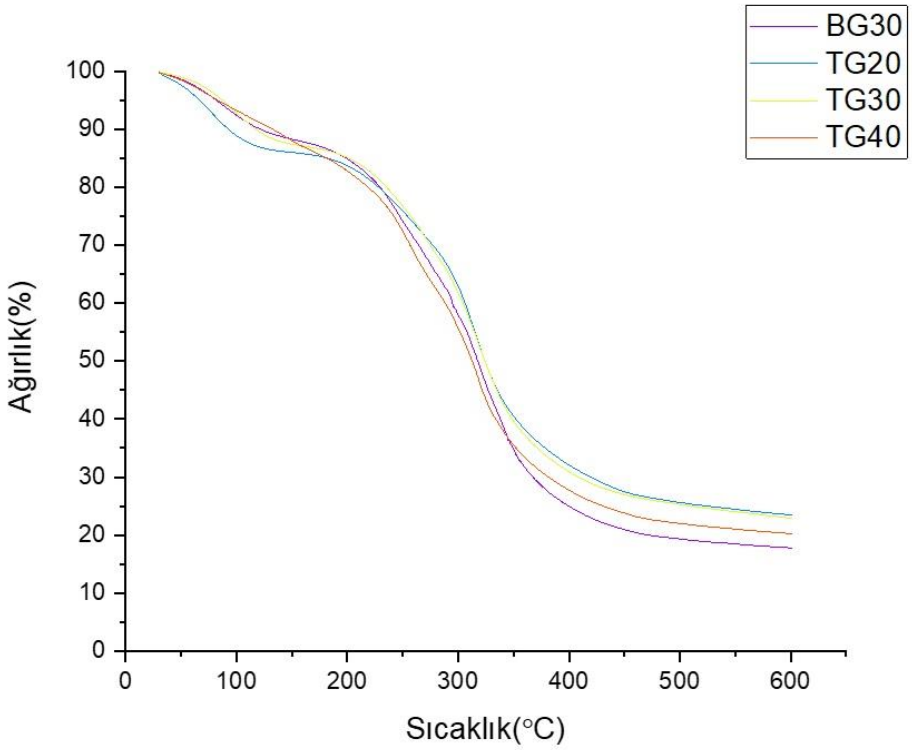
Şekil 3.14 Film örneklerinin FTIR spektrumu

Gliserol içeriğinin artırılması, TG filmlerin amid A yoğunluğunda bir artışa neden olmuş ve bu da hidrojen bağı ile birleşen N-H gerilmesine bağlanmıştır (Liu vd., 2017). Bu nedenle, hidrojen bağını artırabilen ve nemi çekebilen hidroksil gruplarının sayısını artırarak, filmler matrislerinde önemli sayıda O-H grubu kazanır (Hu vd., 2009). Amid A'nın daha düşük bir dalga boyuna kayması, uygulanan ekstraksiyon sıcaklıklarına bağlı olarak jelatin yapısının daha belirgin bir şekilde bozulmasıyla ilişkilendirilmiştir (Tan vd., 2020). Bu çalışmada, TG

filmlerinin amid A bandı tüm gliserol oranlarında ve BG ile benzerlik göstermiştir, bu da üretilen hindi jelatini ile ticari sığır jelatinleri arasındaki yapısal benzerliklere işaret etmektedir. Gliserol (C=O gerilmesi) ve jelatin arasındaki etkileşim, yoğunluğun gliserol ile arttığı ~1035.3 cm^{-1}'deki karakteristik pik ile de gösterilmiştir (Núñez-Flores vd., 2013). 2853 cm^{-1} ve 2924 cm^{-1}'deki pikler sırasıyla CH_2 ve CH_3 gruplarındaki alifatik C-H'in asimetrik ve simetrik gerilme titreşimlerine karşılık gelmektedir (Nilsuwan vd., 2016). Sonuç olarak, yüksek miktarda plastikleştirici film matrisine nüfuz etmiş ve makromoleküller arasında konumlanarak makromoleküller arasında yeni etkileşimlere yol açmıştır.

3.3.9 Filmlerin Termal Davranış Özellikleri(TGA)

Şekil 3.15, termal stabilite ve bozunmayı belirlemek için %20 ila 40 gliserol içeren BG30 ve TG filmlerinin ilgili bozunma ve parçalanma adımlarıyla birlikte TGA profillerini göstermektedir.



Şekil 3.15 Gliserolün bir fonksiyonu olarak film örneklerinin TGA termogramları

Tüm numuneler için ~150 °C'nin altında başlangıçta nispeten küçük bir ağırlık kaybı ve ~220 °C'den sonra daha belirgin bir kayıp olmak üzere iki tür kütle kaybı olayı gözlemlenmiştir. Termal bozunmanın ilk aşaması, filmlerdeki uçucu

bileşenlerin buharlaşması ve/veya gevşek bağlı suyun dehidrasyonu nedeniyle nem kaybı ile tetiklenir ve %12-15 arasında bir ağırlık kaybına neden olur. Ağırlıktaki azalma filmin gliserol içeriği ile değişmiştir. TG20, diğer filmlerle karşılaştırıldığında hızlı su azalması sergilemiştir, Bu da yüksek gliserol içeren filmlerin daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Aynı gliserol konsantrasyonunda, TG ve BG benzer miktarda ve eğilimde ağırlık kaybı göstermiştir.

Numunelerin termal ayrışma olarak tanımlanan ikinci aşamasının başlangıcı, TG40 için en düşük sıcaklık olarak belirlenmiş ve bu da filmlerin yüksek ısı duyarlılığına neden olmuştur. Film matrisindeki moleküller arası/içi protein etkileşiminin azalması nedeniyle, yüksek gliserol ilavesi daha zayıf bir film ağı ile sonuçlanmıştır (Nilsuwan vd., 2016). Büyük boyutlu veya yüksek etkileşimli protein fraksiyonlarının bozunması veya ayrışması, bu aşamada ağırlık kaybına katkıda bulunan ana unsurlardır (Hoque vd., 2011). Bu süre zarfında yüksek ayrışma oranı, diğer filmlerden düşük termal kararlılığa sahip olan yüksek gliserol seviyelerinin (TG40) varlığına bağlanmıştır. Bununla birlikte, TG20 ve TG30 düşük ayrışma oranlarına sahip olup deneyin sonundaki kalıntılar yüksek bulunmuştur. Bu durum filmlerin yüksek termal kararlılığının bir göstergesidir. %30'luk gliserol içeriğine sahip sığır jelatin filmi de düşük kalıntı göstermiştir.

Bu çalışma ile uyumlu olarak, film matrisindeki daha düşük gliserol oranında balık derisi jelatin filmleri için bu adımda daha yüksek termal stabilite bildirilmiştir (Nilsuwan vd., 2016). Sonuç olarak, %20-30 gliserol ilavesi filmin ağını iyileştirebilir ve BG30'a kıyasla daha düşük bir termal bozulma derecesi ile sonuçlanabilir.

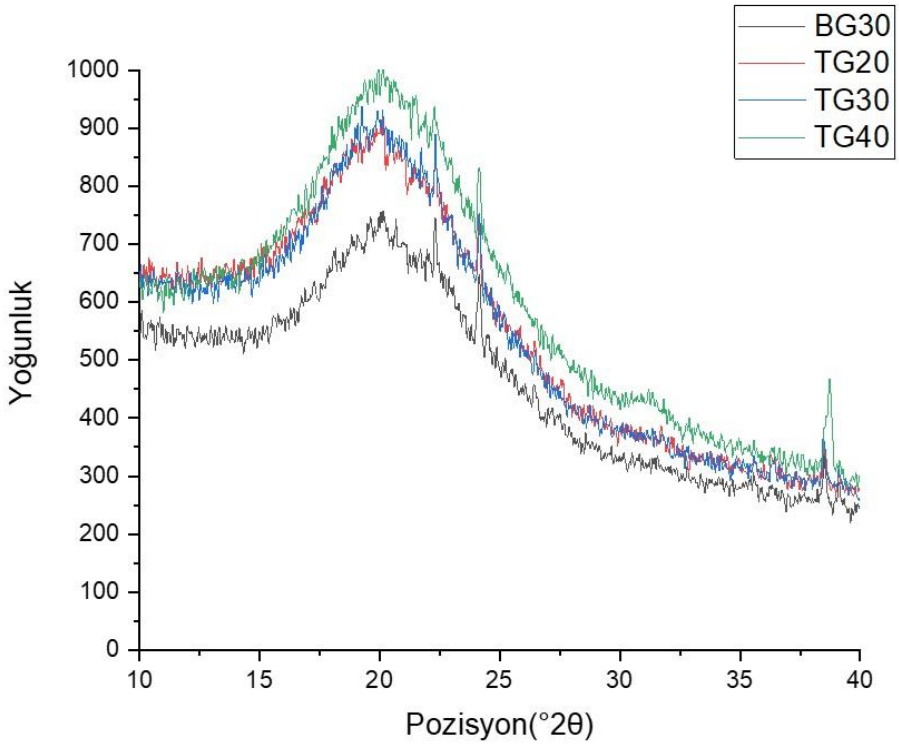
3.3.10 Filmlerin Kristal Yapısının Belirlenmesi (XRD)

Örneklerin kristal yapısının belirlenmesi ve kristallik derecesinin belirlenmesi amacıyla X-ışını kırınım ı(XRD) analizi yapılmış ve Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Filmler, filmlerin amorf bölgesinin ve jelatin tozunun tipik parmak izlerinin göstergesi olan yaklaşık 20° (2θ)'de bir kırınım geniş piki sergilemiştir. Badii vd., (2014), bu geniş amorfu sarmal boyunca amino asit kalıntıları arasındaki mesafe,

yaklaşık 0,44 nm, olarak karakterize etmiştir. Tavuk derisi, domuz ve sığır jelatin filmlerinin benzer difraktogramları Suderman vd., (2018) tarafından sunulmuştur.

BG30 filmi, 2θ = 20° pikinde en düşük yoğunluğu göstermiştir, bu da filmin amorf özelliklerine işaret etmektedir. TG20 ve TG30'un amorf yapısı, muhtemelen bu filmlerin yüksek stabilitesi nedeniyle artan gliserolden etkilenmemiştir, ancak TG40 daha az amorf film yapısına işaret eden genişlemiş ve yüksek bir pik yoğunluğu göstermiştir. Nor vd., (2017) tavuk derisi jelatin filmlerinde gliserol içeriği %0'dan %20'ye yükseldikçe pik yoğunluğunun azaldığını ve filmin amorfluğunun arttığını bildirmiştir. Gliserolün dahil edilmesiyle filmin amorf karakteri, filmlerin nem içeriğindeki artışın yarı kristal bölgelerin oluşumunu engellemesinin bir sonucu olarak mümkün olmuştur (Bergo vd., 2013).

Başka bir çalışmada, gliserol oranının %0'dan %45'e çıkarılmasının domuz jelatin filmlerinin amorf karakteri üzerinde hiçbir etkisi olmamış ve yarı kristal bölgeler oluşturma eğiliminin olmaması filmlerdeki nemin artmasına bağlanmıştır (Bergo & Sobral, 2007). Ancak çalışmamızda, gliserolün TG'ne eklenmesi, muhtemelen yüksek gliserol oranı varlığında yeniden düzenlenen TG filmlerindeki artan etkileşimler nedeniyle, daha yüksek nem içeriklerinde bile amorf polimerik yapıların artmasına izin vermemiştir.



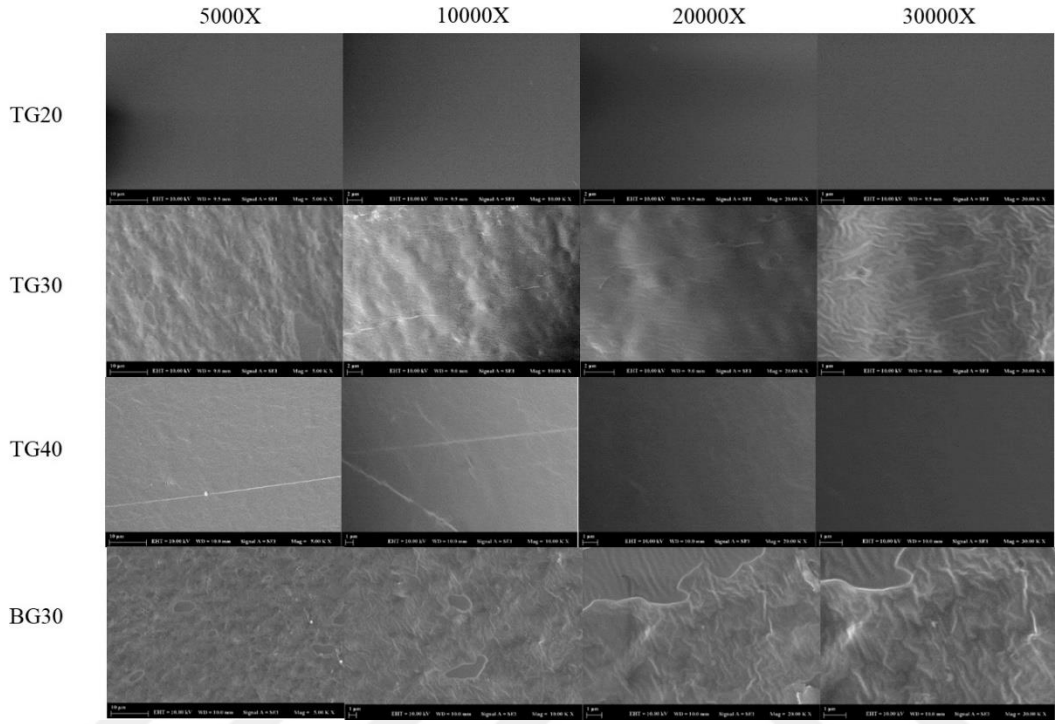
Şekil 3.16 Jelatin filmlerin X ışını kırınım grafiği

5, 25 ve 40 °C'de kurutulan plastikleştirici içermeyen 225 g bloom değerine sahip sığır derisinden elde edilen B tipi filmde 2θ=7°'deki keskin ve güçlü pik kaybolmuş ve 40°C'de kurutulan film için sadece 2θ=20° amorf pik gözlenmiştir (Badii vd., 2014). Bu çalışmada olduğu gibi, jelatin çözeltilerinden 35°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kurutularak hazırlanan filmler esas olarak sarmal bir yapıya sahiptir ve "sarmal jelatin" veya "sıcak kurutulmuş" filmler olarak tanımlanırlar (Kozlov& Burdygina, 1981).

3.3.11 Filmlerin Mikroyapısal Özellikleri

Şekil 3.17'de farklı gliserol oranlarına sahip TG film örneklerinin ve BG film yüzeyinin mikroyapısı farklı büyütme oranlarında gösterilmektedir. TGF' nin %20 gliserol ile kompakt bir yapıya sahip görünüşte pürüzsüz film yüzeyi, artan gliserol konsantrasyonlarında farklı film morfolojisi sergilemiştir. TG30 ve BG30'un yüzey pürüzlülüğü kurutma sırasında yüksek nem içeriğine sahip filmlerin büzülmesi sonucu oluşmuştur. Bunun sonucunda oluşan gözenekler ve çatlaklar örneklerin dağınık bir mikroyapıya sahip olmasına sebep olmuştur (Liu vd., 2017; Suderman

vd., 2018). Bu filmler, üretilen filmler arasında daha belirgin çıkıntılar sergilerken, TG40 filmi daha az pürüzlülük sergilemiş ve yoğun ve sürekli ağların oluştuğu homojen bir yapı sunmuştur. Bununla birlikte, %40 gliserol içeriğine sahip sığır jelatin filmleri için kırışıklık yapısı rapor edilmiştir (Liu vd., 2017).



Şekil 3.17 Film örneklerinin yüzeylerine ait SEM görüntüleri

4
SONUÇ VE ÖNERİLER

Jelatin, hayvan derisi, kemiği ve dokusundan kolajenin kontrollü hidrolizi yoluyla elde edilen doğal, suda çözünebilen bir proteindir. Benzersiz özellikleri nedeniyle çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde jelatin, stabilizatör, jelleştirici, kıvam arıtıcı ve film oluşturucu olarak kullanılmaktadır. Jelatin sahip olduğu tekno-fonksiyonel özellikler sayesinde tatlılar, şekerlemeler, marşmelov, kek, dondurma, yoğurt gibi çok çeşitli ürünlerde kullanılmaktadır. Jelatin ayrıca farmasötik uygulamalarda, özellikle kapsül ve tablet yapımında çok önemlidir. Aktif farmasötik bileşenlerin korunması, biyoyararlılığın arttırılması ve modifiye salınım özelliklerinin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Jelatinin benzersiz özellikleri birçok alanda ve amaçla kullanılabilirken artan talep ve nüfus ile birlikte fonksiyonel gıdalara olan talebinde artması bu maddeye olan talebin artmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte üretimde kullanılan hammaddenin kaynağı bazı sosyal, dini vb. sebeplerden dolayı sorgulanmakta olup ülkemizde de jelatin içeren gıda ürünlerine karşı tüketicilerin hassasiyeti bulunmaktadır. Dünya jelatin üretiminin büyük bir kısmının domuz kaynaklı olması tüketicilerin bu konudaki şüphelerini gidermeye yönelik alternatif kaynakların değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Sığır ve domuz jelatini üretimin tamamına yakınını oluştururken alternatif olarak ortaya konulan balık jelatinlerinin de istenilen fonksiyonel ve teknolojik özellikleri karşılayamaması ve üretilen jelatinlerdeki balık kokusu gibi duyusal problemlerin giderilememesi önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada kanatlı kesimhane atıklarının değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Bilimsel literatürde kanatlı atıklarından elde edilen farklı özelliklere sahip jelatinler ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır.

Hindi kesimhane atıkları önemli oranda kolajen içermekte olup bu atıklar genel itibariyle ileri işleme aşamalarında değerlendirilmektedir. Önemli oranda kolajen içeren bu atığın jelatin üretiminde değerlendirilmesi ile ilgili literatürde sadece kafa ve kemiklerden sıyrılmış et (posa) atıklarına ait çalışmalar bulunmaktadır. Dolayısıyla hindi atıklarından (deri) jelatin üretimi ile ilgili literatürde herhangi bir

çalışmanın bulunmayışı çalışmamızın çıkış noktası ve özgünlüğünü oluşturmaktadır. Ayrıca, ülkemiz jelatin ihtiyacının büyük çoğunluğunun ithalat yoluyla karşılanması ekonomik olarak da ülkemiz adına kayıp olarak değerlendirilebilir. Ülkemizde bulunan ve tüketim ve üretim istatistikleriyle sürdürülebilir bir şekilde hem katma değeri yüksek bir ürünün yerli imkanlarla üretilmesi hem de bu noktada dışa bağımlılığımızı azaltarak bir atığın değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Çalışmamız temel olarak hindi derisinden jelatin üretimi için sıcaklık-süre optimizasyonunun gerçekleştirilmesi, farklı kurutma yöntemlerinin elde edilen jelatinlerin özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi ve elde edilen jelatinlerden ve ticari sığır jelatininden jelatin bazlı film üretimi gerçekleştirilerek hindi jelatinlerinin ticari jelatinler ile karşılaştırılması olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır.

Hindi derisinden jelatin üretimi ile ilgili herhangi bir çalışmanın olmaması bu noktada farklı ekstraksiyon koşullarının (sıcaklık-süre) optimizasyonunu yapılması ihtiyacını doğurmuştur. Yüksek sıcaklıklar ve uzun ekstraksiyon süreleri verimi artırmış ancak jelatin jel mukavemetini ve fonksiyonel özellikleri azaltmıştır. Ekstraksiyon sıcaklığı 62,90 °C'de 6,84 saat boyunca optimum jelatin özellikleri olan köpük oluşturma kapasitesi, verim ve jel kuvveti ile sonuçlanmıştır. Yeni üretilen jelatinin ticari sığır jelatinine göre daha yüksek jel kuvveti değerleri, hindi derisinin jelatin ekstraksiyonu kaynağı olarak domuz veya sığır jelatininin yerini alma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Jelatinlerin özellikleri sadece ekstraksiyon koşullarından etkilenememektedir. Aynı zamanda ekstraksiyon öncesi uygulanan ön işlemler, ekstraksiyon sonrası kurutma gibi işlemlerde nihai jelatinin özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Farklı kurutma yöntemlerinin (etüvde kurutma, püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma) hindi jelatinlerinin özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği çalışmanın ikinci aşamasında kurutma işlemlerindeki sıcaklıkların proteinlerin yapılarında meydana getirdikleri değişimin başta reolojik olmak üzere bloom kuvveti, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi gibi fonksiyonel ve teknolojik özellikleri etkilediği görülmüştür. Dondurarak kurutma gibi düşük sıcaklıkta gerçekleşen işlemler protein yapıda bozunma meydana getirmezken püskürtmeli kurutucuda

gerçekleşen yüksek sıcaklığın etüvde kurutma yönteminde görülen yüksek kurutma süresinden daha az protein degredasyonuna sebep olduğu tespit edilmiştir. SDS-PAGE sonuçları incelendiğinde FDG ve SDG örneğinin yüksek molekül ağırlığına sahip peptitleri önemli oranda yüksek bulunmuştur. Bu durum bloom kuvveti değerlerinde SDG ve FDG örneklerinin arasında önemli bir fark olmaması ve CDG'in düşük bloom değerine sahip olmasının tespit edilmesiyle ispatlanmıştır. Ayrıca FDG örneğinin diğer örnekler göre daha erken jel yapıya geçtiği de jelleşme kinetiği belirlenerek tespit edilmiştir. Jelatin verimi ekstraksiyon koşullarından önemli ölçüde etkilenirken kurutma yöntemlerinin önemli bir etkisi görülmemiştir.

Ticari sığır jelatinine yeni bir alternatif olarak, bu çalışmada hindi derisi yan ürünlerinin değerlendirilmesi için hindi jelatin filmleri hazırlanmıştır. Kullanılan gliserol miktarına bağlı olarak, jelatin filmlerin mekanik, fiziksel ve termal özellikleri farklı şekilde etkilenmiştir. TG film çözeltileri sol-jel geçişinin gliserol artışından bağımsız ve BG'nden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Hindi jelatin bazlı filmler homojen, şeffaf ve esnek olup pürüzsüz bir film yüzeyine sahip bulunmuştur. Gliserol oranının artırılması nem içeriğini artırmış, ancak kompakt yapıların oluşması nedeniyle TG filmlerinin film kalınlığı, yoğunluğu ve su bariyeri özellikleri sabit kalmıştır. TG20 ve TG30 filmlerinin çözünürlüğü BG30'dan daha düşük bulunmuş ve bu da daha yüksek su direncine işaret etmiştir. TG20 en yüksek GM ve en düşük KU'yı göstermiş, gliserol içeriği arttıkça TS değerleri BG'ne benzer hale gelirken, TG40 ve BG30 en yüksek esneklik ve uzayabilirliği sergilemiştir. TG20 ve TG30 benzer bulunmuş, ancak TG40, daha kararlı TG film ağındaki artan etkileşimler nedeniyle BG30'a kıyasla daha az amorf film yapısı göstermiştir. FTIR ayrıca gliserol ve jelatin arasındaki etkileşimi de doğrulamıştır. Sığır jelatin filmi ile karşılaştırıldığında, TG20 ve TG30 daha düşük bozunma oranları ve daha yüksek kalıntılarla daha yüksek termal stabilite göstermiştir. Sonuç olarak, bu çalışmanın sonuçları, hindi derisinin, ticari sığır jelatinine kıyasla sınırlamalar olmaksızın daha ileri gıda paketleme uygulamaları için uygun su bariyeri, mekanik ve termal stabilite gibi umut verici film oluşturma özelliklerine sahip alternatif ve sürdürülebilir bir protein kaynağı olduğunu açıkça göstermektedir.

Çalışma sonucunda hindi derisinin jelatin üretiminde kullanılabilecek önemli bir alternatif olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra farklı kurutma işlemlerinin jelatinin özelliklerini etkilediği belirlenirken jelatin bazlı film üretimi açısından değerlendirildiğinde ticari sığır jelatini ile kıyaslanabilecek ölçüde iyi mekanik, su bariyeri ve termal stabilite gibi özelliklere sahiptir. Elde edilen jelatinlerin yüksek bloom değerine sahip olması yüksek jel kuvveti gerektirecek her uygulamada kullanılabileceğini gösterirken hindi jelatininin ticari değerinin de yüksek oduğu görülmüştür. Böylece hindi derisinden katma değeri yüksek ve ticari jelatine alternatif olabilecek bir jelatin üretimi başarıya gerçekleştirilmiştir.

Sonraki çalışmalarda farklı ön işlemlerin jelatin özelliklerine etkisi vb. ekstraksiyon aşamalarının etkileri araştırılarak hindi derisinden jelatin üretimi için en uygun üretim koşullarının oluşturulması sağlanabilir. Farklı ekstraksiyon teknikleri kullanılarak veya fiziksel ve enzimatik modifikasyon yöntemleri kullanılarak farklı özelliklere sahip jelatinler elde edilebilir. Hindi jelatinin yeni bir jelatin olarak ortaya çıkmasından dolayı sadece gıda değil farmasötik gibi birçok alanda kullanılabilirliği araştırılabilir, bununla ilgili multi disipliner çalışmalar gerçekleştirilebilir. Jelatinin farklı alanlarda farklı özelliklerde kullanımından dolayı ihtiyaca yönelik farklı özellikte jelatinlerin üretimi için çalışmalar gerçekleştirilerek gerekli üretim altyapısı için teknik koşullar belirlenebilir.

KAYNAKÇA

Abedinia, A., Ariffin, F., Huda, N., & Mohammadi Nafchi, A. (2018). Preparation and characterization of a novel biocomposite based on duck feet gelatin as alternative to bovine gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, *109*, 855–862. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.051

Abedinia, A., Ariffin, F., Huda, N., & Nafchi, A. M. (2017). Extraction and characterization of gelatin from the feet of Pekin duck (Anas platyrhynchos domestica) as affected by acid, alkaline, and enzyme pretreatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, *98*, 586–594. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.139

Abedinia, A., Mohammadi Nafchi, A., Sharifi, M., Ghalambor, P., Oladzadabbasabadi, N., Ariffin, F., & Huda, N. (2020). Poultry gelatin: Characteristics, developments, challenges, and future outlooks as a sustainable alternative for mammalian gelatin. *Trends in Food Science and Technology*, *104*(August), 14–26. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.001

Aewsiri, T., Benjakul, S., & Visessanguan, W. (2009). Functional properties of gelatin from cuttlefish (Sepia pharaonis) skin as affected by bleaching using hydrogen peroxide. *Food Chemistry*, *115*(1), 243–249. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.012

Ahmad, M., & Benjakul, S. (2011). Characteristics of gelatin from the skin of unicorn leatherjacket (Aluterus monoceros) as influenced by acid pretreatment and extraction time. *Food Hydrocolloids*, *25*(3), 381–388. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.07.004

Ahmad, M., Benjakul, S., & Nalinanon, S. (2010). Compositional and physicochemical characteristics of acid solubilized collagen extracted from the skin of unicorn leatherjacket (Aluterus monoceros). *Food Hydrocolloids*, *24*(6–7), 588–594. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.03.001

Ahmad, M. I., Li, Y., Pan, J., Liu, F., Dai, H., Fu, Y., … Zhang, H. (2024). Collagen and gelatin: Structure, properties, and applications in food industry. *International Journal of Biological Macromolecules*, *254*(November 2023), 128037. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128037

Ahmad, T., Ismail, A., Ahmad, S. A., Khalil, K. A., Awad, E. A., Leo, T. K., & Sazili, A. Q. (2018). Characterization of gelatin from bovine skin extracted using ultrasound subsequent to bromelain pretreatment. *Food Hydrocolloids*, *80*, 264–273. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.036

Ahmed, J. (2017). Rheological Properties of Gelatin and Advances in Measurement. In *Advances in Food Rheology and Its Applications*. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00015-2

Al-Hassan, A. A. (2020). Gelatin from camel skins: Extraction and characterizations. *Food Hydrocolloids*, *101*(April 2019), 105457.

https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105457

Al-Saidi, G., Rahman, M. S., Al-Alawi, A., & Guizani, N. (2011). Thermal characteristics of gelatin extracted from shaari fish skin Effects of extraction conditions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *104*(2), 593–603. https://doi.org/10.1007/s10973-010-1240-8

Almeida, Poliana Fernandez De, Reinaldo, J., & Caetano, S. (2013). Quality assurance and economical feasibility of an innovative product obtained from a byproduct of the meat industry in Brazil. *African Journal of Business Management*, *7*(27), 2745–2756. https://doi.org/10.5897/AJBM2013.6977

Almeida, Poliana Fernandes, & Lannes, S. C. D. S. (2013). Extraction and physicochemical characterization of gelatin from chicken by-product. *Journal of Food Process Engineering*, *36*(6), 824–833. https://doi.org/10.1111/jfpe.12051

Almeida, Poliana Fernandes, & Lannes, S. C. da S. (2017). Effects of chicken by-product gelatin on the physicochemical properties and texture of chocolate spread. *Journal of Texture Studies*, *48*(5), 392–402. https://doi.org/10.1111/jtxs.12242

Antoniewski, M. N., & Barringer, S. A. (2010). Meat shelf-life and extension using collagen/gelatin coatings: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *50*(7), 644–653. https://doi.org/10.1080/10408390802606691

Aoac. (2005). Official Methods of Analysis, 18th edn. *Association of Official Analytical Chemists*, Washington DC, USA (2005).

Avena-Bustillos, R. J., Olsen, C. W., Olson, D. A., Chiou, B., Yee, E., Bechtel, P. J., & McHugh, T. H. (2006). Water vapor permeability of mammalian and fish gelatin films. *Journal of Food Science*, *71*(4), 202–207. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00016.x

Aykın, E., & Erbaş, M. (2016). Farkli KaynaklardanÜretileJelatiniÖzellikleri Ve SağlikÜzerinEtkileri. *Gida / the Journal of Food*, *41*, 179–186. https://doi.org/10.15237/gida.gd15061

Badii, F., MacNaughtan, W., Mitchell, J. R., & Farhat, I. A. (2014). The Effect of Drying Temperature on Physical Properties of Thin Gelatin Films. *Drying Technology*, *32*(1), 30–38. https://doi.org/10.1080/07373937.2013.808206

Badii, Farah, & Howell, N. K. (2006). Fish gelatin: Structure, gelling properties and interaction with egg albumen proteins. *Food Hydrocolloids*, *20*(5), 630–640. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.06.006

Balti, R., Jridi, M., Sila, A., Souissi, N., Nedjar-Arroume, N., Guillochon, D., & Nasri, M. (2011). Extraction and functional properties of gelatin from the skin of cuttlefish (Sepia officinalis) using smooth hound crude acid protease-aided process. *Food Hydrocolloids*, *25*(5), 943–950. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.005

Benjakul, S., Oungbho, K., Visessanguan, W., Thiansilakul, Y., & Roytrakul, S. (2009). Characteristics of gelatin from the skins of bigeye snapper, Priacanthus tayenus and Priacanthus macracanthus. *Food Chemistry*, *116*(2), 445–451.

https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.063

Bergo, P., Moraes, I. C. F., & Sobral, P. J. A. (2013). Effects of plasticizer concentration and type on moisture content in gelatin films. *Food Hydrocolloids*, *32*(2), 412–415. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.01.015

Bergo, P., & Sobral, P. J. A. (2007). Effects of plasticizer on physical properties of pigskin gelatin films. *Food Hydrocolloids*, *21*(8), 1285–1289. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.09.014

Binsi, P. K., Shamasundar, B. A., Dileep, A. O., Badii, F., & Howell, N. K. (2009). Rheological and functional properties of gelatin from the skin of Bigeye snapper (Priacanthus hamrur) fish: Influence of gelatin on the gel-forming ability of fish mince. *Food Hydrocolloids*, *23*(1), 132–145. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.12.004

Bohidar, H. B., & Jena, S. S. (1993). Kinetics of sol-gel transition in thermoreversible gelation of gelatin. *The Journal of Chemical Physics*, *98*(11), 8970–8977. https://doi.org/10.1063/1.464456

Boran, G. (2011). Gelatin as a food additive: structure, characteristics, production, applications and quality. *GIDA-Journal of Food*, *36*(2), 97–104.

Cao, N., Fu, Y., & He, J. (2007). Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films. *Food Hydrocolloids*, *21*(7), 1153–1162. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.09.001

Chakka, A. K., Muhammed, A., Sakhare, P. Z., & Bhaskar, N. (2017). Poultry Processing Waste as an Alternative Source for Mammalian Gelatin: Extraction and Characterization of Gelatin from Chicken Feet Using Food Grade Acids. *Waste and Biomass Valorization*, *8*(8), 2583–2593. https://doi.org/10.1007/s12649-016-9756-1

Chen, C. H., Kuo, W. S., & Lai, L. S. (2009). Rheological and physical characterization of film-forming solutions and edible films from tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum. *Food Hydrocolloids*, *23*(8), 2132–2140. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.05.015

Cheow, C. S., Norizah, M. S., Kyaw, Z. Y., & Howell, N. K. (2007). Preparation and characterisation of gelatins from the skins of sin croaker (Johnius dussumieri) and shortfin scad (Decapterus macrosoma). *Food Chemistry*, *101*(1), 386–391. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.046

Cho, S. M., Kwak, K. S., Park, D. C., Gu, Y. S., Ji, C. I., Jang, D. H., … Kim, S. B. (2004). Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (Isurus oxyrinchus) cartilage. *Food Hydrocolloids*, *18*(4), 573–579. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.10.001

Cole, C. G. B., & Roberts, J. J. (1997). Gelatine colour measurement. *Meat Science*, *45*(1), 23–31. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00096-4

da Silva Araújo, C., Pino-Hernández, E., Souza Batista, J. T., Sarkis Peixoto Joele, M. R., de Arimateia Rodrigues do Rego, J., & Henriques Lourenço, L. de F. (2021). Optimization of fish gelatin drying processes and characterization of

its properties. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–14. https://doi.org/10.1038/s41598-021-99085-3

Dara, P. K., Raghavankutty, M., Sebastian, N., Chatterjee, N. S., Mathew, S., Ravishankar, C. N., & Anandan, R. (2020). Rheological, Physico-chemical, and Surface-Active Properties of Gelatin Extracted from Bigeye Tuna (Thunnus obesus) Skin Waste. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, *29*(5), 428–444. https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1749745

Doyle, B. B., Bendit, E. G., & Blout, E. R. (1975). Infrared spectroscopy of collagen and collagen-like polypeptides. *Biopolymers*, *14*(5), 937–957. https://doi.org/10.1002/bip.1975.360140505

Du, L., Keplová, L., Khiari, Z., & Betti, M. (2014). Preparation and characterization of gelatin from collagen biomass obtained through a pH-shifting process of mechanically separated turkey meat. *Poultry Science*, *93*(4), 989–1000. https://doi.org/10.3382/ps.2013-03609

Du, L., Khiari, Z., Pietrasik, Z., & Betti, M. (2013). Physicochemical and functional properties of gelatins extracted from turkey and chicken heads. *Poultry Science*, *92*(9), 2463–2474. https://doi.org/10.3382/ps.2013-03161

Duconseille, A., Astruc, T., Quintana, N., Meersman, F., & Sante-Lhoutellier, V. (2015). Gelatin structure and composition linked to hard capsule dissolution: A review. *Food Hydrocolloids*, *43*, 360–376. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.06.006

Ee, S. C., Saari, N., Abas, F., Ismail, A., Abu Bakar, M. K., & Bakar, J. (2019). Properties of chicken head gelatins as affected by extraction method. *International Food Research Journal*, *26*(2), 499–508.

Ellis, A. L., Norton, A. B., Mills, T. B., & Norton, I. T. (2017). Stabilisation of foams by agar gel particles. *Food Hydrocolloids*, *73*, 222–228. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.038

Erge, A., & Zorba, Ö. (2018). Optimization of gelatin extraction from chicken mechanically deboned meat residue using alkaline pre-treatment. *Lwt*, *97*(June), 205–212. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.057

Foastat. (2019). Food and agriculture organization of the united nations, http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL.

Gelatin, https://chembam.com/resources-for-students/the-chemistry-of/gelatin/, Erişim Tarihi : 24.06.2024.

Gómez-Estaca, J., Montero, P., Fernández-Martín, F., & Gómez-Guillén, M. C. (2009). Physico-chemical and film-forming properties of bovine-hide and tuna-skin gelatin: A comparative study. *Journal of Food Engineering*, *90*(4), 480–486. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.022

Gómez-Guillén, M. C., Ihl, M., Bifani, V., Silva, A., & Montero, P. (2007). Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (Ugni molinae Turcz). *Food Hydrocolloids*, *21*(7), 1133–1143. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.08.006

Gómez-Guillén, M. C., Pérez-Mateos, M., Gómez-Estaca, J., López-Caballero, E.,

Giménez, B., & Montero, P. (2009). Fish gelatin: a renewable material for developing active biodegradable films. *Trends in Food Science and Technology*, *20*(1), 3–16. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.10.002

Gomez-Guillen, M. C., Gimenez, B., Lopez-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, *25*(8), 1813–1827. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007

Hajlaoui, K., Abdelhedi, O., Salem, A., Debeaufort, F., Zouari, N., Zhang, Y., & Jridi, M. (2024). Food-grade gelatin from camel skin: Extraction, characterisation and potential use for thin film packaging preparation. *Food Hydrocolloids*, *150*(December 2023), 109698. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109698

Hamzeh, A., Benjakul, S., Sae-leaw, T., & Sinthusamran, S. (2018). Effect of drying methods on gelatin from splendid squid (Loligo formosana) skins. *Food Bioscience*, *26*(September), 96–103. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.10.001

Harrazi, N., Özbek, H. N., Yanık, D. K., Zaghbib, I., & Göğüş, F. (2024). Development and characterization of gelatin-based biodegradable films incorporated with pistachio shell hemicellulose. *Journal of Food Science and Technology*. https://doi.org/10.1007/s13197-024-05968-4

Hashim, P., Mohd Ridzwan, M. S., Bakar, J., & Mat Hashim, D. (2015). Collagen in food and beverage industries. *International Food Research Journal*, *22*(1), 1–8.

Haug, I. J., & Draget, K. I. (2009). Gelatin. *Handbook of Hydrocolloids: Second Edition*, 142–163. https://doi.org/10.1533/9781845695873.142

He, S., Shi, J., Walid, E., Zhang, H., Ma, Y., & Xue, S. J. (2015). Reverse micellar extraction of lectin from black turtle bean (Phaseolus vulgaris): Optimisation of extraction conditions by response surface methodology. *Food Chemistry*, *166*, 93–100. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.156

Hoque, M. S., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2011). Effects of partial hydrolysis and plasticizer content on the properties of film from cuttlefish (Sepia pharaonis) skin gelatin. *Food Hydrocolloids*, *25*(1), 82–90. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.05.008

Hu, G., Chen, J., & Gao, J. (2009). Preparation and characteristics of oxidized potato starch films. *Carbohydrate Polymers*, *76*(2), 291–298. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.032

Huang, T., Tu, Z. cai, Wang, H., Shangguan, X., Zhang, L., Zhang, N. hai, & Bansal, N. (2017). Pectin and enzyme complex modified fish scales gelatin: Rheological behavior, gel properties and nanostructure. *Carbohydrate Polymers*, *156*, 294–302. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.040

Işık, Ç., Parlak, M. E., Kıraç Demirel, F. T., Odabaş, H. İ., Dağdelen, A. F., Yilmaz, M. T., … Sarıcaoğlu, F. T. (2024). Gelatin extraction from chicken skin by conventional and Ohmic heating methods and comparison with commercial halal gelatins. *Food Hydrocolloids*, *150*(November 2023).

https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109694

Jamilah, B., & Harvinder, K. G. (2002). Properties of gelatins from skins of fish - Black tilapia (Oreochromis mossambicus) and red tilapia (Oreochromis nilotica). *Food Chemistry*, *77*(1), 81–84. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00328-4

Jongjareonrak, A., Rawdkuen, S., Chaijan, M., Benjakul, S., Osako, K., & Tanaka, M. (2010). Chemical compositions and characterisation of skin gelatin from farmed giant catfish (Pangasianodon gigas). *Lwt*, *43*(1), 161–165. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.06.012

Kaewruang, P., Benjakul, S., Prodpran, T., Encarnacion, A. B., & Nalinanon, S. (2014). Impact of divalent salts and bovine gelatin on gel properties of phosphorylated gelatin from the skin of unicorn leatherjacket. *Lwt*, *55*(2), 477–482. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.033

Kaewruang, P., Benjakul, S., Prodpran, T., & Nalinanon, S. (2013). Physicochemical and functional properties of gelatin from the skin of unicorn leatherjacket (Aluterus monoceros) as affected by extraction conditions. *Food Bioscience*, *2*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2013.03.002

Kanwate, B. W., Ballari, R. V., & Kudre, T. G. (2019). Influence of spray-drying, freeze-drying and vacuum-drying on physicochemical and functional properties of gelatin from Labeo rohita swim bladder. *International Journal of Biological Macromolecules*, *121*, 135–141. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.015

Karim, A. A., & Bhat, R. (2009). Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food Hydrocolloids*, *23*(3), 563–576. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.002

Karnjanapratum, S., & Benjakul, S. (2020). Asian bullfrog (Rana tigerina) skin gelatin extracted by ultrasound-assisted process: Characteristics and in-vitro cytotoxicity. *International Journal of Biological Macromolecules*, *148*, 391–400. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.150

Karnjanapratum, S., Sinthusamran, S., Sae-leaw, T., Benjakul, S., & Kishimura, H. (2017). Characteristics and Gel Properties of Gelatin from Skin of Asian Bullfrog (Rana tigerina). *Food Biophysics*, *12*(3), 289–298. https://doi.org/10.1007/s11483-017-9485-4

Kavoosi, G., Rahmatollahi, A., Mohammad Mahdi Dadfar, S., & Mohammadi Purfard, A. (2014). Effects of essential oil on the water binding capacity, physico-mechanical properties, antioxidant and antibacterial activity of gelatin films. *Lwt*, *57*(2), 556–561. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.008

Khiari, Z., Rico, D., Martin-Diana, A. B., & Barry-Ryan, C. (2013). Comparison between gelatines extracted from mackerel and blue whiting bones after different pre-treatments. *Food Chemistry*, *139*(1–4), 347–354. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.017

Khiari, Z., Rico, D., Martin-Diana, A. B., & Barry-Ryan, C. (2017). Valorization of fish by-products: rheological, textural and microstructural properties of mackerel skin gelatins. *Journal of Material Cycles and Waste Management*,

19(1), 180–191. https://doi.org/10.1007/s10163-015-0399-2

Kim, H. W., Park, J. H., Yeo, E. J., Hwang, K. E., Song, D. H., Kim, Y. J., & Kim, C. J. (2014). Effect of duck feet gelatin concentration on physicochemical, textural, and sensory properties of duck meat jellies. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *34*(3), 387–394. https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.3.387

Kim, H. W., Song, D. H., Choi, Y. S., Kim, H. Y., Hwang, K. E., Park, J. H., & Kim, C. J. (2012). Effects of soaking pH and extracting temperature on the physicochemical properties of chicken skin gelatin. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *32*(3), 316–322. https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.3.316

Kim, T. K., Ham, Y. K., Shin, D. M., Kim, H. W., Jang, H. W., Kim, Y. B., & Choi, Y. S. (2020). Extraction of crude gelatin from duck skin: effects of heating methods on gelatin yield. *Poultry Science*, *99*(1), 590–596. https://doi.org/10.3382/ps/pez519

Kittiphattanabawon, P., Benjakul, S., Sinthusamran, S., & Kishimura, H. (2016). Gelatin from clown featherback skin: Extraction conditions. *Lwt*, *66*, 186–192. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.029

Kittiphattanabawon, P., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Shahidi, F. (2010). Comparative study on characteristics of gelatin from the skins of brownbanded bamboo shark and blacktip shark as affected by extraction conditions. *Food Hydrocolloids*, *24*(2–3), 164–171. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.09.001

Kobya, M., Senturk, E., & Bayramoglu, M. (2006). Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, *133*(1–3), 172–176. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.10.007

Kommareddy, S., Shenoy, D. B., & Amiji, M. M. (2003). Gelatin Nanoparticles and Their Biofunctionalization. *Nanotechnologies for the Life Sciences*, *1*, 330–352. https://doi.org/10.1002/9783527610419.ntls0011

Kozlov;P.V, & Burdygina, G. (1981). The structure and properties of solid gelatin and the principles of their modification. *Polymer Reviews*, *24*, 651–666.

Kuan, Y. H., Nafchi, A. M., Huda, N., Ariffin, F., & Karim, A. A. (2016). Effects of sugars on the gelation kinetics and texture of duck feet gelatin. *Food Hydrocolloids*, *58*, 267–275. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.025

Kuan, Y. H., Nafchi, A. M., Huda, N., Ariffin, F., & Karim, A. A. (2017). Comparison of physicochemical and functional properties of duck feet and bovine gelatins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *97*(5), 1663–1671. https://doi.org/10.1002/jsfa.7970

Kumar, D. P., Chandra, M. V., Elavarasan, K., & Shamasundar, B. A. (2018). Structural properties of gelatin extracted from croaker fish (Johnius sp) skin waste. *International Journal of Food Properties*, *20*(3), S2612–S2625. https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1381702

Kurozawa, L. E., Park, K. J., & Hubinger, M. D. (2009). Effect of carrier agents on

the physicochemical properties of a spray dried chicken meat protein hydrolysate. *Journal of Food Engineering*, *94*(3–4), 326–333. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.025

Kwak, K. S., Cho, S. M., Ji, C. Il, Lee, Y. B., & Kim, S. B. (2009). Changes in functional properties of shark (Isurus oxyrinchus) cartilage gelatin produced by different drying methods. *International Journal of Food Science and Technology*, *44*(8), 1480–1484. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01603.x

Laasri, I., Bakkali, M., Torrent, L. M., & Laglaoui, A. (2023). Marine collagen: Unveiling the blue resource-extraction techniques and multifaceted applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *253*(P6), 127253. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127253

Lee, J. H., Lee, J., & Song, K. Bin. (2015). Development of a chicken feet protein film containing essential oils. *Food Hydrocolloids*, *46*, 208–215. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.020

Lee, S. J., Kim, K. H., Kim, Y. S., Kim, E. K., Hwang, J. W., Lim, B. O., % Park, P. J. (2012). Biological activity from the gelatin hydrolysates of duck skin by-products. *Process Biochemistry*, *47*(7), 1150–1154. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.04.009

Lin, L., Regenstein, J. M., Lv, S., Lu, J., & Jiang, S. (2017). An overview of gelatin derived from aquatic animals: Properties and modification. *Trends in Food Science and Technology*, *68*(2017), 102–112. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.012

Liu, F., Chiou, B. Sen, Avena-Bustillos, R. J., Zhang, Y., Li, Y., McHugh, T. H., & Zhong, F. (2017). Study of combined effects of glycerol and transglutaminase on properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, *65*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.004

Liu, H., Li, D., & Guo, S. (2008). Rheological properties of channel catfish (Ictalurus punctaus) gelatine from fish skins preserved by different methods. *Lwt*, *41*(8), 1425–1430. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.09.006

Liu, J., Xu, G., Yuan, S., & Jiang, P. (2003). The effect of macromolecules on foam stability in sodium dodecyl sulfate/cetylpyridinium bromide mixtures. *Journal of Dispersion Science and Technology*, *24*(6), 779–787. https://doi.org/10.1081/DIS-120025546

Lobo, L. (2002). Coalescence during emulsification: 3. Effect of gelatin on rupture and coalescence. *Journal of Colloid and Interface Science*, *254*(1), 165–174. https://doi.org/10.1006/jcis.2002.8561

Loo, C. P. Y., & Sarbon, N. M. (2020). Chicken skin gelatin films with tapioca starch. *Food Bioscience*, *35*(March), 100589. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100589

Ma, L., Yang, H., Ma, M., Zhang, X., & Zhang, Y. (2018). Mechanical and structural properties of rabbit skin gelatin films. *International Journal of Food Properties*, *21*(1), 1203–1218. https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1476874

Mad-Ali, S., Benjakul, S., Prodpran, T., & Maqsood, S. (2016). Interfacial properties of gelatin from goat skin as influenced by drying methods. *Lwt*, *73*, 102–107. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.048

Mad-Ali, S., Benjakul, S., Prodpran, T., & Maqsood, S. (2017). Characteristics and gel properties of gelatin from goat skin as affected by spray drying. *Drying Technology*, *35*(2), 218–226. https://doi.org/10.1080/07373937.2016.1169543

Mhd Sarbon, N., Badii, F., & Howell, N. K. (2013). Preparation and characterisation of chicken skin gelatin as an alternative to mammalian gelatin. *Food Hydrocolloids*, *30*(1), 143–151. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.009

Montero, P., & Gómez-Guillén, M. C. (2000). Extracting conditions for megrim (Lepidorhombus boscii) skin collagen affect functional properties of the resulting gelatin. *Journal of Food Science*, *65*(3), 434–438. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16022.x

Moraes, I. C. F., Carvalho, R. A., Bittante, A. M. Q. B., Solorza-Feria, J., & Sobral, P. J. A. (2009). Film forming solutions based on gelatin and poly(vinyl alcohol) blends: Thermal and rheological characterizations. *Journal of Food Engineering*, *95*(4), 588–596. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.023

Mulyani, S., Setyabudi, F. S. M. C. S., Pranoto, Y., & Santoso, U. (2017). Physicochemical properties of gelatin extracted from buffalo hide pretreated with different acids. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, *37*(5), 708–715. https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.5.708

Muyonga, J. H., Cole, C. G. B., & Duodu, K. G. (2004a). Characterisation of acid soluble collagen from skins of young and adult Nile perch (Lates niloticus). *Food Chemistry*, *85*(1), 81–89. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.06.006

Muyonga, J. H., Cole, C. G. B., & Duodu, K. G. (2004b). Extraction and physico-chemical characterisation of Nile perch (Lates niloticus) skin and bone gelatin. *Food Hydrocolloids*, *18*(4), 581–592. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.08.009

Nagarajan, M., Benjakul, S., Prodpran, T., Songtipya, P., & Kishimura, H. (2012). Characteristics and functional properties of gelatin from splendid squid (Loligo formosana) skin as affected by extraction temperatures. *Food Hydrocolloids*, *29*(2), 389–397. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.04.001

Nalinanon, S., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Kishimura, H. (2008). Improvement of gelatin extraction from bigeye snapper skin using pepsin-aided process in combination with protease inhibitor. *Food Hydrocolloids*, *22*(4), 615–622. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.01.012

Nazmi, N. N., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2017). Preparation and characterization of chicken skin gelatin/CMC composite film as compared to bovine gelatin film. *Food Bioscience*, *19*(March), 149–155. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.07.002

Nik Muhammad, N. A., Huda, N., Karim, A. A., & Mohammadi Nafchi, A. (2018). Effects of acid type extraction on characterization and sensory profile of duck feet gelatin: towards finding bovine gelatin alternative. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *12*(1), 480–486. https://doi.org/10.1007/s11694-017-9661-8

Nilsuwan, K., Benjakul, S., & Prodpran, T. (2016). Influence of palm oil and glycerol on properties of fish skin gelatin-based films. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(6), 2715–2724. https://doi.org/10.1007/s13197-016-2243-7

Ninan, G., Joseph, J., & Abubacker, Z. (2010). Physical, Mechanical, and Barrier Properties of Carp and Mammalian Skin Gelatin Films. *Journal of Food Science*, *75*(9), 620–626. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01851.x

Ninan, G., Joseph, J., & Aliyamveettil, Z. A. (2014). A comparative study on the physical, chemical and functional properties of carp skin and mammalian gelatins. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(9), 2085–2091. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0681-4

Noor, N. Q. I. M., Razali, R. S., Ismail, N. K., Ramli, R. A., Razali, U. H. M., Bahauddin, A. R., … Shaarani, S. M. (2021). Application of green technology in gelatin extraction: A review. *Processes*, *9*(12). https://doi.org/10.3390/pr9122227

Nor, M. H. M., Nazmi, N. N. M., & Sarbon, N. M. (2017). Effects of plasticizer concentrations on functional properties of chicken skin gelatin films. *International Food Research Journal*, *24*(5), 1910–1918.

Nordin, N., Othman, S. H., Rashid, S. A., & Basha, R. K. (2020). Effects of glycerol and thymol on physical, mechanical, and thermal properties of corn starch films. *Food Hydrocolloids*, *106*(March), 105884. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105884

Núñez-Flores, R., Giménez, B., Fernández-Martín, F., López-Caballero, M. E., Montero, M. P., & Gómez-Guillén, M. C. (2013). Physical and functional characterization of active fish gelatin films incorporated with lignin. *Food Hydrocolloids*, *30*(1), 163–172. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.017

Nur Hanani, Z. A., McNamara, J., Roos, Y. H., & Kerry, J. P. (2013). Effect of plasticizer content on the functional properties of extruded gelatin-based composite films. *Food Hydrocolloids*, *31*(2), 264–269. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.10.009

Nur Hanani, Z. A., Roos, Y. H., & Kerry, J. P. (2012). Use of beef, pork and fish gelatin sources in the manufacture of films and assessment of their composition and mechanical properties. *Food Hydrocolloids*, *29*(1), 144–151. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.01.015

Koyubenbe, N., & Konca, Y. (2010). Türkiye ve Avrupa Birliği'nde Hindi Eti Üretimi, Tüketimi ve Politikaları - Production, Consumption and Policies of the turkey meat in Europe Union and Turkey. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg*, *47*(2), 201–209.

Ogawa, M., Portier, R. J., Moody, M. W., Bell, J., Schexnayder, M. A., & Losso, J. N. (2004). Biochemical properties of bone and scale collagens isolated from the subtropical fish black drum (Pogonia cromis) and sheepshead seabream (Archosargus probatocephalus). *Food Chemistry*, *88*(4), 495–501. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.006

Özer, H., & Özbey, O. (2013). Beyaz ve Bronz Hindilerin (Meleagris gallopavo) Entansif ve Yarı Entansif Şartlarda Bazı Verim Özellikleri: 2. Kesim ve Karkas Özellikleri. *F.Ü.Sağ.Bil.Vet.Derg.*, *27*(3), 135–140. Retrieved from http://www.fusabil.org

Park, S. Il, & Zhao, Y. (2004). Incorporation of a High Concentration of Mineral or Vitamin into Chitosan-Based Films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *52*(7), 1933–1939. https://doi.org/10.1021/jf034612p

Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. do A., & Menegalli, F. C. (2013). Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (Musa paradisiaca). *Food Hydrocolloids*, *30*(2), 681–690. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.08.007

Pirsa, S., & Hafezi, K. (2023). Hydrocolloids: Structure, preparation method, and application in food industry. *Food Chemistry*, *399*(August 2022), 133967. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133967

Qi, X. M., Liu, S. Y., Chu, F. B., Pang, S., Liang, Y. R., Guan, Y., … Sun, R. C. (2016). Preparation and characterization of blended films from quaternized hemicelluloses and carboxymethyl cellulose. *Materials*, *9*(1), 1–12. https://doi.org/10.3390/ma9010004

Rafieian, F., Keramat, J., & Kadivar, M. (2013). Optimization of gelatin extraction from chicken deboner residue using RSM method. *Journal of Food Science and Technology*, *50*(2), 374–380. https://doi.org/10.1007/s13197-011-0355-7

Rafieian, F., Keramat, J., & Shahedi, M. (2015). Physicochemical properties of gelatin extracted from chicken deboner residue. *Lwt*, *64*(2), 1370–1375. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.050

Rahman, M. N. ., & Jamalulail, S. A. S. K. A. (2012). Extraction , Physicochemical Characterizations and Sensory. *Borneo Science*, *30*(March), 1–13.

Rahman, M. S., & Al-Mahrouqi, A. I. (2009). Instrumental texture profile analysis of gelatin gel extracted from grouper skin and commercial (bovine and porcine) gelatin gels. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *60*(SUPPL. 7), 229–242. https://doi.org/10.1080/09637480902984414

Rammaya, K., Ying, V. Q., & Babji, A. S. (2012). Physicochemical Analysis of Gelatin Extracted from Mechanically Deboned Chicken Meat (MDCM) Residue. *International Journal of Food, Nutrition and Public Health*, *5*(1-2–3), 147–168. https://doi.org/10.47556/j.ijfnph.5.1-2-3.2012.9

Ramos, Ó. L., Reinas, I., Silva, S. I., Fernandes, J. C., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N., … Malcata, F. X. (2013). Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. *Food Hydrocolloids*, *30*(1), 110–122. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.001

Rasid, N. A. M., Nazmi, N. N. M., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2018). Rheological, functional and antioxidant properties of films forming solution and active gelatin films incorporated with Centella asiatica (L.) urban extract. *Food Packaging and Shelf Life*, *18*(November 2017), 115–124. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.10.002

Rasli, H. I., & Sarbon, N. M. (2015). Effects of different drying methods on the rheological, functional and structural properties of chicken skin gelatin compared to bovine gelatin. *International Food Research Journal*, *22*(2), 584–592.

Rather, J. A., Majid, S. D., Dar, A. H., Amin, T., Makroo, H. A., Mir, S. A., % Dar, B. N. (2022). Extraction of Gelatin From Poultry Byproduct: Influence of Drying Method on Structural, Thermal, Functional, and Rheological Characteristics of the Dried Gelatin Powder. *Frontiers in Nutrition*, *9*(June), 1–14. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.895197

Rodríguez-Díaz, J. C., Tonon, R. V., & Hubinger, M. D. (2014). Spray Drying of Blue Shark Skin Protein Hydrolysate: Physical, Morphological, and Antioxidant Properties. *Drying Technology*, *32*(16), 1986–1996. https://doi.org/10.1080/07373937.2014.928726

Sae-Leaw, T., Benjakul, S., & O'Brien, N. M. (2016). Effect of Pretreatments and Drying Methods on the Properties and Fishy Odor/Flavor of Gelatin from Seabass (Lates calcarifer) skin. *Drying Technology*, *34*(1), 53–65. https://doi.org/10.1080/07373937.2014.1003071

Saha, D., & Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, *47*(6), 587–597. https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6

Said, N. S., & Sarbon, N. M. (2020). Response surface methodology (RSM) of chicken skin gelatin based composite films with rice starch and curcumin incorporation. *Polymer Testing*, *81*(October 2019), 106161. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106161

Said, N. S., & Sarbon, N. M. (2022). Physical and Mechanical Characteristics of Gelatin-Based Films as a Potential Food Packaging Material: A Review. *Membranes*, *12*(5). https://doi.org/10.3390/membranes12050442

Salem, A., Fakhfakh, N., Jridi, M., Abdelhedi, O., Nasri, M., Debeaufort, F., & Zouari, N. (2020). Microstructure and characteristic properties of dogfish skin gelatin gels prepared by freeze/spray-drying methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, *162*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.033

Santana, J. C. C., Gardim, R. B., Almeida, P. F., Borini, G. B., Quispe, A. P. B., Llanos, S. A. V., … Berssaneti, F. T. (2020). Valorization of chicken feet by-product of the poultry industry: High qualities of gelatin and biofilm from extraction of collagen. *Polymers*, *12*(3). https://doi.org/10.3390/polym12030529

Schrieber , R., & Gareis, H. (2007). Gelatine Handbook. Weinheim. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Sezer, P., Okur, I., Oztop, M. H., & Alpas, H. (2020). Improving the physical properties of fish gelatin by high hydrostatic pressure (HHP) and ultrasonication (US). *International Journal of Food Science and Technology*, *55*(4), 1468–1476. https://doi.org/10.1111/ijfs.14487

Sha, X. M., Hu, Z. Z., Ye, Y. H., Xu, H., & Tu, Z. C. (2019). Effect of extraction temperature on the gelling properties and identification of porcine gelatin. *Food Hydrocolloids*, *92*(November 2018), 163–172. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.059

Sinthusamran, S., Benjakul, S., & Kishimura, H. (2014). Characteristics and gel properties of gelatin from skin of seabass (Lates calcarifer) as influenced by extraction conditions. *Food Chemistry*, *152*, 276–284. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.109

Sinthusamran, S., Benjakul, S., & Kishimura, H. (2015). Molecular characteristics and properties of gelatin from skin of seabass with different sizes. *International Journal of Biological Macromolecules*, *73*(1), 146–153. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.11.024

Sionkowska, A., Skrzyński, S., Śmiechowski, K., & Kołodziejczak, A. (2017). The review of versatile application of collagen. *Polymers for Advanced Technologies*, *28*(1), 4–9. https://doi.org/10.1002/pat.3842

Songchotikunpan, P., Tattiyakul, J., & Supaphol, P. (2008). Extraction and electrospinning of gelatin from fish skin. *International Journal of Biological Macromolecules*, *42*(3), 247–255. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2007.11.005

Soo, P. Y., & Sarbon, N. M. (2018). Preparation and characterization of edible chicken skin gelatin film incorporated with rice flour. *Food Packaging and Shelf Life*, *15*(January), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.12.009

Sow, L. C., Peh, Y. R., Pekerti, B. N., Fu, C., Bansal, N., & Yang, H. (2017). Nanostructural analysis and textural modification of tilapia fish gelatin affected by gellan and calcium chloride addition. *Lwt*, *85*, 137–145. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.014

Subtil, S. F., Rocha-Selmi, G. A., Thomazini, M., Trindade, M. A., Netto, F. M., & Favaro-Trindade, C. S. (2014). Effect of spray drying on the sensory and physical properties of hydrolysed casein using gum arabic as the carrier. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(9), 2014–2021. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0722-z

Suderman, N., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2018a). Characterization on the mechanical and physical properties of chicken skin gelatin films in comparison to mammalian gelatin films. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *440*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/440/1/012033

Suderman, N., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2018b). The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. *Food Bioscience*, *24*(September 2017), 111–119. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.06.006

Suderman, Norafidah, & Sarbon, N. M. (2020). Optimization of chicken skin

gelatin film production with different glycerol concentrations by response surface methodology (RSM) approach. *Journal of Food Science and Technology*, *57*(2), 463–472. https://doi.org/10.1007/s13197-019-04074-0

Surh, J., Gu, Y. S., Decker, E. A., & Mcclements, D. J. (2005). Influence of environmental stresses on stability of O/W emulsions containing cationic droplets stabilized by SDS-fish gelatin membranes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(10), 4236–4244. https://doi.org/10.1021/jf047944i

Taheri, A., Abedian Kenari, A. M., Gildberg, A., & Behnam, S. (2009). Extraction and physicochemical characterization of greater lizardfish (Saurida tumbil) skin and bone gelatin. *Journal of Food Science*, *74*(3). https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01106.x

Tan, C. C., Karim, A. A., Uthumporn, U., & Ghazali, F. C. (2020). Effect of Thermal Treatment on the Physicochemical Properties of Emulsion Stabilized by Gelatin from Black Tilapia (Oreochromis mossambicus) Skin. *Food Biophysics*, *15*(4), 423–432. https://doi.org/10.1007/s11483-020-09638-8

Tang, C., Zhou, K., Zhu, Y., Zhang, W., Xie, Y., Wang, Z., … Xu, B. (2022). Collagen and its derivatives: From structure and properties to their applications in food industry. *Food Hydrocolloids*, *131*(November 2021), 107748. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107748

Tarım ve Orman Bakanlığı. https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/Kanatl%C4%B1%20Hayvanc%C4%B1l%C4%B1k%20Sekt%C3%B6r%20Politika%20Belgesi%202018-2022.pdf, Erişim Tarihi:24.06.2024

Tkaczewska, J., Wielgosz, M., Kulawik, P., & Zając, M. (2019). The effect of drying temperature on the properties of gelatin from carps (Cyprinus carpio) skin. *Czech Journal of Food Sciences*, *37*(4), 246–251. https://doi.org/10.17221/128/2018-CJFS

Wan Omar, W. H., & Sarbon, N. M. (2016). Effect of drying method on functional properties and antioxidant activities of chicken skin gelatin hydrolysate. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(11), 3928–3938. https://doi.org/10.1007/s13197-016-2379-5

Wang, S., & Langrish, T. (2010). The use of surface active compounds as additives in spray drying. *Drying Technology*, *28*(3), 341–348. https://doi.org/10.1080/07373931003641404

Wang, Y., & Regenstein, J. M. (2009). Effect of EDTA, HCl, and citric acid on Ca salt removal from Asian (silver) carp scales prior to gelatin extraction. *Journal of Food Science*, *74*(6), 426–431. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01202.x

Wangtueai, S., Noomhorm, A., & Regenstein, J. M. (2010). Effect of Microbial Transglutaminase on Gel Properties and Film Characteristics of Gelatin from Lizardfish (Saurida spp.) Scales. *Journal of Food Science*, *75*(9). https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01835.x

Weng, W., Zheng, H., & Su, W. (2014). Characterization of edible films based on tilapia (Tilapia zillii) scale gelatin with different extraction pH. *Food*

Hydrocolloids, *41*, 19–26. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.026

Xiong, Y. L., & Blanchard, S. P. (1994). Rheological Properties of Salt-Soluble Protein from White and Red Skeletal Muscles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *42*(8), 1624–1628. https://doi.org/10.1021/jf00044a008

Yakimets, I., Wellner, N., Smith, A. C., Wilson, R. H., Farhat, I., & Mitchell, J. (2005). Mechanical properties with respect to water content of gelatin films in glassy state. *Polymer*, *46*(26), 12577–12585. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.10.090

Yasin, H., Babji, A. S., & Norrakiah, A. S. (2017). Modification of chicken feet gelatin with aqueous sweet basil and lemongrass extract. *Lwt*, *77*, 72–79. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.045

Yetim, H. (2011). *Jelatin Üretimi, Özellikleı ve Kullanımı*. 1. Ulusal Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi, 19-20 Kasım 2011, Ankara.

Yıldırım-Yalçın, M., Şeker, M., & Sadıkoğlu, H. (2019). Development and characterization of edible films based on modified corn starch and grape juice. *Food Chemistry*, *292*(April), 6–13. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.006

Yuliani, D., Maunatin, A., Jannah, A., & Fauziyyah, H. H. (2019). Effect of phosphoric acid pretreatment on characterization of gelatin from broiler chicken (Gallus gallus domesticus L.) bones. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *293*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/293/1/012013

Yuliani, Dewi, Awalsasi, D. R., & Jannah, A. (2019). Characterization of Gelatin Profile of Chicken Broiler (Gallus domestica) Bone Using SDS-PAGE Electrophoresis. *Alchemy*, *7*(1), 7. https://doi.org/10.18860/al.v7i1.7437

Zarai, Z., Balti, R., Mejdoub, H., Gargouri, Y., & Sayari, A. (2012). Process for extracting gelatin from marine snail (Hexaplex trunculus): Chemical composition and functional properties. *Process Biochemistry*, *47*(12), 1779–1784. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.06.007

Zhang, T., Sun, R., Ding, M., Tao, L., Liu, L., Tao, N., & Zhong, J. (2020). Effect of extraction methods on the structural characteristics, functional properties, and emulsion stabilization ability of Tilapia skin gelatins. *Food Chemistry*, *328*(February), 127114. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127114

Zhu, Y., Bhandari, B., & Prakash, S. (2018). Tribo-rheometry behaviour and gel strength of κ-carrageenan and gelatin solutions at concentrations, pH and ionic conditions used in dairy products. *Food Hydrocolloids*, *84*(March), 292–302. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.06.016

Zilhadia, Yahdiana, H., Irwandi, J., & Effionora, A. (2018). Characterization and functional properties of gelatin extracted from goatskin. *International Food Research Journal*, *25*(1), 275–281.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Ozcan Y., Kurt, A. & Toker, O. S. "Effects Of Drying Methods On Physicochemıcal And Rheological Properties of Turkey(*Meleagris Gallopavo*) Skın Gelatin", 2nd International Congress on Food Researches, 16-18 October, 2023, Sivas, Turkiye, oral presentation, p.p. 816.

Makaleler

1. Ozcan, Y., Kurt, A., Ozmen, D., & Toker, O. S. (2023). Gelatin production from Turkey (Meleagris gallopavo) skin as a new source: from waste to a sustainable food gelling agent. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(11), 5511-5520.

2. Ozcan, Y., Kurt, A., Yildirim-Yalcin, M., & Toker, O. S. (2024). Development and structural characterisation of gelatin-based sustainable food packaging from turkey (Meleagris gallopavo) skin by-product. *International Journal of Food Science & Technology*, https://doi.org/10.1111/ijfs.17360