

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL KATKI MADDELERİ KULLANILARAK GIDA
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE PARAMETRE
OPTİMİZASYONUNUN İNCELENMESİ

Bilge ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Nil ACARALI

Temmuz, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL KATKI MADDELERİ KULLANILARAK GIDA
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE PARAMETRE
OPTİMİZASYONUNUN İNCELENMESİ**

Bilge ÇELİK tarafından hazırlanan tez çalışması 04.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimya Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Nil ACARALI
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Nil ACARALI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Fatma Jale GÜLEN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Selva ÇAVUŞ, Üye
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Danışmanım Doç. Dr. Nil ACARALI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Doğal Katkı Maddeleri Kullanılarak Gıda Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Parametre Optimizasyonunun İncelenmesi” 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.

Bilge ÇELİK

İmza



Aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca bana hep yol gösteren, her anlamda destek olan, engin bilgi ve tecrübeleriyle beni sürekli aydınlatan ve kendisinden çok şey öğrendiğim sevgili danışman hocam Doç. Dr. Nil ACARALI' ya ve jürideki tüm değerli hocalarıma,

Analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlayan YTÜ Merkez Laboratuvarındaki hocalarıma,

Tez çalışmam boyunca beni motive eden, hep yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bilge ÇELİK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
2 AYVA	4
2.1 Ayva Çekirdeği Müsilajı	5
2.2 Müsilajın Gıda Endüstrisindeki Yeri	6
3 YUMURTA KABUĞU	8
3.1 Yumurta Kabuğunun Yapısı	8
4 KARİDES KABUĞU	11
4.1 Kitin ve Yapısı	11
4.2 Kitosan ve Yapısı	13
4.2.1 Kimyasal Ekstraksiyon	15
4.2.2 Biyolojik Ekstraksiyon	15
4.2.3 Mikrobiyal Ekstraksiyon	16
4.3 Kitin ve Kitosanın Gıda Endüstrisindeki Uygulamaları	16
5 SÜT ÜRÜNLERİNİN RAF ÖMRÜNÜ ETKİLEYEN PARAMETRELER	18
5.1 Yoğurt	19
5.2 Süt Ürünlerinde Raf Ömrü Parametreleri	21
6 NEM SORPSİYON İZOTERMLERİ	23
6.1 Kimyasal Bileşim ve Nem Sorpsiyonu İlişkisi	24
6.2 Sıcaklık ve Nem Sorpsiyonu İlişkisi	24
6.3 pH, Işık ve Oksijen ile Nem Sorpsiyonu İlişkisi	25

6.4	Matematiksel Model Denklemleri.....	26
6.4.1	Brunauer-Emmett-Teller (BET) Modeli	26
6.4.2	Langmuir Modeli	26
6.4.3	Halsey Modeli	27
6.4.4	Smith Modeli	27
6.4.5	Guggenheim, Anderson ve De Boer (GAB) Modeli	28
6.4.6	Oswin Modeli	28
6.4.7	Henderson Modeli	29
6.4.8	Peleg Modeli	29
7	GIDA ENDÜSTRİSİNDE ENKAPSÜLASYON UYGULAMALARI	30
7.1	Enkapsülasyon Yöntemleri	31
7.1.1	İyonik Jelasyon (Damlatma) Yöntemi	32
7.2	Kaplama Materyalinin Özellikleri	33
7.3	Mikroenkapsülasyon	33
7.4	Nanoenkapsülasyon	34
8	LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	35
9	OPTİMİZASYON	39
9.1	Kimya Mühendisliğinde Optimizasyon	39
9.2	Design Expert.....	40
10	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
10.1	Malzemeler ve Cihazlar	42
10.2	Metot	42
10.2.1	Yoğurt Numunelerinin Hazırlanması.....	42
10.2.2	Doğal Katkı Maddelerinin Hazırlanması	43
10.2.3	Deneyin Yapılışı	45
10.3	Karakterizasyon	53
10.3.1	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	53
10.3.2	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR)Analizi	54
10.3.3	X-Işını Difraktometresi (XRD) Analizi	55
11	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	56
11.1	Design Expert Sonuçları	56
11.2	Nem Sorpsiyon İzoterm Sonuçları	63
11.3	FT-IR Analizi Sonuçları.....	71
11.4	SEM Analizi Sonuçları	74

11.5 XRD Analizi Sonuçları	77
11.6 Duyusal Test Sonuçları	78
12 SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKÇA	88
TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR	97



SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
x	Bağımsız Değişken
y	Bağımlı Değişken
Cu	Bakır
β	Beta
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
M_{deneysel}	Deneysel Denge Nem İçeriği
A, B, C, D	Denklem Sabitleri
C_1, C_2, C_3, C_4	Denklem Sabitleri
$^{\circ}\text{C}$	Derece Selsius
μ	Dinamik Viskozite
$M_{\text{hesaplanan}}$	Hesaplanan Denge Nem İçeriği
HCl	Hidroklorik Asit
OH	Hidroksit
R	İdeal Gaz Sabiti
CaCO_3	Kalsiyum Karbonat
C=O	Karbon-Oksijen Çift Bağı
M	Kilogram/Kilogram Kuru Madde
M_0	Kilogram/Kilogram Kuru Madde (Tek Tabaka)
Kg	Kilogram
v	Kinematik Viskozite
Lm	Linolyum
LiCl	Lityum Klorür

SİMGE LİSTESİ (Devamı)

MgCl ₂	Magnezyum Klorür
CH ₂	Metilen
m ³	Metreküp
µm	Mikrometre
mA	Miliamper
G,K	Moleküllerin Enerji Sabitleri
M _C	Nem İçeriği
N	Newton
CH ₃ COOK	Potasyum Asetat
K ₂ CO ₃	Potasyum Karbonat
KCl	Potasyum Klorür
R ²	Regresyon Katsayısı
Cm	Santimetre
°C	Selsius
T	Sıcaklık
NaBr	Sodyum Bromür
NaOH	Sodyum Hidroksit
NaCl	Sodyum Klorür
C	Sorpsiyonun Net Isısı Sabiti
a _w	Su Aktivitesi
θ	Teta
ρ	Yoğunluk
t	Zaman

KISALTMA LİSTESİ

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
BET	Brunauer-Emmett-Teller
CAC	Codex Alimentarius Komisyonu
DHA	Dokzahekzaenoik Asit
EPA	Eikozapentaenoik Asit
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GAB	Guggenheim, Anderson ve De Boer
IR	Kızılötesi Spektroskopisi
RH	Bağıl Nem
RMSE	Ortalama Hataların Kareleri Toplamı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UV	Ultraviyole
XRD	X-Işını Kırınımı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Yumurta kabuğu yapısı	8
Şekil 4.1 Kitin kimyasal molekül yapısı.....	13
Şekil 4.2 Kitosan kimyasal molekül yapısı	14
Şekil 4.3 Humarus Americanus içerisindeki kitin lifleri	14
Şekil 6.1 Gıdalar için genel sorpsiyon izotermi	23
Şekil 6.2 Sıcaklık faktörüne bağlı olarak nem sorpsiyon izotermi.....	25
Şekil 10.1 Geleneksel (ev tipi) yoğurt üretim süreci	43
Şekil 10.2 a) Ayva, b) Ayva çekirdeği, c) Çekirdeklerin saf suda bekletilmesi....	44
Şekil 10.3 Ayva çekirdeği müsilağı.....	44
Şekil 10.4 a) Yumurta kabuğu, b) Kurutma sonrası, c) Öğütme işlemi sonrası....	45
Şekil 10.5 a) Karides kabukları, b) Kurutulduktan sonra, c) Toz halinde karides kabuğu.....	45
Şekil 10.6 Depolama süresi sonunda referans ve optimum yoğurt numunelerinin görünümü a) 1. gün, b) 20. gün.....	47
Şekil 10.7 a) Ubbelohde viskozimetresi, b) Yoğurt numuneleri viskozite ölçümü.....	47
Şekil 10.8 Kurutulmuş toz yoğurt a) Referans b) Optimum.....	48
Şekil 10.9 Doygun tuz çözeltileri içerisinde bekletilen toz yoğurt numuneleri	50
Şekil 10.10 Damlatma yöntemi deneysel sürecinin şema ile gösterimi	52
Şekil 10.11 a) SEM cihazı, b) Kaplama cihazı.....	54
Şekil 11.1 Tahmini ve gerçek viskozite arasındaki ilişki grafiği	58
Şekil 11.2 Deney parametrelerinin viskozite ile ilişkisi	61
Şekil 11.3 Design Expert üç boyutlu grafikleri	62
Şekil 11.4 Farklı sıcaklık koşulu için referans yoğurt numunesi adsorpsiyon izotermi	63
Şekil 11.5 Farklı sıcaklık koşulu için optimum yoğurt numunesi adsorpsiyon izotermi	63
Şekil 11.6 Optimum ve referans yoğurt numunelerinin a) 15°C b) 25°C ve c) 35°C sıcaklıklarda deneysel ve Halsey izotermi	68
Şekil 11.7 Optimum ve referans yoğurt numunelerinin a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C sıcaklıklarda deneysel ve Henderson izotermi	69
Şekil 11.8 Optimum ve referans yoğurt numunelerinin a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C sıcaklıklarda deneysel ve Peleg izotermi.....	70
Şekil 11.9 Yumurta kabuğu tozu FT-IR spektrumu	71

ŞEKİL LİSTESİ (Devamı)

Şekil 11.10 Ayva çekirdeği müsilağına ait FT-IR spektrumu	72
Şekil 11.11 Referans yoğurt numunesinin FT-IR spektrumu	73
Şekil 11.12 Optimum yoğurt numunesine ait FT-IR spektrumu	73
Şekil 11.13 Ayva çekirdeği müsilağı SEM görüntüsü (x10000 büyütme).....	74
Şekil 11.14 Yumurta kabuğı SEM görüntüsü a) x10000 büyütme, b) x10000 büyütme c) x1000 büyütme d) x5000 büyütme	75
Şekil 11.15 Referans yoğurt numunesi SEM görüntüleri a) x100 büyütme, b) x 500 büyütme, c) x1000 büyütme, d) x5000 büyütme	76
Şekil 11.16 Optimum yoğurt numunesi SEM görüntüleri a) x100 büyütme, b) x500 büyütme, c) x1000 büyütme, d) x5000 büyütme	76
Şekil 11.17 Referans yoğurt numunesi için XRD analiz grafiğı	77
Şekil 11.18 Optimum yoğurt numunesi için XRD analiz grafiğı	78
Şekil 11.19 Yoğurt numunelerinin görünüşüne ait puanlama grafiğı	79
Şekil 11.20 Yoğurt numunelerinin rengine ait puanlama grafiğı	80
Şekil 11.21 Yoğurt numunelerinin kıvamına ait puanlama grafiğı	81
Şekil 11.22 Yoğurt numunelerinin tadına ait puanlama grafiğı	82
Şekil 11.23 Yoğurt numunelerinin kokusuna ait puanlama grafiğı.....	83

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Türkiye’de ayva üretimi.....	5
Tablo 3.1 Yumurta kabuğu bileşenleri.....	9
Tablo 4.1 Kitin ve türevlerinin biyomateryal olarak uygulamaları.....	16
Tablo 10.1 Design Expert deney seti	46
Tablo 10.2 Tuz çözeltilerinin 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıkta su aktivitesi değerleri	49
Tablo 10.3 Sorpsiyon izotermi için Halsey, Henderson ve Peleg denklemleri	50
Tablo 11.1 Kinematik ve dinamik viskozite sonuçları.....	56
Tablo 11.2 Varyans analizi sonuçları.....	57
Tablo 11.3 Model istatistik verileri	57
Tablo 11.4 Kuadratik model denklemi değişken ve katsayıları	58
Tablo 11.5 Farklı sıcaklıklarda sorpsiyon izotermi için tahmini denklem parametreleri	64
Tablo 11.6 Referans ve optimum yoğurt numunelerine ait duyusal test sonuçları.....	79

Doğal Katkı Maddeleri Kullanılarak Gıda Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Parametre Optimizasyonunun İncelenmesi

Bilge ÇELİK

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Nil ACARALI

Gıda sektöründe yeni özelliklerde kaliteli ürün elde etmek amacıyla doğal katkı maddelere olan talep gün geçtikçe giderek yükselmektedir. Gıda endüstrisinin en önemli sınıflarından biri olan süt ve süt ürünleri grubunda özellikle ürün stabilitesini sağlamak ve raf ömrünü uzatmak başta olmak üzere ürünü daha doğal içeriklerle zenginleştirmek ve ürünün değerini arttırmak amacıyla farklı teknolojik yöntemler uygulanmaktadır. Gıdaya eklenen doğal katkı maddeleri üründe viskozite arttırma, nem tutma, mikrobiyal duysal ve yapısal özelliklerinin geliştirilmesi ile ürün performansını arttırmak amacıyla kullanılmakta olup endüstride doğal katkılara olan eğilim artarak devam etmektedir. Endüstriyel çalışmalarda süt ürünlerinde gıda stabilitesini korumak, raf ömrünü uzatmak ve ürün performansını üst düzeye çıkarmak amacıyla enkapsülasyon uygulamalarına yer verilmektedir. Uygulama amacına göre farklı enkapsülasyon metodları tercih edilmektedir. Bu çalışmada ev yapımı yoğurt numunelerine doğal katkı maddeleri olarak yumurta kabuğu tozu ve ayva çekirdeği müsilajı ilave edilerek yoğurdun

fiziksel ve duyuşal olarak kabul edilebilirliği yüksek, kaliteli bir ürün geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Design Expert optimizasyon metodu oluşturularak ayva çekirdeği müsilajının yoğurt viskozitesine olan etkisi sıcaklık, karıştırma süresi ve karıştırma hızı parametreleri yönünden değerlendirilmiştir. Yoğurt numuneleri içerisine ayva çekirdeği müsilajı viskoziteyi arttırmak, yumurta kabuğu tozu nem tutucu olarak raf ömrünü arttırmak ve yüksek kalsiyum içeriği ile ürünü besin değeri açısından zenginleştirmek amacıyla eklenmiştir. Yumurta kabuğu tozunun nem adsorplama performansını incelemek amacıyla adsorpsiyon izotermeleri oluşturulmuş ve SPSS istatistiksel analiz programı ile uygun model denklemi belirlenmiştir. Ayrıca, en uygun enkapsülasyon metodunun uygulanmasıyla yoğurt numunelerinde aroma enkapsülasyonu gerçekleştirilerek duyuşal özelliği yüksek ürün geliştirmek hedeflenmiştir. Enkapsülasyon tekniği olarak iyonik jelasyon yöntemi kullanılmıştır. Enkapslasyonda aktif materyal olarak doğal elma aroması, kaplama materyali olarak toz haline getirilen karides kabuğu tozu ve ayva çekirdeği müsilajı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada ürünün kalitesini geliştirmek ve en doğru sonuca ulaşabilmek için farklı seviyelerde optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Yoğurdun kimyasal yapısındaki değişimleri incelemek ve ürün karakterizasyonunu tespit etmek amacıyla Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR), X- Işını Difraktometresi (XRD) analizleri yapılmıştır. Yoğurt rneklerinin renk, tat, kıvam, koku ve görünüm özelliklerini değerlendirmek amacıyla duyuşal testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan alışmalar değerlendirildiğinde yoğurda eklenen doğal katkı maddelerinin yoğurdun fiziksel özelliklerini ve kalitesini iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yoğurt, enkapsülasyon, viskozite, ayva çekirdeği müsilajı, karides kabuğu

Improvement of Food Properties Using Natural Additives and Investigation of Parameter Optimization

Bilge ÇELİK

Department of Chemical Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nil ACARALI

The demand for natural additives is increasing daily with the purpose of achieve quality products with new features in the food industry. In the milk and dairy products category, which is one of the foremost classes of the food industry, different technological methods are applied in order to enrich the product with more natural ingredients and increase the value of the product, especially to ensure product stability and extend the shelf life. Natural additives added to food can increase viscosity, moisture retention, microbial, textural and sensory properties in the product. It is used to improve product performance by improving properties, and the trend towards natural additives in the industry continues to increase. In industrial studies, encapsulation practices are used in order to preserve food stability, extend shelf life and maximize product performance in dairy products. Different encapsulation methods are preferred according to the application aim. In the present study, it is mean to improve a high quality product with physical and sensory acceptability of yogurt by adding powdered eggshell and quince seed mucilage as natural additives to homemade yogurt samples. By using the Design

Expert optimization method, the effect of quince seed mucilage on yogurt viscosity was evaluated in terms of temperature, mixing time and mixing speed parameters. Quince seed mucilage was put into the yogurt samples to enhance the viscosity and eggshell powder was appended as a humectant agent to extend the shelf life and enhancing the product in terms of nutritional value with its high calcium content. In order to examine the moisture adsorption performance of eggshell powder, adsorption isotherms were created and the appropriate model equation was determined with the SPSS statistical analysis program. Incidentally, it is targeted to enhancing of products with high sensory properties by performing aroma encapsulation in yogurt samples by implementing the most appropriate encapsulation technique. The ionic gelation method was utilized as the encapsulation technique. In encapsulation, natural flavoring was preferred as active material, powdered shrimp shells and quince seed mucilage were preferred as coating material. In addition, flavor encapsulation was carried out in yogurt samples by applying the most appropriate encapsulation method. In the study, optimization studies were carried out at different levels as improve the quality of the product and to achieve the best and correct result. Scanning Electron Microscope (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR), X-Ray Diffractometry (XRD) analyzes were performed to examine the changes in the chemical structure of yogurt and to determine the product characterization. Sensory tests were carried out to evaluate the color, taste, consistency, odor and appearance properties of yogurt samples. Consequentially of the studies, it has been examined that natural additives added to yogurt improve the properties and quality of yogurt.

Keywords: Yogurt, encapsulation, viscosity, quince seed mucilage, shrimp shell

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde gıda endüstrisinin etkin bir dalı olan süt ve süt ürünleri sektörü birçok ülkede önemli bir konumda yer tutmaktadır [1]. Süt ve süt ürünleri, insan organizmasının büyümesi için gerekli olan besinlerin alımında vazgeçilmez bir yer tuttuğu ve sağlık durumu farklı olan her yaş kategorisi tüketicinin değerlendirilebileceği önemli bir besindir [2].

Memeli hayvanların dişileri tarafından salgılanan süt, memeli yavrularının büyümesi ve gelişimi açısından gerekli sıvı formda bir gıdadır. Codex Alimentarius Komisyonu'nun (CAC) süt tanımı; sağılan hayvanlardan sağım sonucu elde edilen, sıvı olarak direkt veya farklı işlemlerden geçerek tüketilen bir besin maddesi şeklinde ifade edilmektedir. Dünya genelinde hayvanlardan elde edilen sütün büyük bir miktarı (%85) ineklerden sağlanırken, sırayı %11 oranı ile mandalar, %2'lik oran ile koyun ve keçiler takip etmektedir. Global süt pazarında bu memelilerden sağlanan süt miktarı önemli bir düzeyde iken; at, eşek, deve ve ren geyiğinden elde edilen süt sadece bazı bölgelerde önemli olup dünya pazarında süt ticaretinde yeterli düzeyde olmadığı ifade edilmektedir [1]. Düzenli süt ve süt ürünleri tüketimi, öncelikle vücudun kemik ve diş sağlığı üzerinde olumlu etkilere sahiptir. İnek sütü kemiklerin gelişimine yardımcı olan birçok değerli vitamin ve mineral içeren bir kalsiyum deposudur. İnsan sağlığının olumlu yönde gelişmesi ve vücut için yeterli düzeyde kalsiyum ve D vitamininin alımının gerçekleştirilebilmesi için günlük olarak süt ve süt ürünlerinin tüketilmesi gereklidir [2].

Gıda sektöründeki yeni gelişmelerin ve ilerlemelerin vazgeçilmez bir unsuru olarak nitelendirilen gıda katkı maddeleri, yeni ürünlerin geliştirilmesi, prosesin, proses ekipmanlarının ve ürün kalitesinin iyileştirilmesi, yeni ürün formülasyonlarında araştırmaların yapılması için gerekli olup sektörde önemli bir yer tutmaktadır. Gün geçtikçe teknolojinin ilerlemesiyle yeni gıda katkı maddelerinin bulunması hem sektörde yeni ürünlerin pazara girmesini dolayısıyla ekonomik kalkınmanın

gelişmesinde rol oynamakta hem de tüketicinin yeni gıdalar ile buluşmasını sağlamaktadır [3].

Gıdaların fiziksel ve kimyasal özelliklerini daha iyi hale getirmek ve geliştirmek için gıda endüstrisinde yapay katkı maddelerinden yararlanılmaktadır. Sektörde kullanılan yapay gıda katkı maddeleri arasında koruyucu amaçlı olarak antioksidanlar, antimikrobiyaller, esmerleşme önleyiciler, tatlandırıcılar, renklendiriciler ve dokusal özelliklerini düzenleyen kimyasal maddeler örnek olarak verilebilir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kimyasal bazlı yapay katkı maddelerinin gereğinden fazla tüketilmesinin farklı yan etkilere (solunum, mide, dermatolojik, nörolojik vb.) sebebiyet verdiğini desteklemektedir [4]. Son zamanlarda teknolojinin ilerlemesi ile birlikte güvenilir ve yüksek kaliteli kaliteli gıda ürünlerinin raf ömrünün tanımlanmasına ait uygun yöntem ve tekniklere duyulan ihtiyaç artmaktadır [5].

Dünyada gıda ürünleri arasında önemli bir pazar payına sahip olan yoğurt, kompleks yapılu biyoaktif bir ürün olup üç önemli faktörün birleşimidir: Yüz milyonlarca yıllık laktasyon evriminin ürünü olan süt, insanların yüzyıllarca mikrobiyal kültürleri seçmesinin sonucu olarak yaygınlaşan endüstriyel bakteriler ve son olarak da insan ihtiyaçlarının genişliliği ve çeşitliliği, yoğurdu günümüzde de tüketicilerin gözünde yoğun ilgi odağı haline getirmektedir [6]. Yoğurttaki raf ömrünün belirlenmesini etkileyen faktörler ise temel olarak kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik olarak yapısında meydana gelen değişikliklerden oluşmaktadır. Ürünün yapısal özelliklerinde meydana gelen değişiklikler (aroma, renk kaybı vb.) ürün kalitesini olumsuz yönde etkilemekte ve ürünün tüketici tarafında değerinin azalmasına sebep olmaktadır [5]. Gıdalarda kullanılan doğal katkı maddeleri kategorisinde bulunan, yaygın kullanılan ve heterojen bir polisakkarit yapıya sahip müsilaclar yer almaktadır. Müsilaclar su ile temas ettiğinde yoğun kıvamlı madeye dönüşmektedir. Spesifik mikroorganizmalar ve deniz yosunlarına ek olarak, esas olarak tohumlar gibi bitki kısımlarından farklı müsilaclar formları elde edilmektedir. Gıda endüstrisi bitkisel kaynaklı müsilacları; su tutucu, koyulaştırıcı, emülsiyon stabilizatörü, süspanse edici, jelleştirici, film oluşturucu bağlayıcılar ve sürekli salım maddeleri olarak farklı amaçlar için kullanmaktadır [7]. Yapılan araştırmalar, yoğurt içerisine ilave edilen ayva çekirdeği müsilaclarının dokusal özelliklerine etki ettiği ve viskozitesi üzerinde arttırıcı olarak rol oynadığını göstermektedir [8].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada amaç, süt ürünleri kategorisinde önemli bir besin maddesi olarak yer tutan yoğurdun doğal içerikli katkı maddeleri kullanılarak fiziksel ve duyuşal özelliklerini geliştirmek, raf ömrünü arttırmak ve enkapsülasyon teknolojisi uygulamasıyla yoğurdun kalitesini iyileştirmektir.

1.3 Hipotez

Günümüzde, tüketicilerin kimyasal katkı maddeleri içeren gıdalara olan talebinin azalması, doğal içerikli bitkisel ve hayvansal katkılara yönelik talebin artmasıyla beraber gıda endüstrisinde yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve piyasada doğal içerikli besinlerin yaygın hale gelmesi gözlemlenmektedir.

Bu çalışmada Design Expert Optimizasyon metodu kullanılarak, doğal içerikli materyallerin gıda ürününe en iyi şekilde optimize edileceğı koşulların belirlenmesiyle deneysel çalışmalar yapılmıştır. Eklenen doğal katkı maddelerinin yoğurdun fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkileri SEM, FT-IR ve XRD analizlerinin gerçekleştirilmesi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada aroma enkapsülasyonunu sağlamak amacıyla bir enkapsülasyon tekniğı olan damlatma yöntemi kullanılmıştır. Yoğurdun fiziksel özelliklerini tespit etmek amacıyla duyuşal testler yapılmıştır. Kullanılan ayva çekirdeğı müsilajı, yumurta kabuğı tozu, karides kabuğı tozu ve doğal aroma verici katkılar ile kimyasal madde içermeyen doğal içerikli yoğurdun hem sektörde hem de diğier araştırmalara ışık tutabileceğı ve yeni çalışmalara yol gösterici olarak katkı sağlayabileceğı öngörülmektedir.

2

AYVA

Rosaceae familyasına ait bilimsel adı *Cydonia oblonga* olan ayva, batı asya kökenli bir meyve olup daha çok ılıman iklim bölgelerinde yetişmektedir. Kendine özgü bir kokuya sahip asimetrik şekilli ve olgunlaşmamış hali ile yeşil renkli olan bu meyve, olgunlaşma evresi tamamlandığında sarı renkli olup yaklaşık ortalama 100-280 gram ağırlığına ulaşmaktadır [9].

Yapısında yer alan tanenler sebebiyle tüketildiğinde ağızda mayhoş bir tat bırakmaktadır [10]. İçeriğinde bulunan lifler sayesinde sindirimi kolaylaştırıcı özelliğe sahiptir. Yapısının büyük bir çoğunluğu su, karbonhidrat, mineral ve vitaminlerden meydana gelirken düşük miktarda yağ ve protein de bulunmaktadır. C vitamini, potasyum minerali ve malik asit içeriğinde bol miktarda yer almaktadır [11]. Fenolik bileşenler açısından oldukça zengin olan ayva meyvesi, içeriğinde birçok mineralleri de bulundurmasıyla kanser ve kalp sağlığı gibi hastalık riskini azaltmada önemli rol almaktadır [12].

Düzenli sulama ile birlikte hemen hemen her toprakta yetişebilen ayva, ılıman ve sıcak iklim bölgelerinde yetiştirildiğinde daha yüksek verimde sonuçlar elde edilmektedir. Kolay hasat edilebilmesi ve kolay depolanabilir olması sebebiyle dünyada birçok ülkede yetiştirilmesi tercih edilen bir meyvedir [11].

Meyve olarak tüketilmesi ile beraber aynı zamanda reçel, marmelat, tatlı gibi farklı uygulamalarda da değerlendirilmektedir. Kuzey Afrika, İran, Kuzey Anadolu ve Avrupalının güney kesimleri Ayva yetiştiriciliğinin önde gelen ülkelerinden olmakla birlikte ülkemizde Marmara Bölgesinde ayva üretimi daha yaygın olarak görülmektedir. Bursa, Bilecik, Kocaeli, Denizli ve Sakarya ayva üretiminde önde gelen iller arasında yer almaktadır [13]. Türkiye’de ayva üretim miktarına ait veriler Tablo 2.1’de yer almaktadır.

Türkiyede ayva üretim miktarı TÜİK, 2021 verileri baz alınarak incelendiğinde Sakarya ili 2021 yılındaki %53.8’lik oran ile birinci sırada yer almaktadır. Tablo 2.1’de yer alan üretim gerçekleştiren diğer iller ülkedeki toplam ayva üretiminin %80.4’ünü oluşturmaktadır [14].

Tablo 2.1 Türkiye’de ayva üretimi [14]

İller	2017	2018	2019	2020	2021
	Üretim Miktarı (ton)				
Sakarya	102.476	101.885	102.004	103.238	103.394
Bursa	12.261	14.187	15.049	15.616	15.211
Bilecik	6.683	6.555	6.568	6.671	6.44
Denizli	5.947	6.473	6.737	7.312	7.48
Çanakkale	5.36	5.621	6.164	6.814	7.135
İzmir	2.287	2.76	2.702	3.587	4.316
Isparta	2.793	2.822	2.866	4.434	4.046
Kocaeli	1.986	1.974	1.961	4.001	3.984
Manisa	1.939	2.013	1.971	2.086	2.364
Türkiye	174.038	176.479	180.542	189.251	192.012

2.1 Ayva Çekirdeği Müsilajı

Yumuşak bir çekirdek yapısına sahip olan olgun bir ayva meyvesinde yaklaşık 10 adet tohum bulunmaktadır. Çekirdeklerin yapısında hidrokolloidler su ile temas edip bir süre bekletildiğinde suyu hızlı bir şekilde emerek yapışkan gibi bir sıvı gibi jel formuna dönüşmektedir. Jelleşme ile birlikte oluşan sıvı (müsilaj) viskozite artırıcı özellik göstermektedir [15].

Ayva tohumu müsilajı, aminoasitler (glutamik asit, aspartik asit ve asparagin vb.), polisakkaritler ve selüloz içerikli bir bileşen olarak tanımlanabilir. Araştırmalar, ayva çekirdeği müsilajının temel bileşenlerinin selüloz olduğunu ve suda çözünür polisakkaritlerin glukanolara, galakto-glukanlara, manoglukanlara veya galakto-manno-glukanlara ayrıldığını ve asidik arabinoksilanların ana bileşeninin kısmen O-asetillenmiş (4-O-metil) D-ksilan ve yüksek oranda glukuronik asit olduğunu ortaya koymuştur. Son yapılan araştırmalarda, toplam polisakkaritlerin %46'sı suda çözünür hemiselülozlar ve selülozlar oluşturmakta, geri kalanı ise enzimatik hidroliz sonrası analiz edildiğinde %45 glikoz kalıntısı verdiği bildirilmiştir. Diğer polimerlerin çoğuna göre benzersiz kolloidal özellikleri, düşük üretim maliyeti ve kolay ekstraksiyon teknikleri göz önüne alındığında ayva çekirdeği müsilajı potansiyel bir stabilizatör, film veya kaplama bileşeni olarak değerlendirilebilir [16].

Jöleler, salata sosları, tatlılar vb. birçok gıda ürünlerinin yapısal özelliklerini iyileştirmek amacıyla jelleştirici, kıvam arttırıcı ve stabilizatör olarak kullanılır. Bir bitki kaynağından elde edilen polisakkarit ekstraksiyonunda ekstraksiyon sıcaklığı, ekstraksiyon süresi, su/hammadde oranı gibi birçok parametre verimliliği etkilemektedir. Bitkilerden ekstrakte edilen müsilağın kimyasal ve reolojik özelliklerinin iyi bir şekilde tespit edilmesi, hem yeni geliştirilecek gıda ürünlerindeki işlevselliğinden faydalanmasına olanak sağlanmasında hem de verimliliğin arttırılmasında oldukça önemlidir [17].

2.2 Gıda Endüstrisinde Müsilağın Yeri

Gıda endüstrisinde bitki tohumlarından elde edilen polisakkaritlerin doku oluşturma, yapılandırma, viskozite arttırma ve emilsifiye etme özelliklerine sahip olması bitkisel bazlı polisakkaritleri hidrokolloidler sınıfının en önemli üyesi haline getirmiştir.

Bitki tohumlarından elde edilen polisakkaritler 3 grup altında incelenebilir:

- a) endosperm nişasta olmayan bileşenler (örneğin; galaktomannanlar),
- b) tohum kabuğunun müsilağlı bileşenleri (örneğin; keten, chia, psyllium, sarı hardal vb.),
- c) endospermin hücre duvarı malzemesi (örneğin, ksiloglukanlar ve soya fasulyesi hemiselülozları).

Son zamanlarda teknolojinin gelişmesi ile birlikte gıda endüstrisindeki kullanımına yönelik talebin artması ve üretimin esnek ve sürdürülebilir olması sebebiyle polisakkarit bazlı hidrokolloidlerin pazardaki önemi büyümeye devam etmektedir [18]. Müsilağlar doğal ve yenilebilir olması, ekstraksiyon verimi yüksek, nem ve oksijenin taşınmasına karşı filmlerin bariyer özelliklerini geliştirmeleri ve nihai ürünün raf ömrünü uzatabilmeleri avantajına sahiptir. Bu sebeple gıda endüstrisinin yenilebilir film ve kaplamalar alanında önemli bir konumda yer almaktadır. Tohumlardan elde edilen müsilağlar farklı türdeki gıda ürünlerinde (et ve süt ürünleri, meyve ve sebze vb.) yenilebilir kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama ile gıdaların raf ömrünün uzatılması amaçlanmaktadır. Kaplama malzemesi olarak kullanılan müsilağlar biyolojik olarak parçanabilmektedir ve zehirleyici bir etkisi bulunmamaktadır. Mükemmel mekanik

ve antioksidan özelliklere sahip olmanın yanı sıra lipitlere, karbondioksit, oksijene karşı uygun bariyer özelliklerine sahiptirler [19].

Gıda endüstrisinde müsilajlar, bahsedilen uygulamaların yanı sıra enkapsülasyon teknolojileri uygulamalarında da kullanılmaktadır. Enkapsülasyon tekniğinde aktif maddenin kaplayıcı materyali olarak kullanımı mevcuttur [20]. Müsilajlar endüstride gıdalarda koyulaştırıcı, emülsifiye edici, jelleştirici ve stabilize edici maddeler olarak rol almaktadır. Müsilajların farklı birçok özellikleri, onların hem yüksek çözünürlükleri hem de bulundukları ortamda viskozite artırma etkisine sahip olmasından ötürü meydana gelmektedir. Müsilajda hidroksil gruplarının varlığı, gıda endüstrisindeki çeşitli uygulamalar için önemli bir özellik olan su tutma kapasitesini geliştirir. Ayva tohumu ve tere tohumundan ekstrakte edilen müsilajlarda bulunan polisakkaritler, köpürme oluşturma ve stabilite davranışları açısından değerlidir. Ayrıca, unlu mamullerde raf ömrünü uzatmak ve değerli bir diyet lifi kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Ek olarak antimikrobiyal özellik gösteren müsilajlar gıda ürünlerinde koruyucu amaçlı olarak da kullanılabilir. Benzer şekilde, chia, psyllium, fesleğen ve *Lepidium perfoliatum*, bamya, keten tohumu, ayva tohumu ve diğerlerinden elde edilen müsilajlar, anti-kanser, anti-enflamatuar ve yara iyileştirme uygulamalarında olası rollerinin dışında iyi antimikrobiyal özellikler sergilemektedir [21].

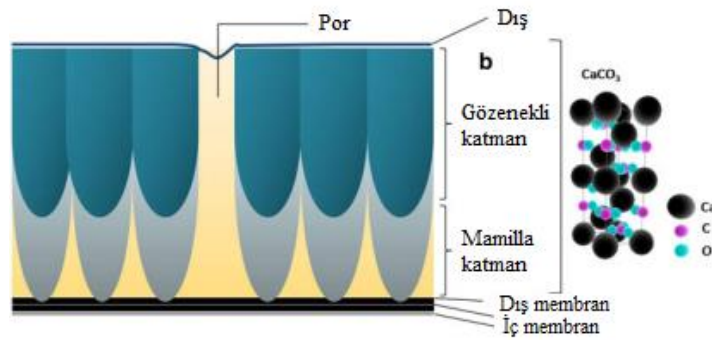
YUMURTA KABUĞU

Yumurtadan elde edilen yumurta kabuğu ve yumurta kabuğu zarı yan ürünlerinin kullanımı, bin yılı aşkın bir süredir, kırma ve öğütme yoluyla ince ince elde edilen yumurta kabuğunun albümin, zar ve matrisinden kalsiyum takviyesi ve diğer besin kaynaklarına yönelik çeşitli çalışmaların geliştirilmesi ile başlamıştır [22]. Yumurta işlenilen tesislerde yüksek miktarlarda yumurta kabuğu oluşmaktadır. Meydana gelen yumurta kabukları herhangi bir işleme maruz kalmadan direkt organik atık olarak kaldırılmaktadır [23].

Küresel olarak değerlendirildiğinde, bu ürüne özgü atık için uygun yönetim stratejilerinin geliştirilmesi, yalnızca üretilen büyük miktarlar nedeniyle değil, aynı zamanda mikrobiyal çoğalma veya patojen büyümesi potansiyeli nedeniyle çevre koruma ile ilgili olarak gıda endüstrisi için bir zorluk olarak kabul edilmiştir [24].

3.1 Yumurta Kabuğu Yapısı

Yumurta kabuğu tipik olarak dış yüzeyde porların yer aldığı kütikül, orta kısımda gözenekli yapıların bulunduğu süngerimsi bir katman ve bir iç katman olmak üzere düzenlenmiş malzemelerden meydana gelmektedir. Şekil 3.1’de yumurta kabuğu yapısı yer almaktadır.



Şekil 3.1 Yumurta kabuğu yapısı [22]

Mamilla ve süngerimsi katmanlar, kalsiyum karbonat bağlı protein liflerini içeren bir ağ oluşturmakta ve bu yapı yumurta kabuğunun %90’dan fazlası gibi büyük bir çoğunluğu meydana getirmektedir. Bahsedilen katmanlarda çok sayıda

gözeneklerin bulunduğu bir yapıya sahiptir. Tahmini olarak bir yumurta kabuğunda yaklaşık olarak 7000 ile 17000 arasında gözenek bulunduğu bildirilmektedir.

Bir yumurta kabuğu ortalama 5-6 gram ağırlığında ve 300-350 µm kalınlığındadır. Ortalama 30 N'luk bir kırılma mukavemetine sahiptir. Bu fiziksel özellikleri sayesinde yumurta kabuğunun içeriği; dış fiziksel ve mikrobiyolojik etkenlerden korunmasını sağlamakta, aynı zamanda kabuktan su ve gaz geçişinin kontrol altına alınmasında önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Yumurta kabuğunun dış yüzeyinde yer alan müsin proteinleri, kabukta bulunan gözeneklerin kapanmasını ve gerektiğinde çözünerek gözeneklerden yumurta içerisine geçişi sağlayan bir yapıya sahiptir. Yumurta kabuğu atığı, yüksek oranda kalsiyum karbonat ile birlikte kabuğu saran zarsı bir yapıdan meydana gelmektedir. Bu zarların her biri, yarı geçirgen bir zar oluşturacak şekilde düzenlenmiş, kararlı ve suda çözünmeyen liflerden oluşan karmaşık bir kafes ağı oluşturan ve adsorban gibi çeşitli uygulamalarla sonuçlanan yüksek yüzey alanına sahip protein liflerinden oluşmaktadır [22].

Yumurta kabuğu kimyasal özellikleri açısından değerlendirildiğinde, %2'si su ve %98'i kuru maddeden oluşmaktadır. Kuru madde ise %93 kül ve %5 ham proteinden oluşmaktadır. Yumurta kabukları, bazı organik maddeler ve su ile birlikte kalsiyum karbonat, kalsiyum fosfat ve magnezyum karbonat kristalleri ile ilişkili bir protein lifleri ağından meydana gelmektedir. Yumurta kabuğu toplam yumurta ağırlığının yaklaşık %11'ini oluşturmaktadır. Yumurta kabuğu içerisinde yer alan bileşenler Tablo 3.1'de verilmektedir [25].

Tablo 3.1 Yumurta kabuğu bileşenleri [25]

Bileşenler	İçerik (%)
Kalsiyum karbonat	94
Kalsiyum fosfat	1
Magnezyum karbonat	1
Organik bileşenler	4

Yumurta kabuğunun gıda ürünlerinde kullanılması, içerdiği değerli mineraller nedeniyle değerini arttırmaktadır. Kabuğun CaCO_3 'ü doğrudan tüketilirse düşük bir biyoyararlanıma sahiptir, ancak kalsiyum sitrata dönüştürüldüğünde daha yüksek

emilim seviyeleri sunmakta ve bir besin takviyesi olarak kullanılabilir. Yumurta kabukları gıda katkı maddesi ve kalsiyum takviyesi olarak kullanımının yanı sıra farmasötik yardımcı madde, tıp ve dişilik preparatlarını geliştirmek için temel malzeme, katı dozaj formlarının seyreltici, tarımsal gübre bileşeni ve kemik implantları için bileşen olarak kullanılan zengin bir mineral kaynağıdır [26].



Karidesten elde edilen kabuk atıkları, karidesin kuru bazda ağırlığının %15-40'ı kadar kitin içermektedir. Bu yüzden karides kabuğu atıkları, kitin elde etmek için kullanılan temel kaynaklardan biri olmuştur. Bununla birlikte, kitin ekstraksiyonu için geleneksel kimyasal proseslerin maliyetli olduğu ve yüksek düzeyde kirlilik ürettiği iyi bilinmektedir. Kabuktaki kalsiyum karbonatı ve proteini uzaklaştırmak için genellikle yüksek dozlarda HCl ve NaOH kullanılır. 1 ton kitin üretimi prosesinde, sonraki su arıtımı için çok zor olan, yüksek amonyak, yüksek tuzluluk ve yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı içeren 400 m³'ten fazla atık su açığa çıkmaktadır. Çevre dostu teknolojilerin kullanılmaya başlanması ile karides kabukları atıklarının kapsamlı olarak elde edilmesini sağlamaktadır fakat uygulanan biyoteknolojik yöntemler (enzim katalizi, fermentasyon) kimyasal teknolojilere kıyasla hem pahalı olması hem de büyük tesislerde ayrıştırılması zor ve uzun süreli olması sebebiyle dezavantajlara sahip olmaktadır [27].

4.1 Kitin ve Yapısı

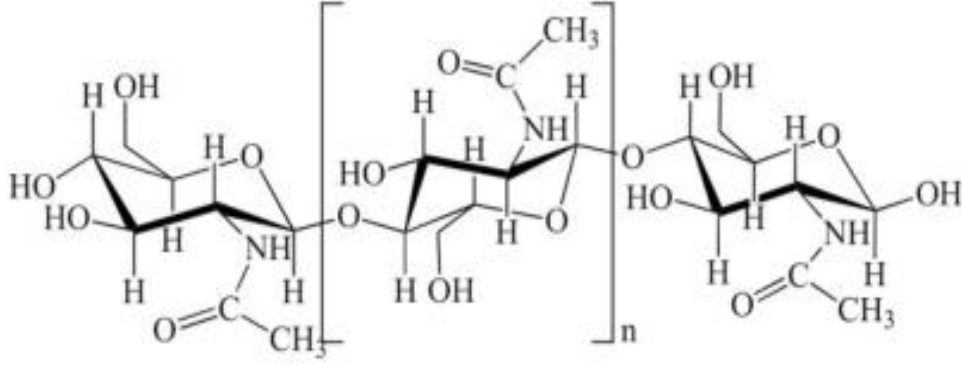
Doğada bol miktarda bulunan bir mukopolisakkarit olan kitin, ilk olarak 1811 yılında Braconnot tarafından mantarların hücre duvarlarından izole edilmiş ve "mantar" olarak adlandırılmıştır. 1823'te, selülozun izolasyonundan yaklaşık otuz yıl önce, Odier tarafından adı "kitin" olarak değiştirilmiştir. Kitin, yıllık 100 milyar ton biyosentez ile üretim açısından selülozu takip etmektedir. Yengeç ve karides atıklarının içerdiği kitin miktarları incelendiğinde, yengeçte kuru ağırlığın yaklaşık %13-15'i, karideste ise %14-27'i oranında kitinden meydana geldiği tespit edilmiştir [28]. Yapılan araştırmalar kabuklu deniz ürünlerinin zengin kitin içeriğine sahip olduğunu göstermekte ve en yüksek oranda kitine sahip karides, yengeç, istakoz grubu deniz ürünleri ilk sırada yer alırken, bu sırayı ıstiridy ve kalamar takip etmektedir [29].

Kitin, doğada en çok bulunan doğal amino-polisakkaritlerden biridir ve dünyadaki birçok eklem bacaklının dış iskeletinde ana bileşen olarak bulunmaktadır. Büyük miktarlarda kabuklular, insan tüketimi için günlük olarak işlenmekte, doğru bir

şekilde işlenmesi gereken büyük kabuklu atıklar üretmekte ve balıkçılık endüstrisine çevresel kaygılar getirmeyen nihai bir bertaraf sağlamaktadır [30]. Kitinin ticari değeri kimya, biyoteknoloji, tarım, gıda işleme, kozmetik, veterinerlik, tıp, diş hekimliği, çevre koruma, kağıt veya tekstil üretimine uygun olan faydalı özelliklerinden dolayı son zamanlarda artış göstermiştir [29].

Kitin ve kitinden elde edilen kitosanın küresel pazar payının giderek artması sebebiyle araştırmacılar tarafından farklı kaynaklardan kitin ve türevi maddelerin kullanılabilirliği araştırılmakta ve uygun metodlar geliştirmek için çalışmalar devam etmektedir. Kitin, N-Asetil-D-glukozamin ve D-glukozamin biriminin birbirine glikozidik bağlarla β (1-4) birleşmesi sonucu oluşan heterojen yapıya sahip bir polimer olarak tanımlanabilir [31].

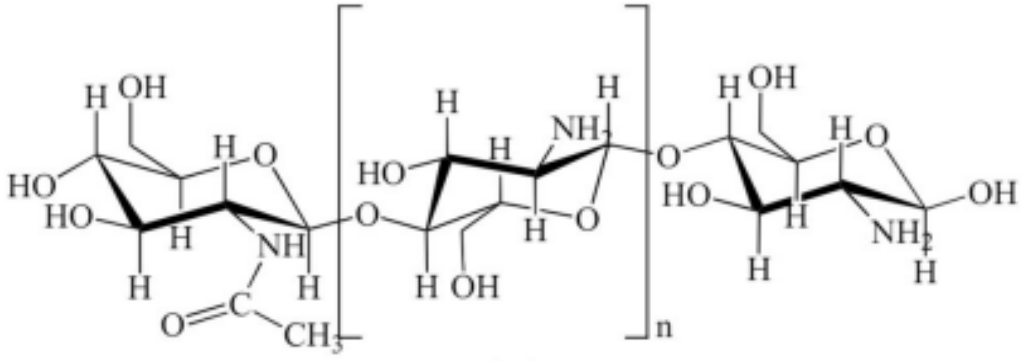
Kitin selüloza benzer özellik göstermesine rağmen yapısal olarak selülozdan farkı hidroksil gruplarının asetamid grupları ile yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Kitin molekül yapısı incelendiğinde canlı çeşidine göre değişik uzunluklarda molekül yapısına sahip olduğu görülmüştür. Örneğin yengeçte bu molekül uzunluğu 5000 ila 8000 arasından değişirken bazı mayalarda 100 gibi oldukça az olabilmektedir. Kitin monomerleri bir moleküldeki NH grubunun diğer moleküldeki C=O grubu ile hidrojen bağı oluşturmaktadır. Hidrojen bağlarının oluşması ile birlikte farklı formlarda kitin yapıları meydana gelmektedir. Farklı stabilitelere sahip α - ve β -kitin bu duruma örnek olarak verilebilir. β -kitin, lityum tiyosiyanat ile işlenmesi veya formik asit içindeki çökeltmesi ile α - kitin formuna dönüştürülebilir olmasından dolayı, α - kitin'e göre daha düşük stabiliteye sahiptir. Kitin çözünme performansı incelendiğinde suda, seyreltik asit ve baz çözeltilerinde ve çoğu organik çözücüde çözünmediği gözlemlenmiştir. Derişik hidroklorik asit ve sülfürik asite ek olarak dikloroasetik, trikloroasetik ve formik asitlerde çözünme sağlanabilmektedir [29]. Şekil 4.1'de kitinin moleküler yapısını gösteren kimyasal formu yer almaktadır [32].



Şekil 4.1 Kitin kimyasal molekül kimyası [32]

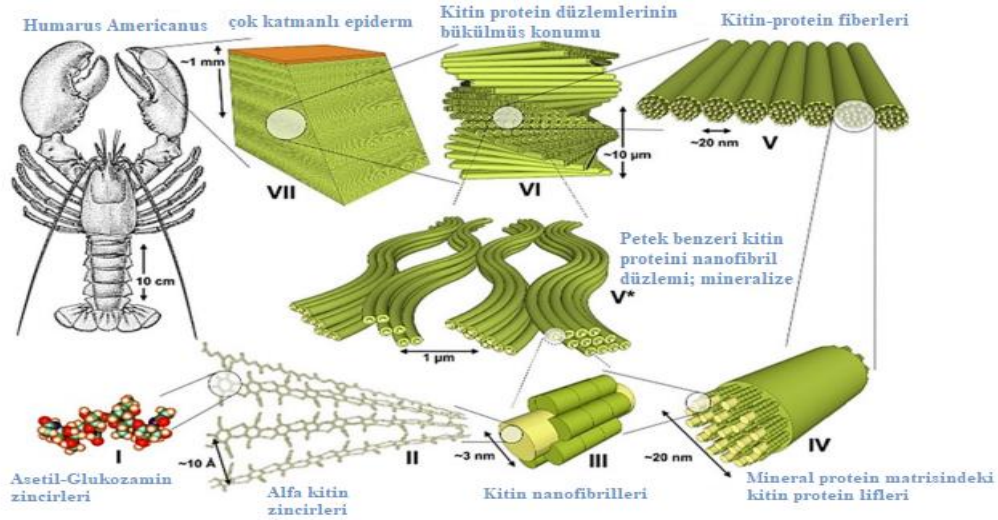
4.2 Kitosan ve Yapısı

Kitosan, kitinin N-deasetillenmiş bir fonksiyonu olup, 2-amino-2-deoksi-D-glukopiranoz asetamid gruplarının birincil amino gruplarına dönüştürülmesiyle meydana gelmektedir. Kitosanın kimyasal bağ yapısını gösteren molekül formülü Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Kitinin deasetilasyon işlemi hiçbir zaman tam olarak gerçekleşmemekte ve kitosan molekülünün yapısında asetamid grupları bir aşamaya kadar hala yer almaktadır. Kitin ve kitosan molekülünde, selüloz molekülünün yapısında yer almayan azot molekülü bulunmaktadır. Azot, kitinde asetillenmiş amin grubu olarak bulunurken kitosanda birincil alifatik amin grubu olarak yer almaktadır. Bu durum aminleri, reaksiyonlarının gerçekleşmesini sağlamak için avantajlı hale getirmektedir. Kitosan kimyasal yapısından dolayı kitinden daha aktif bir yapıdadır. Bu durum polimer zincirinin tekrarlayan her molekülünde birincil ve ikincil OH gruplarının olması ve deasetillenmiş her kısımda amin gruplarının bulunması ile açıklanmaktadır [32]. Amino gruplarının varlığı nedeniyle kitosan zayıf asitlerde kolayca çözünmektedir. Bu durum, onu kitinden ayıran bir özelliğidir, aynı zamanda film, sünger, boncuk vb. haline getirilebilen viskoz çözeltiler de oluşturmaktadır [33]. Kitin ve kitosanın yapısında amin gruplarının yer alması, modifikasyon tepkimelerinin oluşmasını ve canlı fonksiyonlarının gerçekleşmesini sağlamaktadır. Kitin ve kitosan bazı polisakkaritler sahip olduğu biyobozunurluk, iyi adsorbe edebilme, biyoaktivite ve biyoyumumluluk gibi farklı özellikler sayesinde günümüzde biyolojik olarak kullanılabilen temel yapıtaşı malzemesi haline gelmiştir. Kitosanın kimyasal molekül formülü Şekil 4.2’de gösterilmektedir [32].



Şekil 4.2 Kitosan kimyasal molekül yapısı [32]

Kitin ekstraksiyonu için kimyasal ve biyolojik (mikrobiyal) yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin yanı sıra halen gelişmekte olan farklı bir metod olarak mikrodalga ışınlama teknolojisi kullanılmaktadır. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre yüksek deasetilasyon performansı çalışmalar ile araştırılmaya devam edilmektedir. Normalde laboratuvar amaçlı kitin ekstraksiyonu için biyolojik yöntemler tercih edilmektedir fakat bu yöntem, daha uzun işlem süresi gerektirdiği için uygulamaları sınırlıdır. Kimyasal yöntem ise pahalı işleme, çevre dostu olmama ve işleme sırasında kitinin kısmen bozulması gibi dezavantajlara sahip olmasına rağmen endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.3'te ıstakoz yapısındaki kitin liflerinin yer aldığı ayrıntılı görsel yer almaktadır [34].



Şekil 4.3 Humarus Americanus içerisindeki kitin lifleri [34]

4.2.1 Kimyasal Ekstraksiyon

Kimyasal ekstraksiyon yönteminde, karides ve yengeç kabukları toz haline getirildikten sonra kalsiyum karbonatın uzaklaştırılması amacıyla seyretilmiş HCl çözeltisine bırakılmaktadır. Asetil gruplarının bir bölümü su ile reaskiyona girerek parçalanırken, çözeltide yer alan proteinler bazik ortamda çözündükten sonra ayrılma gerçekleşmektedir. pH 4 ortamında proteinler çözeltide çöktürülmekte ve sonrasında çözeltiden uzaklaştırılmaktadır. Ayrılan bu kısım gübre veya hayvan yemi olarak dönüştürülebilir. Daha sonra bu çözelti azot ortamında 120°C sıcaklıkta, % 40-45 aralığında yüksek derişimde baz ile (NaOH) 1-3 saat boyunca bekletilerek reaskiyonun gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Deasetillenme işlemi süre, baz konsantrasyonu ve sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin 1 ton kitosan üretim sürecinde 6300 kg HCl ve 1800 kg NaOH tüketimi gerçekleştirilmiştir. Bu proses, kimyasal maddelerin aktif kullanımından dolayı çevre için kirletici olmakla beraber aynı zamanda atık su açığa çıkarmaktadır. Bu nedenle çevre üzerinde olumsuz ve geniş bir etkiye sahip olduğu söylenebilir [35].

4.2.2 Biyolojik Ekstraksiyon

Ekstraksiyon sürecinde kullanılan kimyasal metodların olumsuz tarafları olması sebebiyle biyolojik esaslı metodlar günümüzde daha çok tercih edilmektedir. Kimyasal teknikler, yüksek derişimlerde asidik ve bazik çözeltilerin kullanılması ve enerji tüketmesi sebebiyle çevre için oldukça zararlı ve tehlikeli olmaktadır [34]. Bu durum, kitin bozulmasını en aza indirerek ve safsızlıkları paha biçilmez bir uygulama düzeyine çıkarma sürecini optimize etmeye yönelik ilgiyi attırmıştır. Son zamanlarda biyoteknolojik süreçler, kitooligosakkaritler, kitinazlar, laktik asit, antioksidanlar, değerli protein hidrolizatları, karotenoidler (astaksantin) ve çözünmüş kalsiyum gibi yüksek değerli ticari yan ürünlerin üretimine de odaklanmaktadır. Yapılan çalışmalar ile bir kısım biyoaktif bileşiklerin içerisinde insan gelişimine yararlı bileşenlerin yer aldığı tespit edilmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte yeni yöntemlerin geliştirilerek deniz canlılarının atıklarından yeni bileşenlerin elde edilmesi ve atıkların değerlendirilmesi sürecinin iyileştirilmesi ile ilgili maliyet olarak da avantaj sağlanacaktır [36].

4.2.3 Mikrobiyal Ekstraksiyon

Geçmişten günümüze kadarki süreç değerlendirildiğinde; özellikle biyopolimer, lipid, pigment ve biyoproteinleri bol miktarda içeren maya, alg, bakteri ve mantar sınıfı biyoaktif canlıların sahip olduğu bu aktif bileşenlerin üretimi ile beraber çok sayıda fermantasyon süreçleri maddi açıdan üstünlük kazanmıştır. Endüstrinin önemli bir yan atığı olarak meydana gelen mantarlar kitin ve kitosan deposu olarak nitelendirilebilir. Biyolojik modelüllerin teknolojik süreçlerle işlenmesi sonucu polimer esaslı moleküllerin oluşması ve yine bu mikrobiyal esaslı moleküllerden kitin ve kitosanın elde edilmesi gibi farklı prosesler, mikrobiyalleri oldukça değerli ve önemli olarak nitelendirilmesini sağlamaktadır [36].

4.3 Kitin ve Kitosanın Gıda Endüstrisindeki Uygulamaları

Japonya ve Kore’de uzun zamandır gıda katkı maddesi olarak kullanılan kitosanın, Amerika’da Gıda ve İlaç İdaresinin onayına göre gıda katkı maddesi ve ürünlerde fonksiyonel bileşen olarak kullanımı gerçekleştirilmektedir [34]. Tablo 4.1’de kitin ve türevlerinin gıda endüstrisindeki kullanım alanları ayrıntılı olarak verilmiştir [37].

Tablo 4.1 Kitin ve türevlerinin biyomateryal olarak uygulamaları [37]

Alan	Uygulama
Tarım	Toprak değiştirici, fungusit, bitkilerde savunma mekanizması; tohum kaplama; gübrelerin zaman salınımı
Biyokataliz	Katalizör üretiminde metaller için bir destek iskelesi
Biyomedikal	Enzim immobilizasyon ve saflaştırma, emülgatör, biyosensör, hemostatik ajan
Biyoteknolojik Ürünler	Ambalajlama, film ve sünger levha malzemeleri imalatı, hidrojeller
Kozmetik	Losyonlar; saç katkı maddeleri; vücut kremleri
İlaç	Manganez takviyesi kompleksi, ilaç salınımı, gen teslimi

Tablo 4.1 Kitin ve türevlerinin biyomateryal olarak uygulamaları (Devamı) [37]

Tıp	Kemik ve kıkırdak rejenerasyonu, yara iyileşmesi ve pansuman, kolajen sentezi, kök hücre teknolojisi
Kirletici giderimi	Daha kararlı mazot elde etmek için bakır çıkarma özelliği
Su Arıtma	Boya çıkarma, ağır ve radyoaktif metaller için emici



SÜT ÜRÜNLERİNDE RAF ÖMRÜNÜ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Süt, yüzyıllardan beri insanların gelişiminde önemli derecede etkili olan ve sektörde paha biçilemez derecede değerli gıdalardan biri olarak nitelendirilen bir besin maddesidir. Gün geçtikçe artan global süt üretiminin yaklaşık %83'lük oranı büyükbaş hayvanlardan sağlanmaktadır. Süt ve süt ürünleri, yapısında bulunan kalsiyum, potasyum, çinko, magnezium ve fosfor gibi birçok değerli besin maddesinin yanı sıra yüksek oranda protein içermesi ile besleyiciliği yüksek gıda kategorisine girmektedir. Süt yapısındaki mineraller insanın büyüme ve gelişiminde oldukça önemli ve gerekli olmakla birlikte aynı zamanda süttten elde edilen ürünlerin proseslerinde de etkin rol oynamaktadır. Bu durum, süütün özellikle zengin protein, D vitamin ve kalsiyum içermesinden ileri gelmektedir [38].

Süt endüstrisindeki yüksek hızlı olumlu gelişmeler, sektördeki şirketler arası rekabeti güçlendirmekte dolayısıyla da alışveriş döngülerinin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bu durum pastörize süütün mevcut koşullardan daha kaliteli olması ve saklama kabiliyetinin artırılması koşulunu daha da güçlü bir şekilde öne çıkarmaktadır. Mevcut koşullarda işlenmemiş süütün dağıtım aşamalarında meydana gelebilecek olumsuz kalite değişikliklerinin engellenebilmesi için sistemi tam olarak oturmuş bir kalite düzeni oluşturulmalıdır [39].

Dünya süt üretiminin 2025 yılına kadar yıllık ortalama %1.8 büyüme oranıyla 1 milyar tonu aşması beklendiği için süt sektörü hızla büyümekte ve 2050 yılındaki yıllık üretimin 2000 yılına göre iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir [40].

Ürün üzerinde yer alan son kullanma tarihi/raf ömrü vb. terimler belirsizlik içermekte olup tam olarak belirli bir koşulu ifade etmemektedir, dolayısıyla da kesin olarak doğrulanması çok zordur. Ancak çoğu durumda bir ürünün raf ömrü, ürünün belirli bir süre sonra bozulabilen kalitesi olarak ifade edilmektedir. Türk Gıda Kodeksinde raf ömrü terimi: “Minimum stabilite tarihi” ’ni ifade etmektedir. Bu ifade de “son kullanma tarihi” ile eşdeğer anlam taşımaktadır. Ürün üzerinde

yer alan tarih, belirtilen herhangi bir depolama koşulunda ürünün tamamen pazarlanabilir kaldığı ve özelliklerini koruduğu sürenin sonunu ifade etmektedir.

Genel anlamda süt ürünlerinin raf ömrü, sütün bozulmasına neden teşkil eden bakterilerin büyüüp çoğalması ile sınırlıdır. Süt yağ asidi bileşimi, süt ürünlerindeki lipidlerin depolama sırasında değiştiği depolama koşullarını belirleyen önemli bir faktördür. Şayet böyle bir durum oluştuyorsa bu takdirde sütün raf ömrü ve kalitesi azalabilir ve tadında değişiklikler meydana gelebilir [41].

Süt endüstrisi, ürünün raf ömrünü uzatmayı amaçlayan çeşitli araçlar ve teknolojiler kullanmaktadır. Raf ömrünün uzatılmasında en sık kullanılan yaygın yöntemler arasında şunları sıralayabiliriz:

- İçerisinde kültür bulunan yoğurt, kefir gibi süt ürünlerinde kültür ilavesi ile asitleştirme işleminin gerçekleşmesi
- Sütü toz formda elde etmek amacıyla kurutma teknolojilerinin kullanılması
- İşlenmiş peynirlerin koruyucu katkı maddelerinin (emülsifiye edici tuzlar, sitratlar ve fosfatlar vb.) ilave edilmesi

Süt ürünlerinde raf ömrünü belirleyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında; pastörizasyon, sıcaklık, filtreleme, doldurma, ham süt kalitesi ve paketleme yer almaktadır. Bu faktörler değerlendirildiğinde, raf ömrünün belirlenmesindeki en önemli etken olarak ısı işlemler birinci sırada yer almaktadır [42].

5.1 Yoğurt

Yoğurt, tüketiciler arasındaki popülaritesi sadece tadıyla değil aynı zamanda fonksiyonel özellikleriyle de açıklanan, yapılandırılmış bir fermente süt içeceğidir. Yoğurdun fermentasyonu için *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* kültürleri kullanılmaktadır. Yoğurt üretiminde stabilizasyon sistemi olarak, ürünün su tutma kapasitesini artıran ve bu tip ürünlerin reolojik özelliklerini iyileştiren, başta nişasta ve modifiye nişasta olmak üzere aljinat, karagenan, keçiyoynuzu zıncı, pektin, karboksimetil selüloz ve jelatin kullanılmaktadır. Dolgu maddelerinin yoğurt içeriğine dahil edilmesi ürünün reolojik parametrelerinde bozulmaya yol açmaktadır. Bunlar; viskozitede

azalma, peynir altı suyunun ayrılması ve ürünün tadında meydana gelen bozulmalardır.

Yoğurt bileşimlerine dahil edilen tatlandırıcıların ve dengeleyicilerin miktarında bir artış ürünün biyolojik değeri olan “canlı microflora” popülasyonunu olumsuz yönde etkilemektedir [43].

Yoğurt üretiminde geleneksel formülasyonda kıvam arttırıcılar, tatlandırıcılar, asitlik düzenleyiciler, koruyucular ve boyalar gibi katkı maddeleri kullanılmaktadır. Sektörde yaygın olarak kullanılan koruyucu (sodyum benzoat, potasyum sorbat) ve renklendirici kimyasalar katkılar tehlikeli olarak ilk sırada yer almaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda bu kimyasal katkıların gereğinden fazla alınması durumunda vücudun metabolizma faaliyetlerini ve sindirim sistemini olumsuz yönde etkileyebileceğini ayrıca alerjik reaksiyonlara neden olabileceğini göstermektedir [44].

Yoğun kıvamlı, zengin besin içeriğine sahip bir gıda ürün olan yoğurt; bol miktarda alınabilir protein ve süt yağının yanı sıra vitaminleri (B2, B6, B12) ve mineralleri de (kalsiyum, potasyum, magnezyum) yapısında bulundurmaktadır. Bunların yanı sıra insan vücudunun ihtiyaç duyduğu gerekli tüm aminoasitleri ve süt proteinlerini de içermesi ile yüksek değerli besin sınıfında yer almaktadır. Ayrıca yoğurdun laktoz toleransını iyileştirdiği, bağışıklığı güçlendirdiği ve mide-bağırsak bozukluklarını önlediği bildirilmektedir. İnsan sağlığına birçok faydası bulunmasından ötürü tüketicilerin yoğurt ve benzer segmentteki gıda ürünlerine yönelik eğilimi artış göstermiştir. Bu durum günümüzde süt ve süt ürünlerinin global pazarda hızlı bir şekilde büyüyen gıda kategorisi haline getirmiştir.

Yoğurt içerisindeki kimyasal katkı maddeleri sınıfında yer alan stabilizatörler, suyun etkinliğini düşürerek ortamda bulunmaması gereken mikroorganizmaların çoğalmasını ve gelişmesini önleyerek ürünün raf ömrünün artmasına yardımcı olur. Stabilizatörler yoğurdun istenilen kıvama gelmesini sağlamak, peynir altı suyundaki ayrılmayı en düşük seviyeye getirmek ve ortamdaki suyun yapıya tutunmasını sağlayarak viskoziteyi düzenlemek amacıyla eklenmektedir. Stabilizatörler jel matrisini oluşturur ve böylece başta kazein proteinleri olmak

üzere süt bileşenlerinin su bağlama kapasitesini artırarak protein moleküllerinin stabilizasyonunu arttırmaktadır [45].

Yoğurdun karakteristik özelliğini etkileyen önemli değişkenler arasında viskozite, laktik asit bakteri sayısı, asitlik düzeyi ve duyu analizi örnek verilebilir. Ürün kalitesini belirleyen bu değişkenlerin özellikle ürünün depolanması sırasında sıcaklık ve diğer faktörlere bağlı olarak bozulma riskine karşı düzenli olarak takip edilmeli ve bozulma olup olmadığını tespit etmek amacıyla raf ömrü testleri gerçekleştirilmelidir [46]. Yoğurtta meydana gelebilecek bozulmalar genelde ürünün üst yüzeyinde meydana gelmekte olup bozulmaların sebebi aside karşı dayanıklılık gösterebilen küf ve mayalardan kaynaklanmaktadır. Yoğurdun fiziksel görüntüsünün değişmesinin yanı sıra aynı zamanda tat ve koku değişimlerinin meydana gelmesine sebep olmaktadır. Özellikle yoğurtta ekşi tadın oluşmaya başlaması raf ömrünün belirlenmesindeki en önemli parametrelerden biri olarak nitelendirilebilir [47].

5.2 Süt Ürünlerinde Raf Ömrü Parametreleri

Süt ve süt ürünleri kategorisinde yer alan tüm ürünler için geçerli tek bir raf ömrü tanımı yapmak mümkün değildir. Bu durumda ürün raf ömrü “Bir ürünün üretiltikten sonra farklı depolama koşullarında bozulmaya uğramaksızın yapısal özelliklerini ve kalitesini koruduğu süreç” olarak ifade edilebilir. Raf ömrünün sona ermesi; görünüm, koku veya lezzetteki değişikliklerle tanımlanmaktadır. Burada raf ömrünün sona ermesi ile asıl ifade edilen, tüketici fikrini etkilemeye yetecek büyüklükte bir kalite değişikliğinin gerçekleşmiş olmasıdır [48]. Soğuk zincir lojistiği bile raf ömrü boyunca fermente süt ürünlerinde sonradan asitlenmeyi kontrol etmede yetersiz kalmakta ve kaynak yetersizliği olan gelişmekte olan ülkelerde durum çok daha kötüdür [49].

Süt ve süt ürünlerinin raf ömrünü belirleyen değişiklikler 3 başlık altında incelenebilir:

- Yağın oksidasyonu ve enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının olduğu *kimyasal değişimler*

- Yağın krema kıvamını alması, minerallerin kristal forma dönüşmesi ve protein çözeltilerindeki jelleşme durumu gibi *fizikokimyasal değişimler*
- Yapıdaki canlı mikroorganizmaların büyümesi, mayalanma, enzim esaslı bozulmalar gibi *biyokimyasal değişimler* [48]

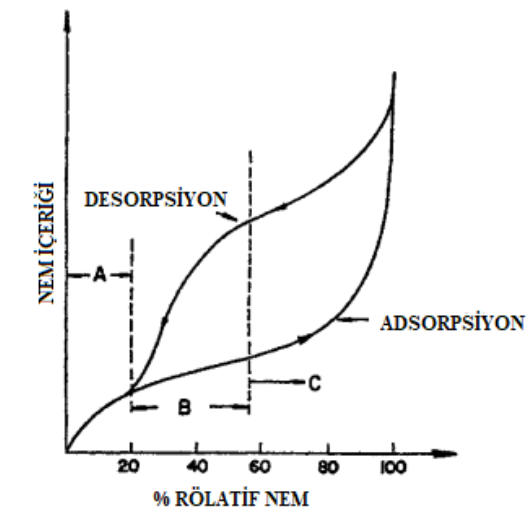
Üretici firma tarafından her bir gıda ürünü için ayrı ve özel belirlenen raf ömrü, ürünün geliştirilme süreci kadar önemli bir değer taşımaktadır. Eğer ürün için raf ömrü belirteci doğru ve yeterli bir şekilde ifade edilemez ise bu durum müşteri şikayetlerine, kalite kayıplarından ötürü tüketicinin sağlığının riske atılmasına hatta tüketicinin ileri derecede olumsuz yönde etkilenmesine bile sebep olabilir. Bu sebeple süt ürünlerinin raf ömrünün belirlenmesinde tüketicinin tat, koku gibi duysal ve kalite özelliklerini değerlendirmesi bu sürecin düzgün bir şekilde yürütülmesinde yol gösterici olarak rol oynayabilmektedir [50].

NEM SORPSİYON İZOTERMLERİ

Bir değer aralığında ve sabit bir sıcaklıkta gıdanın toplam nem içeriği ile su aktivitesi arasındaki ilişki, grafiksel olarak ifade edildiğinde bir nem emme izotermi verir. Bu izoterm eğrisi adsorpsiyon ve desorpsiyon olmak üzere iki farklı yöntem ile oluşturulabilmektedir:

- *Adsorpsiyon izotermi:* Kuru olan bir maddenin farklı bağıl nem derecesine sahip olan ortamlarda bekletilmesiyle ürün ağırlığının ölçülerek ağırlıktaki artış oranının tespit edilmesi sonucu oluşturulmaktadır.
- *Desorpsiyon izotermi:* Islak olan bir maddenin aynı bağıl nem derecesine sahip ortamda bekletilerek ağırlıktaki düşüş oranının ölçülmesi ile oluşturulmaktadır.

Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermelerini birebir birbirinin tersi olarak nitelendirmek mümkün değildir. Bu yüzden ürünün ortamdaki nem ile dengeye ulaşmasını sağlamak amacıyla, ürünündeki nem oranının artması ve azalmasına bağlı olarak adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi incelenerek değerlendirilmektedir. Şekil 6.1’de nem içeriğine bağlı olarak oluşturulan adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermine ait grafik gösterilmektedir. [51].



Şekil 6.1 Gıdalar için genel sorpsiyon izotermi [51]

Nem adsorpsiyon izotermi, bir ürünlerdeki su moleküllerinin başka bir madde tarafından tutulmasını ifade eder. Buradaki nem çekme işlemi adsorpsiyon, nem kaybetme işlemi ise desorpsiyon olarak belirtilmektedir. İzotermeler, birçok parametrelere (sıcaklık, basınç, dehisrasyon, ürün bileşimi ve fiziksel yapı) bağlı olarak farklılık göstermektedir. Her ürünün kendine özgü izoterm eğrisi mevcuttur. Nem sorpsiyon izotermeleri sayesinde ürün nem içeriği hakkında bilgi edinilerek raf ömrü parametresinin tahmini olarak tespit edilmesinde yardımcı olmaktadır [52].

Su aktivitesi (a_w) 0.6'dan daha düşük olan gıdalarda çoğu mikroorganizma gelişmeyeceğinden ürünün raf ömrünü uzatmak için gıda ürünlerinin su aktivitesi değerinin 0.6'dan düşük tutulması gerekmektedir. Bu nedenle kurutulmuş veya orta nem içeriğine sahip ürünlerin bu su aktivitesi aralığında (0 ila 0,6) sorpsiyon özelliklerinin bilinmesi önemlidir ve daha sonra sorpsiyon izotermeleri, paketlenmiş ürünün raf ömrünü tahmin etmek için kullanılabilir [53].

6.1 Kimyasal Bileşim ve Nem Sorpsiyonu İlişkisi

Gıda ürünleri genellikle hem sulu hem de katı bileşenleri birarada bulunduran kompleks yapılu moleküllerden meydana gelmektedir. Sulu fazda şeker, tuz gibi çözünebilir bileşikler yer alırken, katı fazda çözünmeyen nişasta, lif vb. yapılar bulunmaktadır. Su moleküllerinin gıda ürününün yapısındaki bileşikler ile olan etkileşimi ve yapıya bağlanmalar için polar kısımlarının varlığı su aktivitesi ve nem arasındaki ilişkiyi belirleyen önemli değişkenlerdir [52].

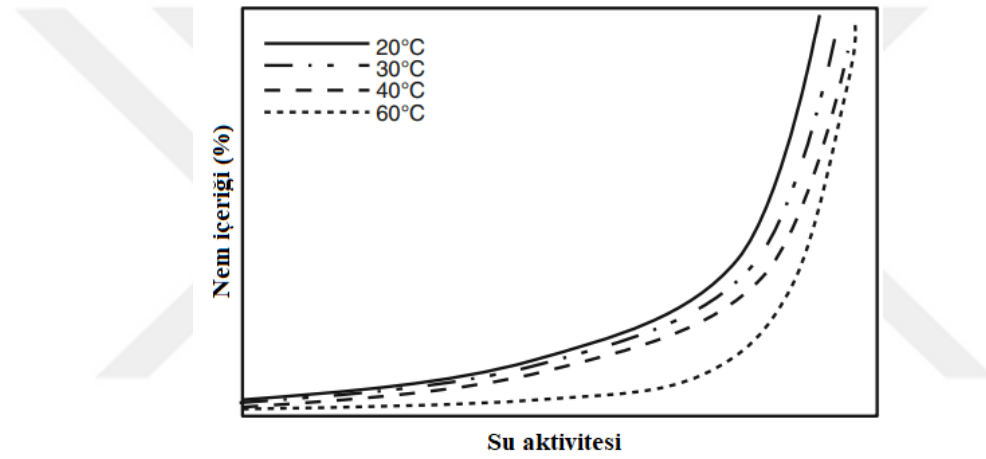
6.2 Sıcaklık ve Nem Sorpsiyonu İlişkisi

Kimyasal stabiliteyi etkileyebilecek çeşitli faktörler arasında genellikle kimyasal reaksiyon hızları üzerinde en büyük etkiye sahip olan tek evrensel değişken sıcaklıktır. Kimyasal reaksiyon hızlarının belirlenmesinde sıcaklık önemli bir faktördür. Sıcaklığın artırılması ile kimyasal reaksiyonlar daha hızlı bir şekilde gerçekleşebilmektedir. Aynı şekilde reaksiyon hızlarını yavaşlatmak gerektiğinde ise sıcaklık azaltılabilir. Ürün depolama süresince bozulmasını en aza indirmek veya engellemek amacıyla soğuk zincir lojistiğinin uygulanması bu kullanıma verilebilecek en güzel örneklerden biridir.

Bu nedenle kimyasal reaktiviteyi kontrol etmek ve ürünün raf ömrünü tahmin etmek için değişen sıcaklığın kimyasal reaksiyonlar üzerindeki etkisinin nasıl modelleneceğini belirlemek oldukça önemlidir [52].

Sıcaklık ve nem sorpsiyonu ilişkisi incelendiğinde, sıcaklık artışı ile su molekülleri arasındaki enerji artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak moleküller arasındaki bağ kurma potansiyeli azalmaktadır. Bu durum suyun adsorpsiyon izoterminin değişeceğini ve adsorpsiyon kapasitesinde artış olacağını göstermektedir.

Şekil 6.2’de gösterildiği gibi, sıcaklık artışına bağlı olarak maddenin iç yapısında fiziksel veya kimyasal değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişimin bir sonucu olarak aynı denge neminde sıcaklık artışı su aktivitesini attırmaktadır [52].



Şekil 6.2 Sıcaklık faktörüne bağlı olarak nem sorpsiyon izotermi [52]

Literatürde izoterm ve sıcaklık ilişkisi, izotermi sayısal olarak ifade eden matematiksel denklemler ile ilgili geniş alanda çalışmalara yer verilmiştir [54].

6.3 pH, Işık ve Oksijen ile Nem Sorpsiyonu İlişkisi

Farklı birçok faktör de kimyasal reaksiyonların hızlarını ve dolayısıyla gıda stabilitesini etkilemektedir. Reaksiyon hızını değiştiren parametreler arasında oksijen, ışık ve pH yer almaktadır. pH faktörüne örnek olarak, düşük pH değerlerinde sükrözün su ile parçalanma reaksiyonu, yüksek pH değerlerinde ise tiamin ve askorbik asit yapılarının parçalanması verilebilir. Işık parametresine örnek olarak riboflavin maddesini örnek verilebilir. Riboflavin ışıktan etkilenmektedir dolayısıyla ışığın olduğu ortamda riboflavin reaksiyon hızı

değişebilir. Bir diğer faktör ise oksidasyondur. Oksidasyon işlemi, oksijen varlığında yaşayan mikroorganizmaların olduğu ortamlarda gerçekleşmektedir. Bu duruma gıda ürünlerindeki lipidlerin oksidasyonu örnek gösterilebilir. Bahsedilen birçok faktörlerin takip edilerek sürecin kontrol altına alınması gıda ürünlerindeki kimyasal tepkimenin oluşumunu en aza indirerek raf ömrünün süresinin artmasına olanak sağlamaktadır [52].

6.4 Matematiksel Model Denklemleri

6.4.1 Brunauer-Emmett-Teller (BET) Modeli

1938'de formüle edilen Brunauer, Emmett ve Teller (BET) sorpsiyon denklemi, özellikle Tip II ve III olmak üzere çok katmanlı sorpsiyon izotermelerinin yorumlanmasında bir temel oluşturmakta ve yüzeyde adsorbe edilen nemin tek tabakalı değerinin bir tahminini sağlamaktadır. Brunauer-Emmett-Teller (BET) denklemi modeli aşağıda yer alan Denklem 6.1'deki gibidir. Bu denklem ile birlikte gıdalardaki nem içeriğinin uzaklaştırılması ve gıdanın depolama süresi boyunca nem oranının tespit edilmesi süreçleri matematiksel olarak ifade edilebilmektedir.

$$\frac{M}{M_0} = \frac{Ca_w}{(1-a_w)(1-a_w+Ca_w)} \quad (6.1)$$

M, ürün kuru halde iken nem içeriğini temsil etmektedir (kg / kg kuru madde). M_0 , kuru madde bazında tek tabakalı nem içeriğidir (kg / kg kuru madde tek tabaka), a_w su aktivitesidir ve C, sorpsiyonun net ısısı sabitidir [51].

6.4.2 Langmuir Modeli

Langmuir, özdeş ve bağımsız sorpsiyon bölgelerine sahip moleküler olmayan katmanlara dayanan ve denklemde gösterildiği gibi ifade edilen denklemi (Denklem 6.2) önermiştir:

$$a_w \left(\frac{1}{M_w} - \frac{1}{M_0} \right) = \frac{1}{CM_0} \quad (6.2)$$

M_w denge nem içeriğidir (kg su/kg kuru madde), M_0 tek tabakalı sorbat içeriğidir (kg su/kg kuru madde), a_w su aktivitesi ve C bir sabittir. M_0 değeri, gıda ürününü belli kısımlarında iyi bir şekilde adsorbe edilen su miktarını ve en kararlı olduğu yapısal değeri temsil eden önemli bir parametresidir. Ürünün en üst katmanından

buharlaşan su molekülleri ile ürünün dış yüzeyi arasında meydana gelen kuvvetlerin teorik olarak ifade edildiği bir diğer önemli denklem ise Langmuir izoterminin yorumlanması sonucu elde edilmiştir [55].

6.4.3 Halsey Modeli

Halsey denklemi ilk olarak Halsey tarafından 1948 yılında teorik olarak şu şekilde (Denklem 6.3) belirlenmiştir:

$$RH = \exp\left(-\frac{D}{RT\theta^C}\right) \quad (6.3)$$

Denklemde; RH: bağıl nem, D ve C : sabit, T : °C cinsinden sıcaklık, R : ideal gazların sabiti, $\theta = M_C/M_m$, M_C : nem içeriğini ifade etmektedir.

M_m , düşük oranda neme sahip olan gıda ürünlerinin uç kısımlarında bulunan su miktarının tespit edilmesinde kullanılan bir terimdir. Tek tabaka değerini temsil eder.

Halsey, C parametresinin büyüklüğünü buhar ve katı arasındaki etkileşim tipiyle ilişkilendirerek yorumlamıştır. Büyük C değerleri için, katının buharı çekme derecesi yüzeye yakındır. C değerinin küçük olması ise, katının buharı çekme derecesinin yüzeyden uzak olduğu ve bu çekim kuvvetinin Van der Waals kuvvetleri ile sağlandığı belirtilmektedir. Halsey denkleminde tek tabaka teriminin çıkarılması ile denklem yeniden düzenlenmiştir. Literatürde yapılan araştırmalar ışığında D parametre sabitinin çıkarılmasıyla yeni denklem nem içeriğine bağlı olarak ifade edilmiştir.

D parametresinin sıcaklığa bağımlı olduğu tespit edilerek bu parametre için ampirik bir fonksiyon önerilmiştir. Burada A ve B ampirik parametreler, C sabit, ERH denge bağıl nemidir. Bu parametreleri değiştirerek ve nem içeriği terimini dahil ederek modifiye edilmiş bir Halsey denklemi Denklem 6.4'te önerilmiştir [56]:

$$ERH = \exp\left(-\frac{\exp(A+B(T))}{(MC)^C}\right) \quad (6.4)$$

6.4.4 Smith Modeli

1947'de Smith, yüksek moleküler ağırlıklı biyopolimerlerin su emme izoterminin son kavisli kısmını açıklamak için ampirik bir model geliştirmiştir. Kuru yüzeyden su emilme işlemi 2 ana alt grup altında incelenmektedir. 1.bölüm normale göre

yüksek yoğunlaşma ısıyı göstermekte, 2. bölüm ise ürünün üst yüzeyinin birçok katmanlı yoğunlaştırılmış su moleküllerinden meydana gelmesi ve bu durumda ürün yüzeyinden suyun buharlaşmasının engellenmesi şeklinde ifade edilmektedir. Smith tarafından model denklemi oluşturulurken, birinci bölümün gerçekleşmesinden sonra meydana gelen ikinci bölümdeki nem miktarının ürünün su içeriği ile saf su arasındaki farkın logaritması ile ilişkili olduğunu denklem kurarak ispatlanmıştır. Smith teorisine ait matematiksel denklem, Denklem 6.5 ile ifade edilmiştir.

$$M_w = C_1 + C_2 \ln(1 - a_w) \quad (6.5)$$

Denklemde yer alan C_1 , ilk bölümde yer alan su miktarını temsil etmekte ve C_2 , ikinci bölümde yer alan su miktarını temsil etmektedir [55].

6.4.5 Guggenheim, Anderson ve De Boer (GAB) Modeli

Guggenheim (1966), Anderson (1946) ve De Boer (1953) tarafından bağımsız olarak türetilen üç parametrelilik GAB denklemi, yarı teorik, multimoleküler, lokalize, homojen bir adsorpsiyon modelidir. Model denklemi Denklem 6.6 ile gösterilmektedir.

$$M = \frac{M_0 G K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + G K a_w)} \quad (6.6)$$

Denklemde yer alan; M kuru maddedeki nem miktarıdır (kg/kg kuru madde), M_0 tek tabakalı nem miktarıdır; G ve K , sorpsiyon bölümlerindeki moleküllerin enerji sabitleri, a_w su aktivitesidir. GAB denklemi, BET denkleminin geliştirilmiş bir versiyonu olarak ifade edilebilir [57].

6.4.6 Oswin Modeli

1946 yılında Oswin, sigmoid şekilli eğriler için seri açılım olan ampirik bir model geliştirmiştir ve aşağıda denklemdeki (Denklem 6.7) gibi ifade etmiştir:

$$M = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B \quad (6.7)$$

M , nem içeriği (kg/kg kuru katı), A ve B sabit, a_w su aktivitesidir. Boquet ve diğerleri, Oswin denkleminin nişastalı gıdaların izotermelerini açıklamak için en iyi denklem olduğunu, et ve sebzeler için oldukça iyi bir uyum olduğunu ifade

etmişlerdir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Oswin denkleminin, yağsız sütlerdeki nem içeriğinin araştırılmasında kullanıldığı tespit edilmiştir [57].

6.4.7 Henderson Modeli

Henderson izoterm modeli, adsorplanan moleküllerin çok tabakalı adsorpsiyonuna karşılık gelen bir denklem ile ifade edilmektedir. Bu model denklemini, heterojen yüzeydeki adsorpsiyon süreciyle uyumludur. Henderson modeli termodinamik yollardan türetilmiş olan yarı-empirik bir modeldir (Denklem 6.8) [58].

$$M = \left(\frac{\ln(1-a_w)}{a} \right)^{1/b} \quad (6.8)$$

M ıslak bazda nem içeriği, a_w su aktivitesi, a, b ve c malzemeye bağlı sabitlerdir [59].

6.4.8 Peleg Modeli

Peleg denklemini, gıdanın zamana bağlı olarak su emme sürecini en iyi şekilde açıklayan matematiksel modellerden biridir. Denklemde dört temel sabit ve iki değişken yer almaktadır. Peleg model denklemini Denklem 6.9’da gösterilmektedir.

$$M = c_1 * a_w^{c_3} + c_2 * a_w^{c_4} \quad (6.9)$$

C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 denklem katsayıları, M denge nem içeriği (g su/g kuru madde), a_w su aktivitesi olarak tanımlanır. Literatür çalışmaları incelendiğinde, örneğin fasulyelerin su emilimini tanımlamada, tahıldaki nişastanın jelatinleştirilmesinde, tahıl ürünlerinin ıslatılması ile su emilim performansının incelenmesinde Peleg denkleminin uygun olarak modellendiğini göstermektedir [60], [61].

GIDA ENDÜSTRİSİNDE ENKAPSÜLASYON UYGULAMALARI

Enkapsülasyon; aktif bir bileşenin, bu bileşeni koruyacak bir kaplama malzemesinin içerisine hapsedilmesi işlemi olarak tanımlanabilir [62]. Enkapsülasyon teknolojisi, gıda sektöründe geniş bir alanda yer tutan yeni ürün kategorisinin geliştirilmesinde, fonksiyonel gıdaların üretim proseslerinde, yeni içerikli gıda özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanımı tercih edilen ve ürün yapısı ve kullanım amacına göre farklı tekniklerden oluşan oldukça kapsamlı bir yelpazeye sahiptir. Enkapsülasyon teknolojilerinde temel olarak, bir kaplama (duvar) malzemesi ile aktif materyalin kaplanarak korunması amaçlanmaktadır [63].

Kapsüllenmiş madde, aktif madde olarak nitelendirilmesinin yanı sıra çekirdek, dolgu, aktif, iç veya yük fazı olarak da adlandırılabilir. Etken maddeyi enkapsüle etmek için kullanılan madde, kapsülleyici madde olarak nitelendirilmesinin yanı sıra kaplayıcı/kabuk madde, taşıyıcı malzeme, zar veya dış faz olarak da isimlendirilmektedir [62]. Gıda kategorisi ürünlerinde raf ömrünü uzatmak veya ürünlerdeki kalite kayıplarını engellemek amacıyla proteinleri ve polisakkaritlerin kapsülleyici madde olarak kullanıldığı enkapsülasyon uygulamalarında doymamış yağlar, enzimler, vitaminler ve biyoaktif gıda bileşenleri aktif materyel olarak ürün içine hapsedilmektedir. Günümüzde son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar gıdaların fonksiyonel özelliklerini arttırmaya, besin içeriğinin geliştirilmesine, çeşitli enzimlerin, probiyotiklerin, peptitlerin ve diğer tedavi edici ajanların belirlenen yapısal özelliklerinin iyileştirmesine odaklanmakta ve bunların sonucunda ürünlerin sektörde yaygınlaşmasını ve daha fazla değer kazanmasını hedeflemektedir [63].

Endüstrisinin geniş alanında yer tutan ve gıda teknolojisi uygulamalarında kullanılan enkapsülasyon yöntemleri sayesinde farklı işleve sahip birçok bileşenler (yapay tatlandırıcılar, lipitler, vitamin ve mineraller, antioksidanlar, antimikrobiyal yapılı bileşikler, renklendiriciler, su, enzim gibi) enkapsülasyon işleminde görev

almaktadır. Enkapsülasyonun en önemli avantajlarından biri enkapsüle edilen aktif materyalin uygun zamanda kontrollü olarak salımının gerçekleştirilebilmesidir. Fakat bunun yanında uygulamalarda kullanılan enkapsülasyon tekniklerinin ekonomik açıdan maliyetinin yüksek olması da getirdiği en önemli dezavantajlardan biri olarak gösterilebilir.

Aktif materyalin salımında meydana gelen salınım işlemi gerçekleşene kadar geçen sürede uygun uzama veya gecikme süresi mevcuttur. Ayrıca kapsüllenmiş tatlar ve tatlandırıcılarda, ürünün tüketildiği süre boyunca arzu edilen bir tat etkisini muhafaza edecek şekilde salım hızında azaltma işlemi gerçekleşmektedir. Aktif maddelerin bu şekilde iletilmesi, daha geniş bir yelpazede gıda bileşenlerinin uygulanmasına olanak tanımakta ve optimum dozaj sağlamaktadır [64]. Gıda endüstrisinde aktif maddelerin kapsüllenmesi koruma, kontrollü dağıtım, tat maskeleye ve kolay kullanım gibi amaçlar için uygulanmaktadır [65]. Örneğin gıda sektöründe kullanılan aromalarda aromayı gıda ile istenmeyen etkileşimlerden korumak, depolama sırasında bir gıda ürünüde aromayı tutmak, aroma-lezzet etkileşimlerini en aza indirmek, ışık kaynaklı reaksiyonlara ve/veya oksidasyona karşı korumak, aromaların raf ömrünü artırmak veya kontrollü bir şekilde izin vermek için enkapsülasyon teknolojisi kullanılabilmektedir [66].

Birçok enkapsülasyon metodu içerisinde uygun ve doğru olan metodun uygulanmasında bazı faktörler de etkili olmaktadır. Bunlar; çekirdek ve duvar malzemesinin çözünürlüğü, nihai parçacık boyutu ve kalınlığı, duvar malzemesinin geçirgenliği, çekirdek malzemesinin salınma hızı, ekonomik sorunlar, çekirdeğin fizikokimyasal özellikleri ve duvar malzemeleri, nano parçacıklar ile mikro parçacıkların uygulanacağı malzeme işleme koşulları arasındaki uyumluluk ve son ürünlerdeki mikro parçacıkların performansdır [67].

7.1 Enkapsülasyon Yöntemleri

Enkapsülasyon yöntemleri, etki mekanizmasına göre fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal olarak sınıflandırılabilir:

- *Fiziksel yöntemler*: Sprey yöntemi ile kurutma, dondurarak kurutma, akışkan yatak teknolojisi ve ekstrüzyon.

Fiziksel yöntemlerde sıcaklık ve basınç parametrelerine bağlı olarak sistemdeki çözücünün buharlaştırılması ile ürün yapısı analiz edilmektedir. Fiziksel yöntemler ısıya dayanıklı moleküllerin enkapsülasyonunda tercih edilmekte olup genellikle ilaç ve gıda sektöründe geniş bir uygulama alanına sahiptir.

➤ *Kimyasal yöntemler:* Moleküler inklüzyon ve arayüz polimerizasyonu.

Kimyasal yöntemler, enkapsülasyon işlemi sırasında çekirdek ile duvar arasındaki kimyasal etkileşimlerin olduğu süreci kapsamaktadır ancak bu yöntemlerden bazıları proses sürecinde toksik ve kirletici kimyasalların kullanılması nedeniyle önerilmemektedir.

➤ *Fizikokimyasal yöntemler:* İyonik jelleşme, lipozom oluşumu, koaservasyon ve sol-jel metodu

Fizikokimyasal yöntemlerde kirletici maddelerin bulunmaması ve enkapsülasyon işlemi sırasında mikroorganizmaları ve çevreyi etkileyebilecek zor koşullar olmaması nedeniyle çevresel alanda uygulama bulmak daha kolaydır [68].

7.1.1 İyonik Jelasyon (Damlatma) Yöntemi

İyonik jelleşme, bir polimer çözeltisine içerisine aktif bileşenin çözünmüş halde bulunduğu çözeltinin bir şırınga yardımı ile damla damla ilave edilmesinden meydana gelen proses metodudur. Proses sonucunda polimer çözeltisi içerisinde jel formunda küresel enkapsüle tanecikler meydana gelmektedir. İyonik jelasyon yöntemi temel olarak zıt yüklü polimerlerin (polianyon ve polikasyon) etkileşimine dayanmaktadır. Anyonik bazlı polimer olarak aljinat çözeltisi hem düşük maliyetli olması hem de toksit olmayan uyumlu bir çözelti oluşturması sebebiyle enkapsülasyon materyali olarak sıklıkla tercih edilmektedir. Örnek olarak kalsiyum klorür çözeltisine sodyum aljinat çözeltisinin damlatılması ile jel partikülleri oluşmaktadır. Kalsiyum çözeltisindeki katyonlar ile aljinat çözeltisindeki anyonlar arasında etkileşim oluşarak çapraz bağlanma meydana gelmektedir [69].

Damlatma metodu ile katyonik yapıdaki kitosan molekülleri ile anyonik bazlı aljinat molekülleri arasındaki etkileşim sayesinde kitosan-aljinat kompleksi meydana gelebilmektedir. Bu yöntem ile aljinat ve kitosanın beraber kullanımı, ayrı ayrı kullanıldığı proseslere göre daha verimli sonuçlar vermektedir [70].

7.2 Kaplama Materyalinin Özellikleri

Çekirdek materyalinin korunması ve enkapsülasyon etkinliğinin yüksek verimde gerçekleşebilmesi için uygun kaplama materyalinin seçimi oldukça büyük önem taşımaktadır. İyi bir kaplama materyali aşağıda sıralandığı üzere belirli bazı özellikleri bulundurmalıdır:

- Yüksek konsantrasyonda iyi reolojik özellik ve kolay işlenebilirliğe sahiptir.
- Çekirdek materyalin dağılmasını sağlamakta ve birbiri ile karışmayan sıvı moleküllerinin stabilizasyonu gerçekleştirmeye yardımcı olmaktadır.
- Enkapsüle edilecek çekirdek materyal ile fiziksel veya kimyasal herhangi bir tepkime vermez.
- Depolama ve raf ömrü süresince çekirdek materyali dış etkilere koruyarak yapısının bozulmasını önlemektedir.
- Enkapsülasyon tekniği esnasında yer alan çözücüleri ortamdan uzaklaştırma veya kurutma özelliğine sahiptir. Kullanılan çözücü gıda sektöründeki standartlar çerçevesinde uygun değerde olmalıdır.
- Etken maddeyi çevre şartlarına (örneğin; oksijen, ısı, ışık, nem) karşı maksimum koruma sağlayabilme özelliğine sahiptir [71].

7.3 Mikroenkapsülasyon

Mikroenkapsülasyon yöntemi, aktif bir maddenin polimer bazlı koruyucu kaplama malzemesi içinde tutulması ile mikrokapsüllerin oluşmasını sağlayan bir proses olarak tanımlanabilir.

Elde edilen mikrokapsüller farklı formlarda bulunabilmekte ve kullanılan enkapsülasyon tekniğine bağlı olarak 1 ila 1000 µm gibi değişik boyutlarda oluşabilmektedir. Mikroenkapsülasyonda kaplamanın önemli olmasının yanı sıra kontrollü salımın da kapsülasyon etkinliğinde ileri düzeyde etkili olduğu bilinmektedir. Mikrokapsüller yapısal özelliklerine göre farklı yapılarda çekirdek malzemeyi kaplayabilir ve salınmasını gerçekleştirebilir. Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle oluşturulacak olan mikrokapsülün yapısına ve istenilen özelliklerine göre farklı birçok kapsülasyon teknikleri geliştirilmiştir. Her teknik,

kendi avantajları ve dezavantajları olan, sınırlı bir malzeme yelpazesine, parçacık boyutlarına, çekirdek yüküne, morfolojilere ve ilgili maliyetlere sahip parçacıklara yol açan kapsül oluşturma özelliğine sahiptir [72].

7.4 Nanoenkapsülasyon

Nanoenkapsülasyon, çok küçük olan moleküllerin kapsülasyonunda kullanılan nano ölçekli aralıkta biyoaktif korumayı amaçlayan bir teknolojik yöntemdir. Nanoenkapsülasyonda oluşan parçacıklar boyutları 10 ila 1000 nm aralığında değişkenlik göstermektedir. Kapsülasyon işleminde moleküllerin boyutu, salınım sırasında moleküllerin vücutta farklı kısımlara ulaşmasında oldukça etkin bir rol oynamaktadır. Dolayısıyla nanoenkapsülasyon işlemi, mikroenkapsülasyon işlemine göre parçacık boyutunun daha küçük olması avantajına sahip olması ile vücutta salımı kolaylaştırmakta ve parçacıkların hedefe ulaşmasında daha yüksek etki gösterebilmektedir [73].

LİTERATÜRDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ayan (2018) yaptığı çalışmada bitkisel bazlı aktif materyal olarak kullanılan kırmızı pancar ekstraktının raf ömrünü arttırmak amacıyla enkapsülasyon teknolojisi ile kapsülleme işlemi gerçekleştirmiştir. Çalışmada duvar (kaplama) materyali olarak balmumu kullanılmıştır. Balmumu aktif maddenin bozunmasını engellemek amacıyla tercih edilmiştir. Kapsüllenmiş maddeler hazırlanan kefir örnekleri içerisine ilave edilerek ürün performansı gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda balmumu ile kapsüllenen kefir numunelerinin antioksidan aktivitesinin olumlu yönde etkilendiği gözlemlenmiştir [74].

Göktürk (2021) tarafından yapılan çalışma, havuç antosiyaninlerinin bir enkapsülasyon metodu olan iyonik jelasyon yöntemi kullanılarak aljinat çapraz bağları ile elde edilen kapsülleme işlemini temel almaktadır. Havuç antosiyaninlerinin enkapsülasyon işleminde en uygun sonuçların elde edilmesini sağlamak amacıyla Yanıt Yüzey metodu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sodyum aljinat ve jelatin oranının enkapsülasyon verimini etkileyen önemli faktörler olduğu tespit edilmiştir. Sodyum aljinat ve jelatin oranı ile enkapsülasyon verimliliği arasında doğru bir orantı olduğu saptanmıştır. Oran arttıkça kapsüllerin daha iyi çapraz bağlandığı ve sıkı bir jel oluşturduğu gözlemlenmiştir [75].

Ghellam (2021) çalışmasında güzyemişi meyvelerinde bulunan likopenin ekstrakte edilerek toz halinde enkapsülasyonun gerçekleştirilmesini amaçlamıştır. Bu süreçte önce farklı çözücüler kullanılarak ekstraksiyon çalışması simpleks kafes tasarımı kullanılarak optimize edilmiş ve süreci etkileyen sıcaklık, zaman vb. koşullar esas alınarak proste iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada püskürterek kurutma, etüvde kurutma, mikrodalga ve dondurarak kurutma teknikleri kullanılarak elde edilen likopen tozlarının fizikokimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. Basit enkapsülasyon ve kompleks koaservasyon yöntemleri kullanılarak kapsülleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çekirdek materyal olarak kapsüllenecek likopen tozu verimliliği en iyi kurutma tekniği olan püskürtmeli kurutma yönteminde gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışma ile, kullanılan

teknikler (püskürtmeli kurutma ve enkapsülasyon) sayesinde likopenden sağlanan yararlanım oranının yaklaşık iki kat arttığı tespit edilmiştir [76].

Çoruhli (2013) tarafından yapılan çalışma, kara dut meyvesinde bulunan antosiyaninlerin iyonik jelasyon yöntemi ile enkapsüle edilmesi ve bu süreci etkileyen faktörlerin Yanıt Yüzey metodu kullanılarak optimize edilmesini kapsamaktadır. Öncelikle antosiyaninler kara dut meyvesinden iki aşamalı olarak ekstrakte edilmiştir. Dut meyvesinin ve ekstrakte edilen antosiyaninlerin antioksidan kapasitesi, fenolik madde içeriği, toplam flavonoid miktarı ve toplam antosiyanin miktarları gibi bazı özellikleri analiz edilmiştir. İyonik jelasyon yöntemi kaplama metaryali olarak kitosan içeren kalsiyum klorür çözeltisi kullanılmıştır. Çekirdek materyal olarak antosiyonin molekülleri aljinat çözeltisi ile homojen olarak karıştırılmıştır. Antosiyonin içeren homojen çözelti şırınga yardımı ile damla damla kitosanlı kalsiyum klorür çözeltisi içerisine aktarılmıştır. Kalsiyum klorür çözeltisindeki kalsiyum ile sodyum aljinattaki sodyum molekülleri arasında çapraz bağlanma oluşurken, kitosan ve aljinat arasında iyonik bir bağlanma meydana gelmektedir. Kapsüllerin salım işlemi mide ortamında gerçekleştirilmiştir. En iyi enkapsülasyon koşullarını belirlemek amacıyla deneysel tasarım metodu olarak Minitab kullanılmıştır. Deneysel çalışma sürecinde yapılan testlerde maksimum enkapsülasyon verimliliği ve mide ortamında minimum salım miktarı hedeflenmiştir. Kapsüllerin kitosan içeren kalsiyum klorür çözeltisinde karıştırma süresinin artmasıyla iyonik bağlanmanın daha iyi olduğu ve mide ortamında salım miktarının azaldığı tespit edilmiştir [70].

Balık yağlarının pek çok faydası olmasına rağmen güçlü kokusu ve hızlı bozunmaya uğramaları sebebiyle gıda endüstrisindeki uygulamaları oldukça sınırlıdır. *Ghorbanzade vd. (2017)* tarafından yapılan çalışmada nanoenkapsülasyon yöntemiyle kapsüllenmiş balık yağının yoğurt içeriğinin zenginleştirilmesinde kullanımı araştırılmıştır. Üretilen yoğurt örneklerinin fizikokimyasal özellikleri (pH, yağ aside bileşimi, peroksit miktarı, asitlik vb.) incelenmiş ve 4°C'de üç haftalık depolama süresince yapılan duyu testleri değerlendirilmiştir. Nanoenkapsülasyon işlemi sonucunda balık yağının kapsülasyon verimliliği yüksek değerde bulunmuştur. Gaz kromatografi analizlerinin sonuçları, 21 günlük depolamanın ardından nanokapsüllenmiş balık

yağı ile güçlendirilmiş yoğurdun, serbest balık yağı içeren yoğurttan daha yüksek Dokozahekzaenoik asit (DHA) ve Eikozapentaenoik asit (EPA) içeriğine sahip olduğunu ortaya çıkardı. Kapsamlı olarak incelendiğinde, nanokapsüle edilmiş balık yağının bu formda yoğurt içerisine eklenmesi olumlu olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma ile balık yağının enkapsülasyonunda nanolipozomların etkin rol alabileceği, karakteristik yapı ve özelliklerinin bu teknik için uyumlu olduğu ve bu yöntemle kapsülasyon etkinliğinin gerçekleşmesinin başarılı sonuçlar elde edilmesine olanak sağladığı sonucuna varılmıştır [77].

Seregelj vd. (2019) yaptıkları çalışmada kırmızı biber atığından elde edilen biyoaktifleri enkapsüle etmeyi ve yoğurt numunelerindeki stabiliteyi gözlemlemeyi hedeflemiştir. Kırmızı biber atığından elde edilen ve kapsüllenecek olan aktif materyal, kaplama materyali olarak seçilen peynir altı suyu protein içine farklı iki enkapsülasyon tekniği (sprey ve dondurarak kurutma) uygulanarak enkapsüle edilmiştir. Kapsüllerin fizikokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Biyoaktif maddelerin alıkonması 21 gün boyunca takip edilmiş ve duyu analizler değerlendirilmiştir. Dondurularak kurutulmuş kapsüller, su aktivitesi, nem içeriği, çözünürlük, akıcılık ve renk özellikleri gibi daha iyi özellikler göstermiştir ve bu nedenle yoğurda dahil edilmiştir. Dondurularak kurutulmuş kapsül içeren yoğurt numuneleri, karotenoidleri başarıyla tutarak polifenol tutulmasının artmasına neden olmuştur. Kapsül içeren numuneler kontrol numuneye göre hem daha kaliteli hem de daha iyi duyu özelliklere sahiptir. İçeriği iyileştirilen yoğurtların laktik asit bakteri sayılarında başlangıca göre değişiklik olmamıştır. Sonuç olarak dondurarak kurutma ve biber atığının kullanımı; gelişmiş beslenme, renk ve biyoaktif özellikleri ile fonksiyonel gıda gelişimi için etkili olduğu ifade edilmiştir [78].

Gıda ürünlerine Spirulina eklenmesiyle besin değeri zenginleştirilmiş ve insan sağlığını pozitif yönde etkileyen yeni gıda çeşitleri oluşturulabilmektedir. Spirulina ilave edildiği her üründe eşit dağılım göstermeyebilen ve tat ve koku yönünden her tüketiciye hitap etmeyen bir yapıya sahiptir. *Silva vd. (2019)* tarafından yeni bir gıda bileşeni geliştirmek için bir alg türü olan Spirulina kimyasal olarak karakterize edilmiştir. Spirulina püskürterek kurutma yöntemi ile gıda ürününe eklenmiştir. Enkapsülasyon tekniğinde maltodekstrin ve sitrik asit ile çapraz bağlanmış maltodekstrin olmak üzere iki farklı kaplayıcı materyal kullanılmıştır. Üründe

kapsüllenmiş formda ve serbest halde bulunan spirulina moleküllerinin ürün içindeki aktivasyonu yorumlanmıştır. Mikroaps llenmiş spirulina, sitotoksisite göstermeden daha iyi anti-inflamatuar aktivite gösterirken, baz malzemelerden daha yüksek termal stabilite sergilemiştir. Daha sonra enkapsüle edilmiş ve serbest haldeki spirulina molekülleri yoğurt örneklerine katılarak ürün değerlendirmesi yapılmıştır. Kapsüllenmiş spirulina ile eklenen yoğurtlar daha homojen bir görünüm sergilemiş ve en iyi     m, depolama süresi boyunca beslenme profili, çekici renk ve geliştirilmiş antioksidan aktivite göz önüne alındığında, sitrik asit ile çapraz bağlanmış maltodekstrin içinde kapsüllenmiş spirulina olduğu sonucuna ulaşılmıştır [79].



Optimizasyon, belirlenen koşullar çerçevesinde bir durum için en iyi ve en optimum sonuca ulaşma işlemi olarak tanımlanabilir. Endüstrinin birçok alanında özellikle mimar ve mühendislik temalı uygulamalarda verimli ve doğru sonuçlar elde edebilmek için doğru ve etkin kararların alınması gereklidir. Bu süreçlerdeki temel amaç, minimum çaba ile maksimum düzeyde talep edilen yararı (hedefi) sağlamaktır. Böyle bir durumda ulaşmak istenilen hedef belirli parametrelerin fonksiyonu olarak matematiksel denklemler ile açıklanmaktadır. Optimizasyon, matematiksel model denklemlerinde ifade edilen “Bir fonksiyonun maksimum veya minimum değerini veren koşulları elde etme süreci” olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon sürecindeki problemleri etkili bir şekilde çözmek için zaman içerisinde yapılan araştırmalar sonucunda farklı yöntemler bulunmuştur [80].

9.1 Kimya Mühendisliğinde Optimizasyon

Optimizasyon; kimya ve maden işleme, petrol ve gaz rafinerisi, ilaç gibi ilgili endüstrilerde geniş uygulamalara sahiptir. Geçmişten günümüze yapılan optimizasyon çalışmaları değerlendirildiğinde kimya mühendisliği alanındaki proseslerin geliştirilmesi, kimyasal süreçlerin iyileştirilmesi gibi farklı kullanımlara sahip olduğu tespit edilmektedir. Kimya mühendisliği uygulamalarındaki optimizasyon işleminin temel amacı maliyet, geri kazanım, enerji, performans, kalite, verimlilik, sağlamlık ve kâr gibi birçok faktörü bir arada kapsayabilmektedir. Karmaşık kimyasal süreçlerde çeşitli ekonomik ve çevresel kısıtlamalar göz önüne alındığında, birbiriyle çelişen birden fazla amacın optimum çalışma noktalarını bulmak, kimyasal tesislerin karlılığı için çok önemlidir. Dolayısıyla kimya endüstrisinin pek çok alanında meydana gelen sorunlara çözüm olması için birden çok amacı birarada bulunduran optimizasyon süreçleri kullanılmaktadır [81]. Kimya mühendisliğinin süreç tasarımı, kontrol, sentez vb. aşamalarında meydana gelen problemler matematiksel formda denklem halinde ifade edilerek ve uygun optimizasyon yöntemleri ile çözüme ulaştırılmaktadır [82].

9.2 Design Expert

Deneyisel tasarımda kullanılan metodlar, yeni bir sistemin oluşturulması ve mevcut performansın iyileştirilmesi temel alınarak yapılan çalışmalarda rol aldığından oldukça önemlidir. Deneyisel tasarımdaki ana hedefleri aşağıda yer aldığı üzere sınıflandırarak incelemek mümkündür:

- Cevabın oluşmasını etkileyen önemli girdi etkenlerinin tespit edilmesi.
- İstenen sonuca en yakın durumu oluşturmak amacıyla girdi bileşenlerinin durumları ve derecelerinin tespit edilmesi.
- Kontrolü sağlanamayan girdi etkenleri için, sonuç bileşenini en az etkileyecek şekilde kontrol edilebilen girdi etkenleri bütünü oluşturulması.

Deneyisel tasarım oluşturulurken, prosesi değiştiren her çeşit faktör “etken” olarak adlandırılmaktadır. Etkenlerin farklı kademeleri “seviye” olarak adlandırılmaktadır. Bir deney tasarımı oluşturulurken birçok seviye ve etkenler kullanılabilir. Girdi faktörlerinin metot, makine veya insan gücü ile anlamlı çıktı faktörlerine dönüşmesi süreci proses veya süreç olarak ifade edilmektedir. Prosesteki değişkenler kontrol edilebilen $x_1, x_2, \dots, x_k$ gibi ve kontrol edilemeyen $z_1, z_2, \dots, z_q$ değişkenlerden meydana gelebilir [83]. State Ease tarafından kurulmuş olan Design Expert, istatistiksel metodları içeren bir optimizasyon programıdır. Design Expert programında Tepki Yüzey Metodu sıklıkla kullanılmaktadır. Tepki Yüzey metodunda yer alan matematiksel ifadeler ve model denklemler ile problemler tanımlanarak uygun çözüm teknikleri oluşturulmaktadır. Tepki Yüzey yöntemindeki temel amaç, problemin çözülmesindeki giriş verilerini çıkış verileri (sonuç) ile birleştirerek çözüm sunmaktır.

Bağımlı değişken (y) ve birden fazla bağımsız değişkenden (x) oluşan lineer denklem (Denklem 9.1) aşağıda ifade edildiği gibidir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \dots \quad (9.1)$$

Denklem 9.1’de ifade edilen regresyon modeline göre, β_0 sabit bir katsayıdır. Bağımsız değişkenlerin katsayılarını ifade eden $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_k$ değerleri bağımsız değişkendeki her birim değişiklik için bağımlı değişkenin ne derece etkilendiğinin sayısal olarak ölçülmesini sağlamaktadır. Bu denklem ile birlikte optimum sonuç tespit edildikten sonra ikinci denkleme (Denklem 9.2) geçiş yapılır.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \dots \quad (9.2)$$

Optimum noktayı bulmak amacıyla tepki yüzey yöntemi ile analiz yapılarak optimizasyon çalışmasına devam edilmektedir [84].



10.1 Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

Bu çalışmada, sütün mayalanması ile el yapımı olarak elde edilen yoğurt numuneleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sürecinde doğal katkı maddeleri olarak; yumurta kabuğu tozu, ayva çekirdeği müsilağı, karides kabuğu tozu, elma aroma vericisi ve doğal sirke kullanılmıştır. Deneylerde kimyasal madde olarak LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaCl ve KCl kullanılmıştır.

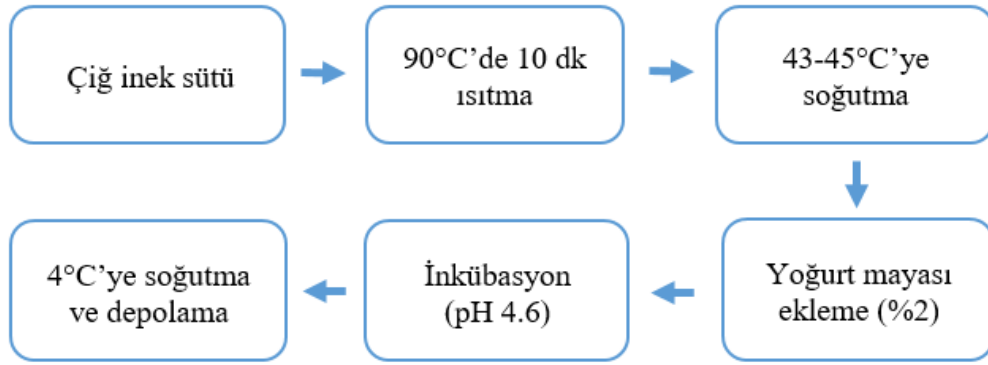
Deneysel aşamada kullanılan cihazlar aşağıdaki gibidir:

- Hassas terazi: AND GF-600
- Isıtıcılı manyetik karıştırıcı: MTOPS MS300 HS
- Etüv: Nüve FN055
- Termometre
- Viskozimetre cihazı: Schott Viscoclock Kinematik Viskozimetre
- Buzdolabı: Esco Lexicon ULT Freezer
- FT-IR cihazı: Perkin Elmer, Spectrum 100
- SEM cihazı: Zeiss EVO LS 10
- SEM kaplama cihazı: QUORUM
- XRD cihazı: Malvern PANalytical Empyrean MultiCore

10.2 Metot**10.2.1 Yoğurt Numunelerinin Hazırlanması**

Organik ürünlerin yer aldığı marketten temin edilen çiğ süt, uygun saklama koşulları sağlanarak (cam kaptan, hava almayacak şekilde ağzı kapalı ve sıcaktan korunarak) yoğurt elde edilmesinde kullanılmak üzere laboratuvara getirilerek deneysel süreç başlayana kadar 4°C’de buzdolabında saklanmıştır. Geleneksel (ev tipi) yoğurt üretiminde maya olarak, daha önce yapılan organik yoğurttan alınan

maya kullanılmıştır. Geleneksel yoğurt üretim prosesi Şekil 10.1’de ifade edilmektedir.



Şekil 10.1 Geleneksel (ev tipi) yoğurt üretim süreci [85]

Yoğurt üretiminde ilk aşama olarak 500 g çiğ inek sütü ince gazlı bezden süzölmüştür. Daha sonra içerisindeki hastalık yapıcı mikroorganizmaların ortadan kalkması amacıyla 90°C sıcaklıkta yaklaşık 10 dakika kaynatılmıştır. Sütün mayalama işlemi hazır hale gelmesi için yeterince ısıtılan süt, 43-45°C’ye soğumaya bırakılmıştır. Bu süreçte ısı ölçümleri termometre ile gerçekleştirilmiştir. Uygun soğuma işleminden sonra daha önceden hazırlanmış ev tipi yoğurt mayasından yaklaşık 10 g soğuyan süte ilave edilmiştir. Maya eklendikten sonra sütün sıcaklığının düşmemesi amacıyla sütün bulunduğu kap alüminyum folyo ile sarılmıştır. Uygun mayalanma işlemi elde etmek için 5-6 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. pH 4.6’ya ulaşıncaya süreç durdurulmuştur. Daha sonra deneylerde kullanılmak üzere 4°C’de buzdolabında saklanmıştır [85].

10.2.2 Doğal Katkı Maddelerinin Hazırlanması

10.2.2.1 Ayva Çekirdeği Müsilajı

Marketten alınan ayva meyveleri saf su ile iyice yıkandıktan sonra kesilerek içindeki çekirdekleri çıkarılmıştır. Daha sonra 1 gün boyunca oda sıcaklığında bekletilerek kurutulmuştur. 3 g kuru ayva çekirdeği içerisinde 100 ml saf su bulunan beher içerisine konularak 2 saat manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır (Şekil 10.2).



Şekil 10.2 a) Ayva b) Ayva çekirdeği c) Çekirdeklerin saf suda bekletilmesi

Çekirdekten müsilaj salınması için 1 gün boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Elde edilen ayva çekirdeği müsilajı Şekil 10.3'te gösterilmektedir.



Şekil 10.3 Ayva çekirdeği müsilajı

Sonrasında müsilajın küçük katı atıklardan arındırılması için gazlı bez ile süzme işlemi gerçekleştirilmiştir ve müsilaj ağzı kapalı bir kaptaki 4°C'de buzdolabında saklanmıştır.

10.2.2.2 Yumurta Kabuğu Tozu

Öncelikle yumurta kabukları distile suda 30 dakika boyunca kaynatılarak zararlı mikroorganizmalardan arındırılmıştır. Daha sonra kabuklar kurutulmak üzere 90°C'de etüvde 50 dakika bekletilmiştir. Toz haline getirmek için yumurta kabuklarının boyutları havanda küçültülmüştür. Kabuklar 40 mm elekten geçecek şekilde küçültülerek toz haline getirilmiştir (Şekil 10.4).



Şekil 10.4 a) Yumurta kabuğu b) Kurutma sonrası c) Öğütme işlemi sonrası

10.2.2.3 Karides Kabuğu Tozu

Karidesler kabuklarından ayrıştırılarak distile sıcak su ile 3 saat boyunca iyice yıkanmıştır. Karides kabukları kalıntı atıklardan ayrıştırıldıktan sonra etüvde 70°C’de 2 saat bekletilmiştir. Ardından 2 gün boyunca güneşte bekletilerek iyice kurutulması sağlanmıştır. Daha sonra havan yardımıyla 40 mm elekten geçecek şekilde toz haline getirilmiştir. Kitinin toz haline gelme aşamaları Şekil 10.5’te gösterilmektedir.



Şekil 10.5 a) Karides kabukları b) Kurutulduktan sonra c) Toz halinde karides kabuğu

10.2.3 Deneyin Yapılışı

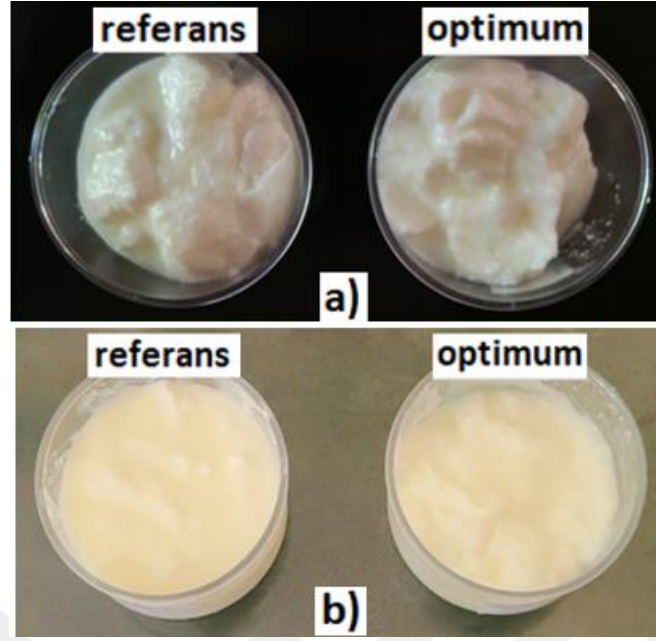
Öncelikle 1:10 (a/a) oranında hazırlanan ayva çekirdeği müsilağı kıvam arttırmak amacıyla oda sıcaklığında yoğurt numunelerine eklenmiştir. Katkı maddesinin ekleme oranı belirlenirken ayva çekirdeği müsilağının sıcaklık, karıştırma süresi ve karıştırma hızına bağlı olarak yoğurt numunelerinin viskozitesine olan etkisini ölçmek amacıyla Design Expert (Stat-Ease V 13.0.5) optimizasyon metodu kapsamında Box-Behnken tasarımı kullanılmıştır. Design Expert deney seti Tablo 10.1’de gösterilmektedir.

Tablo 10.1 Design Expert deney seti

No	A Faktör Sıcaklık (°C)	B Faktör Karıştırma Süresi (dk)	C Faktör Karıştırma Hızı (rpm)
1	0	0	0
2	0	1	-1
3	1	0	1
4	0	0	0
5	0	1	1
6	-1	0	1
7	-1	0	-1
8	0	0	0
9	1	1	0
10	0	0	0
11	-1	1	0
12	0	-1	-1
13	0	-1	1
14	1	-1	0
15	-1	-1	0
16	1	0	-1
17	0	0	0

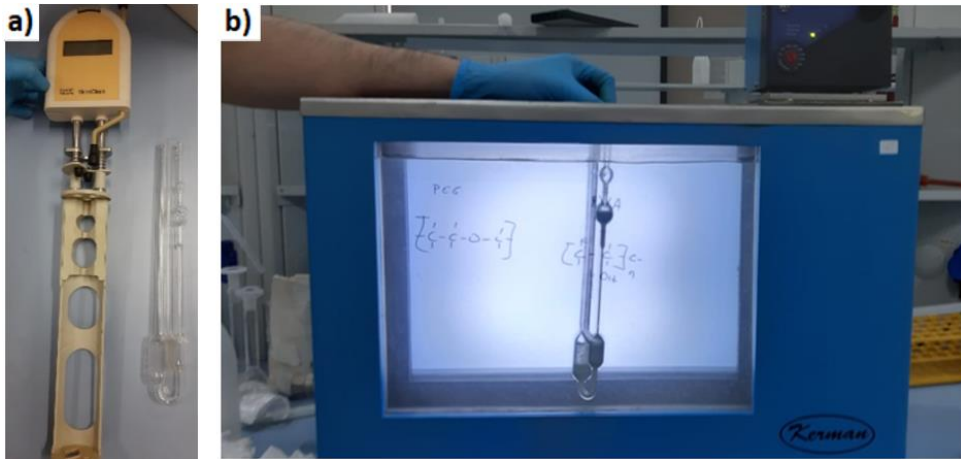
Hazırlanan yoğurt viskozitesine sıcaklık etkisi gözlemlemek amacıyla -18°C, 25°C ve 40°C farklı sıcaklıklarda 5, 10 ve 15 dakika karıştırma sürelerinde ve 300 rpm, 400 rpm ve 500 rpm karıştırma hızlarıyla 0,1 ml/g ayva çekirdeği müsilağı ilave edilerek ve hiç ilave edilmeden numuneler hazırlanmıştır. Deney setindeki 17 adet numunelere öncelikle 0,1 mg/ml ayva çekirdeği müsilağı eklenmiştir ve sonrasında -18°C, 25°C ve 40°C sıcaklık değerlerine gelmesi sağlanmıştır.

Belirlenen sıcaklıklara ulaşan numuneler manyetik karıştırıcıda 5, 10 ve 15 dakikalık farklı sürelerde ve 300 rpm, 400 rpm ve 500 rpm farklı karıştırma hızlarında karıştırılarak deney seti tamamlanmıştır. Bu aşamada içerisine hiç ayva çekirdeği müsilağı ilave edilmemiş referans yoğurt numunesi de hazırlanmıştır. Optimum ve referans yoğurt numuneleri Şekil 10.6'da gösterilmektedir.



Şekil 10.6 Depolama süresi sonunda referans ve optimum yoğurt numunelerinin görünümü a) 1. gün b) 20. gün

Öncelikle Ubbelohde viskozimetresinde kapiler akış metodu ile belirlenen iki nokta arasında numunelerin akış süresi ölçülerek kinematik viskozitesi hesaplanmıştır. Kinematik viskozite değerinden dinamik viskoziteye geçiş yapılmıştır. Her bir numune için viskozimetrede 3'er kez ölçüm yapılarak ortalama değerler alınmıştır. Şekil 10.7'de viskozimetre ölçümü gösterilmektedir.



Şekil 10.7 a) Ubbelohde viskozimetresi b) Yoğurt numuneleri viskozite ölçümü

İlk olarak deney sonucu elde edilen zaman değerleri kullanılarak Denklem 10.1 kullanılarak kinematik viskozite değeri hesaplanmıştır.

$$v = K * t \quad (10.1)$$

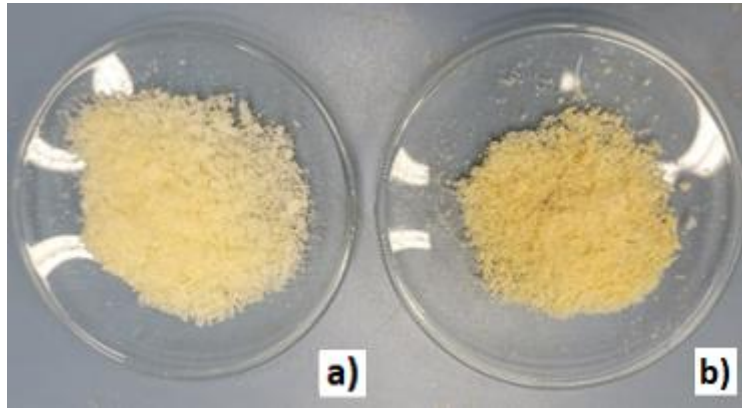
Denklem 10.1’de v kinematik viskozite, t zaman, K sabiti $3,9104 \text{ mm}^2/\text{s}^2$ ‘dir.

Kinematik ve dinamik viskozite arasındaki ilişkiyi ifade eden Denklem 10.2 kullanılarak dinamik viskozite değeri hesaplanmıştır.

$$\mu = v * \rho \quad (10.2)$$

Denklem 10.2’de μ dinamik viskozite, ρ yoğunluk, v kinematik viskoziteyi temsil etmektedir [86]. Yoğurt yoğunluğu 25°C oda sıcaklığında 1030 kg/m^3 olarak ölçülmüştür.

Deneysel sürecin devamı olarak, veri setinden elde edilen optimum yoğurt numunesi belirlenmiştir. Deney setinden elde edilen optimum numuneye ikinci katkı maddesi olarak yoğurdun su tutma kapasitesini düşürmek ve raf ömrünü uzatmak amacıyla yumurta kabuğu tozu ilave edilmiştir. Adsorban bir malzeme olarak kullanılan yumurta kabuğu tozu, 10 mg/g oranında yoğurda eklenerek manyetik karıştırıcıda oda sıcaklığında 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Yumurta kabuğunun güçlü adsorban malzeme ve nem çekici özelliğine sahip olmasından dolayı optimum yoğurt numunesine ilave edilmiştir. Yoğurttaki bakteri sayısının sabit kalması için öncelikli olarak etüvde kurutma yöntemi ile yoğurt numuneleri (Şekil 10.8) 105°C etüvde 4 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığında kurutularak toz haline getirilmiştir.



Şekil 10.8 Kurutulmuş toz yoğurt a) Referans, b) Optimum

Numunelerin farklı su aktivitesine sahip tuzlu su ortamlarındaki nem tutma kapasitesi incelenmiştir.

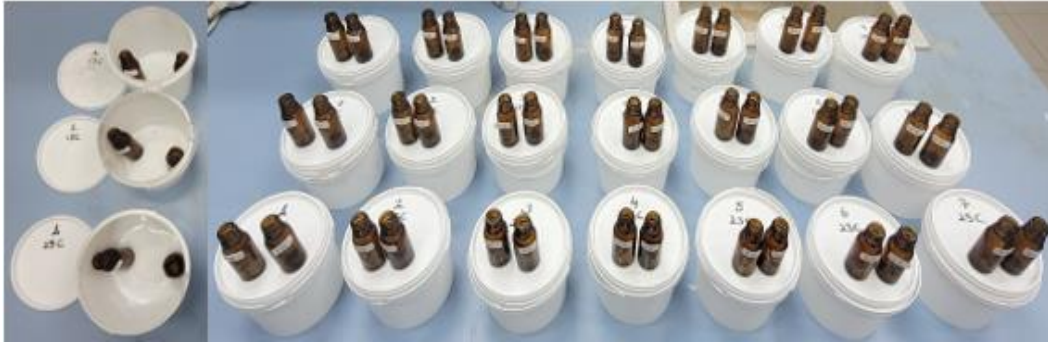
Bunun için doymuş tuzlu su LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaCl, KCl çözeltileri hazırlanmıştır. Tablo 10.2’de hazırlanan tuz çözeltilerinin su aktivitesi değerleri verilmektedir [52].

Tablo 10.2 Tuz çözeltilerinin 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıkta su aktivitesi değerleri [87]

Su Aktivitesi (a_w)			
Çözelti	Sıcaklık (15°C)	Sıcaklık (25°C)	Sıcaklık (35°C)
LiCl	0.113	0.113	0.113
MgCl ₂	0.333	0.328	0.321
NaBr	0.607	0.576	0.546
NaCl	0.756	0.753	0.749
KCl	0.859	0.843	0.830

Referans ve optimum yoğurt numuneleri 1 ± 0.05 g tartılarak cam kaplara konulmuştur. Cam kaplar 15°C, 25°C ve 35°C olarak belirlenen sıcaklık koşullarında önceden belirli bir süre bekletilerek ortam şartları ile dengeye gelmesi sağlanmıştır. 1 g referans ve optimum toz yoğurt numunesi hassas bir şekilde ölçülmüştür. Daha sonra cam numune kapları tuzlu su çözeltilerinin bulunduğu kapalı bir ortama yerleştirilmiştir. Ayrıca nem seviyesine etkileyen önemli bir faktör olan sıcaklık etkisini gözlemlemek amacıyla hazırlanan numuneler 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklarda denge neme ulaşmaları için etüvde bekletilerek deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 10.9’da farklı su aktivitesinde hazırlanan çözelti ortamlarına konulan numuneler gösterilmektedir.

Her bir ortam ve sıcaklık koşulu için hem optimum hem de referans yoğurt numuneleri aynı koşula maruz bırakılmıştır. 15 gün boyunca 2 günde bir ölçüm yapılarak sonuçlar < 1 mg ulaşınca sonuçlar kaydedilmiştir. Elde edilen verilerden hareketle her bir sıcaklık koşulu için ortamın su aktivitesine karşı numunenin su aktivitesi arasındaki ilişki grafik olarak ifade edilerek nem sorpsiyon izotermi oluşturulmuştur.



Şekil 10.9 Doygun tuz çözeltilerinde içerisinde bekletilen toz yoğurt numuneleri

Literatür çalışmalarından hareketle izoterm oluşturmada en az 5 en fazla 8 nokta olmak üzere su aktivitesi aralığı 0,01 ile 0,8 aralığında değişkenlik göstermektedir. Su aktivitesi ve nem sorpsiyonunun sıcaklık ile ilişkisini en doğru şekilde açıklayabilmek için en az iki farklı sıcaklık değerinde datalar elde edilmelidir [88]. Bu durumdan hareketle 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklık parametresine bağlı olarak yoğurt numunelerinde su aktivitesi ve denge nemi arasındaki ilişkiyi belirlemek ve deneysel veriler için uygun model denklemi oluşturmak için modifiye Henderson, Halsey ve Peleg denklemleri kullanılmıştır. Nonlineer denklemlerde lineerizasyon yapılarak model denklemleri elde edilmiştir. Tablo 10.3'te deneysel süreçte kullanılan Halsey, modifiye Henderson ve Peleg denklemi gösterilmektedir.

Tablo 10.3 Sorpsiyon izotermi için Halsey, Henderson ve Peleg denklemleri [60], [89]

Denklemin Adı	Denklem
Halsey	$a_w = \exp\left(-\frac{k}{M^n}\right)$
Modifiye Henderson	$a_w = 1 - (\exp(-a * (T + c) * M^b))$
Peleg	$M = c_1 * a_w^{c_3} + c_2 * a_w^{c_4}$

(M: denge nemi, T: sıcaklık, a_w : su aktivitesi, a, b, k, c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , n: katsayılar)

Nem sorpsiyon izotermine ait veriler modifiye Henderson, Halsey ve Peleg denklemleri olmak üzere üç farklı model denklemine uyarlanmıştır. Model denklemi parametreleri SPSS (Statistics 22) istatistiksel analiz programı kullanılarak belirlenmiştir.

Buradaki parametreler regresyon katsayısı (R^2), ortalama hataların kareleri toplamı (RMSE) ve p değeri modelin uygun olup olmadığını değerlendirmek için oldukça önemlidir. Yüksek R^2 ve düşük RMSE değerlerine sahip olan model daha uygundur. RMSE için denklem 10.3'te, p değeri için denklem 10.4'te gösterilmektedir.

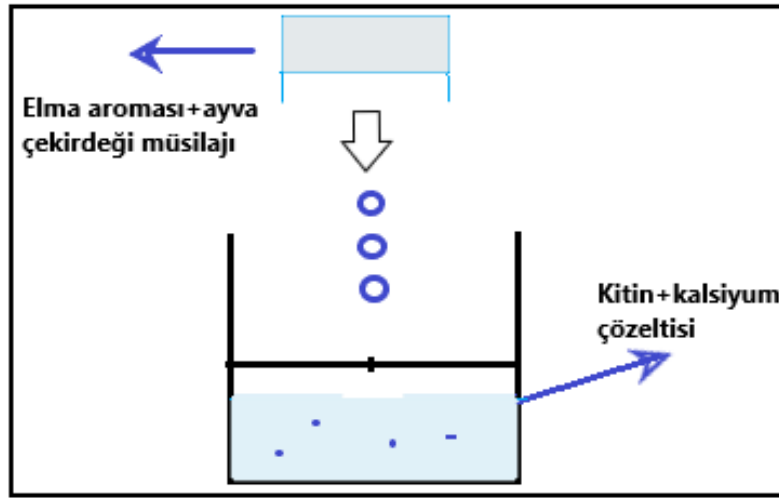
$$RMSE = 100 * \sqrt{\frac{\sum (M_{\text{hesaplanan}} - M_{\text{deneysel}})^2 / M_{\text{deneysel}}}{N}} \quad (10.3)$$

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(M_{\text{deneysel}} - M_{\text{hesaplanan}})}{M_{\text{deneysel}}} \quad (10.4)$$

M_{deneysel} , deney setinde bulunan denge nem içeriği, $M_{\text{hesaplanan}}$, model denklemi ile hesaplanan denge nem içeriği ve N data sayısını temsil etmektedir. Model denklemi için hesaplanan R^2 değeri en az 0.90 olmalı iken, RMSE ve p değeri %10'dan küçük olmalıdır [60].

Deneysel çalışmanın son aşamasında yapılan çalışmalara ek olarak, doğal katkılı çözeltiler hazırlanarak yoğurda aroma vermek amacıyla doğal elma aromasının kullanımı ile enkapsülasyon çalışmasının verimli bir şekilde yapıp yapılamayacağı araştırılmıştır. Bu sebeple, yumurta kabuğu ilavesinden sonra en iyi sonuç veren numune için doğal elma aroma vericisi kullanılarak enkapsülasyon çalışması yapılmıştır. Üründe meydana gelecek tat ve koku kayıplarının engellenmesi, raf ömrünün uzatılması, ürün kalitesinin artırılması ve içeriğinin zenginleştirilmesi amacıyla doğal elma aroması optimum yoğurt numunesinde iyonik jelasyon (damlatma) yöntemi seçilerek enkapsüle edilmiştir. Çalışmada kaplama materyali olarak karides kabuğu tozu ve ayva çekirdeği müsilağı, aktif materyal olarak doğal elma aroması kullanılmıştır. Enkapsülasyon tekniği olarak damlatma yönteminin seçilmesinin nedeni, küçük ölçekli laboratuvar çalışmalarında uygun olmasıdır. Öncelikli olarak kaplama materyali olarak seçilen kitin bazlı karides kabuğu, asetik asit içeren sirke ile %1'lik çözelti olacak şekilde hazırlanmıştır. Kitin çözünmesi oldukça zor olduğundan 1 gün boyunca oda koşullarında bekletilmiştir. Daha sonra çözeltide çözünmeden kalan yapılar asetik asit içinde çözünmüş olan kısımdan süzme işlemi ile ayrılmıştır.

Daha önce hazırlanmış olan yumurta kabuğu tozunun asetik asitte çözünmesi amacı ile sirke ile 1 M çözelti hazırlanmıştır. Literatür araştırmaları sonucunda yumurta kabuğundaki kalsiyumun asetik asit ile çözünmesini sağlamak amacıyla 6 saat boyunca oda sıcaklığında çözelti bekletilmiştir. Hazırlanan kalsiyum ve kitin bazlı çözeltiler 1:1 oranında karıştırılarak jelleşme ortamı elde edilmiştir. Literatürde tercih edilen kimyasal yapılı sodyum aljinat çözeltisi yerine, daha önceden hazırlanmış olan %1'lik suda çözünmüş ayva çekirdeği müsilajı ilave edilerek manyetik karıştırıcıda 1 saat boyunca iyice karıştırılmıştır ve sonrasında aktif metaryal olan doğal elma aroması damla damla ilave edilerek homojen karışım elde edilinceye kadar tekrar karıştırılarak damlatma çözeltisi hazırlanmıştır. Oda koşullarında jelleşme ortamına yavaş bir şekilde damla damla elma aroması bazlı müsilaj çözeltisi ilave edilmiştir. Zamanla jelleşme ortamında çok belirgin olmayan küçük kürelerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu küreler ortamdaki uzaklaştırılarak oda sıcaklığında kurutulmuştur ve optimum yoğurt numunesine 1:2 oranında ilave edilmiştir. Şekil 10.10'da damlatma yöntemi enkapsülasyonuna ait deneysel sürecin modellenmesi gösterilmektedir.



Şekil 10.10 Damlatma yöntemi deneysel sürecinin şema ile gösterimi

10.2.3.1 Duyusal Analiz

Duyusal analiz; ürünün kalitesinin ve başarısının görme, tatma, koklama, dokunma gibi duyu organları aracılığıyla test edilmesi ile birlikte tüketici fikirlerinin alınması, değerlendirilmesi ve yorumlanması sonucunda ürün hakkında detaylı bilgi vermektedir.

Duyusal farklılık testleri farklı örnekler arasındaki algılanan farklı özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Ürün yapısında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişiklikler ve raf ömrü süresince üründe meydana gelen farklılıklar duyuşal farklılıkların en belirgin sebepleri arasında yer almaktadır [90]. Hazırlanan katkılı yoğurt ve referans yoğurt numunesinin 4°C’de 1 gün, 7 gün, ve 20 gün depolanması sonrasında duyuşal özelliklerinin değerdendirilmesi amacıyla numuneler katılımcılar tarafından test edilmiştir. Yoğurda doğal katkı maddelerinin eklenmesi sonucunda yoğurdun tat, koku, yapı ve görünüşünde meydana gelen değışimler incelenmiştir. Katılımcılara ürünü değerdendirdikten sonra 1 ile 5 arasında puanlama yapmaları istenmiştir. Puanlama ölçütünde 5: en iyi, 4: iyi, 3: orta, 2: kusurlu, 1: çok kusurlu olarak nitelendirilmiştir. Her bir değerdendirme parametresi için en iyi koşul aşağıdaki gibi olmaktadır:

Görünüm: Temiz ve homojen görünümlü, üzerinde çatlak bulunmayan, bütün formunda bir yoğurt ise 5 puan,

Renk: Eklenen katkı maddelerine rağmen referans örneğe kıyasla hiç renk değışimi meydana gelmemiş ve tamamı beyaz renkte bir yoğurt ise 5 puan,

Kıvam: Kaşık ile alındığında sıkı ve dolgun kıvamlı, akışkanlığı oldukça az, pütürsüz yapıda bir yoğurt ise 5 puan,

Tat: Hafif ekşimsi, ağızda acı tat bırakmayan, ağızda kolayca dağılan yumuşak yapıda bir yoğurt ise 5 puan,

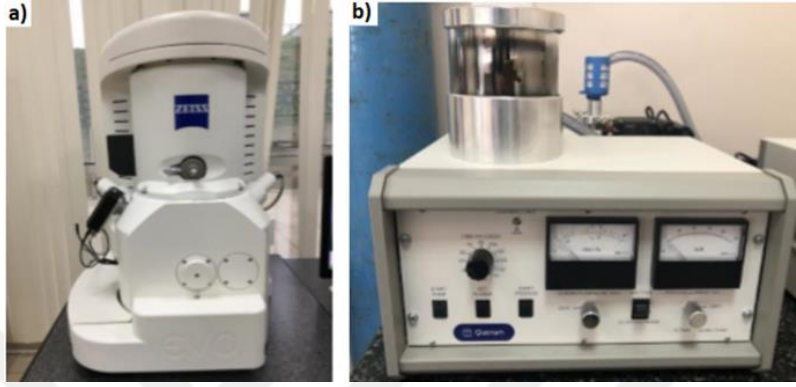
Koku: Hoş kokulu, herhangi bir yabancı koku içermeyen, kötü kokmayan yapıda bir yoğurt ise 5 puan olacak şekilde kriterler belirlenmiştir.

10.3 Karakterizasyon

10.3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

SEM, numune üzerine bir elektron grubunun gönderilmesi ile dedektörler tarafından sinyallerin algılanması sonucunda numunenin yüzey yapısı ve bileşimi hakkında bilgi veren bir cihazdır. Numune yapısının yüksek çözünürlükte görüntüsünün ayrıntılı olarak incelenmesi için kullanılan yaygın bir analiz yöntemidir [91]. Deneyde kullanılan ayva çekirdeğı müsilağı, yumurta kabuğı tozu,

karides kabuğu tozu, referans yoğurt ve optimum yoğurt numunelerinde SEM analizi yapılmıştır. Numune yapısına zarar vermeyecek şekilde yüksek çözünürlükte daha iyi görüntülerin elde edilmesi için püskürtme yöntemi ile numunelere altın kaplama yapılmıştır. Numunelerin yüzeyi kaplandıktan sonra SEM analiz cihazına yerleştirilerek farklı büyütme oranlarında görüntüler alınmıştır. Şekil 10.11’de SEM ve kaplama cihazına ait görüntüler yer almaktadır.



Şekil 10.11 a) SEM cihazı b) Kaplama cihazı

10.3.2 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) Analizi

FT-IR analizinde öncelikle numunelere kızılötesi ışını gönderilmektedir. Gönderilen ışının bir kısmı numune tarafından emilirken bir kısmı numune içinden geçirilerek iletilmektedir. Analiz sonucu numuneye ait bir spektrum elde edilmektedir. Oluşan spektrum analizlenen numuneye özgü olup o numunenin moleküler yapısı kimliği niteliğindedir ve farklı numunelere ait aynı spektrum elde edilemez. Bir kızılötesi spektroskopisi (IR) spektrumu, bir maddeyi meydana getiren atomların bağları arasındaki titreşimlerin frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon tepe noktaları numunenin kimliğini temsil etmektedir.

IR bölgesi genellikle üç kısımda incelenir: yakın IR ($400-10\text{ cm}^{-1}$), orta IR ($4000-400\text{ cm}^{-1}$) ve uzak IR ($14,000-4000\text{ cm}^{-1}$). IR fotonları sahip oldukları enerji sayesinde atom gruplarını birbirine bağlayan bağların titreşmesini sağlamaktadır. Titreşim ile meydana gelen aktarımlar farklı enerji düzeylerine karşılık gelmekte ve moleküller yalnızca belirli dalga boylarında ve frekanslarda IR radyasyonunu absorbe etmektedir. Absorpsiyon frekansının ölçülmesi, numunedeki fonksiyonel grupların bileşiklerin tanımlanması için bir spektrum oluşturmaktadır. Ürün içerisinde bulunan safsızlıklar IR spektrumunda kendi karakteristik bantlarını

retmektedir. Bu durum safsızlıkların üründeki bağlarını ve konsantrasyonlarının belirlenmesinde rol oynamaktadır. Bilgisayar tarafından matematiksel bir yöntem ile gerçekleştirilen Fourier dönüşümü ile yorumlanmak üzere bir frekans spektrumu elde edilmektedir [92]. Deneyde kullanılan yumurta kabuğu tozu, ayva çekirdeği müsilajı tozu, karides kabuğu tozu katkı maddelerinde, referans yoğurt ve optimum yoğurt numunelerinde karakteristik yapıyı incelemek ve karşılaştırmak amacıyla FT-IR analizi yapılmıştır.

10.3.3 X-Işını Difraktometresi (XRD) Analizi

Maddelerin kimyasal ve kristal yapısı hakkında bilgi veren X ışını kırınımı yöntemi bilimin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılan bir analiz yöntemidir. Analizde kullanılan X ışınları, dalga boyu kısa olup yüksek enerji taşıyan radyasyondur. XRD, birim hücre boyutları hakkında da bilgi vererek kristal malzemelerin fazının belirlenmesinde tercih edilmektedir. XRD analizinin birincil kullanımı, kırınım modellerine dayalı olarak malzemelerin kimliğinin tespit edilmesidir. Faz tanımlaması yapmasının yanı sıra XRD, i gerilimler ve kusurlar nedeniyle gerçek yapının ideal olandan nasıl saptığı hakkında da bilgi vermektedir. Kırınım modellerinden hareketle, bilinmeyen bir malzemenin kristal yapısı ve atomik mesafeleri tespit edilebilmektedir [93]. Deneyde optimum ve referans yoğurt numuneleri arasındaki kristal yapıların belirlenip karşılaştırılması amacıyla XRD analizi yapılmıştır. (2 θ) 0°-50° arasında, anot materyal olarak Cu K α ışın demetleri kullanılarak 40 mA’de sürekli tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.

11.1 Design Expert Sonuçları

Design Expert programı kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmasında yoğurt numunelerine eklenen ayva çekirdeği müsilağının -1,0,1 olmak üzere 3 farklı seviyede (sıcaklık, karıştırma süresi ve karıştırma hızı) yoğurt viskozitesi ölçülmüştür. Yoğurt numunelerinin viskozimetredeki akış süreleri belirlenerek elde edilen kinematik viskozite sonuçlarından hareketle dinamik viskozite değerleri hesaplanmıştır. Tablo 11.1’de kinematik ve dinamik viskozite sonuçları yer almaktadır.

Tablo 11.1 Kinematik ve dinamik viskozite sonuçları

Deney No	K (Sabit) (mm ² /s ²)	Süre (s)	v, kinematik viskozite(mm ² /s)	ρ , yoğunluk (kg/m ³)	μ , dinamik viskozite (kg/m.s)
1	3.9104	82	321	1030	0.330
2	3.9104	70	274	1030	0.282
3	3.9104	76	297	1030	0.306
4	3.9104	86	336	1030	0.346
5	3.9104	65	254	1030	0.262
6	3.9104	93	364	1030	0.375
7	3.9104	90	352	1030	0.362
8	3.9104	84	328	1030	0.338
9	3.9104	73	285	1030	0.294
10	3.9104	85	332	1030	0.342
11	3.9104	89	348	1030	0.358
12	3.9104	88	344	1030	0.354
13	3.9104	87	340	1030	0.350
14	3.9104	75	293	1030	0.302
15 (optimum)	3.9104	95	371	1030	0.383
16	3.9104	85	332	1030	0.342
17	3.9104	83	325	1030	0.334
18 (referans)	3.9104	45	176	1030	0.181

Design Expert programında viskozitenin sıcaklık, karıştırma süresi ve karıştırma hızı parametreleri ile olan ilişkisini belirlemek amacıyla Box-Behnken tasarımı kullanılmıştır. Dinamik viskozite sonuçları, Design Expert programına çıktı olarak girilerek optimum yoğurt numunesi belirlenmiştir. Optimum sonuç veren yoğurt numunesi deney 15 olmuştur. Parametrelerin viskoziteye olan etkisinin belirlenmesi amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Tablo 11.2’de varyans analizi sonuçları yer almaktadır. Analiz sonucunda kuadratik model denklemi önerilmiştir.

Tablo 11.2 Varyans analizi sonuçları

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ort. Karesi	F değeri	P değeri
Model	0.014	9	1.526E-03	48.97	<0.0001
A-A	7.059E-03	1	7.059E-03	226.46	<0.0001
B-B	4.291E-03	1	4.291E-03	137.66	<0.0001
C-C	7.320E-04	1	7.320E-04	23.49	0.0019
AB	4.056E-06	1	4.056E-06	0.13	0.729
AC	2.596E-04	1	2.596E-04	8.33	0.0235
BC	1.987E-04	1	1.987E-04	6.38	0.0395
A²	6.994E-04	1	6.994E-04	22.44	0.0021
B²	4.442E-04	1	4.442E-04	14.25	0.0069
C²	9.836E-05	1	9.836E-05	3.16	0.1189
Kalan/Artık	2.182E-04	7	3.117E-05		
Uyum eksikliği	1.338E-04	3	4.461E-05	2.12	0.2410
Hata	8.436E-05	4	2.109E-05		
Düzeltilmiş toplam	1.400E-02	16			

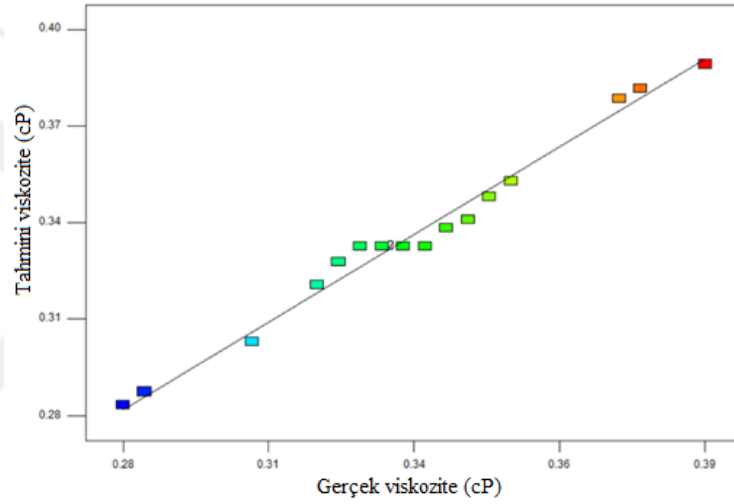
(A: Sıcaklık, B: Karıştırma süresi, C: Karıştırma hızı)

Viskozite için Design Expert tarafından önerilen model istatistik verileri Tablo 11.3’te verilmektedir. Modele ait R² değeri 0.9844 olarak verilmiştir. Bu sonuç, model denklemindeki viskozite değişiminin %98.44’ünün bu denklem ile açıklanabileceğini ifade etmektedir.

Tablo 11.3 Model istatistik verileri

Model	Std Sapma	R ²	Düzeltilen R ²	Tahmini R ²	Varyasyon katsayısı (%)
Kuadratik	5.583E-03	0.9844	0.9643	0.8371	1.66

Tahmin edilen R^2 değeri 0.8371'dir. Bu da yapılacak yeni gözlemlerin kestiriminde meydana gelen değişimlerin %83.71'inin bu model ile açıklanabileceği anlamına gelmektedir. Düzeltilen R^2 değeri 0.9643 olarak bulunmuştur. Bu durum viskozitedeki değişimin %96.43'ünün bu modelle açıklanabileceğini göstermektedir. Düzeltilen R^2 ile tahmin edilen R^2 arasındaki farkın fazla olmaması ve varyasyon katsayısının düşük olması bu modelin deneydeki yeni gözlemlerin tahmininde iyi bir model olduğuna işaret etmektedir. Şekil 11.1 incelendiğinde tahmini ve gerçek viskozite arasında çok yakın bir korelasyon olduğu ve bu ilişkinin literatür ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Yoğurt viskozitesindeki değişim için oluşturulan regresyon modelindeki parametre katsayıları Tablo 11.4'teki gibidir:



Şekil 11.1 Tahmini ve gerçek viskozite arasındaki ilişki grafiği

Tablo 11.4 Kuadratik model denklemleri değişken ve katsayıları

Değişkenler	Katsayılar
Sabit	0.33
A	-0.30
B	-0.023
C	-9.57E-03
AB	1.007E-03
AC	-8.06E-03
BC	-7.05E-03
A ²	1.30E-02
B ²	-1.00E-02
C ²	4.83E-03

Model denklemi (Denklem 11.1) aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} \text{Viskozite} = & +0,33 - (+0,03 \times \text{sıcaklık}) - (+0,023 \times \text{karıştırma süresi}) - (+9,566\text{E}- \\ & 003 \times \text{karıştırma hızı}) + (1,007\text{E}-003 \times \text{sıcaklık} \times \text{karıştırma süresi}) - (+8,055\text{E}- \\ & 003 \times \text{sıcaklık} \times \text{karıştırma hızı}) - (+7,048\text{E}-003 \times \text{karıştırma hızı} \times \text{karıştırma} \\ & \text{süresi}) + (0,013 \times \text{sıcaklık} \times \text{sıcaklık}) - (+0,010 \times \text{karıştırma süresi} \times \text{karıştırma} \\ & \text{süresi}) + (4,833\text{E}-003 \times \text{karıştırma hızı} \times \text{karıştırma hızı}) \end{aligned} \quad (11.1)$$

Parametrelerin viskozite ile olan ilişkisini ifade eden grafikler Şekil 11.2’de ve parametrelerin birbiri ile olan ilişkisini gösteren üç boyutlu Design Expert grafikleri Şekil 11.3’de verilmektedir. Grafikler incelendiğinde, viskozite ile sıcaklık arasında ters orantılı olduğu ve viskozitenin sıcaklık arttıkça azaldığı görülmektedir. Düşük sıcaklıkta hazırlanan yoğurt numunelerinde ayva çekirdeği müsilaajının viskoziteyi arttıran önemli bir parametre olduğu anlaşılmıştır.

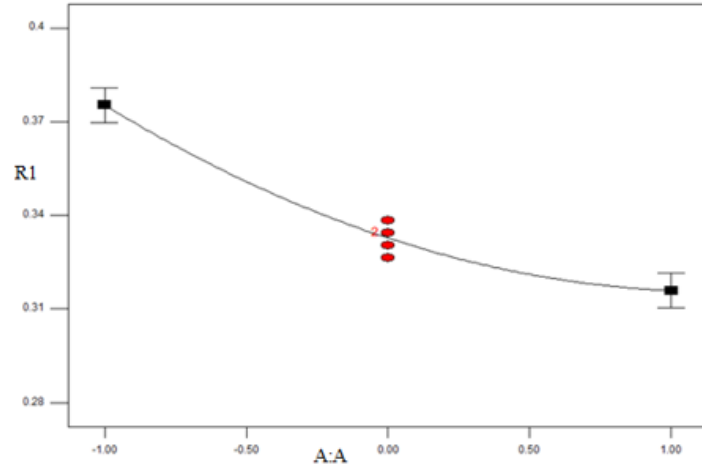
Karıştırma süresinin artması ile uzun süren karışırmalarda viskozitenin azaldığı ve yoğurt numunelerin akışkanlığının arttığı tespit edilmiştir. Karıştırma hızı, diğer parametrelere göre viskoziteyi daha az etkilemiştir ve ortalama karıştırma hızı 400 rpm bu deney seti için optimum viskozite değerini vermiştir. Optimum yoğurt numunesine uygulanan koşullar referans yoğurt numunesine de uygulanmıştır ve aynı koşullarda ayva çekirdeği müsilaajı ilave edilmeyen yoğurt numunelerinin viskozite değeri daha düşük bulunmuştur.

Pirsa vd. (2018) yaptıkları çalışmada İrana özgü asitli bir içme yoğurdu türü olan Doogh ürününe ayva çekirdeği müsilaajı ilave ederek fiziksel ve duyuşsal özellikler ve depolama süresi etkisini incelemiştir. Deneyde optimizasyon çalışması sonucunda ayva çekirdeği müsilaajının yoğurdun renk, yapışkanlık ve asitliğini önemli ölçüde değıştirmedeği gözlemlenmiştir. Doogh'un viskozitesinin ayva çekirdeği müsilaajının depolama süresinden etkilendiğı ve Doogh'un depolama süresi ile müsilaaj arasında bir etkileşim olduğu sonucuna varılmıştır [94].

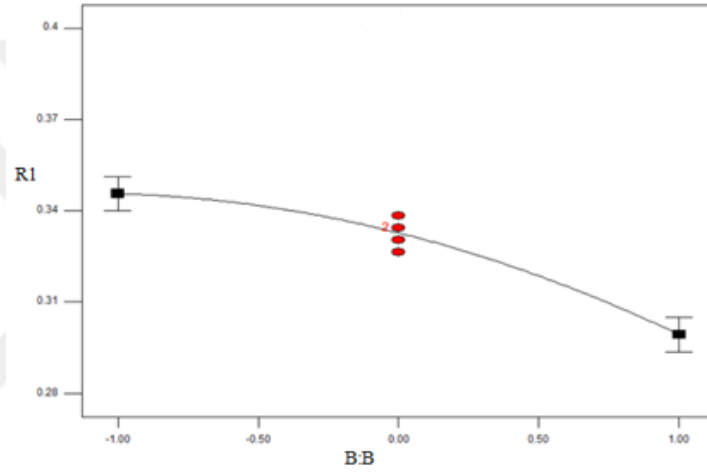
Nikoofar vd. (2013) çalışmalarında yoğurt içerisine ayva çekirdeği müsilaajının etkisini incelemiştir. Müsilaajın negatif yükleri ile kazein yapısındaki pozitif yükler arasındaki etkileşimin viskozite artışına yol açtığı fakat yoğurt sertliğini etkileyecek bir jel oluşturmadağı tespit edilmiştir [95].

Gürbüz (2016) yoğurt üretiminde ayva çekirdeği jelini toz olarak stabilizatör amacıyla kullanmış ve yoğurdun fiziksel, kimyasal ve yapısal özelliklerindeki değişimi incelemiştir. Elde edilen katkılı yoğurtların analiz sonuçları incelendiğinde ayva çekirdeği jeli tozunun küf oluşumunu azalttığı ve viskoziteyi iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır [96].

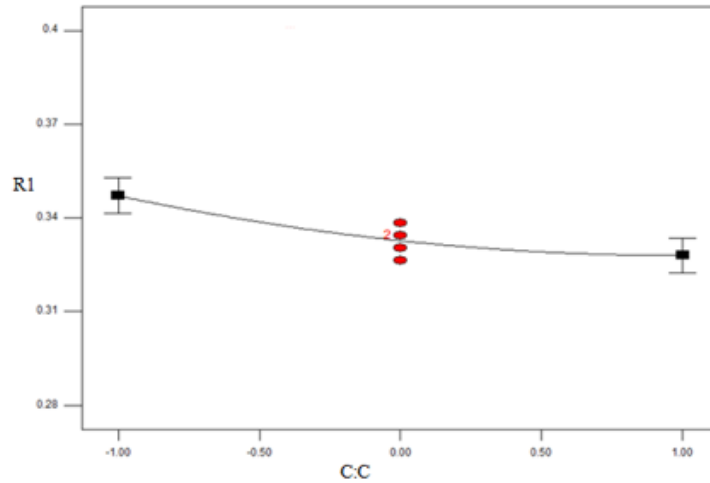
Demir (2019) dondurma üretiminde stabilizatör olarak kullanılan ayva çekirdeği jeli tozunun dondurma özelliklerine ve depolama süresine olan etkisini araştırmayı amaçlamıştır. Ayva çekirdeği jeli tozu ilave edilen dondurma örneklerinin depolama süresi boyunca viskozitede artış olduğu tespit edilmiştir. Viskozite açısından yapılan duyusal analiz sonuçlarında ayva çekirdeği jeli tozu içeren dondurmanın depolamanın 60. gününde ideale yakın olduğu bildirilmiştir fakat viskozitede en yüksek değerli dondurmanın guar gam içeren örnek olduğu bu da guar gamın sulu formu engellemesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir [9].



A: A Sıcaklık, R1: Viskozite

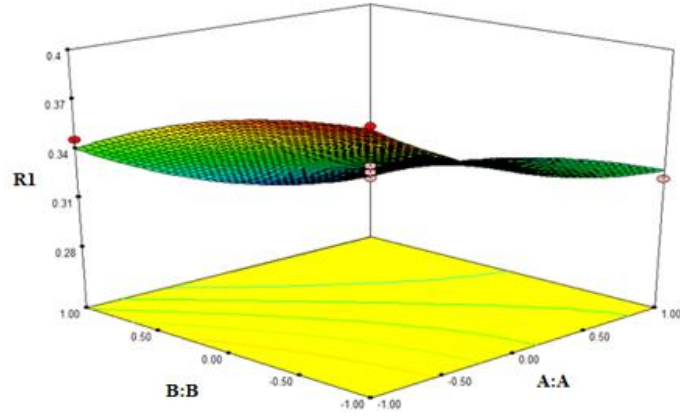


B: B Karıştırma süresi, R1: Viskozite

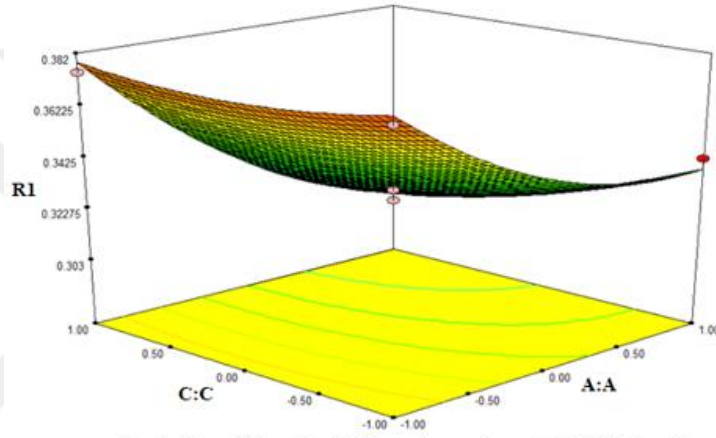


C: C Karıştırma hızı, R1: Viskozite

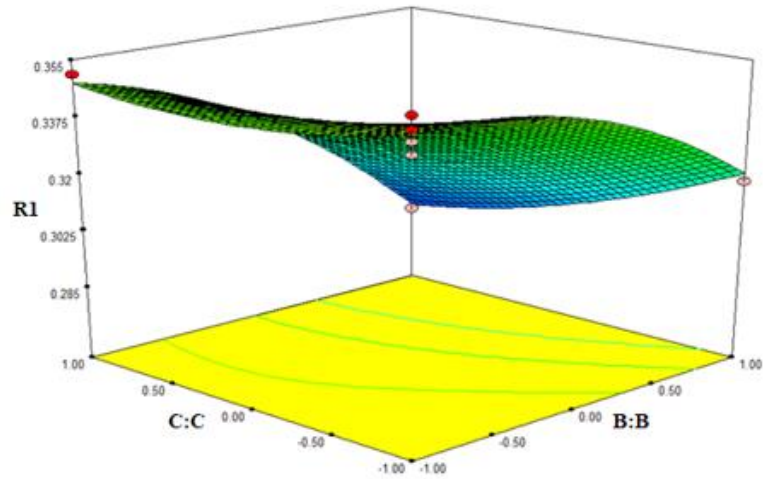
Şekil 11.2 Deney parametrelerinin viskozite ile ilişkisi



A: A Sıcaklık, B: B Karıştırma süresi, R1: Viskozite



A: A Sıcaklık, C: C Karıştırma hızı, R1: Viskozite

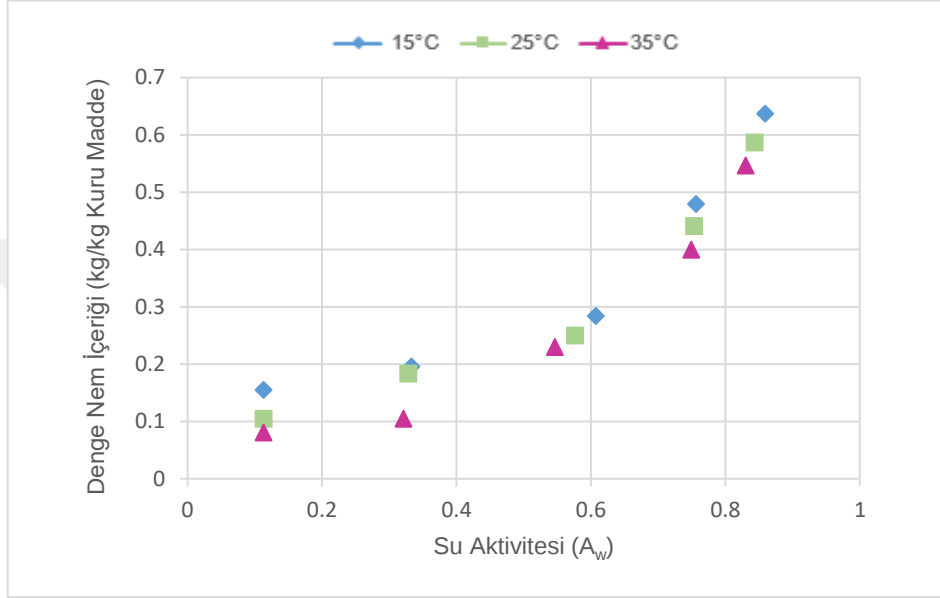


B: B Karıştırma süresi, C: C Karıştırma hızı, R1: Viskozite

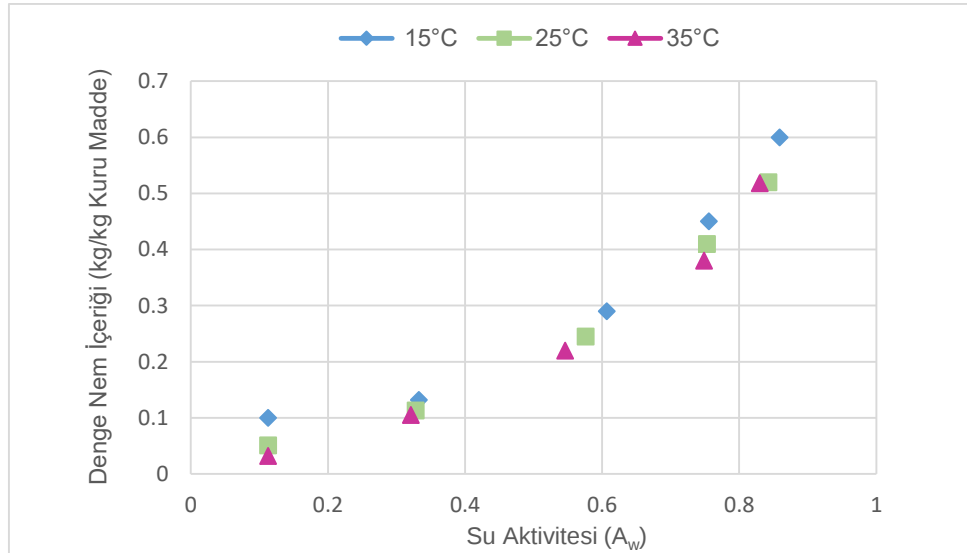
Şekil 11.3 Design Expert üç boyutlu grafikleri

11.2 Nem Sorpsiyon İzoterm Sonuçları

Öncelikle 15°C, 25°C ve 35°C farklı sıcaklıklarda doymuş tuzlu su çözeltilerine bırakılan toz yoğurt numunelerinin denge nem içeriğinin su aktivitesine bağlı olarak değişim grafiği referans ürün için Şekil 11.4'te, optimum ürün için Şekil 11.5'te verilmektedir. Deney setinde elde edilen veriler her koşul için 3 tekrar deneyinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 11.4 Farklı sıcaklık koşulu için referans yoğurt numunesi adsorpsiyon izotermi



Şekil 11.5 Farklı sıcaklık koşulu için optimum yoğurt numunesi adsorpsiyon izotermi

Şekil 11.4'te yer alan grafik incelendiğinde tüm sıcaklık koşullarında su aktivitesi arttıkça denge nem içeriğinin arttığı görülmektedir. Denge nem içeriğinin sıcaklık ile olan ilişkisi incelendiğinde, sabit su aktivitesinde sıcaklık azaldıkça denge nem miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 11.4 ve Şekil 11.5'te yer alan adsorpsiyon grafiklerinde numunelerin su aktivitesinin belli bir değere kadar yavaş bir şekilde arttığı ve sonrasında hızlı bir şekilde yükseldiği görülmektedir. Sıcaklığa bağlı bu durum yoğurt numunesinin düşük sıcaklıkta yüksek sıcaklıklara göre daha fazla su tutma özelliğine sahip olmasıyla açıklanmaktadır ve sonuçlar literatür ile uyumludur. Optimum yoğurt numunesine ait adsorpsiyon izotermi ile referans numune karşılaştırıldığında, optimum yoğurt numunesinin tüm sıcaklık koşullarında su adsorplama performansının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum yoğurt numuneleri içerisine eklenen yumurta kabuğu tozunun nem adsorplama etkisi ile açıklanabilmektedir. Tablo 11.5'te model denklemlerinde SPSS programı ile yapılan nonlinear regresyon analizi sonucunda elde edilen tahmini denklem katsayıları, R^2 , % RMSE ve % p değerleri yer almaktadır.

Tablo 11.5 Farklı sıcaklıklarda sorpsiyon izotermi için tahmini denklem parametreleri

Model	Parametre	Referans numune			Optimum numune		
		Sıcaklık					
		15°C	25°C	35°C	15°C	25°C	35°C
Halsey	n	1.860	1.514	1.149	1.299	1.030	0.919
	k	0.057	0.077	0.101	0.092	0.115	0.132
	R ²	0.979	0.989	0.979	0.983	0.988	0.972
	RMSE (%)	5.270	2.731	4.280	5.694	8.420	5.932
	p (%)	26.053	5.110	9.315	9.968	11.733	22.795
Modifiye Henderson	a	0.200	0.215	0.163	0.275	0.193	1.000
	c	8.876	6.073	6.825	0.434	4.425	2.145
	b	1.550	1.388	1.094	1.250	1.067	0.796
	R ²	0.919	0.958	0.962	0.965	0.995	0.999
	RMSE (%)	4.690	1.450	2.710	5.470	3.770	5.880
	p (%)	16.726	28.798	45.596	15.770	34.352	43.680
Peleg	c ₁	0.818	0.811	0.777	0.771	0.617	0.863
	c ₂	0.200	0.270	0.111	0.089	0.150	0.473
	c ₃	3.978	5.101	3.166	2.717	2.789	9.520
	c ₄	0.111	0.414	0.161	-0.045	0.506	1.297
	R ²	0.996	0.997	0.996	0.999	0.999	0.999
	RMSE (%)	2.540	1.970	2.850	1.120	2.140	1.840
	p (%)	3.318	3.732	4.642	0.169	0.215	3.311

Denklemler 0.11 ile 0.86 arasındaki su aktivitesi değerlerine göre oluşturularak izoterm eğrileri çizilmiştir. Halsey denkleminde c ve k enerji sabitleridir. k değeri, moleküller arasındaki etkileşimin sıcaklığa bağlı değişimini ifade eder. Tablo 11.6 incelendiğinde Halsey denkleminde k değerinin bütün sıcaklık koşullarında 1'den küçük olduğu görülmektedir. Optimum yoğurt numunelerindeki k değerleri referans numuneye göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. k değerinin 1 olması tek katman ardındaki moleküllerin su ile aynı özellikte olduğu anlamına gelmektedir. Halsey denkleminde tüm sıcaklık koşulları için R^2 değeri 0.972 ile 0.989 aralığında yer almaktadır. p değerleri incelendiğinde referans yoğurt numunesi için 25°C ve 35°C'de, optimum yoğurt numunesi için ise sadece 15°C'de p değerinin %10'un altında olduğu ve model denklemi ile uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum Şekil 11.6'daki izoterm eğrileri ile açıkça ifade edilmiştir.

Koç vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada toz yoğurt numunelerinin adsorpsiyon izotermi için oluşturulan denklemlerden Halsey denkleminin geniş su aktivitesi aralığında ve farklı sıcaklık koşullarında deneysel verilere uygun sonuçlar verdiği tespit edilmiştir [89].

Modifiye Henderson model denklem parametreleri incelendiğinde; a, b ve c denklem katsayılarının birbirine yakın olduğu ve R^2 değerleri 0.919 ile 0.999 arasında olduğu söylenebilir. Hem optimum hem de referans yoğurt numuneleri için p değerleri çok yüksek çıkmıştır. Bu durumda Henderson denklemini deneysel verileri tanımlamada yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 11.7'de Henderson modeline ait farklı sıcaklık koşullarında adsorpsiyon izotermi verilmektedir. Grafikler incelendiğinde, sıcaklığın artması ile deneysel ile teorik verilerin birbiri ile uyumunun azaldığı görülmektedir. Peleg model denklem parametreleri incelendiğinde (Şekil 11.8); toplamda dört farklı sabit değer içermekte ve bu katsayılar birbiri ile yakın değerde bulunmuştur. Regresyon katsayısı R^2 değeri 0.996 ile 1.000 arasında değişmektedir. Optimum ile referans numune karşılaştırıldığında optimum numunede parametreler arasındaki ilişkinin daha iyi olduğu söylenebilir. p değerleri %5'in altında olup optimum numunede referansa göre daha düşük p değerlerinin olması model uyumunun daha iyi olduğunu göstermektedir. Bu durum optimum numunenin farklı sıcaklık koşullarında nem adsorpsiyonunun bu denklem ile daha iyi açıklanabileceği ifade etmektedir.

Ouafia vd. (2015) yaptıkları çalışmada defne yaprağının nem sorpsiyon davranışını 40°C, 50°C ve 60°C’de incelemiştir ve Peleg modeli matematiksel denkleminin nem sorpsiyonunu açıklamada en uygun model olduğunu tespit etmiştir [97].

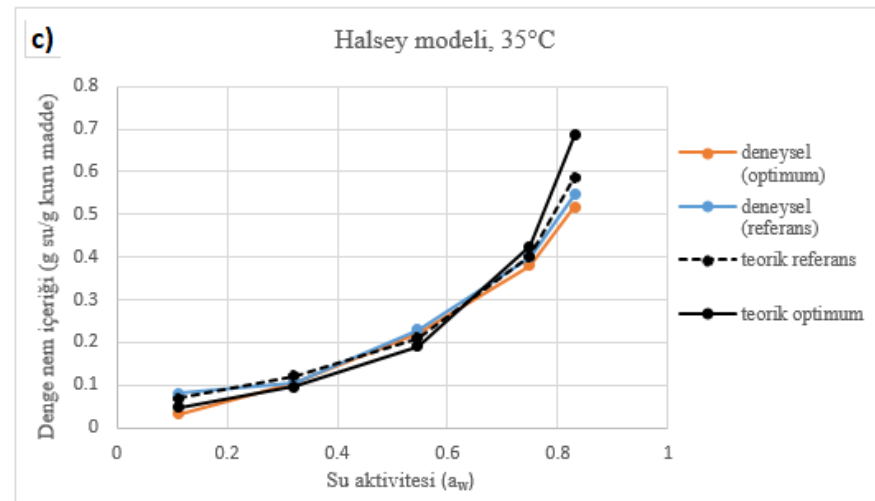
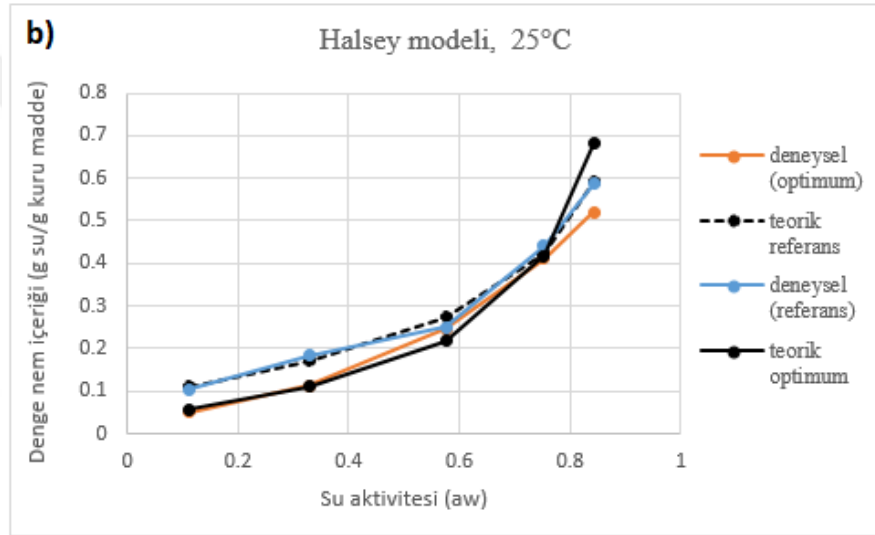
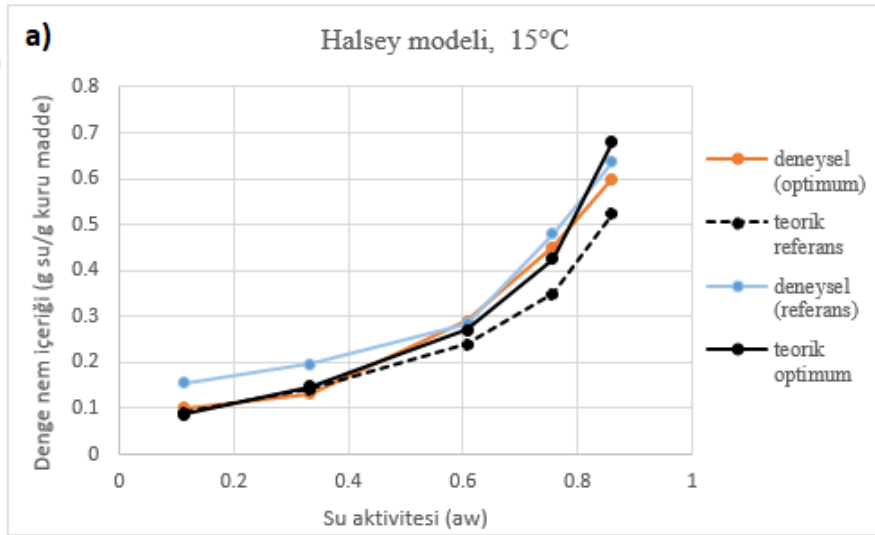
Alsuhaibani (2018) çalışmasında doğal kalsiyum içeriğine sahip yumurta kabuğu tozunun ekmek örneklerine belirli oranlarda eklenerek fiziksel, kimyasal, duyuşal özellikleri ve reolojik yapısı incelenmiştir. Çalışmada yumurta kabuğu eklenmiş ekmek örneklerinde su emilim oranının daha fazla olduğu test edilmiştir. Ekmeğe eklenen süt tozu, yumurta kabuğu tozu ve ıstridye kabuğu tozunun ürün bayatlaması üzerindeki etkisini ve raf ömrü performansını incelemek için su tutma kapasitesi parametresi hesaplanmıştır. Yumurta kabuğu ilave edilmiş ekmek örneğinin diğerlerine göre en yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğu ve böylece raf ömrü boyunca bayatlamının geciktiği sonucuna varılmıştır [98].

Zerek (2021) yaptığı çalışmada kurabiyelerin besin içeriğini zenginleştirmek ve duyuşal özelliklerini geliştirmek amacıyla yumurta kabuğu tozu ilave etmiştir. Yapılan testler sonucunda yumurta kabuğu tozunun %3 ve %6 oranda ilave edilmesinde kurabiyelerin rengine herhangi bir değişikliğe yol açmadığı fakat %9 katkı ilavesinde kurabiyelerin iç kısmında çok az miktarda yumurta kabuğu tozu olduğu bildirilmiştir. Yumurta kabuğu tozu ilavesiyle kurabiyelerdeki kalsiyum miktarının istatistiksel olarak önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir [99].

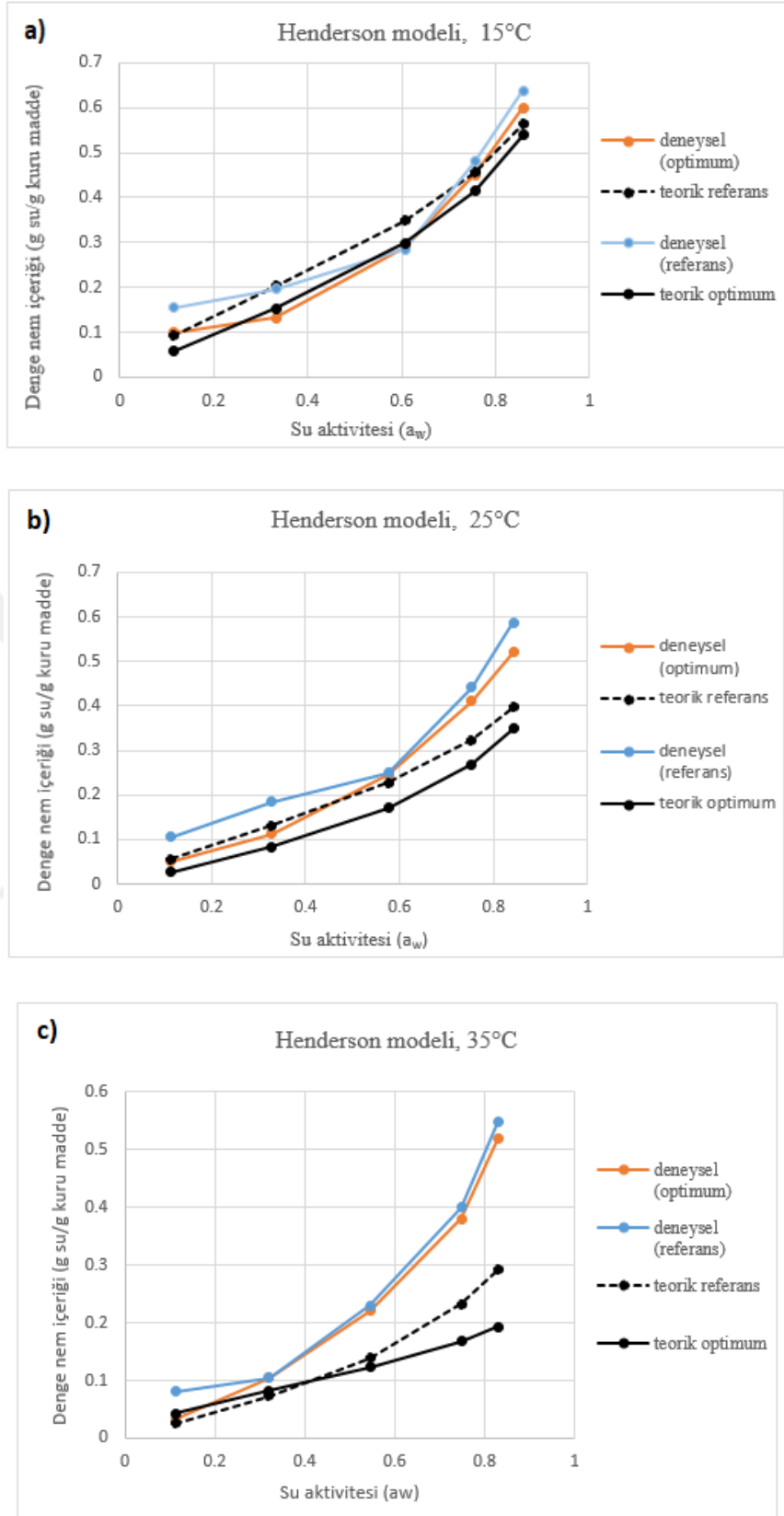
Mijan vd. (2014) çalışmalarında yoğurdun fonksiyonel özelliklerini geliştirmek amacıyla nano boyutta yumurta kabuğu tozu ilave edilerek depolama boyunca yumurta kabuğu tozunun yoğurdun fiziksel, kimyasal, mikrobiyal ve duyuşal özelliklerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Öncelikle hem mikro boyutta hem de nano boyuta yumurta kabuğu tozu hazırlanarak SEM ve partikül boyutu analizi yapılmıştır. SEM görüntüleri, yumurta kabuğu tozunun parçacık boyutunun, nano boyuta dönüşüm sırasında belirgin şekilde azaldığını göstermiştir. Ortalama parçacık boyutları, sırasıyla SEM ile yaklaşık 20 ila 200 µm ve parçacık boyutu cihazı tarafından yaklaşık 100 ila 200 nm’dir. Toplam bakteri sayısı analizi yapılmış ve nano yumurta kabuğu katkılı yoğurdun referans yoğurda göre toplam bakteri sayısının daha az olduğu tespit edilmiştir. Nano ölçekli yumurta kabuğu içeren örneğin bakteri sayısı yumurta kabuğu içeren örneğe göre biraz daha düşük bulunmuştur. Bu durum yumurta kabuğunun antimikrobiyal özelliğinin bir

göstergesi olarak ifade edilmiştir ve nano yumurta kabuğu tozu ekli yoğurdun 16 günden daha uzun raf ömrüne sahip olabileceği gözlenmiştir. Nano yumurta kabuğu tozunun yoğurt viskozitesini arttırdığı tespit edilmiştir. Eklenen katkının yoğurdun duyuşsal özelliklerine olan etkisi incelendiğinde renk ve diğler parametreler katkı maddesinden düşük oranda etkilenmiştir. Yoğurdun kalitesini ve raf ömrünü arttırma amacıyla yumurta kabuğu tozu eklenebileceği ve bu katkının üründe olumsuz bir etki bırakmadığı sonucuna ulaşılmıştır [100].

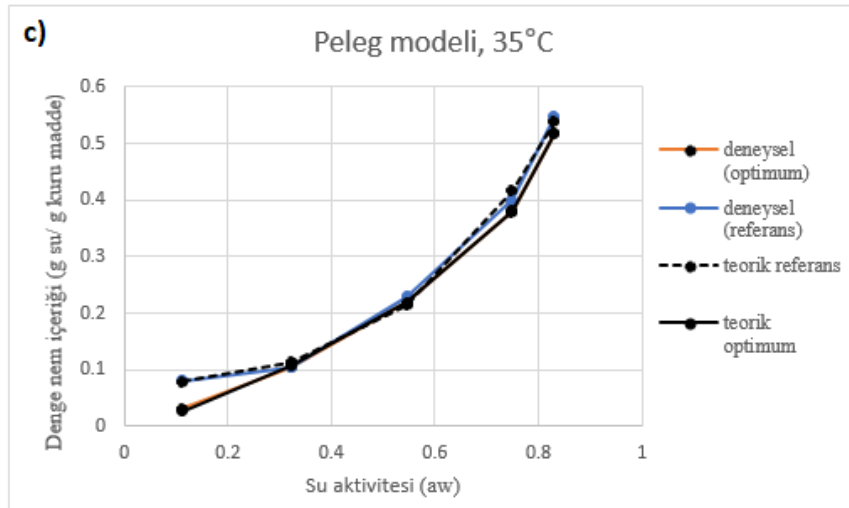
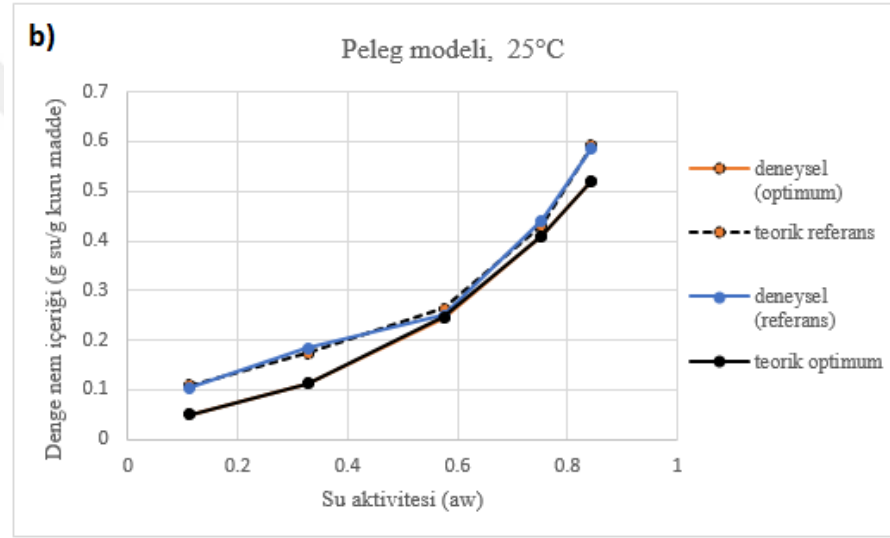
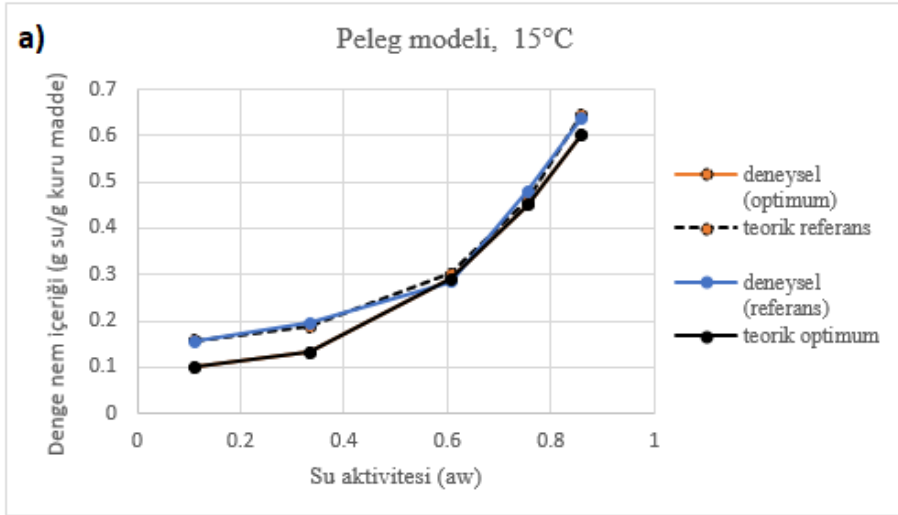




Şekil 11.6 Optimum ve referans yoğurt numunelerinin a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C sıcaklıklarda deneysel ve Halsey izotermeleri



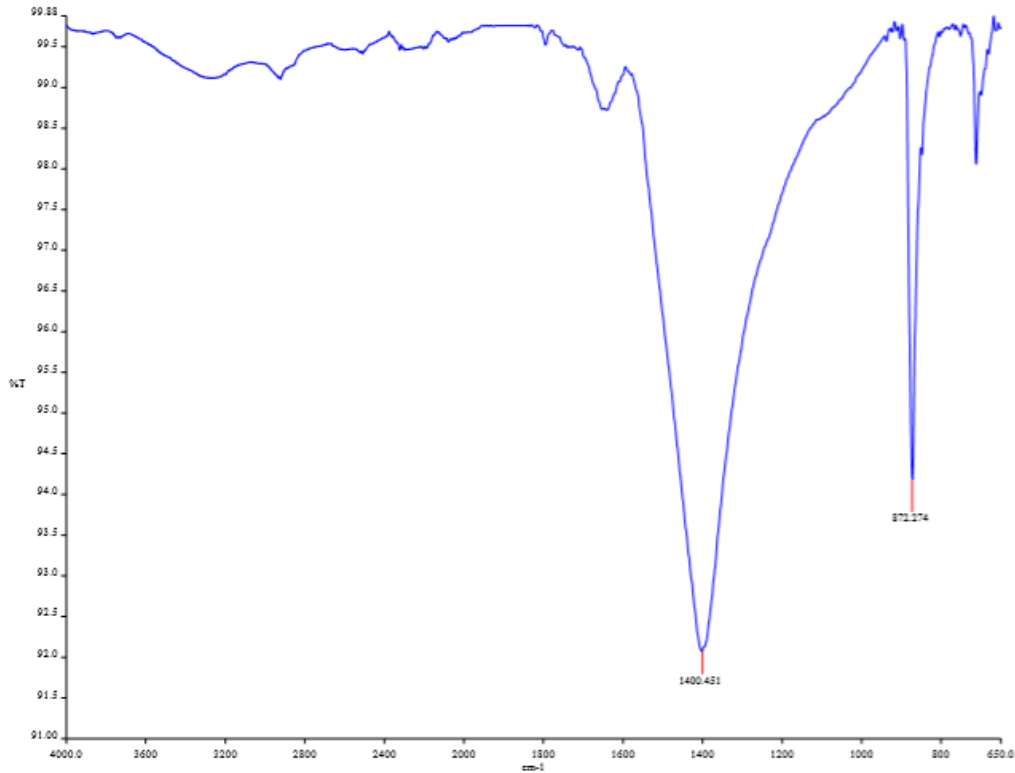
Şekil 11.7 Optimum ve referans yoğurt numunelerinin a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C sıcaklıklarda deneysel ve Henderson izotermeleri



Şekil 11.8 Optimum ve referans yoğurt numunelerinin a) 15°C, b) 25°C ve c) 35°C sıcaklıklarda deneysel ve Peleg izotermeleri

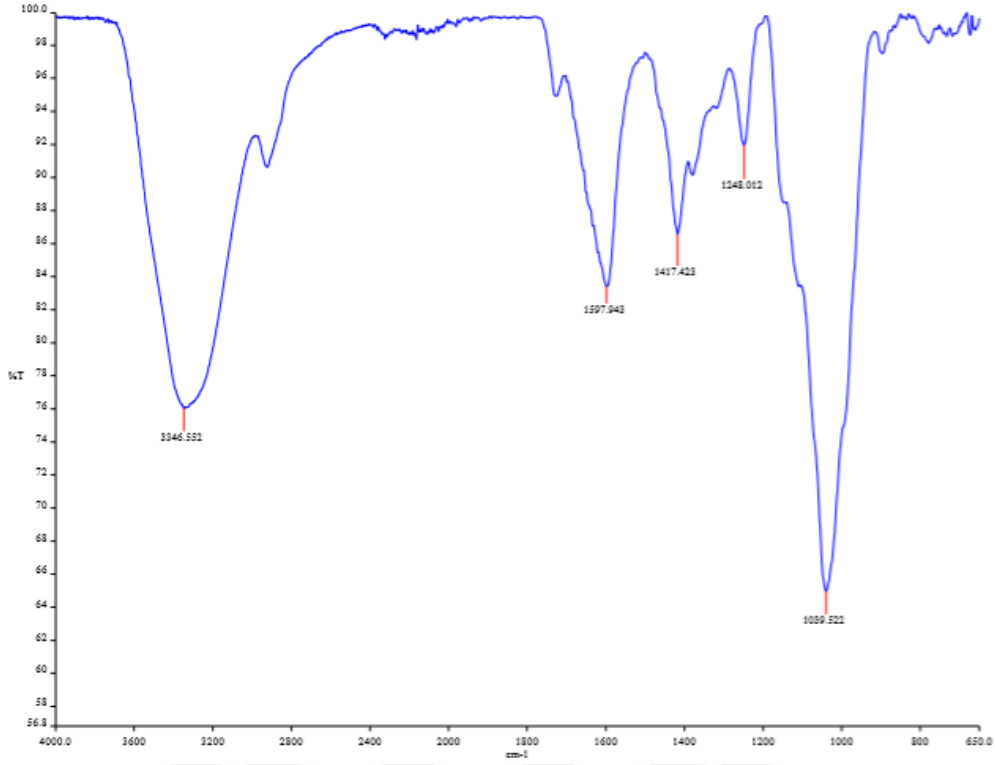
11.3 FT-IR Analizi Sonuçları

FT-IR analizi (650 ile 4000 cm^{-1} dalga boyu aralığında) yoğurda eklenen katkı maddelerinin ürün yapısında kimyasal olarak bağlanma gerçekleşip gerçekleşmediği hakkında bilgi edinmek amacıyla yapılmıştır. İlk olarak nem adsorplamak amacıyla eklenen yumurta kabuğu FT-IR analiz grafiği literatür ile karşılaştırmalı olarak incelenerek Şekil 11.9 'da gösterilmiştir.



Şekil 11.9 Yumurta kabuğu tozu FT-IR spektrumu

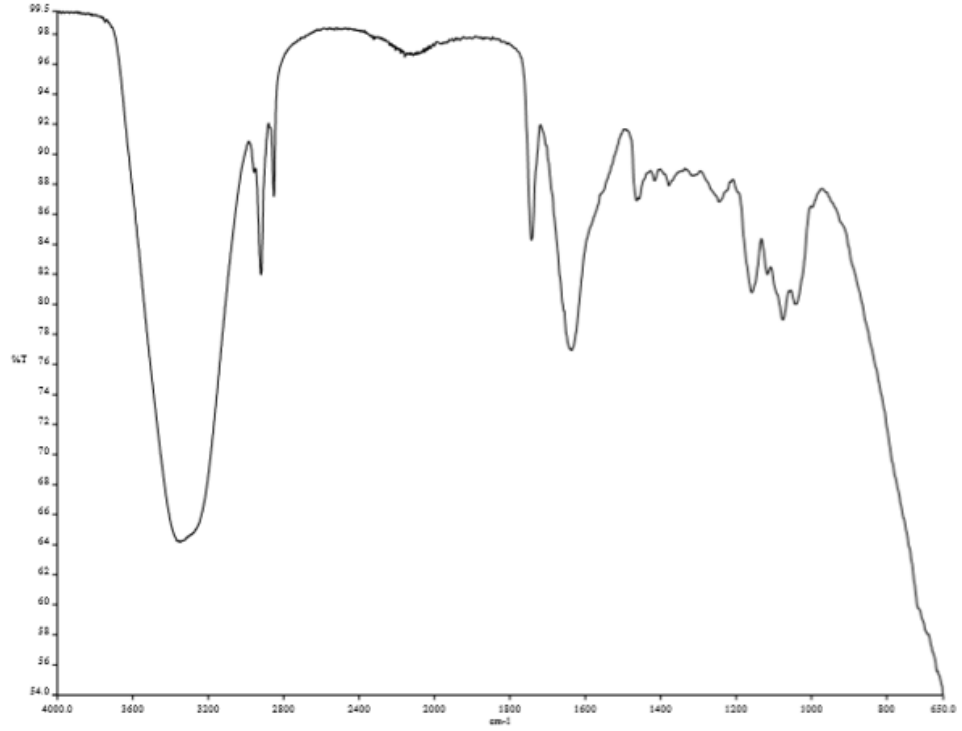
Yumurta kabuğundaki CaCO_3 molekülünün varlığına bağlı olarak 1400 cm^{-1} , 872 cm^{-1} , 710 cm^{-1} dalga boylarında 3 temel pik gözlemlenmiştir. 1400 cm^{-1} dalga boyundaki pik C-O arasındaki gerilme davranışının bir ölçüsü iken 872 cm^{-1} ve 710 cm^{-1} dalga boyunda oluşan keskin pikler C-O arasındaki bağın eğilme titreşimi olarak nitelendirilmektedir [101]. Şekil 11.10'da ayva çekirdeği müsiliğine ait FT-IR spektrumu gösterilmektedir.



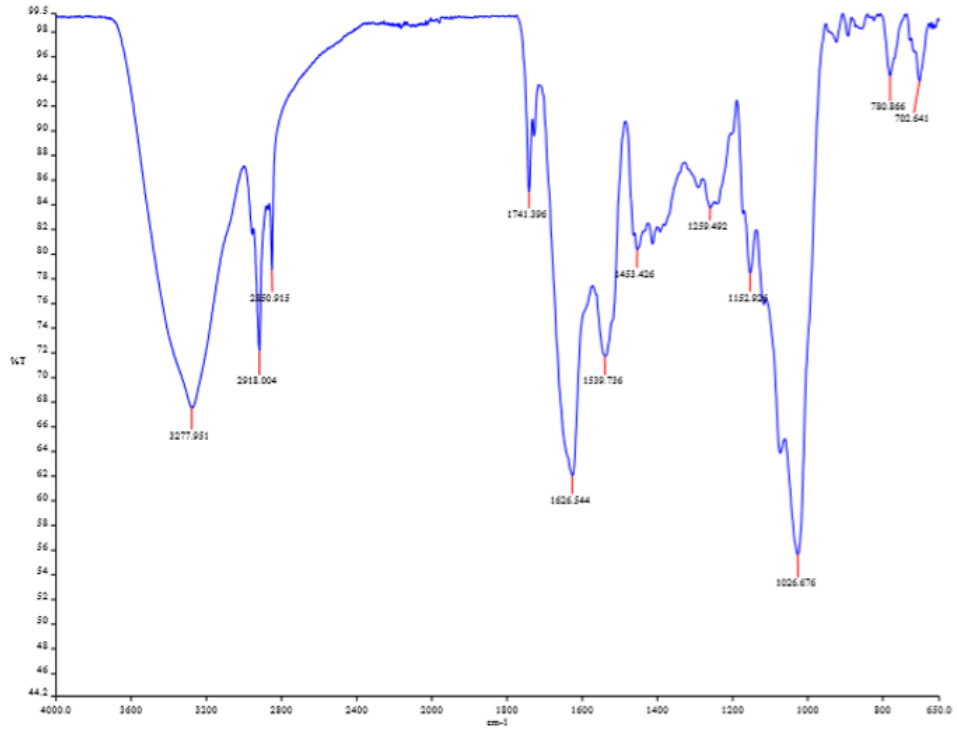
Şekil 11.10 Ayva çekirdeği müsilajına ait FT-IR spektrumu

Şekil 11.10 incelendiğinde ayva çekirdeği müsilajına ait spektrumda 3300 cm^{-1} de gelen geniş pik hidroksil grubuna aittir. 2900 ve 2100 cm^{-1} deki küçük geçiş pikleri CH_2 ve CH molekül bandına aittir. Bu bantlardaki iyonların bağlanmaları sayesinde ayva çekirdeği müsilajı jelleşme özelliği kazanmaktadır. 1597 cm^{-1} piki COO^- , 1417 cm^{-1} C-OO, 1248 cm^{-1} 1039 cm^{-1} C-O-H primer alkol D-arabinoz molekülüne ait olduğu söylenebilir [102].

Şekil 11.11’de referans yoğurt numunesine ait Şekil 11.12’de optimum yoğurt numunesine ait FT-IR spektrumu gösterilmektedir. Şekil 11.11 incelendiğinde, 3320 cm^{-1} değerine karşılık gelen geniş pik numune yapısındaki neme bağlı OH gruplarının varlığının bir göstergesidir. 2850 ve 2920 cm^{-1} ’deki pikler şeker yapısındaki C-H arasındaki etkileşimlerin bir göstergesidir. $1638\text{-}1540\text{ cm}^{-1}$ ’de gözlemlenen pikler, yoğurt yapısına bulunan proteine bağlı olarak N-H arasındaki bağların gerilme ve titreşim varlığından meydana gelmektedir. $1000\text{-}1250\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki pikler ürün yapısındaki karbonhidratların varlığına işaret etmektedir [103].



Şekil 11.11 Referans yoğurt numunesinin FT-IR spektrumu

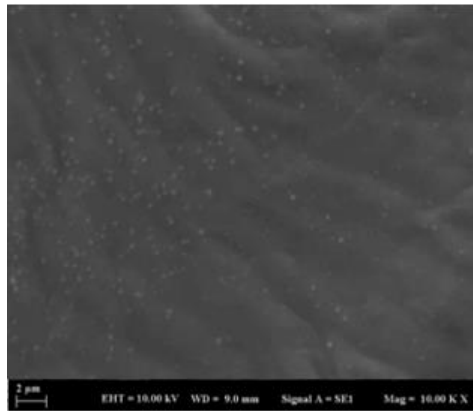


Şekil 11.12 Optimum yoğurt numunesine ait FT-IR spektrumu

Şekil 11.12'deki optimum yoğurt numunesine ait FT-IR spektrumu incelendiğinde referans numuneye kıyasla benzer dalga boyunda benzer piklerin olduğu ve ürün karakteristik yapısında herhangi bir değişim olmadığı sonucuna ulaşılabilir. 3320 cm^{-1} 'de gelen geniş pik, referans numuneye kıyasla biraz daha küçüktür. Bu durum ürüne eklenen yumurta kabuğu tozunun 3320 cm^{-1} 'deki OH moleküllerini adsorpturmasından kaynaklanmakta ve ürünlerdeki nem oranının azaldığına işaret etmektedir. 2850 ve 2920 cm^{-1} 'deki piklerin optimum numunede büyüüp keskinleştiği görülmektedir. Bu durum eklenen katkı maddelerinin ilavesiyle C-H bağları arasındaki titreşimin kuvvetlendiğinin göstergesidir. 1600 ile 1500 dalga boyu aralığındaki pikler optimum numunede daha keskin ve daha büyüktür. Bu durumun yoğurda eklenen yumurta kabuğunun numunedeki protein içeriğini arttırmasına bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir. Referans ile optimum yoğurt numunesinde 1000 ile 1100 cm^{-1} aralığındaki pik incelendiğinde optimum numunedeki karbonhidrat yapıyı temsil eden bu pikin biraz daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum optimum numuneye eklenen karbonhidrat bazlı ayva çekirdeği müsilajı ve kitinin bir etkisinin göstergesi olarak öngörülmektedir.

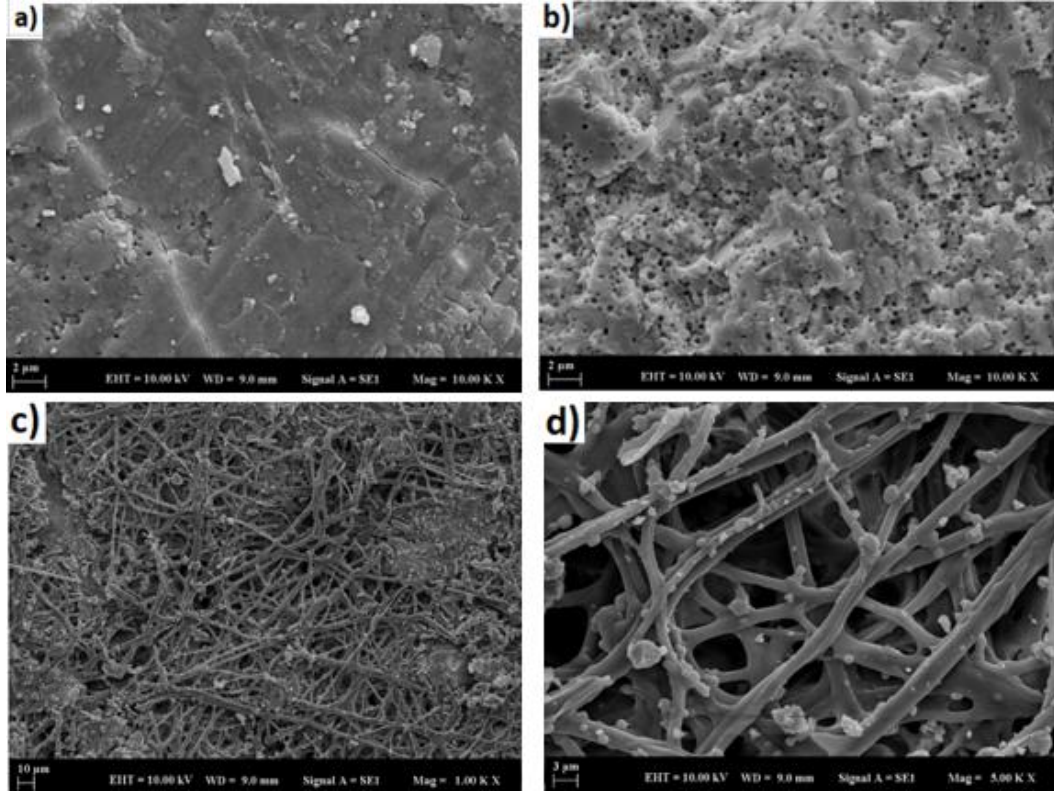
11.4 SEM Analizi Sonuçları

Katkı maddeleri olarak eklenen ayva çekirdeği müsilajı, yumurta kabuğu tozu, optimum ve referans yoğurt numuneleri için mikro boyutunda SEM analizi sonuçları incelenmiştir. Öncelikle ilk olarak kurutulmuş (25°C, etüv) ayva çekirdeği müsilajının (Şekil 11.13) uzun lifli ve dalgalı bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.



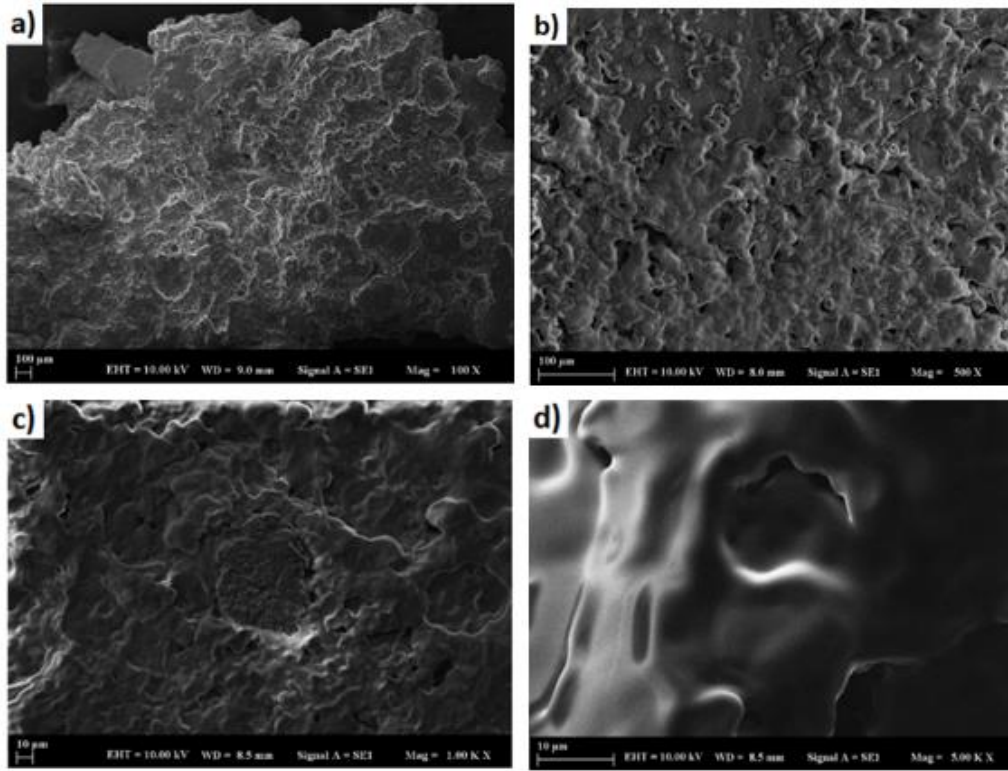
Şekil 11.13 Ayva çekirdeği müsilajı SEM görüntüsü (x10000 büyütme)

Şekil 11.14'te yumurta kabuğu tozuna ait SEM görüntüsü yer almaktadır. Görüntü incelendiğinde yumurta kabuğunun gözenekli bir yapıda olduğu görülmektedir. Kabukta yer alan boşluklu por yapıları sayesinde iyi bir adsorban madde özelliği taşımaktadır.

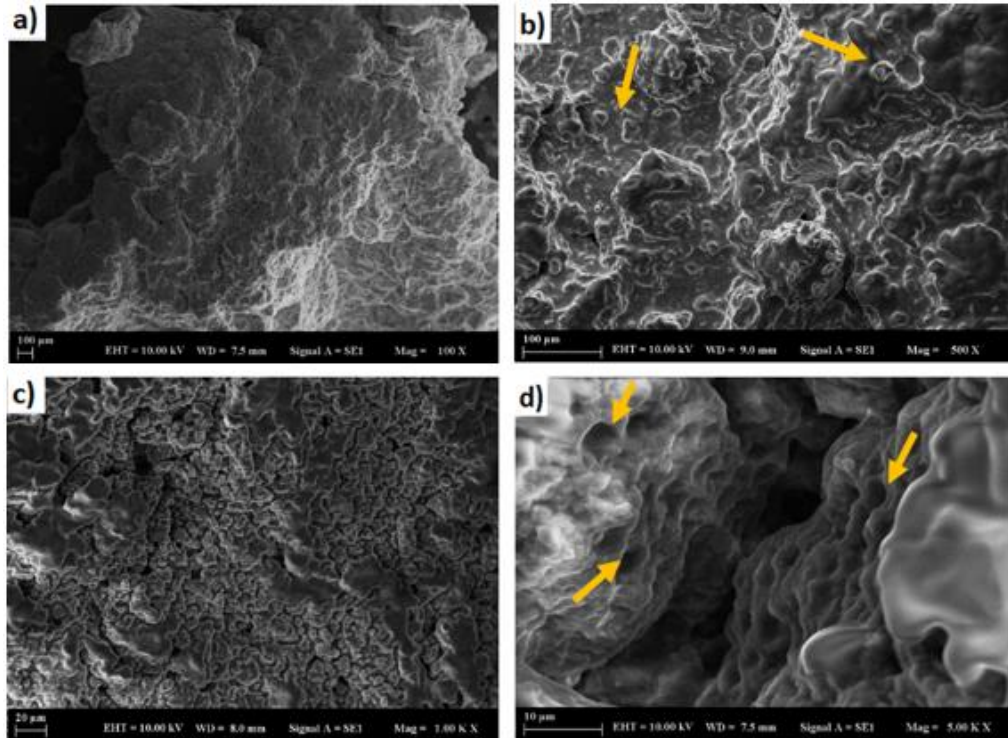


Şekil 11.14 Yumurta kabuğu SEM görüntüsü a) x10000, b) x10000 büyütme c) x1000 büyütme d) x5000 büyütme

Referans ve katkılı optimum yoğurt numunelerinde de SEM analizi (Şekil 11.15 ve Şekil 11.16) yapılarak numunelerin iç yapısı da incelenmiştir. Optimum yoğurt numunesinde referans yoğurda göre daha fazla gözenekli boşluklu yapıların olduğu ve bu durumun eklenen yumurta kabuğu tozundan kaynaklandığı öngörülmektedir. Optimum numunede bulunan küçük yuvarlak yapıların numuneye eklenen çok küçük yapıdaki enkapsüle tanecikler olabileceği düşünülmüştür.



Şekil 11.15 Referans yoğurt numunesi SEM görüntüleri a) x100 büyütme, b) x500 büyütme, c) x1000 büyütme, d) x5000 büyütme

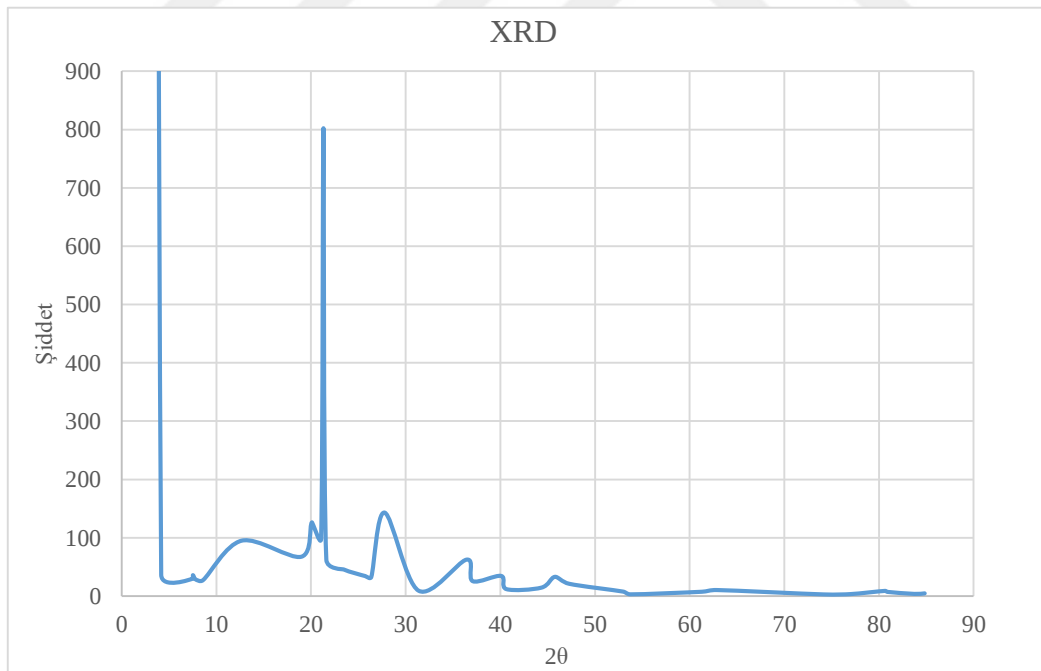


Şekil 11.16 Optimum yoğurt numunesi SEM görüntüleri a) x100 büyütme, b) x500 büyütme, c) x1000 büyütme, d) x5000 büyütme

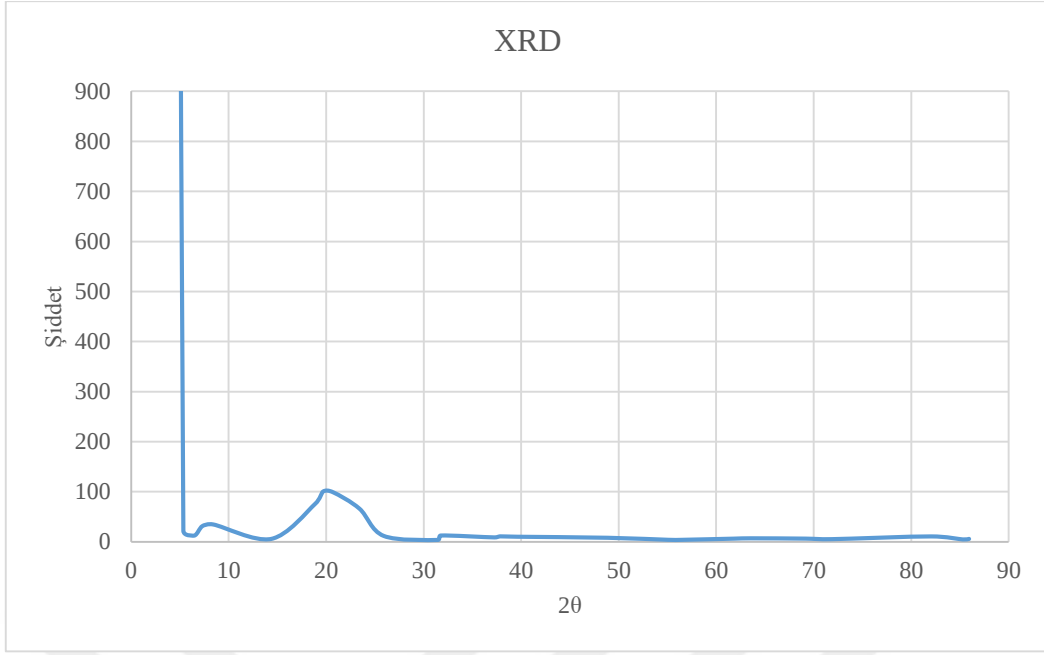
11.5 XRD Analizi Sonuçları

XRD analizi, eklenen doğal katkı maddelerinin yoğurdun kristal yapısını nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Şekil 11.17’de referans yoğurt numunesinin, Şekil 11.18’de optimum yoğurt numunesinin XRD grafiği verilmektedir.

XRD analiz sonuçları incelendiğinde, kurutulmuş referans yoğurtta 2θ açısı 18 ile 22 aralığında iken bulunan keskin pik laktoz şekerinin kristalleşmesini, 10 ile 35’teki 2θ açısındaki küçük ve geniş pikler atomlar arası boşluğun fazla olduğu kısmı ve yapının amorf olduğunu temsil etmektedir. *Jaya (2009)* tarafından yapılan çalışmada yoğurdun kurutulmadan önce amorf yapıda laktoz şekeri içerdiğini, kurutulduktan sonra laktoz şekerinin kristal yapıya dönüştüğü bildirilmektedir. XRD analizinde 2θ açısının 18-22 aralığında yer aldığı konumdaki pikin, kristal yapının laktoz şekerinden meydana geldiği ifade edilmiştir [104]. *Medeiros vd. (2014)* yaptıkları çalışmada grafikte 10 ve 35 2θ açısı civarındaki piklerin X ışının saçılımından kaynaklı olduğunu belirterek kurutulmuş yoğurdun amorf yapıda olduğunu ifade etmiştir [105].



Şekil 11.17 Referans yoğurt numunesi için XRD analiz grafiği



Şekil 11.18 Optimum yoğurt numunesi için XRD analiz grafiği

Şekil 11.18'deki optimum yoğurdun XRD grafiği incelendiğinde, referans yoğurdun 2θ açısının 20 olduğundaki keskin piki, optimum yoğurtta daha küçük ve geniş forma dönüşmüştür. Bu durum yapıya eklenen katkı maddelerinin laktozun kristal formdan amorf forma dönüşmesine yol açtığı ve neredeyse moleküllerin çoğunun amorf yapıda bulunduğunun bir göstergesi olarak ifade edilebilir.

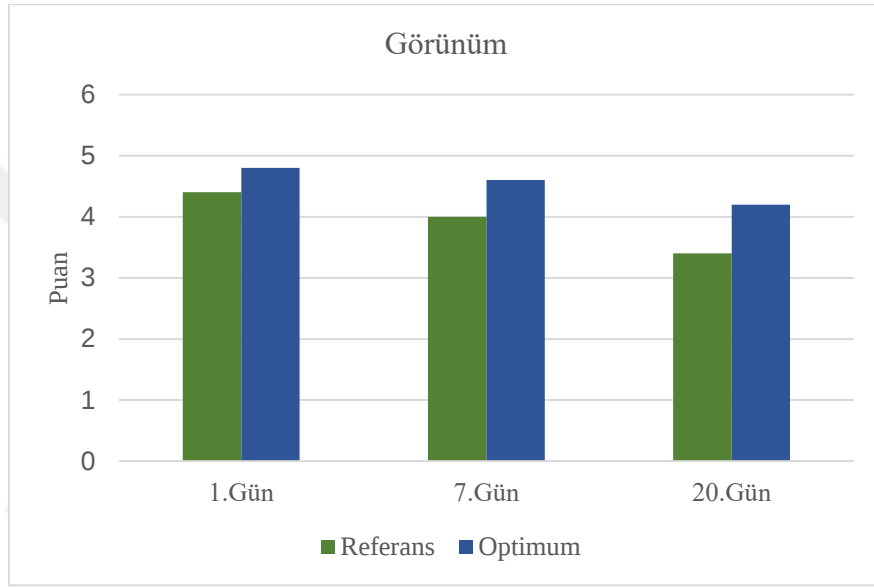
11.6 Duyusal Test Sonuçları

Yoğurt örneklerinde 1. 7. ve 20. gün depolama süreleri sonunda görünüm, renk, kıvam, tat ve koku gibi tekstürel özellikleri değerlendirilmiştir. Tablo 11.6'da yapılan duyusal değerlendirmeye ait genel ve ortalama puanlama sonuçları yer almaktadır.

Yoğurt numunelerine depolama süresinin etkisini istatistiksel açıdan incelemek amacıyla Kruskal Wallis testi, referans ve optimum yoğurt numunelerinin duyusal özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla bağımlı örneklem t testi yapılmıştır. İstatistiksel testler SPSS programında gerçekleştirilmiştir. Şekil 11.19'da referans ve optimum yoğurt numunelerinin depolama süresine bağlı olarak görünüşlerinde meydana gelen değişimleri gösteren grafik yer almaktadır.

Tablo 11.6 Referans ve optimum yoğurt numunelerine ait duyuşal test sonuçları

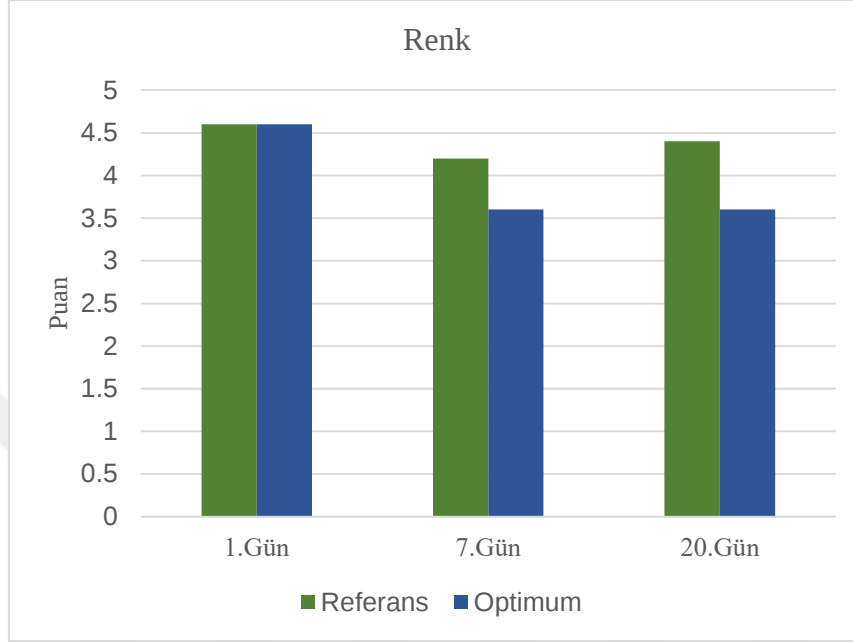
Örnek	Depo süresi (gün)	Görünüm	Renk	Kıvam	Tat	Koku	Genel ortalama (1-5)	Sonuç
Referans (katkısız) yoğurt	1	4,4	4,6	4,6	4,4	3,8	4,4	3,8
	7	4,0	4,2	3,6	4,0	3,4	3,8	
	20	3,4	4,4	2,6	3,2	3,0	3,3	
Optimum (katkılı) yoğurt	1	4,8	4,6	4,8	4,6	4,6	4,7	4,3
	7	4,6	3,6	4,4	4,6	4,8	4,4	
	20	4,2	3,6	4,0	3,8	4,0	3,9	

**Şekil 11.19** Yoğurt numunelerinin görünüşüne ait puanlama grafiği

Nonparametrik Kruskal Wallis testine göre hem referans hem de optimum numunede depolama süresi parametresinin görünüm açısından istatistiksel olarak bir farklılık oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır ($p>0.05$). Raf ömrü boyunca depolama süresine bağlı olarak eklenen katkı maddelerinin optimum numunedeki görünüş etkisini referans numune ile karşılaştırmak amacıyla yapılan t testinde $p<0.05$ bulunmuştur. Bu durum katkılı ve katkısız yoğurt numunelerinin görünüşleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olduğuna işaret etmektedir. İstatistiksel değerler incelendiğinde bu farkın pozitif yönde optimum numunenin daha yüksek puan alması ile ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Genel olarak bu durum yoğurda eklenen doğal katkı maddelerinin ürünün görünüşü üzerinde etkisi olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca hem referans hem de optimum yoğurdun

görünümünde küf benzeri yabancı yapıların bulunmadığı katılımcılar tarafından bildirilmiştir.

Şekil 11.20’de referans ve optimum yoğurt numunelerinin depolama süresine bağlı olarak renginde meydana gelen değişimleri gösteren grafik yer almaktadır.

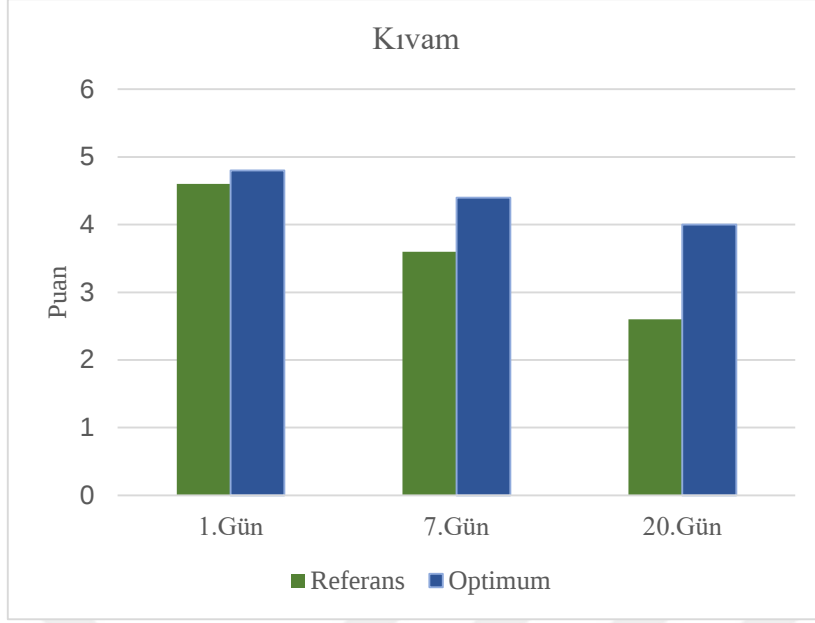


Şekil 11.20 Yoğurt numunelerinin rengine ait puanlama grafiği

Şekil 11.20’deki grafik üzerinden referans yoğurdun depolama süresince renk değişiminin optimum yoğurda göre daha az olduğu görülmektedir. Kruskal Wallis testinde $p>0.05$ olarak bulunması referans ve optimum yoğurtta depolama süresince renk değişiminde istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını göstermektedir. Optimum ve referans yoğurt örnekleri karşılaştırıldığında t testinde $p>0.05$ olduğundan numunelerin renginde önemli bir fark olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Nikoofar vd. (2013) çalışmasında yoğurt içerisine ayva çekirdeği müsilağı ilave ederek fiziksel, tekstürel ve duyuşal özelliklerindeki değişimi araştırmıştır. Çalışma sonucunda ayva çekirdeği müsilağının yoğurt rengi üzerinde değişime yol açmadığı belirtilmiştir [95].

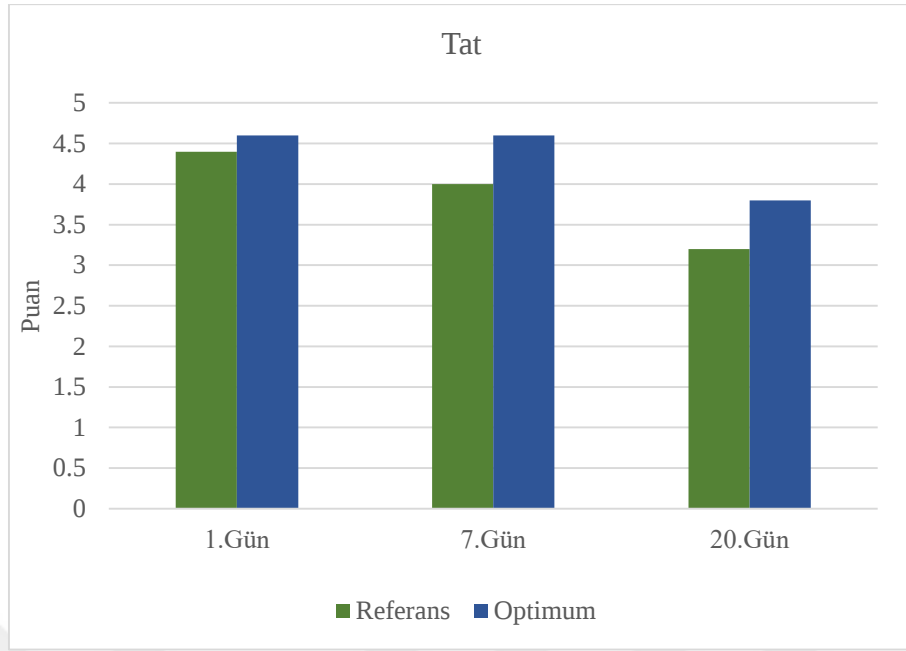
Şekil 11.21’de referans ve optimum yoğurt numunelerinin depolama süresine bağlı olarak kıvamında meydana gelen değişimleri gösteren grafik yer almaktadır.



Şekil 11.21 Yoğurt numunelerinin kıvamına ait puanlama grafiği

Şekil 11.21'deki grafiğe göre ankete katılan kişilerin büyük çoğunluğu optimum yoğurdun kıvamının referans yoğurda göre daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir. İstatistiksel açıdan referans yoğurt için $p < 0.05$ olması sebebi ile referans yoğurdun depolama süresi ile kıvamı arasındaki farkın önemli olduğu belirlenmiştir. Gruptaki farklılaşmayı tespit etmek için tek yönlü anova ile Tamhane's T_2 testi yapılmıştır. Bu durumda 1. gün depolama sonundaki referans yoğurdun kıvam değerlendirilmesi 20. gün depolama sonundaki koşula göre daha iyi bulunmuştur ($p < 0.05$). Optimum ve referans yoğurt arasındaki kıvam yönünden farklılaşma t testi ile incelenmiş ve $p < 0.05$ olması ile istatistiksel açıdan bu fark önemli bulunmuştur. Grafikteki ortalama değerler göz önüne alındığında optimum yoğurtta kıvam özelliği daha iyi olarak değerlendirilmiştir.

Şekil 11.22'de referans ve optimum yoğurt numunelerinin depolama süresine bağlı olarak tadında meydana gelen değişimleri gösteren grafik yer almaktadır.



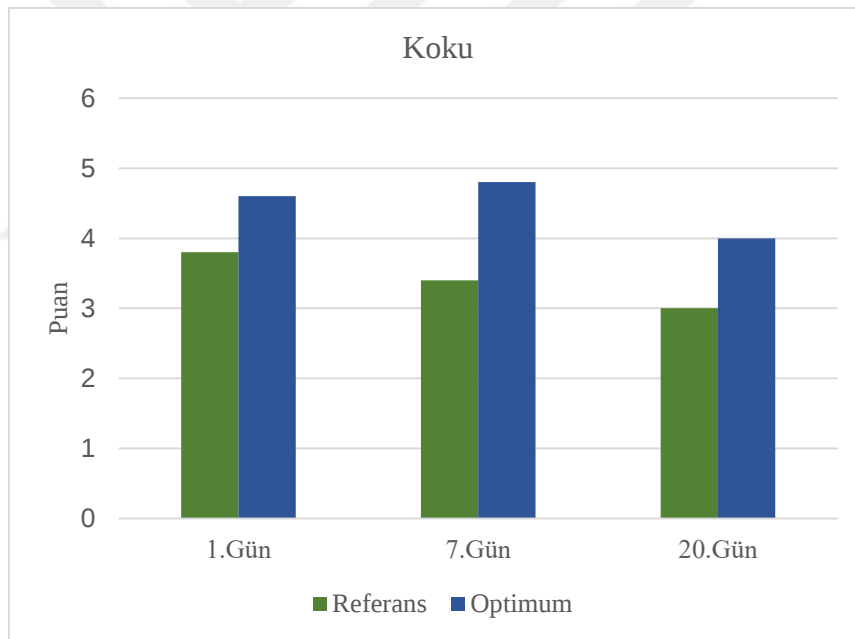
Şekil 11.22 Yoğurt numunelerinin tadına ait puanlama grafiği

Referans ürün için istatistiksel olarak $p < 0.05$ olması depolama süresince yoğurdun tadında meydana gelen değişimin önemli olduğunu göstermektedir. Tek yönlü anova ile Tamhorne's T_2 testi yapılarak ($p < 0.05$) 1 gün depolama süresi ile 20 gün depolama süresi arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. 2 grubun ortalamaları arasındaki farkın pozitif olması 20. günün sonunda tat ile ilgili daha düşük puan değerlendirmesi yapıldığını göstermektedir. Tat için değerlendirme yapılırken yoğurt içerisine eklenen elma aromasının enkapsülasyon etkinliğinin incelenmesi de hedeflenmiştir. Anket katılımcıları tadı değerlendirirken elma aromasının aroma yönünden ürün kalitesini olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Optimum yoğurt için tadın zamana bağlı olarak değişimi istatistiksel olarak önemli bir değişim göstermemiştir. Bu durum başlangıçta genel olarak optimum yoğurt tadının beğenilmesi ile zamanla ürün tadında olumsuz bir değişim meydana gelmediğini göstermektedir.

Optimum ve referans yoğurtların tat özelliği açısından iki örnekte istatistiksel sonuçlar incelendiğinde ($p < 0.05$) fark tespit edilmiş ve bu farkın optimum yoğurdun tadının daha iyi olarak değerlendirilmesinden kaynaklı olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca anket katılımcıları tarafından referans yoğurda 20. gün depolama süresi sonunda katkılı yoğurda göre daha ekşi tat hissedildiği belirtilmiştir. Bu durum optimum yoğurda eklenen yumurta kabuğu tozunun bakteri ve küf oluşumunu geciktirme özelliğinden kaynaklı olarak referans yoğurda göre daha iyi sonuç vermesinin bir göstergesidir. *Kamel vd. (2021)* yaptıkları çalışmada probiyotik yoğurda yumurta kabuğu tozunun etkisini fiziksel, kimyasal, mikrobiyal ve duyuşal açıdan incelemeyi hedeflemiştir. Analiz sonuçlarında yumurta kabuğu tozu ilavesinin probiyotik yoğurda mayaların büyümesini azaltarak raf ömrünün uzamasını sağladığı tespit edilmiştir. Bu durum yumurta kabuğunda bulunan kalsiyumun antimikrobiyal etkisine önemli ölçüde etki ettiğinin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır [106].

Şekil 11.23'te referans ve optimum yoğurt numunelerinin depolama süresine bağlı olarak kokusunda meydana gelen değişimleri gösteren grafik yer almaktadır.



Şekil 11.23 Yoğurt numunelerinin kokusuna ait puanlama grafiği

Kruskal Wallis testine göre hem optimum hem de referans yoğurt numunesinde koku parametresinin depolama süresine bağlı olarak değişiminin istatistiksel testlerde önemli bir farklılığa yol açmadığı ($p>0.05$) görülmektedir. Referans ve optimum yoğurt kıyaslandığında t testi sonuçlarına göre ($p<0.05$) koku parametresinde iki örnek arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmuştur.

Değerlendirme puanlarının ortalamalarına göre optimum numunenin koku özelliğinde daha yüksek puanlar aldığı görülmektedir. Bu duruma elma aromasının etki ettiği öngörülmektedir.



Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile beraber gıdalarda kimyasal katkıların yerine aynı işlevi gerçekleştirebilecek doğal katkı maddelerine yönelik talebin artması ve uzun raf ömrüne sahip, çevresel koşulların değişimine karşı stabilite direnci yüksek, besin değeri zenginleştirilmiş yeni gıda formülasyonlarının oluşturulmasına yönelik bir eğilim söz konusudur. Süt ürünleri, zengin besin değerine sahip olması ve vücut için gerekli birçok vitamin ve minerali bir arada bulundurmasından kaynaklı olarak her dönemde yoğun ilgi gören bir gıda sınıfı olarak nitelendirilmiştir.

Bu çalışmada geleneksel yoğurdun viskozite arttırma performansı başta olmak üzere; nem sorpsiyonu, raf ömrü süresi, zengin besin değeri, kalite gibi özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yoğurda doğal katkı maddeleri eklenmiştir. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında ayva çekirdeği jelinin viskoziteye olan etkisini araştırmak amacıyla Design Expert optimizasyon metodu ve sonrasında yumurta kabuğu tozunun farklı sıcaklık koşullarında nem sorpsiyon performansının incelenmesi amacıyla SPSS istatistiksel programı kullanılmıştır. Ayrıca doğal içerikli kitin ve ayva çekirdeği müsilağı ile elma aroması enkapsülasyonu gerçekleştirilmiştir. Enkapsülasyon tekniği olarak damlatma yöntemi uygulanmıştır. Referans ve optimum yoğurt numunelerinin karakterizasyonunu incelemek için SEM, FT-IR ve XRD analizleri yapılmıştır. Yoğurtların depolama süresince ürün kalitesinde meydana gelen değişimlerin tespit edilmesi ve eklenen katkıların etkisini değerlendirmek amacıyla duyusal testler yapılmıştır. Katkısız referans ve katkılı optimum yoğurt numunelerinde gerçekleştirilen testlere ait sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Box-Behnken tasarımından elde edilen viskozite sonuçlarına göre optimum yoğurdun viskozitesinin referans yoğurda göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum selüloz içeriği yüksek ayva çekirdeği müsilağının viskozite arttırma performansında önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir. Deneyde viskozite üzerinde sıcaklık, karıştırma

süresi ve karıştırma hızı parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Sonuçlara göre viskozite ile sıcaklık arasında ters orantı olduğu ve düşük sıcaklıkta viskozitenin arttığı belirlenmiştir. Design Expert grafikleri incelendiğinde uzun süreli karıştırmanın viskoziteyi olumsuz etkilediği gözlenmiş ve optimum karıştırma süresi 5 dk olarak belirlenmiştir. Karıştırma hızı, diğer parametrelere göre viskoziteyi daha az etkilemiştir ve ortalama karıştırma hızı 400 rpm bu deney seti için optimum viskozite değerini vermiştir.

- Nem adsorpsiyon testi sonucunda grafikler incelendiğinde, sabit su aktivitesinde sıcaklık ile denge nemi arasında ters orantı bulunmuştur. Yoğurt numunesinin düşük sıcaklıklarda su bağlama kapasitesinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Referans ile optimum yoğurdun su adsorplama performansı karşılaştırıldığında tüm sıcaklık koşullarında optimum yoğurdun su adsorpsiyon kapasitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun optimum yoğurda eklenen yumurta kabuğu tozu ile sağlandığı öngörülmektedir. Nem adsorpsiyon izotermelerini oluşturmak amacıyla istatistiksel olarak Halsey, modifiye Henderson ve Peleg model denklemleri oluşturulmuştur. SPSS programı ile tahmini denklem katsayıları, %RMSE, R^2 ve p değeri hesaplanmıştır ve Peleg modeline göre optimum yoğurtta p ve %RMSE değerleri referans yoğurda göre daha düşük bulunmuştur. Bu durumda en uygun model denkleminin Peleg olduğuna karar verilmiştir.
- Yoğurt numunelerinin duyuşal yönden incelemek amacıyla görünüm, tat, kıvam, koku ve renk özellikleri katılımcılar tarafından değerlendirilmiştir. Yoğurt numunelerine depolama süresinin etkisini istatistiksel açıdan incelemek amacıyla Kruskal Wallis testi, referans ve optimum örneklerin karşılaştırılmasında ise t testi yapılmıştır. Görünüm açısından hem referans hem de optimum yoğurdun görünümünde küf benzeri yabancı yapıların bulunmadığı katılımcılar tarafından bildirilmiştir. Tat açısından referans yoğurdun tadında zamanla ekşilik algılanmıştır. Optimum yoğurda eklenen elma aroması ile daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum yoğurda katılan yumurta kabuğu tozunun antimikrobiyal özelliği sayesinde küf, bakteri vb. yapıların çoğalmasını referans ürüne göre azaltmada başarılı

olduğu yönünde değerlendirilmektedir. Referans yoğurt optimum yoğurda kıyasla kıvam yönünden depolama süresinin artması ile daha düşük puanlar almıştır. Fakat iki örnekte depolama boyunca kıvam açısından düşüş yaşamıştır. Referans yoğurdun renk değişimi optimum yoğurda göre daha az olmuştur. Eklenen katkıların bu duruma sebep olduğu düşünülmektedir. Koku testinde optimum yoğurtta bulunan elma aroması sayesinde daha olumlu yaklaşım olmuştur.

- Enkapsülasyon testinin sonucunda meydana gelen kapsüllerin tespit edilmesi amacıyla SEM analizi yapılmıştır. Görüntüdeki küresel yapıların enkapsüle tanecikler olabileceği düşünülmektedir. Eklenen katkıların yoğurdun kimyasal yapısında değişikliğe sebep olup olmadığını incelemek amacıyla FT-IR analizi yapılmıştır. Grafikler incelendiğinde optimum yoğurtta karbonhidrat bazlı pik genişliğinin artmasının ayva çekirdeği müsilajı eklenmesi ile, kalsiyum karbonat pik genişliğinin artması da yoğurda yumurta kabuğu tozu eklenmesine bağlı olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak yoğurda eklenen doğal katkı maddelerinin yoğurdun fiziksel ve duyuşal özelliklerini iyileştirdiği ve kalsiyum yönünden zengin bir içeriğe dönüştürdüğü gözlenmiştir. Yapılan analizler ile ürün kalitesini önemli derecede etkileyecek olumsuz bir sonuç ile karşılaşılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın, gıda endüstrisinin farklı alanlarında doğal katkı maddelerinin kullanılması ile yeni ürünlerin oluşturulmasına ışık tutabileceği düşünülmektedir.

- [1] Y. Motarjemi, G.G. Moy, P.J. Jooste and L.E. Anelich, "Milk and Dairy Products," in Food Safety Management, Y. Motarjemi and H. Lelieveld, Eds., Waltham, San Diego, USA: Elsevier, 2014, pp, 83-117.
- [2] L. Kubicova et al., "The Importance of Milk and Dairy Products Consumption as A Part of Rational Nutrition," *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.*, vol. 13, no.1, April 2019, doi: 10.5219/1050
- [3] N.G. Yörük ve E. Danyer, "Gıda Katkı Maddeleri Genel Bilgiler ve Tanımlar," *Türkiye Klinikleri Dergisi*, vol. 2, no. 2, November 2016.
- [4] C. Caleja, et al., "Fortification of Yogurts with Different Antioxidant Preservatives: A Comparative Study Between Natural and Synthetic Additives," *Food Chemistry.*, April 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.04.114
- [5] A. Sofu and F.Y. Ekinici, "Estimation of Storage Time of Yogurt with Artificial Neural Network Modeling," *American Dairy Science Association.*, February 2007, doi: 10.3168/jds.2006-591
- [6] J. Bruce German, "The Future of Yogurt: Scientific and Regulatory Needs," *American Journal of Clinical Nutrition.*, 2014, doi: 10.3945/ajcn.113.076844
- [7] M. Yekta and S. Ansari, "Jujube Mucilage as a Potential Stabilizer in Stirred Yogurt: Improvements in the Physiochemical, Rheological, and Sensorial Properties," *Food Science and Nutrition.*, August 2019, doi: 10.1002/fsn3.1230
- [8] K. Stepien, et al., "The Renaissance of Plant Mucilage in Health Promotion and Industrial Applications: A Review," *Nutrients J.*, vol.13, no. 10, September 2021, doi: 10.3390/nu13103354
- [9] Ş. Demir, "Ayva Çekirdeği Ekstraktının Dondurma Üretiminde Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Departmanı, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2019.
- [10] Ö. Ünlüeroğlul, "Ayva (Cydonia Oblonga), Kivi (Actinidia Deliciosa) ve Balkabağı (Cucurbita Moschata) Pürelerine Maltodekstrin Eklenecek Farklı Kurutma Yöntemleri ve Bu Yöntemlerin Kombinasyonları ile Kurutulması," Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Departmanı, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2020.
- [11] T. Yıldırım, "Ultras ve Kaplama Ön İşlemlerinin Infrared Kurutulmuş Ayva Numunelerinde Kuruma Verimi ve Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Departmanı, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2022.
- [12] M.U. Ashraf, et al., "Cydonia oblonga M., A Medicinal Plant Rich in Phytonutrients for Pharmaceuticals," *Frontiers in Pharmacology.*, vol. 7, no. 163, June 2016, doi: 10.3389/fphar.2016.00163

- [13] B.S. Şirikçi, “Türkiye’de Ayva Yetiştiriciliğinin Ekonomik Yapısı ve Pazarlama Sorunları,” Yüksek Lisans Tezi, Tarım Ekonomisi Departmanı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2016.
- [14] TÜİK, “Bitkisel Üretim İstatistikleri” <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>, (15.05.2023).
- [15] A. Kozlu, “Ayva Çekirdeği Müsilajının Yenilebilir Film Kaplaması Olarak Bazı Meyvelere Uygulanması Ve Depolama Süresince Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Departmanı, Ege Üniversitesi. İzmir, Türkiye, 2020.
- [16] İ.A. Develioğlu, “Investigating the Effect of Quince Seed Powder on Alginate Hydrogels by Magnetic Resonance,” M. Sc, Food Engineering Department, Middle East Technical University. Ankara, Türkiye, 2019.
- [17] M. Jouki, et al., “Optimization of Extraction, Antioxidant Activity and Functional Properties of Quince Seed Mucilage by RSM,” International Journal of Biological Macromolecules, vol. 66, February 2014, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.02.026
- [18] C. Soukoulis, et al., “Plant Seed Mucilage as Emerging Biopolymer in Food 24 Industry Applications,” Food Science J., vol. 22, August 2018, doi: 10.1016/j.cofs.2018.01.004
- [19] S. Beikzadeh, et al., “Seed Mucilages as the Functional Ingredients for Biodegradable Films and Edible Coatings in The Food Industry,” Advances in Colloid and Interface Science J., vol. 280, June 2020.
- [20] Z.N. Dokoochaki, et al., “Dairy Dessert Containing Microencapsulated Lactobacillus Rhamnosus (ATCC 53103) with Quince Seed Mucilage as A Coating Material,” LWT - Food Science and Technology J., vol. 115, July 2019.
- [21] R. Waghmare, et al., “Mucilages: Sources, Extraction Methods, and Characteristics for Their Use as Encapsulation Agents,” Critical Reviews in Food Science and Nutrition., vol. 62, no. 15, January 2021, doi: 10.1080/10408398.2021.1873730
- [22] J. Carvalho, et al., “Alternative Low-cost Adsorbent for Water and Wastewater Decontamination Derived from Eggshell Waste: An Overview,” Waste Biomass Valor J., vol. 2, January 2011, doi: 10.1007/s12649-010-9058-y
- [23] A. Laca, et al., “Egg Waste as Catalyst: A Review,” Journal of Environmental Management, vol. 197, March 2017, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.088
- [24] M.J. Quina, et al., “Applications of Industrial Eggshell as a Valuable Anthropogenic,” Resources, Conservation and Recycling, vol. 193, September 2016, doi: 10.1016/j.resconrec.2016.09.027
- [25] M. Waheed, et al., “Eggshell Calcium: A Cheap Alternative to Expensive Supplements,” Trends in Food Science & Technology, vol. 91, July 2019, doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.021
- [26] D.A. Doliveira, et al., “A Literature Review on Adding Value to Solid Residues: Egg Shells,” Journal of Cleaner Production, vol. 46, October 2012.

- [27] X. Hu, et al., "Green, Simple, and Effective Process for the Comprehensive Utilization of Shrimp Shell Waste," *American Chemical Society Omega*, vol. 5, July 2020, doi: 10.1021/acsomega.0c02705
- [28] M. Elsoud and M. Kady, "Current Trends in Fungal Biosynthesis of Chitin and Chitosan," *Bulletin of the National Research Centre*, 2019, doi: 10.1186/s42269-019-0105y
- [29] J. Synowiecki and N. Al-Khateeb, "Production, Properties, and Some New Applications of Chitin and Its Derivatives," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition J.*, vol. 43, no. 2, June 2010, doi: 10.1080/10408690390826473
- [30] K. Cogollo-Herrera, et al., "Techno-economic Sensitivity Analysis of Large Scale Chitosan Production Process from Shrimp Shell Wastes," *Chemical Engineering Transactions*, vol. 70, 2018, doi: 10.3303/CET1870364
- [31] B. Dayakar, et al., "Application of Extreme Halophilic Archaea as Biocatalyst for Chitin Isolation from Shrimp Shell Waste," *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, vol. 2, December 2021, doi: 10.1016/j.carpta.2021.100093
- [32] S. Islam, et al., "Chitin and Chitosan: Structure, Properties and Applications in Biomedical Engineering," *Journal of Environmental Polymer Degradation*, vol. 25, no. 3, October 2016, doi: 10.1007/s10924-016-0865-5
- [33] P.R. Sivashankari, M. Prabakaran, "Deacetylation Modification Techniques of Chitin and Chitosan," in *Chitosan Based Biomaterials*, J.A. Jennings and J.D. Bumgardner, Eds., Cambridge, USA: Elsevier, 2017, pp, 117-133.
- [34] S. Peter, et al., "Chitin and Chitosan Based Composites for Energy and Environmental Applications: A Review," *Waste and Biomass Valorization J.*, vol. 12, September 2020, doi: 10.1007/s12649-020-01244-6
- [35] J. Silvestre, et al., "Optimization of Chitosan Properties with the Aim of a Water Resistant Adhesive Development," *Polymers J.*, vol. 13, no. 22, November 2021, doi: 10.3390/polym13224031
- [36] T. Philibert, et al., "Current Status and New Perspectives on Chitin and Chitosan as Functional Biopolymers," *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 181, no. 4, October 2016, doi: 10.1007/s12010-016-2286-2
- [37] L. Pighinelli, et al., "Methods of Chitin Production a Short Review," *American Journal of Biomedical Science & Research*, vol. 3, no. 4, June 2019, doi: 10.34297/AJBSR.2019.03.000682
- [38] H.G. Warsewicz, et al., "Milk and Dairy Products and Their Nutritional Contribution to the Average Polish Diet," *Nutrients J.*, vol. 11, no. 8, August 2018, doi: 10.3390/nu11081771
- [39] G. Rysstad and J. Kolstad, "Extended Shelf Life Milk—Advances in Technology," *International Journal of Dairy Technology*, vol. 59, no. 2, May 2006, doi: 10.1111/j.1471-0307.2006.00247.x
- [40] F.G. Üçtuğ, "The Environmental Life Cycle Assessment of Dairy Products," *Food Engineering Reviews*, vol. 11, January 2019, doi: 10.1007/s12393-019-91874

- [41] N.N. Nasralla, et al., "Compositional Characteristics of Dairy Products and Their Potential Nondairy Applications After Shelf-Life," *Current Research in Food Science*, vol. 5, January 2022, doi: 10.1016/j.crfs.2021.12.017
- [42] A. Bezie, "The Effect of Different Heat Treatment on the Nutritional Value of Milk and Milk Products and Shelf-Life of Milk Products. A Review," *Journal of Dairy & Veterinary Science*, vol. 11, no. 5, May 2019, doi: 10.19080/JDVS.2019.11.555822
- [43] M. Samilyk, et al., "Influence of the Structure of Some Types of Fillers Introduced to the Yogurt Recipe on Changes in Its Rheological Indicators," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 11, doi: 10.15587/1729-4061.2020.199527
- [44] M.S. Santos, et al., "Rheological and Sensorial Evaluation of Yogurt Incorporated with Red Propolis," *Journal of Food Science Technology*, vol. 57, November 2019, doi: 10.1007/s13197-019-04142-5
- [45] K.M. Gawai, et al., "Stabilizers, Colorants and Exopolysaccharides in Yogurt," in *Yogurt in Health and Disease Prevention*, N.P. Shah, Editor, Cambridge, USA: Elsevier, 2017, pp, 49-68.
- [46] N.N. Zhi, et al., "Development of A Dynamic Prediction Model for Shelf-Life Evaluation of Yogurt by Using Physicochemical, Microbiological and Sensory Parameters," *CyTA Journal of Food*, vol. 16, no. 1, August 2017, doi: 10.1080/19476337.2017.1336572
- [47] H. Zeda, et al., "The Effect of Tarragon (*Artemisia Dracunculus*) Essential Oil and High Molecular Weight Chitosan on Sensory Properties and Shelf Life of Yoğurt," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 147, Art no. 111613, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111613
- [48] D.D. Muir, "The Stability and Shelf Life of Milk and Milk Products (Chapter 27)," in *Food and Beverage Stability and Shelf Life*, D. Kilcast and P. Subramaniam, Eds., USA: Woodhead Publishing, 2011, pp, 755-778.
- [49] D.K. Deshwal, et al., "Review on Factors Affecting and Control of Post-Acidification in Yogurt and Related Products," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 109, March 2021, doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.057
- [50] C. Condurso, et al., "Solid-Phase Microextraction and Gas Chromatography Mass Spectrometry Analysis of Dairy Product Volatiles for the Determination of Shelf-Life," *International Dairy Journal*, vol. 18, no. 8, August 2008, doi: 10.1016/j.idairyj.2007.12.005
- [51] A.H.A-Muhtaseb, et al., "Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review," *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, vol. 80, no. 2, June 2002, doi: 10.1205/09603080252938753
- [52] A.J. Fontana, "Water Activity and Isotherm Equations," in *Water Activity in Foods Fundamentals and Applications*, Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Anthony J. Fontana, Jr., Shelly J. Schmidt, Theodore P. Labuza, Editors, USA: Wiley-Blackwell, 2007, 399-405.

- [53] Z. Yang, et al., "Sorption Isotherms and Moisture Sorption Hysteresis of Intermediate Moisture Content Banana," *Journal of Food Engineering*, vol. 86, no. 3, June 2008, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.10.009
- [54] F.K. Ertekin and M. Sultanoğlu, "Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Peppers," *Journal of Food Engineering*, vol. 47, no. 3, February 2001, doi: 10.1016/S0260-8774(00)00120-5
- [55] R.D. Andrade, "Models of Sorption Isotherms for Food: Uses and Limitations," *Vitae, Revista De La Facultad De Química Farmacutica*, vol. 18, no. 3, September 2011.
- [56] L.M. Diaz-Contreras, "Determination of Equilibrium Moisture Content Characteristics of Manitoba Grown Soybeans as Affected by Post-Harvest Conditions," M. Sc, Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba Winnipeg, Canada, North America, 2019.
- [57] I.S. Ibe, "The Study of Sorption Isotherms for Varied Temperatures of Cocoyam (Taro)," *Journal of Management Science & Entrepreneurship*, vol. 19, no. 7, March 2021.
- [58] F.O. Erdoğan and T. Kopaç, "Investigation of Acetone Adsorption Characteristics of Activated Carbons Obtained from Zonguldak-Karadon Coal at Room Temperature," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35, no. 4, May 2020, doi: 10.17341/gazimmfd.686415
- [59] S.J. Temple and A.B.J. van Boxtel, "Equilibrium Moisture Content of Tea," *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 74, 1999.
- [60] A. Kızmaz, "Farklı Kurutma Teknikleriyle Kurutulan Kivi Dilimlerinin Adsorpsiyon İzotermelerinin Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği, Ordu Üniversitesi, Ordu, Türkiye, 2019.
- [61] O. Paquet-Durand, et al., "Optimal Experimental Design for Parameter Estimation of the Peleg Model," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 140, January 2015, doi: 10.1016/j.chemolab.2014.10.006
- [62] V. Nedovic, et al., "An Overview of Encapsulation Technologies for Food Applications," *Procedia Food Science* 1, vol. 1, May 2011, doi: 10.1016/j.profoo.2011.09.265
- [63] Y.P. Timilsena, et al., "Encapsulation in the Food Industry: A Brief Historical Overview to Recent Developments," *Food and Nutrition Sciences*, vol. 11, no. 6, January 2020, doi: 10.4236/fns.2020.116035
- [64] V. Dordevic, et al., "Encapsulation Technologies for Food Industry (Chapter 18)," in *Emerging and Traditional Technologies for Safe, Healthy and Quality Food*, Viktor Nedović, Peter Raspor, Jovanka Lević, Vesna Tumbas Šaponjac, Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Eds., Switzerland: Springer Nature, 2023.
- [65] V. Dordevic, et al., "Encapsulation Technologies for Food Industry (Chapter 13)," in *Emerging and Traditional Technologies for Safe, Healthy and Quality Food*, Viktor Nedović, Peter Raspor, Jovanka Lević, Vesna Tumbas Šaponjac, Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Eds., Switzerland: Springer Nature, 2023.

- [66] A. Madene, et al., “Flavour Encapsulation and Controlled Release – A Review,” *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 41, no. 1, January 2006, doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x
- [67] L. Tavares, et al., “Bioactive Compounds of Garlic: A Comprehensive Review of Encapsulation Technologies, Characterization of the Encapsulated Garlic Compounds and Their Industrial Applicability,” *Trends in Food Science & Technology*, vol. 111, August 2021, doi: 10.1016/j.tifs.2021.05.019
- [68] S.V. Rivera, et al., “Encapsulation of Microorganisms for Bioremediation: Techniques and Carriers,” *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology Journal*, vol. 20, June 2021, doi: 10.1007/s11157-021-09577-x
- [69] M.G. Valle, et al., “Optimization of Encapsulation by Ionic Gelation Technique of Cryoconcentrated Solution: A Response Surface Methodology and Evaluation of Physicochemical Characteristics Study,” *Polymers*, vol. 14, no. 5, March 2022, doi: 10.3390/polym14051031
- [70] T. Çoruhli, “Kara Dut Antosiyaninlerinin İyonik Jelasyon Yöntemi ile Enkapsülasyonu ve Enkapsülasyon Parametrelerinin Tepki Yüzeyi Metodu ile Optimize Edilmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [71] S. Ray, et al., “An Overview of Encapsulation of Active Compounds Used in Food Products by Drying Technology,” *Food Bioscience*, vol. 13, March 2016, doi: 10.1016/j.fbio.2015.12.009
- [72] M.A. Jal, et al., “An Overview of Microencapsulation in the Food Industry: Opportunities, Challenges and Innovations,” *European Food Research and Technology*, vol. 246, April 2020, doi: 10.1007/s00217-020-03496-x
- [73] V. Suganya, V. Anuradha, “Microencapsulation and Nanoencapsulation: A Review,” *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 9, no. 3, March 2017, doi: 10.25258/ijpcr.v9i3.8324
- [74] K. Ayan, “Determination of the Stability of Beeswax Encapsulated Red Beetroot Extract in Kefir,” M. Sc., Department of Food Engineering, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey, 2018.
- [75] A. Göktürk, “İyonik Jelasyon Yönteminde Enkapsülasyon Verimi Üzerine Yüzey Aktif Bileşenlerinin Etkisi,” Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2021.
- [76] M. Ghellam, “Güzyemişi (*Elaeagnus Umbellata*) Meyvesinden Likopen Üretimi ve Enkapsülasyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye, 2021.
- [77] T. Ghorbanzade, et al., “Nano-Encapsulation of Fish Oil in Nano-Liposomes and Its Application in Fortification of Yogurt,” *Food Chemistry*, vol. 216, February 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.08.022
- [78] V. Seregelj, et al., “Application of Encapsulated Natural Bioactive Compounds from Red Pepper Waste in Yogurt,” *Journal of Microencapsulation*, vol. 36, no. 8, October 2019, doi: 10.1080/02652048.2019.1668488

- [79] S.C. Silva, et al., "Spray-Dried *Spirulina Platensis* as an Effective Ingredient to Improve Yogurt Formulations: Testing Different Encapsulating Solutions," *Journal of Functional Foods*, vol. 60, September 2019, doi: 10.1016/j.jff.2019.103427
- [80] S.S. Rao, "Engineering Optimization Theory and Practice," New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [81] A. Mosavi, "Optimization and Decision Making in Chemical Engineering Problems," *Global Journal of Researches in Engineering*, vol. 10, no. 3, July 2010.
- [82] H. Zhang and G.P. Rangaiah, "An Efficient Constraint Handling Method with Integrated Differential Evolution for Numerical and Engineering Optimization," *Computers and Chemical Engineering*, vol. 37, October 2011, doi: 10.1016/j.compchemeng.2011.09.018
- [83] D. Ersingün, "Dinamik Benzetimi Yapılan Bir Reaktif Distilasyon Kolonunun Cevap Yüzey Yöntemi ile Optimum İşletme Koşullarının Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Van, Türkiye, 2019.
- [84] S. Güvercin and A. Yıldız, "Optimization of Cutting Parameters Using the Response Surface Method," *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. 36, no. 1, March 2018.
- [85] M.D. Mutlu, "Kızılcık Meyvesi İlavesiyle Yoğurdun Bazı Biyokimyasal Özelliklerinin Zenginleştirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2022.
- [86] J. Wilke, et al., "Visco Handbook: Theory and Application of Viscometry with Glass Capillary Viscometers," USA, 2015, 7-71.
- [87] A.J. Fontana, "Water Activity of Saturated Salt Solutions," in *Water Activity in Foods Fundamentals and Applications*, Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Anthony J. Fontana, Jr., Shelly J. Schmidt, Theodore P. Labuza, Editors, USA: Wiley-Blackwell, 2007, 391-395.
- [88] M. Erbaş, vd., "Gıdaların Nem Sorpsiyon İzotermelerinin Belirlenmesi ve Eşitliklerinin Çözümü," *Gıda Dergisi*, sayı 41, no. 3, Ocak 2016, doi: 10.15237/gida.GD15045
- [89] B. Koç, et.al., "Moisture Sorption Isotherms and Storage Stability of Spray-Dried Yogurt Powder," *Drying Technology*, vol. 28, no. 6, May 2010, doi: 10.1080/07373937.2010.485083
- [90] T.E. Çırak, "Süt ve Süt Ürünlerinin Üretiminde Raf Ömrünü Etkileyen Parametrelerin Belirlenmesi ve Optimizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [91] A.M. Paredes, "Microscopy, Scanning Electron Microscopy," *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)*, vol. 2, 2014, doi: 10.1016/B978-0-12-384730-0.00215-9
- [92] A. Dutta, "Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Chapter 4)," *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization*, S. Thomas, R.

Thomas and R.K. Mishra, Eds., Netherlands: Elsevier Publishing, 2017, pp, 73-93.

- [93] J.U. Ashokrao, et al., "A Review on Application and Importance of Analytical Methods for Metallic Preparations (Incinerated Ash) W.S.R. To Xrf and Xrd," World Journal of Pharmaceutical and Medical Research, vol. 9, no. 2, January 2023.
- [94] S. Pirsar, et al., "Effects of Quince Seed Mucilage and Guar Gum on the Physicochemical and Sensory Properties of Doogh," Journal of Agricultural Science and Technology, vol. 20, no. 3, January 2018.
- [95] E. Nikoofar, et al., "Surveying the Effect of Quince Seed Mucilage as a Fat Replacer on Texture and Physicochemical Properties of Semi Fat Set Yogurt," International Journal of Farming and Allied Sciences, vol. 2, no. 20, February 2013.
- [96] Z. Gürbüz, "Ayva Çekirdeği Jeli Tozunun Yoğurt Üretiminde Stabilizatör Olarak Kullanımı," Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2016.
- [97] N. Ouafia, et al., "Moisture Sorption Isotherms and Heat of Sorption of Algerian Bay Leaves (Laurus Nobilis)," Ciencia Y Tecnología, vol. 17, no. 4, June 2015, doi: 10.4067/S0718-221X201500500006
- [98] A.M.A. Alsuhaibani, "Rheological and Nutritional Properties and Sensory Evaluation of Bread Fortified with Natural Sources of Calcium," Journal of Food Quality, September 2018, doi: 10.1155/2018/8308361
- [99] E. Zerek, "Yumurta Kabuğu Tozu Eklenmiş Kurabiyelerin Bazı Besinsel ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Beslenme ve Diyetetik, Medipol Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2021.
- [100] M. Mijan, et al., "Physicochemical, Microbial, and Sensory Properties of Nanopowdered Eggshell-Supplemented Yogurt During Storage," Journal of Dairy Science, vol. 97, no. 6, April 2014, doi: 10.3168/jds.2013-7367
- [101] R.A. Rezk, et al., "LIBS and PxrF Validation for the Removal of Pb by Bio-CaCO₃ Nanoparticles from Contaminated Water," SN Applied Sciences, vol. 4, no. 151, March 2022, doi: 10.1007/s42452-022-05014-y
- [102] M. Dağcı, "Biyolojik Tabanlı Nanofiberlerin Elektrosprin Yöntemi ile Üretilmesi, Karakterizasyonu ve Bazı Eser Metallerin Zenginleştirilmesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Kimya, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2020.
- [103] İ. Atalar and F. Yazıcı, "Effect of Different Binders on Reconstitution Behaviors and Physical, Structural and Morphological Properties of Fluidized Bed Agglomerated Yogurt Powder," Drying Technology, vol. 37, no. 13, March 2018, doi: 10.1080/07373937.2018.1529038
- [104] S. Jaya, "Microstructure Analysis of Dried Yogurt: Effect of Different Drying Methods," International Journal of Food Properties, vol. 12, no. 3, May 2009, doi: 10.1080/10942910701772071

- [105] A. Medeiros, et al., “Structural Characterisation and Cell Viability of a Spray Dried Probiotic Yogurt Produced with Goats' Milk and Bifidobacterium Animalis Subsp. Lactis (BI-07),” *International Dairy Journal*, vol. 144, no. 39, June 2014, doi: 10.1016/j.idairyj.2014.05.008
- [106] D.G. Kamel, et al., “Probiotic Yogurt Supplemented with Nanopowdered Eggshell: Shelf- Life Stability, Physicochemical and Sensory Characteristics,” *Food Science and Nutrition*, vol. 9, no.3, January 2021, doi: 10.1002/fsn3.2152



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildiri

1. B. Çelik, N. Acaralı, “Doğal Katkı Maddelerinin Gıda Özelliklerini İyileştirme Performansı Üzerine Etkisi ve Optimizasyonu”, 14. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi (UKMK 2020), Konya Teknik Üniversitesi, 10-12 Haziran 2021, Konya.

