

e-ISSN 2822-2873

ISSN 1303-3107

GIDA VE YEM BİLİMİ - TEKNOLOJİSİ

JOURNAL OF FOOD AND FEED SCIENCE - TECHNOLOGY

Yıl/Year: 21

Sayı/Number:32

2024/2

GIDA VE YEM BİLİMİ - TEKNOLOJİSİ DERGİSİ

Journal of Food and Feed Science - Technology

ISSN 1303-3107

e-ISSN 2822-2873

Yayın Bilgileri (Editorial Information)

Gıda ve Yem Kontrol Merkez
Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü adına sahibi
Owner on behalf of Central Research
Institute of Food and Feed Control

Dr. Yıldray İSTANBULLU*

Dergi Sahibi-Journal Owner
(Enstitü Müdürü-Institute Manager)

Dr. Nazan ÇÖPLÜ*

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü (Editor in Chief)

Dr. Vesile ÇETİN*

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (Assistant Editor)

ve İstatistik Editörü (Statistical Editor)

Dr. Hakan TOSUNOĞLU*

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (Assistant Editor)

Ekrem KATMER*

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (Assistant Editor)

Reklam ve Abone İşleri (Advertisement and Subscription)

Grafik Tasarım (Graphics Design)

Dr. Arzu YAVUZ*

Alan Editörü (Technical Editor) ve Dil Editörü (Language Editor)

Dr. Banu AKGÜN*

Alan Editörü (Technical Editor) ve Dil Editörü (Language Editor)

Filiz ÇAVUŞ*

Alan Editörü (Technical Editor) ve İstatistik Editörü (Statistical Editor)

Dr. Erdiç ALTINÇEKİÇ*

Alan Editörü (Technical Editor), İstatistik Editörü (Statistical Editor)

ve Mizanpaj Editörü (Layout Editor)

Nagihan UĞUR*

Alan Editörü (Technical Editor) ve İstatistik Editörü (Statistical Editor)

Şifa ÇALIŞKAN*

Alan Editörü (Technical Editor), Dil Editörü (Language Editor)

ve İstatistik Editörü (Statistical Editor)

* Tarım ve Orman Bakanlığı Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Yönetim ve Yayın Adresi (Administration and Publishing Address)

Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
Adalet Mah. 1. Hürriyet Cad., No: 128-2
Hürriyet - 16160 Osmangazi / BURSA

Telefon (Telephone) : + 90 224 246 4720 (Pbx)

Belgegeçer (Fax) : + 90 224 246 1941

E-posta (e-mail): bursagida@tarimorman.gov.tr

Web adresleri (Web sites):

dergipark.org.tr/tr/pub/gidaveyem/
dergipark.org.tr/en/pub/gidaveyem/
arastirma.tarimorman.gov.tr/bursagida
foodandfeed.org

Bu Sayının Bilimsel Yayın Danışmanları* (Advisory Board)

Prof. Dr. Cemalettin BALCI

Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Gıda
Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Esra ÇAPANOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi
Gıda Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Güzin KABAN

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Mükerrrem KAYA

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Prof. Dr. Uğur GÜNŞEN

Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi,
Beslenme ve Diyetetik Bölümü

Doç. Dr. Ahmet AKKÖSE

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. İlkem DEMİRKESEN MERT

Tarım ve Orman Bakanlığı
Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü

Doç. Dr. Fatih GÖĞER

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Eczacılık Fakültesi, Eczacılık Meslek Bilimleri,
Farmasötik Botanik Ana Bilim Dalı

Doç. Dr. Perihan YOLCI ÖMEROĞLU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Tuğba DURSUN ÇAPAR

Erciyes Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Gıda Teknolojisi Ana Bilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Betül KARSLIOĞLU OKAY

Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi
Gastronomi Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Celale KIRKIN GÖZÜKIRMIZI

İstanbul Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Elif YILDIZ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Keles Meslek Yüksek Okulu, Gıda Teknolojileri Programı

Dr. Öğr. Üyesi Kübra ERYAŞAR ÖRER

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Mukaddes KILIÇ BAYRAKTAR

Karabük Üniversitesi
Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Reyhan Selin UYSAL AFACAN

İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve
Biyomühendislik Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyra Sultan TISKE İNAN

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Gıda Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Tuğba ÖZDAL

İstanbul Okan Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Dr. Aysun ÖZTÜRK

Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü
Gıda Teknolojisi Bölümü

Dr. Demet YILDIZ TURGUT

Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Dr. Musa Caner SAYIN

Tarım ve Orman Bakanlığı
Pendik Veteriner Kontrol Enstitüsü

Dr. Tuğba GEZGİN

Tarım ve Orman Bakanlığı
Konya Gıda Kontrol Laboratuvarı Müdürlüğü

*İsimler unvanlarına göre alfabetik sıra ile yazılmıştır.
Names are written in alphabetical order according to titles.



arastirma.tarimorman.gov.tr/bursagida
foodandfeed.org

ISSN 1303-3107
e-ISSN 2822-2873

GIDA VE YEM BİLİMİ - TEKNOLOJİSİ DERGİSİ

*Journal of
Food and Feed
Science - Technology*

Yıl/Year: 21

Sayı/Number: 32

2024/2

Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
Central Research Institute of Food and Feed Control

YAYIN KURULU*
(Editorial Board)

Dr. Nazan Çöplü

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü (*Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Vesile Çetin

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (*Assistant Editor*) ve İstatistik Editörü (*Statistical Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Hakan Tosunoğlu

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (*Assistant Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Ekrem Katmer

Yardımcı Yazı İşleri Müdürü (*Assistant Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Arzu Yavuz

Alan Editörü (*Technical Editor*) ve Dil Editörü (*Language Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Banu Akgün

Alan Editörü (*Technical Editor*) ve Dil Editörü (*Language Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Erdi Altınçekiç

Alan Editörü (*Technical Editor*), İstatistik Editörü (*Statistical Editor*) ve Mizanpaj Editörü (*Layout Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Filiz Çavuş

Alan Editörü (*Technical Editor*) ve İstatistik Editörü (*Statistical Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Nagihan Uğur

Alan Editörü (*Technical Editor*) ve İstatistik Editörü (*Statistical Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Şifa Çalışkan

Alan Editörü (*Technical Editor*), Dil Editörü (*Language Editor*) ve İstatistik Editörü (*Statistical Editor*)

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Prof. Dr. Abdulkadir Çıtaş

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Hayvansal Biyoteknoloji Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Abdullah Öksüz

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ahmet İnce

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği, Tarım Makinaları Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ali Gündoğdu

Karadeniz Teknik Üniversitesi Maçka Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Arzu Akpınar Bayazit

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Aycan Tosunoğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ayşegül Kumral

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Bahattin Akdemir

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Behiç Coşkun

Konya Gıda ve Tarım Üniversitesi, Tarım ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Belgin İzgi

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Belgin Sırıken

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Betül Güroy

Yalova Üniversitesi, Merkez Araştırma Laboratuvarı, Türkiye

Prof. Dr. Bilgen Osman

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Canan Ece Tamer

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Cem Karagözlü

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Cemalettin Baltacı

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Cemalettin Sarıçoban

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Derya Yeşilbağ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Elif Tümay Özer

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen -Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Emine Budaklı Çarpıcı

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Emrah Torlak

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Esmeray Küley

Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Türkiye

*İsimler, unvanlara göre alfabetik sırada yazılmıştır.
Names are written in alphabetical order according to titles.

YAYIN KURULU*

(Editorial Board)

Prof. Dr. Esra Çapanoğlu

İstanbul Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Fahrettin Göğüş

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Faruk Balcı

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Fatih Şen

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Fatih Törnük

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Fatma Arık Çolakoğlu

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, Çanakkale Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Gıda Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ferit Çoban

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Filiz Özçelik

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Gülden Başyigit Kılıç

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Gürbüz Güneş

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Güzin Kaban

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hale Şamlı

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Harun Dıraman

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü Türkiye

Prof. Dr. Hasan Hüseyin Kara

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hasan Vural

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hasan Yalçın

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hasan Yetim

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hayrettin Akkaya

İstanbul Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Klinik Öncesi Bilimler Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Hülya Gül

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. İbrahim Ak

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Kağan Kökten

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Lütfiye Yılmaz Ersan

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mehmet Haluk Türkdemir

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mehmet Yüceer

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mete Yılmaz

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mıhrıban Korukluoğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Muhammet Arıcı

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalürji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Murat Taşan

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Mükerrrem Kaya

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Nurgül Özbay

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya ve Süreç Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Osman Kola

Adana Alparslan Türkeş Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Osman Tiryaki

Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Osman Üçüncü

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maçka Meslek Yüksekokulu, Eczane Hizmetleri Bölümü, Gıda Teknolojisi, Türkiye

Prof. Dr. Oya Işık

Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ozan Gürbüz

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ömer Utku Çopur

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Özlem Turgay

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Ramazan Gökçe

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Saliha Şahin

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Semih Ötleş

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Seran Temelli

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Serkan Selli

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

YAYIN KURULU*

(Editorial Board)

Prof. Dr. Sibel Soycan Önenç

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Sine Özmen Toğay

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Şebnem Budak

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Şefik Kurultay

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Şerife Şule Cengiz

Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Şerife Tütüncü

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Şule Turhan

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Tanay Bilal

İstanbul Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Uğur Günşen

Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Yasemin Şahan

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Zehra Büyüktuncer Demirel

Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Prof. Dr. Zeki Gürler

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Prof. Dr. Zeynel Dalkılıç

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Ahmet Akköse

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Ahmet Levent İnanç

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Ali İhsan Atalay

İğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Alya Aslaner

Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Ayşe Kalemtaş

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Ayşe Neslihan Dünder

Bursa Teknik Üniversitesi, Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Çağrı Özgür Özkan

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Göksun Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Fatih Göğçer

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Eczacılık Meslek Bilimleri, Farmasötik Botanik Anabilim Dalı, Türkiye

Assoc. Professor Gabriela Iordachescu

Dunarea De Jos University, Faculty of Food Science and Engineering, Food Science, Food Engineering Biotechnologies and Aquaculture Department, Romania

Doç. Dr. Gamze Toydemir Şen

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Türkiye

Doç. Dr. Halil Yalçın

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Hasan Cankurt

Kayseri Üniversitesi, Safiye Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Gıda Teknolojisi Programı, Türkiye

Doç. Dr. İlkey Yılmaz

Başkent Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Programı, Türkiye

Doç. Dr. İlkem Demirkesen Mert

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Türkiye

Doç. Dr. İncilay Gökbulut

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Köksal Karadaş

İğdır Üniversitesi, İğdır Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Assoc. Professor Liliana Mihalcea

Universitatea Dunarea De Jos Galati, Department of Food Science, Food Engineering and Applied Biotechnology, Romania

Doç. Dr. Merve Tomaş

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Mesut Ertan Güneş

Bursa Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Türkiye

Doç. Dr. Murat Zorba

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Mustafa Kürşat Demir

Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Mustafa Yaman

İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Assoc. Lecturer Dr. Mustafa Zafer Özel

Green Chemistry, Department of Chemistry, University of York, UK

Doç. Dr. Oktay Yerlikaya

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Oya Irmak Cebeci

Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Özlem Esmer

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Perihan Yolcu Ömeroğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Senem Kamiloğlu Beştepe

Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

*İsimler, unvanlara göre alfabetik sırada yazılmıştır.
Names are written in alphabetical order according to titles.

YAYIN KURULU*

(Editorial Board)

Doç. Dr. Serap Duraklı Veliöğlu

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Şebnem Pamuk

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Doç. Dr. Tuba Dursun Çapar

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Gıda Teknoloji Ana Bilim Dalı Türkiye

Doç. Dr. Tuba Şanlı

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Yekta Gezginc

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Doç. Dr. Yılmaz Uçar

Çukurova Üniversitesi, Aladağ Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Adnan Fatih Dağdelen

Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Aşkın Birgül

Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Betül Karşlıoğlu

Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Celale Kırkın Gözükmızı

İstanbul Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Çağla Özbek

Toros Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Çisem Bulut Albayrak

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Elif Savaş

Balıkesir Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Elif Yıldız

Bursa Uludağ Üniversitesi, Keles Meslek Yüksek Okulu, Gıda Teknolojileri Programı, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Ercan Sarıca

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Cebeci

Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Fatma Kübra Sayın

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Funda Yılmaz Eker

İstanbul Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan İnat

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Hacer Akpolat

Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Halime Uğur

Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Harun Hurma

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Ekonomi Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Hatice Ahu Erdem Kahraman

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Hulusi Akçay

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi İnci Doğan

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Kübra Eryaşar Örer

Bolu İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Genç

Beykoz Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Mevhibe Terkuran

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadiri Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Mukaddes Kılıç Bayraktar

Karabük Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Oya Irmak Cebeci

Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Oya Sipahioğlu

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Pınar Uzun

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Gelendost Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Rahmi Uyar

Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Reyhan Selin Uysal Afacan

İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Sema Konyalı

Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Sevgi Dıblan

Tarsus Üniversitesi, Mersin Tarsus Organize Sanayi Bölgesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Sibel Bölek

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye Sultan Tiske İnan

Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Özdal

İstanbul Okan Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Yalçın Güçer

Ankara Üniversitesi, Beypazarı Meslek Yüksekokulu, Otel-Lokanta ve İkram Hizmetleri Bölümü, Açıcılık Programı, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz Yüksel

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Öğr. Gör. Dr. Berrak Delikanlı Kırak

Bursa Uludağ Üniversitesi, İznik Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

YAYIN KURULU*

(Editorial Board)

Öğr. Gör. Dr. Cumhuri Berberoğlu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Ergün Ayanoglu

Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Hacer Akpolat

Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Hüseyin Can Alpsoy

Bursa Uludağ Üniversitesi, Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksek Okulu, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Kader Çetin

Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Mesut Ertan Güneş

Bursa Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Türkiye

Öğr. Gör. Dr. Yalçın Güçer

Ankara Üniversitesi, Kalecik Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Türkiye

Dr. Ali Tekin

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Angel Martinez Sanmartin

Food and Canning Industry, National Technological Centre, CTC, Spain

Dr. Aysun Öztürk

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Atatürk Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Buket Çetiner

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Çiğdem Mecitoğlu Güçbilmez

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Demet Yıldız Turgut

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Elif Savaş

Bahkesir Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Türkiye

Dr. Mehmet Cengiz Arslanoğlu

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Musa Caner Sayın

Tarım ve Orman Bakanlığı, Pendik Veteriner Kontrol Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Mustafa Zafer Özel

Analytical Chemistry Lecturer, University of Hertfordshire, School of Life and Medical Sciences, Department of Clinical Pharmaceutical and Biological Sciences Division of Pharmaceutical Chemistry, UK

Dr. Oğuz Acar

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Ramazan Konak

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, İncir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Sebahattin Kutlu

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Seda Kayahan

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Türkiye

Dr. Tuğba Gezgin

Tarım ve Orman Bakanlığı, Konya Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Türkiye

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Özgün Araştırmalar / Original Articles

Sayfa No

- Tulumba ve lokma hamurunun kızartılmasında kullanılan kızartma yağının incelenmesi** 1-12
An investigation on the frying oil used in frying of tulumba and lokma dough
Nazmiye Nur Çelik, Hasan Yalçın
- Trachystemon orientalis* (L.) G. Don bitkisinin antioksidan aktivite, toplam fenolik madde içeriği ve α -glukozidaz enzimi inhibisyon potansiyelinin araştırılması** 27-36
Investigation of antioxidant activity, total phenolic content and α -glucosidase enzyme inhibition potential of *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don plant
Fatma Cebeci, Tayyibe Erten
- Bioproduction of xylitol by *Candida tropicalis* 13803 from pistachio shell hydrolysate obtained through MW-HPCO₂ system** 48-59
MW-HPCO₂ sistemi ile elde edilen antep fıstığı kabuğu hidrolizatından *Candida tropicalis* 13803 kullanılarak ksilitol biyoüretimi
Filiz Hazal, Neval Özbek, Murat Yılmaztekin, Fahrettin Göğüş, Derya Koçak Yanık
- Farklı protein kaynaklarının salamın fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerine etkileri** 60-78
Effects of different protein sources on the physical, chemical and sensory properties of bologna type sausage
Nalan Çırak, Muhammed Alpgiray Çelik, Kader Çetin, Arzu Akpınar Bayizit, Ertürk Bekar, Taha Turgut Ünal, Senem Kamiloğlu Beştepe

Derleme Makaleler / Review Papers

- Use of modified polycaprolactone polymer in food packaging applications: a review** 13-26
Modifiye polikaprolakton polimerinin gıda ambalajlama uygulamalarında kullanımı: bir derleme
Kerem İlaslan
- Fenolik bileşiklerin ekstraksiyon yöntemleri ve doğal içerik olarak kullanımı** 37-47
Extraction methods of phenolic compounds and their use as natural ingredients
Merve Gündüz, Şeniz Karabıyıklı Çiçek

Özgün Araştırma/Original Article

Tulumba ve lokma hamurunun kızartılmasında kullanılan kızartma yağının incelenmesi

An investigation on the frying oil used in frying of tulumba and lokma dough

Nazmiye Nur Çelik¹ , Hasan Yalçın^{2*} 

^{1,2}Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

ORCID ID: 0009-0004-4167-9168, Yüksek Lisans Öğr.

ORCID ID: 0000-0002-1038-1877, Prof. Dr.

*Sorumlu yazar/Corresponding author: hyalcin@erciyes.edu.tr

Geliş Tarihi : 02.03.2023

Kabul Tarihi : 08.06.2023

Öz

Amaç: Lokma ve tulumba hamurunun kızartma işlemi yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiği için yağda istenmeyen değişimler meydana gelebilmektedir. Oksidasyon, hidroliz ve polimerizasyon reaksiyonları sonucu yağ kalitesi düşer ve belli bir süre sonra yağ kullanılamaz hâle gelir. Bu çalışmanın amacı; tekrarlı kızartmalar sonucunda, lokma ve tulumba hamuru kızartılan yağın bozulma derecesinin belirlenmesidir.

Materyal ve yöntem: Hazırlanan hamurlar ayçiçek yağında 160-170°C'de 14 dk. kızartılmış ve yağ değiştirilmeden veya yağ ekleme yapılmadan aynı yağda kızartma işlemi 21 kez tekrarlanmıştır. Tekrarlanan kızartmalar sırasında, 3., 9., 15. ve 21. kızartma sonrasında, kızartma yağından örnekler alınmış ve incelenmiştir. Kızartma yağında; yağ asidi kompozisyonuna, serbest yağ asitliğine (FFA), peroksit değerine (PV), p-Anisidin değerine, özgül soğurma değerine, toplam polar madde miktarına, renk ve viskozite değerine bakılmıştır. Sonuçlar hem ayrı ayrı değerlendirilmiş hem de tulumba ve lokma hamuru kızartma yağları arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Tartışma ve sonuç: Elde edilen sonuçlara göre hamur kızartılan yağlarda hidroliz, oksidasyon ve polimerizasyon meydana gelmiş ve kızartma sayısı arttıkça analiz edilen değerlerde artış tespit edilmiştir. Tulumba ve lokma hamuru kızartılan yağlarda, 21. kızartma sonunda serbest yağ asidi içeriği sırasıyla %0,71 ve %0,36; peroksit değerleri 8,62 ve 9,77 meq O₂/kg; p-Anisidin değerleri 85,24 ve 124,45 meq/kg; konjuge dien değerleri 12,57 ve 18,61 mmol/L; konjuge trien değerleri 5,9 ve 4,86 mmol/L; polar madde miktarları ise %9,75 ve %11,5 olarak bulunmuştur. Hidroliz reaksiyonları, tulumba hamurundaki su miktarının fazla olması nedeniyle en çok tulumba hamuru kızartılan yağda meydana gelirken, oksidasyon reaksiyonları lokma hamuru kızartılan yağda görülmüştür. Tulumba hamurunda bulunan yumurtanın, oksidasyonu azaltıcı etki gösterdiği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Lokma; tulumba, hamur kızartması; derin kızartma; yağ analizleri

Abstract

Objective: Undesirable changes may occur in frying oil, as the frying process of lokma and tulumba dough takes place at high temperatures. As a result of oxidation, hydrolysis and polymerization reactions, frying oil quality decreases and oil becomes unusable after a certain period of time. The aim of this study is the determination of the degree of deterioration of the frying oil as a result of repeated frying.

Materials and methods: Prepared doughs were fried in sunflower oil at 160-170°C for 14 minutes and frying was repeated 21 times in the same oil without changing or adding. During repeated frying, the oil samples were taken, after the 3rd, 9th, 15th and 21st frying and examined. Fatty acid composition, free fatty acidity (FFA), peroxide value (PV), p-Anisidine value, specific absorption value, total polar substance amount, color and viscosity analysis were examined. The results were evaluated separately, and a comparison was made between the frying oils of tulumba and lokma doughs.

Discussion and results: According to the results, hydrolysis, oxidation and polymerization occurred in the frying oils and as the number of frying increased, the analyzed values increased. Free fatty acid content at the end of 21st frying was 0.71% and 0.36%, respectively, in the frying oil of tulumba and donut dough; peroxide values 8.62 and 9.77 meq O₂/kg; p-Anisidine values of 85.24 and 124.45 meq/kg; conjugated diene values 12.57 and 18.61 mmol/L; conjugated triene values 5.9 and 4.86 mmol/L; the polar substance amounts were found to be 9.75% and 11.5%. While the hydrolysis reactions occurred mostly in the frying oil of tulumba dough, the oxidation reactions were observed in the oil in which the lokma dough was fried. The high amount of water in the tulumba dough increased the hydrolysis event. It is thought that the egg contained in the tulumba dough has an oxidation-reducing effect.

Keywords: Lokma; tulumba; fried dough; deep frying; oil analysis

1. Giriş

Türk toplumunun oldukça geniş bir coğrafyada hüküm sürmesi ve çeşitli kültürler ile kültürel etkileşimlerde bulunması Türk mutfağının bugünkü zengin içeriğine kavuşmasında önemli bir rol oynamıştır (Kasar, 2021). Türk tatlıları da bu zengin mutfak içinde yerini almıştır. Lokma, tarihi Osmanlı Devleti'ne kadar dayanan geleneksel şerbetli tatlılardan biridir. Hamurun mayalandırılıp derin yağda kızartılması ve daha sonra koyu kıvamlı şerbetin içine daldırılması şeklinde hazırlanır. Türkiye'de genel olarak iki şekilde yapılır; birincisi küçük küre şeklinde yapılan saray lokması ikincisi ise yuvarlak ve ortası delik olacak şekilde yapılan İzmir lokmasıdır. Özellikle cenazeler, sünnet düğünleri, Ramazan bayramı, Kadir gecesi gibi özel günlerde lokma yapılır ve dağıtılır (Sevimli, 2017). Tulumba tatlısı da Türk toplumunun sık ve severek tükettiği oldukça eski ve geleneksel tatlılardan biridir. Hamurun kızgın yağda kızartılması ve koyu kıvamlı şerbete daldırılmasıyla hazırlanır (Doğan ve Yurt, 2002).

1600'lü yıllardan bu yana gıdaların pişirilmesinde kızartma işlemi kullanılmaktadır (Sun, 2009). Kızartma, gıdaların tadını, rengini, dokusunu ve lezzetini istenilen yönde etkilemesi sebebiyle sık tercih edilen pişirme yöntemlerindendir. Ürünlerin kızartılması için derin yağda kızartma ya da az yağda (sığ) kızartma işlemleri tercih edilmektedir (Rossell, 2001). Kızartma 150-190°C sıcaklıkta bir yağda gıdanın pişirilmesi işlemidir (Choe ve Min, 2007). İşlem sırasında gıdada bulunan su buharlaşır ve buharlaşan su moleküllerinin yerini yağ molekülleri alır. Böylece gıda arzu edilen duyuşal özelliklere sahip olur (Farkas vd., 1996; Mellema, 2003). Gıdaların kızartılmasında genel olarak iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birinci yöntem sığ kızartmadır ki bu yöntemde gıda, ince bir yağ tabakasında, ısının kondüksiyonu (iletim) sayesinde pişer (Ceylan, 2020). İkinci bir yöntem ise derin yağda kızartmadır. Derin yağda kızartma işlemi yüksek sıcaklıklara ısıtılmış kızartma yağına, gıda maddesinin daldırılarak pişirilmesidir (Çelik, 2020). Kızartma işlemi sırasında meydana gelen ısı ve kütle transferi; nem kaybı, yağ emilimi, kabuk oluşumu, protein denatürasyonu, nişasta jelatinizasyonu, Maillard reaksiyonu, oksidasyon, hidroliz ve polimerizasyon gibi birçok fiziksel ve kimyasal tepkimeleri meydana getirmektedir (Saguy ve Dana, 2001). Kızartma ortamında bulunan oksijen, su ve buhar; kızartma yağı ve ürün arasında reaksiyonların başlamasına sebep olur. Kızartılan ürünün tekstüründe, renginde ve aromasında arzu edilen fiziksel değişimler meydana gelirken kimyasal olarak da gıdanın besin değerinde (protein, vitamin, mineral vb.) azalmalar

meydana gelebilir. Bununla birlikte gıdalar genelde kızartılırken yağ absorbe ettikleri için yağ içeriklerinde artış görülür (Rakıcıoğlu ve Baysal, 1988).

Tüketilen aşırı yağın, çeşitli hastalıklara (koroner kalp hastalığı, meme, prostat, kolon kanseri) sebep olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur (Bouchon vd., 2003). Aşırı yağ tüketiminin yüksek tansiyon, kan kolesterolü ve koroner kalp hastalığı risklerini artırdığı da yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Oke vd., 2018). Kızartma işlemi sırasında meydana gelen hidroliz, oksidasyon ve polimerizasyon reaksiyonları yağların bozulmasına sebep olur. Bozulan yağlarda meydana gelen bileşikler insan sağlığı için oldukça zararlıdır (Wiege vd., 2020). Özellikle kızartma işleminin çok yüksek sıcaklıklarda yapılması ve kızartma yağının tekrar tekrar kullanılması toksik bileşik oluşumunu artırır. Toksik bileşikler kızartma sırasında yağda ve gıdada oluşmaktadır (Saguy ve Dana, 2001). Yüksek sıcaklıklarda yapılan kızartma işlemleri sonucunda yağlarda serbest yağ asitleri, mono ve diasilgliseroller, oksitlenmiş monomerler, dimerler ve polimerler gibi ürünler oluşur ve bu ürünler kızartma işlemi sırasında kızartma yağından gıdaya geçer. Ayrıca kızartma işlemi sırasında kızartma yağında trans yağ asitleri de meydana gelir ki trans yağ asitlerinin tüketilmesi sağlık için zararlıdır. Trans yağ asitleri; diyabet, kalp rahatsızlıkları, kalın bağırsak kanseri gibi hastalıklara sebep olur (Yüksel ve Yüksel, 2020). Ayrıca kızartma yağında meydana gelen polar bileşikler ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) da sağlık açısından tehlikelidir. Toplam polar bileşikler esas olarak keton, aldehit ve polimerleri içerir. Bazı PAH'ların (Benzo(a)piren, Benzo(a)antrasen, Benzo(b)fluoranten, Krisen vs.) insanlarda kanserojen ve mutajen etkiye sahip olduğu düşünülmektedir (An vd., 2017). Özellikle patates gibi nişastalı ürünlerin 170°C'den yüksek sıcaklıklarda kızartılmasının akrilamid oluşumuna sebep olduğu bildirilmiştir. Akrilamidin insan sağlığı üzerine mutajenik ve kanserojenik etkileri vardır. Proteince zengin gıdalar kızartılırken heterosiklik aminler meydana gelir. Bu heterosiklik aminlerin de insan sağlığı üzerine kanserojenik etkisi vardır (Yaşkıran, 2020). Bu yüzden yağda kızartılarak hazırlanan ürünler üretilirken kullanılan yağların bozulmuşluk dereceleri de önem arz etmektedir. Bu çalışmada geleneksel Türk mutfağı tatlılarından olan lokma ve tulumba tatlısının kızartılması sırasında yağda meydana gelen değişimlerin incelenmesi hedeflenmektedir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Lokma hamurunun hazırlanması

100 g un, 1,75 g şeker ve 10 g mayanın üzerine 35-40°C sıcaklığında 100 mL su ilave edilmiş ve 10 dk. çırpılmıştır. Homojen bir hamur elde edildikten sonra fermentasyon için oda sıcaklığında 30 dk. bekletilmiştir (Tümer, 2017).

2.2. Tulumba hamurunun hazırlanması

150 mL su kaynatıldıktan sonra kısık ateşte 100 g un eklenerek 90 sn. hızlıca karıştırılmıştır. Daha sonra yapışmasını engellemek için 10 g yağ eklenmiş ve 7,5 dk. pişirilmiştir. Hamur ateşten alınıp 40-45°C sıcaklığa ulaşınca 1 adet yumurta ilave edilip tamamen karışana kadar yoğurulmuştur. Hamur sıcaklığı 30°C'ye düşünce kalıba doldurulmuştur (Doğan ve Yurt, 2002).

2.3. Kızartma işlemi

Lokma ve tulumba hamuru hazırlamak için kullanılacak malzemeler ve miktarları Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelgede belirtilen un, yumurta, maya, şeker ve ayçiçek yağı yerel marketlerden temin edilmiştir. Kullanılan fritözün hacmi 0,8 litredir.

Çizelge 1. Lokma ve tulumba hamuru bileşenleri

	Lokma hamuru bileşenleri	Tulumba hamuru bileşenleri
Un	100 g	100 g
Su	100 mL	150 mL
Şeker	1,75 g	-
Maya	10 g	-
Ayçiçek yağı	-	10 g
Yumurta	-	1 adet

Lokma hamurunun kızartılması için fritöz içerisindeki ayçiçek yağı (0,8 L) 160-170°C arasında ısıtılmış ve çay kaşığı ile hamurdan alınan parçalar kızgın yağa bırakılmıştır. Fritözün kapağı kapatılıp 7 dk. kızartıldıktan sonra lokmalar karıştırılarak diğer yüzeyleri de 7 dk. kızartılmış ve lokmalar fritözden alınmıştır. Her seferde 10 tane lokma hamuru kızartılmış olup, kızartma işlemi 21 kez tekrarlanmıştır. Her kızartma sonrası yağın oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Yağ örnekleri 3., 9., 15. ve 21. kızartma sonrasında alınmıştır.

Tulumba hamurunun kızartılması için fritöz içerisindeki ayçiçek yağı (0,8 L) 160-170°C arasında ısıtılmıştır. Hamurlar 3-3,5 cm uzunluğunda kesilip kızgın yağa bırakılmıştır. Fritözün kapağı kapatılarak 7 dk. kızartılmış, süre sonunda kapak açılarak tulumbarın diğer yüzleri çevrilmiştir. Tulumbarlar 7 dk. daha kızartıldıktan sonra fritözden alınmıştır. Her seferinde 15 tane

tulumba kızartılmış olup, kızartma işlemi 21 kez tekrarlanmıştır. Her kızartma sonrası yağın oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Yağ örnekleri 3., 9., 15. ve 21. kızartma sonrasında alınmıştır.

Kontrol yağ örneği; aynı parametrelerde, içinde tulumba veya lokma hamuru kızartılmadan, aynı sıcaklık ve sürede ısıtılmış ayçiçek yağıdır. Aynı şekilde 3., 9., 15. ve 21. kızartma sonrası yağ örnekleri alınmıştır. Kızartma işlemi boyunca fritöze yağ eklemesi yapılmamıştır. Alınan yağ örnekleri ağız kapaklı cam şişelerde oda sıcaklığına soğutulduktan sonra, analizler için +4°C'de muhafaza edilmiştir.

2.4. Yağ analizleri

2.4.1. Viskozite ölçümü

Viskozite analizi, (AND Vibro Viscometer, A&D Company Limited, Japonya) yağ örnekleri oda sıcaklığında yaklaşık 24°C'de olacak şekilde titreşimli viskozimetre cihazı (SV-10) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 50-60 Hz titreşim frekansında, standart uç kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Her bir örnek okuması beş kez tekrarlanıp sonuçların ortalaması alınmıştır.

2.4.2. Serbest yağ asidi içeriği

Kızartma yağında serbest yağ asitliğinin belirlenmesinde IUPAC 2.201 sayılı metot kullanılmıştır (Anonim, 1987). Analiz için yağ numunesinden 0,01 g duyarlılıkta 5-10 g yağ tartılmıştır. Üzerine 50-100 mL etanol-dietileter (1:1, v/v) karışımı eklenmiştir. Yağın etanol-dietileterde tamamen çözünmesi için yaklaşık 1 dk. çalkalanmış ve %1'lik fenolftalein damlatılmıştır. 0,1 N etanollü potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi ile pembe renk oluşuncaya kadar titre edilmiş ve aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Serbest Yağ Asitliği} = (V \times T \times Ma) / m$$

V: Harcanan 0,1 N etanollü KOH çözeltisi, mL

T: Etanollü KOH çözeltisinin normalitesi

Ma: Oleik asitin molekül ağırlığı

m: Örnek ağırlığı (g)

2.4.3. Peroksit değeri

Peroksit sayısının belirlenmesinde AOAC (2000) metodu uygulanmıştır. Erlenlere tartılan 2 g yağ örneği üzerine 10 mL kloroform ilave edilerek hızla çalkalanmış ve yağın çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra 15 mL asetik asit ve 1 mL doymuş potasyum iyodür (KI) çözeltisi katılmasının ardından, kapakları kapatılan erlenler 1 dk.

çalkalanıp 10 dk. karanlıkta bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda 75 mL distile su ve 1 mL nişasta çözeltisi ilave edilen örnek, 0,01 N sodyum tiyosülfat ile (kloroform fazındaki iyot tamamen yok oluncaya kadar) titre edilmiş ve harcanan tiyosülfat miktarı kaydedilmiştir. Serbest hale geçen iyot, nişasta çözeltisine karşı beklenen peroksit sayısı 12,5'ten az ise 0,002 N, 12,5 veya daha fazla ise 0,01 N sodyum tiyosülfat çözeltisi ile titre edilmiş ve aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\text{Peroksit sayısı} = \frac{V \times T \times 1000}{m} \text{ meq g O}_2/\text{kg}$$

V: Harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisi, mL

T: Sodyum tiyosülfat çözeltisinin normalitesi

m: örnek ağırlığı (g)

2.4.4. *p*-Anisidin değeri

Alınan yağ örneklerinin *p*-Anisidin değerlerinin belirlenmesinde AOAC (1998) Cd 18-90 numaralı metot uygulanmıştır. *p*-Anisidin değerinin belirlenmesi amacıyla 25 mL hacmindeki balon jöjeye 0,5 g yağ tartılmış ve izooktan çözeltisi ile hacim tamamlanarak yağ çözdürülmüştür. Bu karışımdan 5 mL alınarak üzerine 1 mL *p*-Anisidin çözeltisi (0,25 g/100 mL glasiyel asetik asit) ilave edilmiş ve 10 dk. karanlıkta bekletilmiştir. Süre sonunda spektrofotometrede (UV 160A, Shimadzu, Japonya) 350 nm'de izooktan çözeltisine karşı absorbans değeri belirlenmiştir.

Aşağıdaki formüle göre *p*-Anisidin değeri hesaplanmıştır:

$$p\text{-Anisidin değeri} = 25 \times (1,2 \times (A_2 - A_1)) / m$$

A1: İzooktan ile hazırlanmış olan solüsyonun absorbans değeri

A2: *p*-Anisidin ile hazırlanmış olan solüsyonun absorbans değeri

m: Örnek ağırlığı (g)

2.4.5. Özgül soğurma değeri

Özgül soğurma değerlerinin belirlenmesi için AOCS (2003) Ch 5-91 metodu kullanılmıştır. Analiz için 50 mL'lik balon jöjelere yağ numunesinden 0,05 g tartılıp hekzan ile hacim tamamlanmıştır. Spektrofotometrede (UV 160A, Shimadzu, Japonya) ikincil ürünler için 232 nm dalga boyunda, üçüncül ürünler için 270 nm dalga boyunda, hekzana karşı absorbans değeri belirlenmiştir.

Aşağıdaki formüle göre konjuge dien ve trien değerleri hesaplanmıştır:

$$\text{Özgül soğurma değeri} = A / (m \times 2)$$

A: Absorbans değeri

m: Örnek ağırlığı (g)

2.4.6. Toplam polar madde içeriği (TPM)

Kızartma yağı örneklerinin toplam polar madde miktarı polarimetre (Testo 270 Lenzkirch, Almanya) cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Polarimetre kullanılmadan önce 40°C'de tampon çözelti (3,9 %TPM) ile kalibre edilmiştir.

2.4.7. Yağ asitleri kompozisyonu

Yağ örneklerinin yağ asitleri kompozisyonu analizi, AOCS (2007) Ce 1j-07 numaralı metot kullanılarak yapılmıştır. Analiz için örneklerden 0,1 g cam tüplere tartılmış, 3 mL hekzan eklenerek vortekste (Elektromag, M16) çalkalanmıştır. 100 µL 2 N metanollü KOH (Merck, Darmstadt, Almanya) çözeltisi eklenmiş ve tekrar vortekslenmiştir. Elde edilen karışım beş dakika 6000 rpm'de santrifüj (Gerber Santrifüj, Bilser, 3998, Türkiye) edilmiştir. Yağ asitleri tanımlamaları bilinen standartla (Spelco 37 Component FAME Mix, Sigma, Aldrich, ABD) karşılaştırılarak, Agilent 6890 Gaz Kromatografisi cihazında, % olarak belirlenmiştir.

2.5. İstatistiksel analiz

Yapılan analizlerin sonuçlarının değerlendirilmesi için MINITAB (2000) paket programı kullanılmıştır. Lokma ve tulumba hamuru kızartılan yağların bozulma dereceleri ANOVA çift yönlü varyans analizi tekniği ile tespit edilmiştir. Örnekler arası farklılıkların tespiti ise ($p < 0,05$) Tukey çoklu karşılaştırma yöntemi ile yapılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

Kızartmada kullanılan ayçiçek yağına ait genel parametreler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Taze ayçiçeği yağının analiz sonuçları

Parametreler	Ayçiçek yağı
Viskozite (Pa.s)	73,29±0,001
Serbest yağ asidi (%)	0,18± 0,01
Peroksit değeri (PV, meq g O ₂ /kg)	4,25±0,19
<i>p</i> -Anisidin	5,85±0,10
% TPM	2,00±0,00
Palmitik asit (C _{16:0})	4,96±0,32
Stearik asit (C _{18:0})	2,56±0,78
Oleik asit (C _{18:1})	34,45±0,18
Transoleik asit (C _{18:1})	Tespit edilemedi
Linoleik asit (C _{18:2})	59,02±0,96

Viskozite; yağ tipine, yağ asidi uzunluğuna ve yağdaki polimerizasyon seviyesine bağlı olarak ısıtma işlem süresi arttıkça zamanla artış gösterir. Kızartma sırasında yağda meydana gelen oligomer moleküllerin artışı viskozitenin artışına sebebiyet

verir (Wiege vd., 2020). Yaptığımız çalışmada da kızartma sayısı arttıkça yağın viskozitesi artmıştır. Kızartma işlemi süresince viskozite değişimi Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Kızartma işlemi süresince viskozite değişimi (Pa.s)

Ürünler	Kızartma Tekrarı			
	3.kez kızartma	9.kez kızartma	15.kez kızartma	21.kez kızartma
KKY	76 ^{Cb} ±0,00	77 ^{Cb} ±0,01	85 ^{Bb} ±0,00	91 ^{Ab} ±0,02
LKY	77 ^{Ca} ±0,00	84 ^{Ba} ±0,02	91 ^{Aa} ±0,03	96 ^{Aa} ±0,04
TKY	76 ^{Cb} ±0,00	77 ^{Bb} ±0,00	77 ^{Bc} ±0,00	80 ^{Ac} ±0,00

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütundaki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Aynı satırdaki farklı büyük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Viskozitede meydana gelen değişiklikler incelendiğinde; en fazla artışın lokma hamuru kızartılan yağda, en az ise tulumba hamuru kızartılan yağda olduğu görülmüştür. Lokma hamuru kızartılan yağdan 3. kızartma sonucu alınan yağ örneğinin viskozite değeri 0,77 Pa.s iken, 21. kızartma sonucu alınan yağın viskozite değeri 0,96 Pa.s’a kadar yükselmiştir. Çizelge 3’te görüldüğü gibi istatistiksel olarak önemli ölçüde bir artış olmuştur ($p<0,05$). Kim ve Choe (2008) yaptıkları çalışmada, yumurta tozu ekledikleri hamurları kızarttıkları yağlarda, oksidasyon seviyesinin azaldığını görmüşlerdir. Yumurtada bulunan fosfolipitlerin, yağın oksidasyonunu azalttığını bildirmişlerdir. Yaptığımız çalışmada elde ettiğimiz bulgular literatürdeki bulgularla paralellik göstermektedir. Tulumba hamuru kızartılan yağın viskozitesinin, lokma hamuru kızartılan yağın viskozitesine göre daha düşük bulunmasının, tulumba hamuruna eklenen

yumurtanın içerdiği fosfolipitler sayesinde yağın oksidasyonunu azaltmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Kızartma işlemi boyunca meydana gelen hidroliz reaksiyonları sonucunda kızartma yağında serbest yağ asidi miktarında artış görülür (Chung vd., 2004). Gıdada bulunan su, yağdaki trigliseritlerin parçalanmasına ve ortaya gliserol ve serbest yağ asitlerinin çıkmasına sebep olur (Zhang vd., 2012). Yüksek kızartma sıcaklıklarında hidroliz reaksiyonları daha fazla meydana gelir ve yağın serbest yağ asidi içeriği daha fazla artar (Aniołowska ve Kita, 2016). Serbest yağ asitleri arttıkça yağda meydana gelen oksidasyon olayları da hızlanır (Choe ve Min, 2007). Kızartma süresince kızartma yağlarında serbest yağ asidi içeriği kızartma tekrarına bağlı olarak önemli ölçüde artış göstermiştir.

Çizelge 4. Kızartma işlemi süresince serbest yağ asidi değişimi (%)

Ürünler	Kızartma Tekrarı			
	3.kez kızartma	9.kez kızartma	15.kez kızartma	21.kez kızartma
KKY	0,19 ^{Bc} ±0,00	0,20 ^{Bc} ±0,01	0,20 ^{Bc} ±0,01	0,24 ^{Ac} ±0,01
LKY	0,26 ^{Bb} ±0,01	0,28 ^{Bb} ±0,03	0,30 ^{Bb} ±0,02	0,36 ^{Ab} ±0,02
TKY	0,29 ^{Ca} ±0,01	0,36 ^{Ca} ±0,01	0,50 ^{Ba} ±0,03	0,71 ^{Aa} ±0,04

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütundaki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Aynı satırdaki farklı büyük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Çizelge 4’te görüldüğü gibi kontrol grubunda serbest yağ asidi içeriği %0,19’dan %0,24’e yükselmiştir. Lokma hamuru kızartılan yağda bu içerik %0,26’dan %0,36’ya yükselmiştir. Bu değerdeki en fazla artış tulumba kızartılan yağda görülmüştür. Alınan yağ örneğinin serbest yağ asidi içeriği, 3. kızartma sonunda %0,29 iken 21. kızartma sonucunda %0,71’e yükselmiştir ($p<0,05$). Serbest yağ asidi içeriğinde en fazla değişim tulumba hamuru kızartılan yağda

görülmüştür. Bunun sebebi tulumba hamurunun formülasyonunda lokma hamuruna göre daha fazla su bulunmasıdır. Su varlığının artması trigliseritlerin daha fazla parçalanmasına ve daha fazla serbest yağ asidinin meydana gelmesine sebep olmuştur. Tulumba ve lokma hamurlarının formülasyonları incelendiğinde, aynı miktar una karşılık, tulumba hamuruna daha yüksek miktarda su eklendiği görülmektedir.

Öte yandan Kim ve Choe (2008) yumurta tozu ekleyerek kızarttıkları hamurlarda, yumurta tozu ilave oranı artıkça kızartma yağının serbest yağ asidi değerlerinin de arttığını bildirmişler ve bu durumu hamura eklenen yumurta sarısının, kızartma yağının daha yüksek hidrolizine neden olduğu ile açıklamışlardır. Bu çalışmada tulumba hamurunun içeriği göz önüne alındığında, tulumba hamurunun kızartıldığı yağın serbest yağ asidi içeriğinin lokma hamuru kızartılan yağa göre daha fazla olması, yumurtanın yağın hidrolizini hızlandırdığını doğrular niteliktedir.

Peroksit değeri, yağın birincil lipid oksidasyonunun belirlenmesinde kullanılan bir parametredir (Karoui vd., 2011). Birincil oksidasyon ürünleri oldukça kararsızdır ve kızartma işlemi süresince zamanla ikincil oksidasyon ürünlerine parçalanırlar. Kızartma işleminin başında bir artış, sonrasında da ısıtmaya devam edilmesiyle birlikte peroksit değerinde azalma meydana gelir. Çünkü oluşan hidroperoksitler zamanla ikincil oksidasyon ürünlerine parçalanırlar (Chatzilazarou vd., 2006).

Çizelge 5. Kızartma işlemi süresince peroksit değişimi (PV, meq O₂/kg)

Ürünler	Kızartma Tekrarı			
	3.kez kızartma	9.kez kızartma	15.kez kızartma	21.kez kızartma
KKY	7,82 ^{Ac} ±0,39	4,32 ^{Bc} ±0,4	4,66 ^{Bc} ±0,3	4,11 ^{Bc} ±0,38
LKY	9,52 ^{Bb} ±0,32	9,37 ^{Ba} ±0,04	14,51 ^{Aa} ±0,01	9,77 ^{Ba} ±0,04
TKY	15,50 ^{Aa} ±0,19	8,97 ^{Bb} ±0,21	8,65 ^{Bb} ±0,02	8,62 ^{Bb} ±0,22

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütundaki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, p<0,05.

Aynı satırdaki farklı büyük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, p<0,05.

Çizelge 5'te görüldüğü gibi kızartma işlemi sırasında kızartma yağlarının peroksit değerleri önemli ölçüde değişmiştir. Doğrusal bir artış ya da azalış göstermemiştir. Çünkü peroksitler oldukça kararsız bileşiklerdir ve kızartma işlemi sırasında ikincil oksidasyon ürünleri olan aldehitlere dönüşmektedirler. Lokma hamurunun kızartıldığı yağın peroksit değerleri, tulumba hamuru kızartılan yağa göre daha yüksek ölçülmüştür. Bu durumun tulumba hamuruna eklenen yumurtada bulunan fosfolipitlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çünkü fosfolipitler kızartma yağında oksidasyonu azaltıcı etki göstermektedirler. Hamurda fosfolipitler ile karbonil bileşikler arasında reaksiyon gerçekleşebilir ve oluşan bileşikler kızartma yağında kahverengi Maillard bileşiklerini oluşturabilirler. Maillard reaksiyon ürünlerinin, lipid oksidasyonunda antioksidan olarak görev yapabildiği ve peroksit oluşumunu azaltıcı etki gösterdiği bildirilmiştir. Maillard reaksiyonlarında

oluşan enediol yapı redüktanlarının, lipid oksidasyonunda hidrojen verdiği ve serbest radikal zincirini kırdığı öne sürülmüştür (Kim ve Choe, 2008).

Gıdanın nem içeriği azaldıkça kızartma yağının viskozite ve peroksit değeri artar (Dana vd., 2003). Çalışmamızda kızarttığımız ürünlerden, lokma hamuruna katılan su miktarı, aynı miktar una karşılık, daha yüksek miktarda su eklenen tulumba hamurundan daha düşük olduğundan, lokma hamuru kızartılan yağların peroksit değerinin daha yüksek ölçülmesi, anlamlı bulunmuştur.

p-Anisidin, yağların oksidatif stabilitesinin belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biridir. Kızartma işleminin ilerleyen aşamalarında kararsız hidroperoksitlerin parçalanmasıyla daha kararlı yapıya sahip olan ikincil oksidasyon ürünleri meydana gelir (Sebastian vd., 2014). Kızartma sayısı arttıkça hidroperoksitlerin parçalanmasıyla p-Anisidin değeri de artar (Chung vd., 2004).

Çizelge 6. Kızartma işlemi süresince p-Anisidin değişimi (meq/kg)

Ürünler	Kızartma Tekrarı			
	3.kez kızartma	9.kez kızartma	15.kez kızartma	21.kez kızartma
KKY	31,56 ^{Db} ±0,22	77,42 ^{Ca} ±0,49	115,04 ^{Ba} ±0,28	140,88 ^{Aa} ±0,62
LKY	22,43 ^{Dc} ±0,12	62,32 ^{Cc} ±0,12	100,42 ^{Bb} ±0,29	124,45 ^{Ab} ±0,53
TKY	48,8 ^{Da} ±0,24	68,97 ^{Cb} ±0,72	70,31 ^{Bc} ±0,15	85,24 ^{Ac} ±0,18

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütundaki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, p<0,05.

Aynı satırdaki farklı büyük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, p<0,05.

Çizelge 6'da görüldüğü gibi kızartma yapılan yağların *p*-Anisidin değerleri zamanla artış göstermiştir. En fazla artış ise içerisinde hamur kızartılmayan sadece ısıtılıp soğutulan kontrol grubunda görülmüştür. Kontrol grubunda 3. kızartma sonucu alınan yağ örneğinin *p*-Anisidin değeri 31,56 iken 21. kızartmada 140,88'e yükselmiştir. İstatistiksel açıdan oldukça önemlidir ($p<0,05$). En az artış ise tulumba hamuru kızartılan yağda meydana gelmiş olup, 48,8'den 85,24'e kadar yükselmiştir. Bu durum tulumba hamuru kızartılan yağın, lokma hamuru kızartılan yağa kıyasla daha az oksidasyona maruz kaldığını ve ikincil oksidasyon ürünlerinin daha az oluştuğunu göstermektedir. Bunun sebebinin, tulumba hamuruna eklenen yumurtada bulunan fosfolipitler olduğu söylenebilir. Fosfolipitler oksidasyonu azaltıcı etki gösterdiklerinden, tulumba hamuru kızartılan yağın *p*-Anisidin değerinin daha düşük çıkmasında rol aldıkları düşünülebilir.

Konjuge dienler doymamış yağ asitlerinden meydana gelen birincil oksidasyon ürünlerine göre nispeten daha kararlı bileşikleridir (Choe ve Min, 2007). Yağdaki çoklu doymamış yağ asitlerinin miktarı arttıkça kızartma işlemi ile oluşan konjuge dien ve trien miktarı da artar (Karoui vd., 2011). Konjuge oksidasyon ürünlerinin yağda birikmesi yağın renginde de değişikliğe sebep olabilir (Sebastian vd., 2014). Kızartma sıcaklığının

yüksek olması konjuge dien oluşumunu artırmaktadır (Tyagi ve Vasishtha, 1996). Aynı şekilde kızartma süresinin artması da konjuge dienlerin artışına sebep olur (Farhoosh ve Tavassoli-Kafrani, 2011).

Lokma kızartılan yağın konjuge dien değerleri tulumba kızartılan yağın değerlerine göre daha yüksektir. Buna karşılık konjuge trien değerleri tulumba kızartılan yağda daha yüksektir. Bu durum zamanla ikincil oksidasyon ürünlerinin üçüncül ürünlere dönüştüğünü desteklemektedir. Kızartma işlemi ile yağların özgül soğurma değerlerinde kızartma tekrarına bağlı olarak zamanla artış görülmüştür. Kızartma işlemi süresince konjuge dien değişimi Çizelge 7'de, konjuge trien değişimi Çizelge 8'de verilmiştir.

Polar bileşik miktarının belirlenmesi kızartma yağlarının değerlendirilmesi için kullanılan en güvenilir yöntemlerdendir. Bu nedenle bazı Avrupa ülkelerinde polar madde miktarının en fazla %24 ile %27 arasında olması gerektiği bildirilmiştir (Wiege vd., 2020). Türkiye'de ise bu sınır %25 olarak belirtilmiştir (Anonim, 2012). Toplam polar madde, yağda meydana gelen tüm hidroliz ve oksidasyon reaksiyonlarının küresel bir ölçüsüdür. Serbest yağ asitleri; hidroperoksitler, aldehitler, ketonlar, asitler, alkoller ve epoksitler gibi bileşiklerin toplamıdır (Mlcek vd., 2015)

Çizelge 7. Kızartma işlemi süresince konjuge dien değişimi (mmol/L)

Ürünler	Kızartma Tekrarı			
	3.kez kızartma	9.kez kızartma	15.kez kızartma	21.kez kızartma
KKY	5,59 ^{Db} ±0,41	9,76 ^{Cb} ±0,36	15,17 ^{Ba} ±0,16	17,21 ^{Ab} ±0,54
LKY	5,97 ^{Db} ±0,10	9,03 ^{Cb} ±0,03	15,62 ^{Ba} ±0,14	18,61 ^{Aa} ±0,01
TKY	11,88 ^{Ba} ±0,21	13,53 ^{Aa} ±1,01	13,42 ^{Ab} ±0,81	12,57 ^{Ac} ±0,66

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütündeki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Aynı satırdaki farklı büyük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Çizelge 8. Kızartma işlemi süresince konjuge trien değişimi (mmol/L)

Ürünler	Kızartma Tekrarı			
	3.kez kızartma	9.kez kızartma	15.kez kızartma	21.kez kızartma
KKY	1,76 ^{Db} ±0,00	2,82 ^{Cb} ±0,03	3,54 ^{Bb} ±0,01	4,04 ^{Ab} ±0,07
LKY	1,75 ^{Db} ±0,01	2,45 ^{Cb} ±0,02	3,78 ^{Bb} ±0,02	4,86 ^{Ab} ±0,02
TKY	5,14 ^{Aa} ±0,45	5,13 ^{Aa} ±0,28	5,59 ^{Aa} ±0,3	5,90 ^{Aa} ±0,61

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütündeki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Aynı satırdaki farklı büyük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Kızartma işlemi boyunca kızartma yağlarının polar bileşik içeriği artış göstermiştir. Ancak 21. kızartmada dahi kritik sınırlara ulaşmamıştır. Tulumba hamuru kızartılan yağda lokma hamuru kızartılan yağa oranla polar madde miktarı daha az ölçülmüştür. Bu durumun tulumba hamuruna

eklenen yumurtada bulunan fosfolipitlerin antioksidan özelliğinden ileri geldiği düşünülmektedir. Tulumba hamuruna eklenen yumurta oksidasyonun daha az gerçekleşmesine sebep olmuştur. Kızartma işlemi süresince toplam polar madde değişimi Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Kızartma işlemi süresince toplam polar madde değişimi

Ürünler	Kızartma Tekrarı			
	3.kez kızartma	9.kez kızartma	15.kez kızartma	21.kez kızartma
KKY	2,25 ^{Db} ±0,25	5,25 ^{Cb} ±0,75	7,50 ^{Bb} ±0,50	10,25 ^{Ab} ±0,25
LKY	2,50 ^{Db} ±0,00	5,50 ^{Cb} ±0,00	8,50 ^{Ba} ±0,00	11,50 ^{Aa} ±0,00
TKY	6,50 ^{Da} ±0,50	7,25 ^{Ca} ±0,25	8,00 ^{Bab} ±0,00	9,75 ^{Ab} ±0,25

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütundaki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.Aynı satırdaki farklı büyük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Taze ayçiçek yağının yağ asidi kompozisyonu; %4,96 palmitik asit ($C_{16:0}$), %1,56 stearik asit ($C_{18:0}$), %34,45 oleik asit ($C_{18:1}$) ve %59,02 linoleik asit ($C_{18:2}$) şeklinde belirlenmiştir.

Lokma hamuru kızartılan yağın yağ asidi değişimi Çizelge 10'da verilmiştir. Kızartma süresi arttıkça linoleik asit miktarı azalırken palmitik asit, stearik

asit, oleik asit ve transoleik asit miktarı önemli ölçüde artmıştır ($p<0,05$).

Tulumba hamuru kızartılan yağın yağ asidi değişimi Çizelge 11'de verilmiştir. Kızartma süresi arttıkça linoleik asit miktarı azalırken palmitik asit, stearik asit, oleik asit ve transoleik asit miktarı önemli ölçüde artmıştır ($p<0,05$).

Çizelge 10. Lokma hamuru kızartılan yağın yağ asidi değişimi

Kızartma tekrarı	Yağ Asitleri				
	$C_{16:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$ Cis	$C_{18:1}$ Trans	$C_{18:2}$
3.Kızartma	6,12 ^b ±0,07	2,75 ^b ±0,03	35,35 ^b ±0,47	0,62 ^a ±0,29	54,86 ^b ±0,33
9.Kızartma	5,81 ^c ±0,07	2,34 ^c ±0,03	35,18 ^{bc} ±0,42	0,57 ^a ±0,32	56,10 ^a ±0,64
15.Kızartma	6,27 ^b ±0,06	2,82 ^b ±0,03	36,02 ^{ab} ±0,34	0,67 ^a ±0,27	54,23 ^{bc} ±0,52
21.Kızartma	6,48 ^a ±0,07	3,02 ^a ±0,03	36,37 ^a ±0,42	0,67 ^a ±0,27	53,45 ^c ±0,59

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütundaki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.**Çizelge 11.** Tulumba hamuru kızartılan yağın yağ asidi değişimi

Kızartma tekrarı	Yağ Asitleri				
	$C_{16:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$ Cis	$C_{18:1}$ Trans	$C_{18:2}$
3.Kızartma	5,77 ^d ±0,00	2,43 ^d ±0,00	22,87 ^c ±0,00	0,57 ^b ±0,00	68,36 ^a ±0,00
9.Kızartma	6,11 ^c ±0,02	2,77 ^c ±0,03	23,65 ^b ±0,11	0,73 ^a ±0,02	66,75 ^b ±0,00
15.Kızartma	6,21 ^b ±0,05	3,1 ^b ±0,14	24,23 ^a ±0,26	0,72 ^a ±0,01	65,74 ^c ±0,47
21.Kızartma	6,39 ^a ±0,00	3,28 ^a ±0,01	24,55 ^a ±0,11	0,74 ^a ±0,00	65,04 ^d ±0,10

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütundaki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.**Çizelge 12.** Kontrol yağının yağ asidi değişimi

Kızartma tekrarı	Yağ Asitleri				
	$C_{16:0}$	$C_{18:0}$	$C_{18:1}$ Cis	$C_{18:1}$ Trans	$C_{18:2}$
3.Kızartma	5,39 ^c ±0,00	1,9 ^d ±0,00	35,18 ^d ±0,00	0,85 ^c ±0,00	56,69 ^a ±0,00
9.Kızartma	5,97 ^b ±0,07	2,48 ^b ±0,04	36,37 ^c ±0,08	0,90 ^b ±0,01	54,30 ^b ±0,20
15.Kızartma	6,14 ^a ±0,02	2,64 ^a ±0,05	36,73 ^b ±0,09	0,92 ^a ±0,01	53,56 ^c ±0,03
21.Kızartma	5,95 ^b ±0,00	2,33 ^c ±0,00	37,39 ^a ±0,00	0,92 ^a ±0,00	53,41 ^c ±0,00

(KKY: Kontrol kızartma yağı, LKY: Lokma hamurunun kızartıldığı yağ, TKY: Tulumba hamurunun kızartıldığı yağ)

Aynı sütundaki farklı küçük harfle belirtilen değerler Tukey çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre önemli ölçüde farklı olduğunu belirtmektedir, $p<0,05$.

Kızartma yapılmayıp sadece ısıtılıp soğutulan yağın yağ asidi değişimi Çizelge 12'de verilmiştir. Kızartma süresi arttıkça linoleik asit miktarı azalırken palmitik asit, stearik asit, oleik asit ve transoleik asit miktarı önemli ölçüde artmıştır ($p<0,05$). Sonuçlardan da görüldüğü üzere kızartma süresi arttıkça trans yağ asidi içeriği bütün

yağ örneklerinde artmıştır. Ürün kızartılmadan sadece ısıtılan yağ da ısının etkisi ile zamanla bozulmuştur ve yağ asidi kompozisyonunda anlamlı değişiklikler olmuştur.

Yağ asidi bileşiminin belirlenmesi yağın orijinalliğinin ve oksidatif stabilitesinin tespitinde oldukça sık kullanılır. Linoleik asidin palmitik

aside oranı ($C_{18:2}/C_{16:0}$) çoklu doymamış yağ asitlerinin bir göstergesi olarak yağ bozulmasının değerlendirilmesinde kullanılabilir, kızartma yağı bozuldukça bu oran azalır (Nayak vd., 2016). Yaptığımız çalışmada bu oran kızartma sayısı arttıkça azalmıştır. Lokma hamuru kızartılan yağda $C_{18:2}/C_{16:0}$ oranı 8,96'dan 8,24'e; tulumba hamuru kızartılan yağda 11,84'ten 10,17'ye, kontrol yağ örneklerinde ise 10,51'den 8,97'ye düştüğü belirlenmiştir. Azalma en fazla tulumba hamuru kızartılan yağda görüldüğünden, tulumba hamuru kızartılan yağın linoleik asit içeriğinin daha çok değişime uğradığı söylenebilir. Kızartma işlemi sonrası yağların çoklu doymamış yağ asidi miktarlarında (linolenik ve linoleik asit) azalma meydana gelir (Uslu, 2014). Aniołowska ve Kita (2016), palm yağında kızartma süresince ana çoklu doymamış yağ asidi olan linoleik asidin zamanla azaldığını bildirmiştir. Bütün kızartmalarda, çoklu doymamış yağ asitleri, kızartma sayısı arttıkça azalmış ve yağın daha fazla bozulduğu görülmüştür. Chatzilazarou vd. (2006), dört farklı yağ ile yapılan çalışmada doymuş yağ asidi içeriğinin, çoklu doymamış yağ asidi içeriği azaldıkça arttığını belirlemişlerdir. Yaptığımız çalışmada hem lokma ve tulumba kızartılan yağlarda hem de sadece ısıtılıp soğutulan kontrol yağında zamanla linoleik asit miktarı azalmıştır. Lokma kızartılan yağ örneklerinde %54,86'dan %53,45'e; tulumba hamuru kızartılan yağ örneklerinde %68,36'dan %65,04'e; kontrol yağ örneklerinde ise %56,69'dan %53,41'e düşmüştür. Görüldüğü gibi linoleik asit miktarı kızartma işlemi tekrarlandıkça azalmıştır. Buna karşılık palmitik ve stearik asit miktarları nispeten artmıştır. Bünyesinde iki çift bağ bulundurması sebebiyle linoleik asidin oksidasyona uğrama oranı, palmitik asit, stearik asit ve oleik asite göre daha yüksektir. Bu yüzden kızartma boyunca yağlarda en fazla oksidasyon linoleik asitte olmuştur ve miktarı anlamlı miktarda azalmıştır ($p<0,05$). Palmitik asit miktarı, hem lokma ve tulumba kızartılan yağlarda hem de sadece ısıtılıp soğutulan kontrol yağında zamanla istatistiksel olarak önemli miktarda artmıştır ($p<0,05$). Kontrol örneklerinde %5,39'dan %5,95'e yükselmiştir. Lokma hamuru kızartılan yağ örneklerinde ise %6,12'den %6,48'e yükselmiştir. Tulumba kızartılan yağda ise %5,77'den %6,39'a kadar yükselmiştir. Stearik asit miktarı ise tüm yağ örneklerinde tıpkı palmitik asitte olduğu gibi zamanla artış göstermiştir ($p<0,05$). Lokma kızartılan yağ örneklerinde %2,75'den %3,02'ye; tulumba hamuru kızartılan yağ örneklerinde %2,43'ten %3,82'ye; kontrol yağ örneklerinde ise %1,9'dan %2,33'e yükselmiştir. Oleik asit miktarı da yine tüm yağ örneklerinde zamanla artmıştır ($p<0,05$). Lokma kızartılan yağ

örneklerinde %35,35'ten %36,37'ye; tulumba hamuru kızartılan yağ örneklerinde %22,87'den %24,55'e; kontrol yağ örneklerinde ise %35,18'den %37,39'a yükselmiştir. Yüksek sıcaklıklarda ve uzun süreli kızartma işlemi yapmak kızartma yağında trans yağ asitlerinin artmasına sebep olur. Kızartma yağlarının tekrar kullanımı trans yağ asidi konsantrasyonunu artırabilir (Saguy ve Dana, 2001). Çalışmamızda transoleik asit miktarında anlamlı bir artış görülmüştür ($p<0,05$). Lokma kızartılan yağ örneklerinde %0,62'den %0,67'ye; tulumba hamuru kızartılan yağ örneklerinde %0,57'den %0,74'e; kontrol yağ örneklerinde ise %0,85'ten %0,92'ye yükselmiştir.

4. Sonuç

Lokma ve tulumba hamuru kızartılan yağlarda oksidasyon, hidroliz ve polimerizasyon reaksiyonları sonrasında yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Yağlar kıyaslandığında; oksidasyon reaksiyonlarına bağlı değişimlerin, lokma hamuru kızartılan yağda daha fazla olduğu görülmüştür. Peroksit değeri tulumba kızartılan yağda %44 azalmış, lokma kızartılan yağda ise %2 artmıştır. *p*-Anisidin değeri tulumba kızartılan yağda yaklaşık %75 artarken, lokma kızartılan yağda yaklaşık %450 artış göstermiştir. Konjuge dien ve trien değerleri, lokma hamuru kızartılan yağda sırasıyla %300 ve %177 artarken, tulumba kızartılan yağda sırasıyla sadece %6 ve %15 artış göstermiştir. Yağların uğradığı oksidasyon seviyesini gösteren bu değerler ışığında; tulumba hamuruna eklenen yumurta sarısında bulunan antioksidan bileşiklerin, yağın oksidasyon seviyesinin azalmasına neden olduğu düşünülebilir. Yağın hidroliz seviyesini gösteren serbest yağ asidi içeriği, tulumba hamuru kızartılan yağda %145 artarken, lokma hamuru kızartılan yağda %38 artış göstermiştir. Formülasyonlarda un miktarları eşit olmasına rağmen, tulumba hamuruna daha fazla su eklenmesinin, tulumba hamuru kızartılan yağın hidrolizinin artmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre; kızartma tekrarının artması, bozulmayı artırmasına rağmen, 21 kez kızartma sonucunda yağın bozulma derecesi, kızartmada kullanılmakta olan katı ve sıvı yağlar için Türk Gıda Kodeksi'nce belirlenen (Anonim, 2012) sınırlara ulaşmamıştır. Endüstriyel üretim yapılan yerlerde uygulanan kızartma tekrar sayısının, çalışmamızda denenilen tekrar sayılarından çok daha fazla olduğu düşünülecek olursa; bu gibi yerlerde kullanılan kızartma yağlarının günlük değişiminin sağlanmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

5. Teşekkürler

Bu makale yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Çalışmaya maddi destek veren Erciyes Üniversitesi

6. Kaynaklar

An, K. J., Liu, Y. L. and Liu, H. L. (2017). Relationship between total polar components and polycyclic aromatic hydrocarbons in fried edible oil. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(9), 1596-1605.

Aniolowska, M. and Kita, A. (2016). The effect of frying on glycidyl esters content in palm oil. *Food Chemistry*, 203, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.028>

Anonim. (1987). Standard methods for the analysis of oils fats and derivatives, 1st supplement to 7th edition. International Union of Pure and Applied Chemistry. Pergamon Press, Oxford.

Anonim. (2008). Column Selection for the Analysis of Fatty Acid Methyl Esters. Agilent Application Catalogue 5989-3760 EN.

Anonim. (2012). Türk Gıda Kodeksi, Kızartmada Kullanılmakta Olan Katı ve Sıvı Yağlar İçin Özel Hijyen Kuralları Yönetmeliği, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Ankara.

AOAC. (1998). Official methods and recommended practices of the AOAC. 5th Ed., Champaign.

AOAC. (2000). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 17th Ed., Washington.

AOCS. (2003). Official methods and recommended practices of the American oil chemists society. 5th Ed., Washington.

AOCS. (2007). Official methods and recommended practices of the American oil chemists society. 6th Ed., Champaign.

Bouchon, P., Aguilera, J. M. and Pyle, D. L. (2003). Structure Oil-Absorption Relationships During Deep-Fat Frying. *Journal of Food Science*, 68(9), 2711–2716. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2003.TB05793.X>

Çelik, G. (2020). Derin Yağda Kızartma İşleminde Proses Kirleticilerinin Belirlenmesi. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi-1 s. Bursa.

Ceylan, M. M. (2020). Kızartma Yağlarının Oksidatif Stabilitesi Üzerine Farklı Doğal Antioksidan Maddelerin Etkisi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi-1 s. Van.

Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FYL-2021-10662) teşekkür ederiz.

Chatzilazarou, A., Gortzi, O., Lalas, S., Zoidis, E. and Tsaknis, J. (2006). Physicochemical changes of olive oil and selected vegetable oils during frying. *Journal of Food Lipids*, 13(1), 27–35. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2006.00032.x>

Choe, E. and Min, D. B. (2007). Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of food science*, 72(5), R77–R86. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x>

Chung, J., Lee, J. and Choe, E. (2004). Oxidative stability of soybean and sesame oil mixture during frying of flour dough. *Journal of Food Science*, 69(7), 574–578. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13652.x>

Dana, D., Blumenthal, M. M. and Saguy, I. S. (2003). The protective role of water injection on oil quality in deep fat frying conditions. *European Food Research and Technology*, 217(2), 104–109. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0744-x>

Doğan, İ. S. ve Yurt, B. (2002). Tulumba tatlısının üretiminde yağ emilimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi. *Gıda*, 27(1), 65-71

Farhoosh, R. and Tavassoli-Kafrani, M. H. (2011). Simultaneous monitoring of the conventional qualitative indicators during frying of sunflower oil. *Food Chemistry*, 125(1), 209–213. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2010.08.064>

Farkas, B. E., Singh, R. P. and Rumsey, T. R. (1996). Modeling heat and mass transfer in immersion frying. I, model development. *Journal of Food Engineering*, 29(2), 211–226. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00072-0](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00072-0)

Karoui, I. J., Dhifi, W., Ben Jemia, M. and Marzouk, B. (2011). Thermal stability of corn oil flavoured with Thymus capitatus under heating and deep-frying conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(5), 927–933. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4267>

Kasar, H. (2021). Türk mutfak kültürü evreleri ve mutfak sentezinin incelenmesi. *Journal of humanities and tourism research*, 11(11–2), 347–358. <https://doi.org/10.14230/johut960>

Kim, H. and Choe, E. (2008). Effects of egg yolk powder addition to the flour dough on the lipid oxidation development during frying. *LWT-Food*

- Science and Technology*, 41(5), 845–853. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.011>
- Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science and Technology*, 14(9), 364–373. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(03\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(03)00050-5)
- Mlcek, J., Druzvikova, H., Valasek, P., Sochor, J., Jurikova, T., Borkovcova, M., Baron, M. and Balla, S. (2015). Assessment of total polar materials in Frying fats from Czech restaurants. *Italian Journal of Food Science*, 27(2), 160–165. <https://doi.org/10.14674/1120-1770/IJFS.V182>
- Nayak, P. K., Dash, U. M. A., Rayaguru, K. and Krishnan, K. R. (2016). Physio-chemical changes during repeated frying of cooked oil: a review. *Journal of Food Biochemistry*, 40(3), 371–390.
- Oke, E. K., Idowu, M. A., Sobukola, O. P., Adeyeye, S. A. O. and Akinsola, A. O. (2018). Frying of food: a critical review. *Journal of Culinary Science & Technology*, 16(2), 107–127.
- Rakıcıoğlu, N., ve Baysal, A. (1988). Yağda Kızartma Yöntemi ile Pişirmede Oluşan Fiziksel ve Kimyasal Değişiklikler ve Bunların İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 17, 121–130.
- Rossell, J. B. (2001). Frying : improving quality. CRC Press.
- Saguy, I. S. and Dana, D. (2001). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56(2003), 143–152.
- Sebastian, A., Ghazani, S. M. and Marangoni, A. G. (2014). Quality and safety of frying oils used in restaurants. *Food Research International*, 64, 420–423. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.07.033>
- Sevimli, Y. (2017). Özel Gün Tatlıları : Kültür Turizmi Açısından Önemi. *Uluslararası Kırsal Turizm ve Kalkınma Dergisi*, 1(2), 18–28.
- Sun, D. W. (2009). Advances in Deep-Fat Frying of Foods. İçinde S. G. Sumnu ve S. Sahin (Ed.), *Contemporary Food Engineering*. Contemporary Food Engineering. <https://doi.org/10.1201/9781420055597>
- Tümer, G. (2017). Lokma ve Tulumba Tatlısı Üretiminde Kavurma Unu Kullanım İmkânının Araştırılması ve Bazı Karakteristik Özelliklerin Belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi-14 s. Denizli.
- Tyagi, V. K., ve Vasishtha, A. K. (1996). Changes in the characteristics and composition of oils during deep-fat frying. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(4), 499–506. <https://doi.org/10.1007/BF02523926>
- Uslu, N. (2014). Kızartma tekerrür sayısının farklı bitkisel yağların fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Wiege, B., Fehling, E., Matthäus, B., ve Schmidt, M. (2020). Changes in physical and chemical properties of thermally and oxidatively degraded sunflower oil and palm fat. *Foods*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/foods9091273>
- Yaşkıran, K. (2020). Kızartmalık mısırözü yağı kalitesinin iyileştirilmesinde üç farklı turuncgil albedosunun suni bir antioksidan ve adsorban ile karşılaştırılması. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi-16 s. Konya.
- Yüksel, A. K., ve Yüksel, M. (2020). Gıdalarda trans yağ asitlerinin varlığı ve önemi. *Aydın Gastronomy*, 4(2), 113–124.
- Zhang, Q., Saleh, A. S., Chen, J. and Shen, Q. (2012). Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: A review. *Chemistry and physics of lipids* 165(6), 662–681.

Review Paper/Derleme Makale

Use of modified polycaprolactone polymer in food packaging applications: a review

Modifiye polikaprolakton polimerinin gıda ambalajlama uygulamalarında kullanımı: bir derleme

Kerem İlaslan^{1*} 

¹Bahçeşehir University, School of Applied Sciences, Department of Gastronomy and Culinary Arts, İSTANBUL, TÜRKİYE

ORCID ID: 0000-0001-9789-6437, PhD

*Corresponding author/Sorumlu yazar: ilaslankerem@gmail.com

Geliş Tarihi : 06.09.2023

Kabul Tarihi : 15.02.2024

Abstract

Objective: Plastic production in the world is constantly increasing and plastics have been degraded in nature for many years. This situation turns into a major environmental disaster that people and living organisms will encounter. In addition, packaging films that can be applied to foods safely and extend the shelf life of foods with their functional properties are needed. Polycaprolactone (PCL) is a biodegradable polymer produced by synthetic processes and has been frequently investigated in food packaging studies in recent years. Due to its flexibility, biocompatibility and thermoplasticity, the use of PCL and its copolymers in packaging film applications is becoming widespread. Disadvantages such as low mechanical and thermal resistance can be eliminated by adding fillers, mixing with other polymers or using multi-layers. This study aims to compile recent studies on the use of PCL polymer modified by various methods as food packaging.

Conclusion: In the literature, there are many interesting studies on the making composite of PCL with different methods. Nanoclays to improve mechanical and gas barrier properties; nanometals and plant materials to impart antimicrobial properties; innovative additives such as oxygen scavengers, photosynthesizing agents, antimicrobial peptides are used in the modification of PCL. In this review, it was revealed that the modifications contribute to PCL polymer in terms of stiffness and gas barrier properties and add antimicrobial and antioxidant character to the polymer.

Keywords: Polycaprolactone; biodegradability; packaging; biopolymers; modified films

Öz

Amaç: Dünyada plastik üretimi sürekli olarak artmakta ve plastikler uzun yıllar boyunca doğada bozunmaya uğramaktadır. Bu durum insanların ve canlıların karşılaşacağı büyük bir çevre felaketine dönüşmektedir. Bunun yanında fonksiyonel özellikleriyle hem gıdalara güvenli bir şekilde uygulanabilen hem de gıdaların raf ömrünü uzatabilen ambalaj filmlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Polikaprolakton (PCL) sentetik süreçlerle üretilen ve son yıllarda gıda ambalajı çalışmalarında sıklıkla araştırılan biyobozunur yapıdaki bir polimerdir. Esnekliği, biyouyumluluğu ve termoplastik oluşu nedeniyle PCL ve kopolimerlerinin ambalaj filmi uygulamalarında kullanımı yaygınlaşmaktadır. Mekanik ve termal dayanımının düşük olması gibi dezavantajları dolgu maddeleri ekleme, diğer polimerlerle karıştırma veya çok katmanlı kullanımları ile giderilebilmektedir. Bu çalışmada, çeşitli yöntemlerle modifiye edilmiş PCL polimerinin gıda ambalajı olarak kullanımı ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmaların derlenmesi amaçlanmıştır.

Sonuç: Literatürde PCL'nin farklı yöntemlerle kompozit haline getirilmesi ile ilgili pek çok ilgi çekici çalışma yapılmaktadır. Mekanik ve gaz bariyer özelliklerini geliştirmek için nanokiller; antimikrobiyal özellik kazandırması için nanometaller ve bitkisel materyaller; oksijen süpürücüler, fotosentezleyici maddeler, antimikrobiyal peptitler gibi yenilikçi katkılar PCL'nin modifikasyonunda kullanılmaktadır. Bu derleme çalışmasında, yapılan modifikasyonların PCL polimerine rijitlik ve gaz bariyer özellikleri açısından katkı sağladığı ve polimere antimikrobiyal ve antioksidan karakter kattığı ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Polikaprolakton; biyobozunurluk; ambalaj; biyopolimerler; modifiye filmler

1. Introduction

Nowadays, the use of plastic in every field of life causes serious plastic pollution. The packaging industry, which accounts for 40% of the total plastic consumption, has the largest share in plastic waste production, especially with single-use packaging. Polymers such as polyethylene (PE), polyvinylchloride (PVC), polyethylene terephthalate (PET), polypropylene (PP), polystyrene (PS), polyamide (PA) are produced continuously due to their advantages in terms of mechanical, gas permeability, thermal stability and low-cost properties. These polymers cause many environmental problems because they are not biodegradable and recycling is insufficient. This situation prompted researchers to develop alternative materials to overcome these disadvantages (Siracusa et al., 2008). For this reason, there has been a trend towards developing of aliphatic polyesters that can be economically decomposed and biodegraded in waste facilities (Lim and Thian, 2022).

Biopolymers are divided into different categories according to the origin of the raw materials and their production processes. Plant carbohydrates include starch, cellulose, chitosan, agar, etc.; animal or plant proteins include soy protein, corn zein, wheat gluten, gelatin, collagen, whey protein, casein etc.; synthetic biodegradable polymers include polylactic acid (PLA), polyglycolic acid (PGA), poly(ϵ -caprolactone) (PCL), polybutylene succinate (PBS), polyvinyl alcohol (PVA), etc.; biopolymers produced by microbial fermentation include polyhydroxyalkanoates (PHAs) such as poly(β -hydroxybutyrate) (PHB) and poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) (Rhim et al., 2013). PCL, a synthetic biodegradable polymer, is an aliphatic polyester containing hydrolyzable ester groups that promote its biodegradability. These ester groups are naturally compatible with microbial enzymes sensitive to catalytically triggered hydrolytic degradation of polymeric chains of PCL (Ilyas et al., 2022). As a synthetic biodegradable biopolymer not found naturally, PCL has been identified for its commercial potential. PCL is one of the earliest synthesized polymers by the Carothers Group in the early 1930s (Carothers et al., 1932).

Unlike traditional plastics such as polypropylene (PP) and polyethylene (PE), which take hundreds or even thousands of years to degrade fully, PCL biodegrades in just a few years. Due to their excellent biocompatibility, flexibility and thermoplasticity, PCL and its copolymers have been proposed for use in a variety of biomedical

and biomaterial applications, resulting in many commercially successful applications (Ludueña et al., 2011; Mohamed and Yusoh, 2015). Besides, PCL is widely used in medical tissue engineering, drug delivery and controlled release systems, food packaging industry, antibacterial studies, protective clothing manufacturing and biosensors (Zhang et al., 2019). Despite its high cost, PCL is heavily used in food packaging research. The most significant known disadvantages are degradation due to low melting temperature and low mechanical strength. The most convenient and effective method to improve the mechanical properties of PCL and increase its potential usability in packaging applications is to reinforce the structure with fillers (Reis et al., 2021). While many biodegradable polymers have been studied as packaging materials in laboratories, few have been commercially applied. PCL and PLA are among the limited polymers applied. While PCL is used as an additive to facilitate the processability of other polymers, it can also be used alone as an alternative to polyolefins. PCL polymers are mixed with other polymers to improve their thermal, viscoelastic or mechanical properties. Since PCL is not as resistant to high temperatures and mechanical effects as other polymers, mixing with other polymers may become necessary. Some transesterification agents can also harmonize immiscible polymers (Guarino et al., 2017). Some kind of polymers such as starch (Guarás et al., 2015), chitosan (Sarasam et al., 2006), glucomannan (Harsojuwono et al., 2022), polyethylene glycol (PEG) (Ortega-Toro et al., 2016), cellulose (Amini et al., 2023), PLA (Chavalitpanya and Phattanasrudee, 2013), cyclic olefin copolymer (COC) (Sogut et al., 2021) etc. can be used as a blend with PCL.

PCL can also be used in some multi-layer film production applications due to its properties. Multifunctional packaging materials can be produced by combining two or more layers and modifying these layers with various substances (Takala et al., 2013). The formation of a multi-layered structure of two different polymers is important in terms of improving the surface properties of the film and combining the unique properties of both polymers. Food packaging production using the combination of polymers decreases the level of toxic chemicals implicitly (Mahieu et al., 2017). For example, PCL shows excellent properties against water vapor, while starch shows this property against atmospheric gases. By forming a multi-layered film of these two polymers, barrier properties against both water vapor and gases can be achieved (Ortega-Toro et

al., 2015). Recycling is more difficult due to the coexistence of different polymers in multi-layered food packaging. Biodegradable polymers offer a recycling advantage in this regard. If one of the layers is a biodegradable polymer such as PCL, this dramatically simplifies the recycling process (Rešček et al., 2016).

Since the environmental value of biodegradable materials has been understood in recent years, many studies have been carried out on PCL. The development of composite technology has also made it easier to progress in this regard. In this study, we aimed to review the latest researches on modified PCL polymer in food packaging applications. Biodegradable materials were reviewed at different studies before, nevertheless this study focused on the recently worked innovative functional agents and their characteristics in the PCL food packagings. Based on our knowledge, most of the review papers addressed tissue engineering, drug delivery systems, biomedical applications, scaffolds etc., therefore this review contribute literature in terms of food packaging applications. Similar agents were classified in the text according to their functions in PCL films. In addition, general information is given about the structural properties, biodegradability and composite properties of PCL.

2. Properties and use of PCL

2.1. Physical and chemical properties

PCL is a semi-crystalline, hydrophobic and synthetic aliphatic polyester composed of repeating hexanoate units (Sachan et al., 2023). Among the biodegradable polymers, aliphatic polyesters such as PCL are now commercially available and are an interesting alternative to conventional thermoplastics. PCL can be synthesized by ring-opening polymerization (ROP) of ϵ -caprolactone monomers, the free radical ROP of 2-methylene-1-3-dioxepane, or the condensation of 6-hydroxycaproic acid with various anionic, cationic and coordination catalysts. PCL is a highly crystalline semi-crystalline polymer that reaches 69% crystallinity but decreases at higher molar masses (Beltrán et al., 2014; Guarino et al., 2017). The chemical structure and synthesis methods of PCL are shown in Figure 1 and Figure 2, respectively.

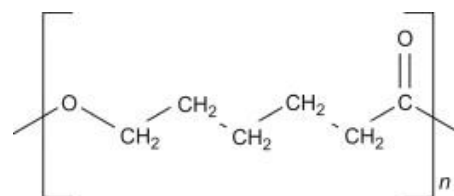


Figure 1. Structure of poly(ϵ -caprolactone) (Guarino et al., 2017)

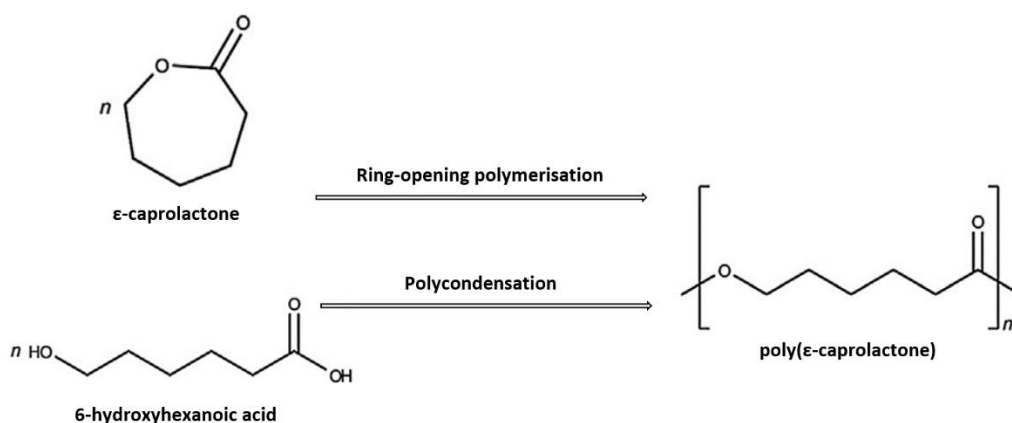


Figure 2. Synthesis methods of poly(ϵ -caprolactone) (Bartnikowski et al., 2019)

PCL is a hydrophobic and thermoplastic polymer with low water adsorption, resistant to UV rays and chemicals. These properties make it a suitable candidate for food packaging material (Reshmi et al., 2017; Paula et al., 2019). The physical, thermal and mechanical properties of PCL vary according to its molecular weight and degree of crystallinity, as shown in Table 1. It dissolves at room temperature in chloroform, dichloromethane,

carbon tetrachloride, benzene, toluene, cyclohexanone, and 2-nitropropane. It is slightly soluble in acetone, 2-butanone, ethyl acetate, dimethylformamide and acetonitrile, but insoluble in alcohols, petroleum ether, diethyl ether and water. Blends of PCL with polymers such as PE, PP, natural rubber, polyvinyl acetate are mechanically compatible (Labet and Thielemans, 2009).

Table 1. Properties of PCL (Labet and Thielemans, 2009)

Properties	Range
Average molecular weight ($M_n/\text{g mol}^{-1}$)	530–630000
Density ($\rho/\text{g cm}^{-3}$)	1.071–1.200
Glass transition temperature ($T_g/^\circ\text{C}$)	(-65)-(-60)
Melting temperature ($T_m/^\circ\text{C}$)	56–65
Decomposition temperature ($^\circ\text{C}$)	350
Internal viscosity ($\eta_{\text{inh}}/\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$)	100–130
Actual viscosity ($\eta/\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$)	0.9
Tensile strength (σ/MPa)	4–785
Young modulus (E/GPa)	0.21–0.44
Elongation at break ($\varepsilon/\%$)	20–1000

2.2. Biodegradability of PCL

In the 1980s, scientists began investigating whether plastics could be designed to be susceptible to microbial attack. Biodegradation is about specially designed polymers to break down into their monomers under some circumstances. This phenomenon, also called biotic degradation, occurs when microorganisms such as bacteria, yeast, mold and algae chemically degrade polymers. Polymeric materials are not readily biodegradable. The degree of crystallinity of the polymer has a negative effect on degradation (Cesur, 2018). In addition to being a difficult process for the polymer to degrade in nature, it depends on conditions such as temperature, humidity, pH, UV rays, and microbiota (Guo et al., 2012). The small polymer particles formed after the reduction in the molecular weight of the biodegradable polymer and subsequent macroscopic structural deterioration are completely metabolized by cells or microorganisms. PCL's biodegradable properties are affected by its amorphous structure, as a result of DSC analysis, it has been determined that the amorphous part of PCL is used first during degradation and its crystallinity gradually increases (Khatiwala et al., 2008). Biodegradable polymers such as PCL are produced by conventional synthesis of synthetic monomers derived from sources such as petroleum. Microorganisms found in nature contain enzymes that break specific bonds between these monomers (Kılınç et al., 2017). Biodegradable polymers are generally degraded by microorganisms and chemical reactions in aquatic and terrestrial environments. The rate of degradation is sensitive to the microorganism population in the environment, humidity, temperature and oxygen (Yang et al., 2010). PCL generally degrades in nature in 2 to 4 years, depending on its molecular weight. Polymers containing ester groups, such as PCL, are

susceptible to hydrolysis by chemical or enzymatic means. Degradation of PCL can occur in many ways: radical-induced, thermal, pH-induced, enzymatic, and intracellular. Lipases secreted by bacteria of the genus *Pseudomonas* and *Lactobacillus* are among the most effective in breaking down both amorphous and crystalline regions. Fungal lipases secreted by *Thermomyces*, *Candida*, *Aspergillus*, *Mucor* and *Rhizopus* genera are also effective on amorphous structure (Bartnikowski et al., 2019).

2.3. Composite PCL films

The primary purpose of active packaging technologies is to change the conditions of packaged foods to extend their shelf life. This practice can improve food safety and sensory properties while maintaining the quality of packaged food (Sanchez-Garcia et al., 2008). Especially consumable or biodegradable materials can extend the shelf life of foods without harming the nature. These materials not only act as a moisture and gas barrier, but also add different protective functions to the packaging film by containing a wide variety of additives such as antioxidants, antimicrobials, pigments, sweeteners, spices (Salmieri and Lacroix, 2006). PCL can be applied to packaging to prevent some packaging materials from coming into direct contact with food, as well as to increase the distance entrapped active compounds have to travel to reach the food surface and facilitate slow release into food (Mugwagwa and Chimphango, 2020). PCL also helps to reduce the amount of waste packaging in nature by adding biodegradability to modified atmosphere packaging (MAP) systems (Makino and Hirata, 1997).

Composite packaging films with controlled release are new generation packaging materials that can release active compounds at different rates in order

to increase the quality and safety of foods during long-term storage. The inclusion of antimicrobial substances in packaging allows the gradual transfer of antimicrobials to food during storage and distribution. Antimicrobial packaging is suitable for variety of food stuff as meat, fruit, vegetables, etc. It effectively minimizes the surface microorganism load of foods (Sanchez-Garcia et al., 2008). This technology responds to consumer demands for less processed, natural and preservative-free food products. Antimicrobial agents include organic acids, natural extracts, antibiotics, triclosan, essential oils, polymers (e.g. chitosan), bacteriocins (e.g. nisin), fungicides (e.g. benomyl), silver compounds (Bastarrachea et al., 2011). In addition, fillers such as nanoclays are added to eliminate the relatively weak mechanical and gas barrier disadvantages of PCL. The incorporation of exfoliated nanoclays into the PCL matrix improves the physical properties of the films. For example, when less than 10% by weight montmorillonite (MMT) is added to the PCL film, the stiffness, thermal stability and gas barrier properties of PCL films increase (Sanchez-Garcia and Lagaron, 2010). However, its poor thermal and mechanical resistance and limited gas barrier properties limit the use of PCL as a polymer matrix (Lee and Kim, 2010). For this reason, mechanical and gas barrier properties are improved by adding some fillers to its structure (Khalid et al., 2018). In addition, to overcome these disadvantages, a polymer matrix is developed by adding chemicals such as hydrocolloids, plasticizers, emulsifiers or surfactants to the structure of some biodegradable materials (Pineros-Guerrero et al., 2021). In particular, amphiphilic surfactants and emulsifying agents such as Tween 80 can provide more effective mixing of biodegradable polymers with hydrophobic matrices such as PCL and hydrophilic matrices such as chitosan (Gomes et al., 2021).

Composites can be obtained by various methods such as melt intercalation, compression molding, solvent dissolving, in-situ polymerization, and direct mixing of polymer and fillers. Since PCL melts quickly at 60°C, melt intercalation may be preferred over solvent dissolving method (Sachan et al., 2023). The electrospinning technique, developed as an alternative to conventional packaging film production, is a technology designed to manufacture nanofiber films with high porosity and specific surface area. These nanofibrous films allow for active and intelligent packaging applications due to the possibility of transporting bioactive compounds (Zou et al., 2023).

2.3.1. Nanoclays

In order to improve the mechanical, thermal and antimicrobial properties of PCL films, there are many studies with organomodified or non-organomodified nanoclays. When MMT nanoclay organomodified with cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB) was added to the PCL film, it gave better thermal and mechanical results than the non-organomodified version. It has also been reported that organomodified MMT nanoclay exhibits antimicrobial activity in PCL film in contrast to non-organomodified MMT nanoclay (Seyrek et al., 2021). In the study of Cesur et al. (2018), composite films were obtained by adding organomodified MMT nanoclay and chitosan with methyl dihydroxyethyl ammonium bromide (MDEB) surfactant to impart antimicrobial character to PCL. It has been observed that pure PCL does not show antimicrobial properties. Still, when 25% chitosan and 0.4% nanoclay are added, it has an antimicrobial effect on *Escherichia coli* (*E. coli*), *Pseudomonas aeruginosa* and *Clostridium albicans*. The addition of chitosan increases the biodegradability of composite films while decreasing their mechanical strength (Cesur et al., 2018). In a study, PE films were coated with PCL using the surface spread technique. Magnetite and casein were added to PCL to improve mechanical and barrier properties. Magnetite and casein alone and together significantly reduced the oxygen permeability of the film. While PE/PCL film showed lower tensile strength than PE film, magnetite and casein added increased the tensile strength (Rešček et al., 2016).

The effect of modified PCL films on meat and meat products that are perishable by microorganisms is an important research topic. It was reported that PCL/PHB/Cloisite® 30B and 10A nanoclay composite and nisin as an antimicrobial agent increased the shelf life of hams inoculated with *Lactobacillus plantarum* (Correa et al., 2017). In another study, the effect of PCL nanocomposite films containing organomodified halloysite (HNT) and MMT nanoclays and silver ions on the microbiological quality of ground beef was investigated. It has been reported that total mesophilic aerobic, lactic acid and total coliform bacteria loads in minced meat samples were lower in nanocomposite PCL films compared to pure PCL and low-density polyethylene (LDPE) films after eight days of cold storage at 4°C (İlaslan et al., 2022). Vermiculite nanoclay can intercalate active ingredients with its highly negatively charged layers. In a study in which antifungal ciclopirox olamine (CPO) and zinc oxide (ZnO) were intercalated into vermiculite and PCL was

used as the polymer, the growth of *E. coli*, *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) and *Candida albicans* (*Can. albicans*) was inhibited. It was stated that the inhibition effect of CPO increased with ZnO content (Holešová et al., 2021). Layered double hydroxides (LDH) are brucite-like structures consisting of positively charged metal hydroxide layers and containing anionic ions (such as CO_3^{2-} , Cl^- , NO_3^-) in the gallery spaces. These anionic structures can take potentially active molecules into their form through the ion exchange mechanism. It was observed that the water vapor barrier property of PCL was improved by adding the 2-ethylhexanoate-conjugated phosphonium cation as a surfactant to the LDH (Lins et al., 2018).

2.3.2. Nanoparticles

In a study by El-Naggar et al., copper nanoparticles (Cu-NP) were myco-synthesized using *Aspergillus terreus* (*A. terreus*) AH20. Antimicrobial film was obtained by adding Cu-NP to cellulose acetate/PCL films. The films show antimicrobial effect on *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *S. aureus*, *Bacillus subtilis*, *Can. albicans*, *Aspergillus niger*, *A. terreus*, *Penicillium expansum* and *Fusarium oxysporum*. In addition, both the mechanical and air permeability properties of the films were improved with Cu-NP (El-Naggar et al., 2022). It has been reported that PCL/ZnO nanocomposite film, prepared by in-situ ROP of ϵ -caprolactone, passes 46% less water vapor than pure PCL film, has better antimicrobial properties against *E. coli*, and increases the rate of biodegradation (Bujok et al., 2021). Titanium oxide nanoparticles (TiO_2 -NP) can be added to polymers due to their antimicrobial properties. Because TiO_2 -NP is inert, inexpensive and non-toxic, it has a wide range of uses such as cosmetics, food packaging, toothpastes, and pharmaceuticals (Muñoz-Bonilla et al., 2013). In a silver nanoparticle (Ag-NP) study, lipase from *Lactobacillus amylovorus* was used for immobilization on the PCL surface. Ag-NPs bound by lipase molecules effectively inhibited *E. coli* (Maraju et al., 2021). In another study using kaolinite and Ag-NP intercalated with dimethyl sulfoxide (DMSO) as additives, both the barrier properties of PCL film and its antimicrobial effect on *S. aureus* and *E. coli* were increased. The antimicrobial effect was achieved through the controlled release of Ag-NPs (Benhacine et al., 2019).

2.3.3. Plant sources

In recent years, adding substances obtained from plant sources to polymers used in food packaging has been a frequently researched subject. These bioactive compounds in polymers show their

antimicrobial and antioxidant properties with controlled release and increase shelf life. Many plant-derived substances such as curcumin (Cai et al., 2022), quercetin (Rojas et al., 2021), green tea extract (Shahrampour et al., 2023), *Moringa oleifera* leaf extract (Núñez-Gastélum et al., 2019), linalool (Li et al., 2022), β -caryophyllene (Ullah et al., 2023), pomegranate peel extract (Khodanazary, 2019), soy protein isolate (Wu et al., 2019), babassu epicarp and mesocarp (Reul et al., 2019), rice straw fiber (Wu and Liao, 2012), grapefruit seed extract (Wang et al., 2019) can be added to the PCL.

Fiber films prepared with konjac glucomannan, PCL and Ag-NP using electrospinning method effectively inhibited *S. aureus* and *E. coli* (Lin et al., 2020). In a study in which essential oregano oil-loaded β -cyclodextrins were incorporated into PLA/PCL nanofibers, it was revealed that essential oregano oil was released from nanofibers for a long time and continuously. Nanofibers delayed postharvest rotting, spoilage and nutrient loss of blackberry. β -cyclodextrins loaded with essential oregano oil increased the thermal stability of the nanofibers and decreased the tensile strength (Shi et al., 2022). PCL/gelatin electrofiber films containing essential cumin oil (ECO) and ZnO nanoparticles (ZnO-NP) slowed down the growth of *S. aureus* in cheese during 12 days of cold storage. In addition, it was observed that ECO/ZnO-NP added to the film at a rate of 3% improved the tensile strength, elongation at break and Young's modulus properties (Shanbehzadeh et al., 2022). Green tea essential oils enhanced the antimicrobial and antioxidant properties of the film when incorporated into PCL/casein nanofibers (Yavari Maroufi et al., 2022).

In a study using PCL and starch to produce a biodegradable film, pomegranate peel was used to impart antimicrobial properties. The bioactive compounds in the pomegranate peel added to the film gave the film an antimicrobial property. The addition of starch to PCL increased the rigidity of the film while increasing the release rate and antimicrobial properties of bioactive compounds (Khalid et al., 2018). In another study using pomegranate extract, dried pomegranate seeds and pomegranate seed flour as additives in PCL, the growth of *E. coli* and *S. aureus* growth was slowed down (Uzunlu and Niranjan, 2017).

PCL nanofiber mats added 9% by mass from the antimicrobial *Acalypha indica* leaf extract showed an effective inhibition on Gram-positive and Gram-negative bacteria (Mathiazhagan et al., 2021). A functional biodegradable film was obtained by

adding green tea extract, which is a natural antioxidant source, to the PCL/PLA composite film. In the study, the addition of green tea extract to the film made the structure more permanent due to the polyphenol substances it contains. Therefore, the water vapor and oxygen permeability of the film is reduced, while its mechanical and biodegradable properties are improved (Sadeghi et al., 2022). In a study in which antimicrobial-effective grape seed extract (GSE) was added to the PCL/chitosan film, the effect of the molecular weight of chitosan on the release rate was investigated. Low molecular weight chitosan caused a faster release of GSE (Lim and Thian, 2022). In a similar study, PCL/chitosan/nanocellulose composite films containing GSE improved the microbial quality of chicken breast during storage (Sogut and Seydim, 2019). In another study, GSE added to PCL/chitosan/nanocellulose film increased the water permeability of the film, but phenolics such as catechins, epicatechin, gallic acid and procyanidins contained in GSE gave the film antimicrobial properties (Sogut and Seydim, 2018).

PCL/chitosan/rutin (a kind of plant flavonoid) nanofiber films have been found to reduce the microbial load of rainbow trout compared to pure PCL film (Piri et al., 2021). PCL containing 7% by mass of black pepper oleoresin was layered on the gelatin film by electrospin method. Multilayer gelatin coating with PCL improves gas barrier and mechanical properties, while the oleoresin effectively inhibits *S. aureus* (Figueroa-Lopez et al., 2018). Chlorogenic acids, including caffeic and quinic acids, are natural bioactive compounds of plant origin and can be added to packaging materials due to their antioxidant and antimicrobial properties. Chlorogenic acids added to PCL/polyvinyl pyrrolidone (PVP) nanofibers showed an inhibitory effect on *E. coli* and *S. aureus*, but this effect was not observed in nanofibers using only PVP. PCL eliminated the weak encapsulation ability of PVP, resulting in better uptake of chlorogenic acids into the structure (Cao et al., 2022).

Pectin, a natural polymer obtained from fruits such as apples and oranges, can be easily degraded by the effect of temperature under normal conditions and is difficult to process without additives. Materials such as pectin, which can be obtained from wastes, can be added to biodegradable polymers to bring environmentally friendly packaging. In a study, PCL was modified with maleic anhydride, benzoyl peroxide and glycidyl methacrylate and then mixed with pectin. PCL has added elasticity to the harder pectin due to its

flexible structure. In addition, the gas barrier property of the film has improved compared to pure pectin (Gorrasi et al., 2021).

2.3.4. Alternative modification methods of PCL polymer

In the study of Choi et al. (2021), the PCL surface was first hydrolyzed with NaOH to form carboxyl groups on the surface. It was then activated with N-hydroxysulfosuccinimide (sulfo-NHS) and 1-ethyl-3-[3 dimethylaminopropyl]carbodiimide hydrochloride (EDC) so that T4 bacteriophages can bind to the surface. EDC/NHS-activated PCL film interacted with T4 bacteriophage. PCL films that interacted with T4 bacteriophages were found to be 30 times more effective on *E. coli* O157:H7 inoculated into beef than films physically adsorbed on the surface (Choi et al., 2021).

It was found that 0.1, 0.5, and 1% by mass thermally exfoliated graphene oxide added PCL films showed higher tensile strength than pure PCL film. PCL-graphene oxide nanocomposite films showed a bactericidal effect on *S. aureus* (Malik, 2022). In sensor fabrication, nanofiber materials are widely researched due to their high surface-to-volume ratio and 3-dimensional structure (Yang et al., 2020). A sensor prepared by adsorbing graphene oxide on PCL nanofibers was used to detect bisphenol A (BPA), a dangerous compound for humans, by voltammetric method (Furquim et al., 2020).

Antioxidant agents can also be added to PCL. In a study by Amorim et al. (2022), nanofibers were obtained by adding the flexirubin pigment produced by *Chryseobacterium shigense* bacteria into polyvinyl alcohol/kefiran/PCL. The resulting films reduced the enzymatic browning of apple slices (Amorim et al., 2022). Sensors can be produced by adding pigments sensitive to pH change into nanofibers. By adding 3% by mass of anthocyanin into PCL/PEG nanofibers, the pH decrease caused by microorganisms over time could be detected depending on the color change (Guclu et al., 2023). Photodynamic sterilization becomes possible by adding various photosynthesizing agents to PCL films. Photosynthetic substances produce reactive oxygen species (ROS) at specific wavelengths and cause oxidative damage to microorganisms. Since this method does not require high temperatures or chemicals, it does not reduce the nutritional value of the food. For this purpose, the metal-organic skeleton (MOF-545) containing porphyrin as a photosynthetic substance in the structure of PCL was used in the study. *E. coli* and *S. aureus* inhibition was achieved by using LED irradiation

and the shelf life of the sliced apple was significantly increased (Zhao et al., 2022). In another study, pH and light-sensitive composite films were obtained by adding curcumin nanoparticles encapsulated with zeolitic imidazolate into PCL, and it was reported that these films photocatalytically inactivate *E. coli* and *S. aureus* bacteria. Activated under blue light, curcumin showed a strong antimicrobial effect by producing singlet oxygen and releasing zinc ions in an acidic environment (Cai et al., 2021).

By adding ascorbic acid, iron powder and copper chloride (CuCl_2) into PCL films, the films also gain the ability to scavenge oxygen in the package. This application can be beneficial to increase the shelf life and the quality of foods susceptible to oxidation (Mahieu et al., 2015). Sodium metabisulfite (SM) has oxygen scavenging, antioxidant, anti-browning, antimicrobial and antiseptic properties and is generally considered safe by the FDA, making it a candidate for use in multifunctional packaging films. A study incorporating SM into PCL found that the film greatly slowed browning of freshly cut apples and increased the oxygen scavenging, antioxidant, and antimicrobial capacities of films (Jeong et al., 2020). Antioxidant and antimicrobial peptides can also add various functions by joining the PCL polymer. For this purpose, a multilayered film was formed with PCL by encapsulating the antimicrobial palindromic peptide LfcinB (21-25) Pal into pullulan (PUL) electrofibres. PUL is a polysaccharide of microbial origin produced by *Aureobasidium pullulans*. The antimicrobial peptides used, by inhibiting the enzymatic activities of the cell walls of microorganisms and protein synthesis, disrupted the structural integrity and showed antimicrobial properties (Rodríguez-Sánchez et al., 2020; Rodríguez-Sánchez et al., 2023).

There are many types of mushrooms used for medicinal purposes in nature. Mushroom extracts can be used as polymer additives due to the dozens of substances they contain, such as proteins, peptides, fatty acids, nucleotides, steroids, sterols, phenolic compounds, terpenes, carbohydrates. In a study, *Ganoderma lucidum* extract was used as a mushroom variety to fortify PCL nanofibers.

4. Kaynaklar

Alonso-González, M., Corral-González, A., Felix, M., Romero, A., and Martin-Alfonso, J. E. (2020). Developing active poly(vinyl alcohol)-based membranes with encapsulated antimicrobial enzymes via electrospinning for food packaging. *International Journal of Biological*

Modified PCL nanofibers increased the oxidative stability of rainbow trout fillets during storage (Nabati et al., 2023). Antimicrobial enzymes can also be used as bioactive substances in packaging. The glucose oxidase (GO) enzyme reacts with D-glucose units to produce hydrogen peroxide (H_2O_2), which damages the cell membrane. Films consisting of polyvinyl alcohol (PVOH) and double PCL membrane in which GO was immobilized inhibited *E. coli* bacteria (Alonso-González et al., 2020).

3. Conclusion

In this literature study, the food packaging applications of the modified PCL polymer in recent years are included. Today, studies on PCL have generally focused on strengthening the mechanical, gas barrier and thermal properties, which are the disadvantageous side of PCL, and functionalizing the polymer with various chemicals. These studies show us that PCL is a suitable alternative for producing packaging materials that do not harm the environment with its biodegradable nature and meet the requirements of the industry. While modifications to PCL can only be in the form of adding bioactive components, there are many studies in which many modifications are applied together. For this reason, an improvement can give the PCL film both structural and antimicrobial features. This versatile approach expands the usage areas of the polymer. Film production techniques developed in recent years have turned packaging films into sensors used for different purposes. This sensor-packaging approach opens new horizons, especially in preserving food quality and reducing the negative effects of microbial spoilage on shelf life. Since the chemicals used in modifying the PCL polymer should not pose a health threat, it is also important to obtain these chemicals from plant sources. Since plants are extremely rich in antimicrobial and antioxidant, these capacities are studied for functionalizing the films. In addition, many substances that are not harmful to human health, such as nanoclays, enzymes, peptides, acids, nanometals, and graphene are used in PCL modification. As the demand for biodegradable and functional polymers such as PCL will increase due to decreasing natural resources in the future, studies on PCL will gain more importance.

Macromolecules, 162, 913–921.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.217>

Amini, E., Valls, C., and Roncero, M. B. (2023). Promising nanocomposites for food packaging based on cellulose – PCL films reinforced by using

- ZnO nanoparticles in an ionic liquid. *Industrial Crops and Products*, 193(December 2022), 116246. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116246>
- Amorim, L. F. A., Fangueiro, R., and Gouveia, I. C. (2022). Novel functional material incorporating flexirubin-type pigment in polyvinyl alcohol-kefir/polycaprolactone nanofibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(48), 1–13. <https://doi.org/10.1002/app.53208>
- Bartnikowski, M., Dargaville, T. R., Ivanovski, S., and Huttmacher, D. W. (2019). Degradation mechanisms of polycaprolactone in the context of chemistry, geometry and environment. *Progress in Polymer Science*, 96, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.05.004>
- Bastarrachea, L., Dhawan, S., and Sablani, S. S. (2011). Engineering Properties of Polymeric-Based Antimicrobial Films for Food Packaging. *Food Engineering Reviews*, 3(2), 79–93. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9034-8>
- Beltrán, A., Valente, A. J. M., Jiménez, A., and Garrigós, M. C. (2014). Characterization of poly(ϵ -caprolactone)-based nanocomposites containing hydroxytyrosol for active food packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(10), 2244–2252. <https://doi.org/10.1021/jf405111a>
- Benhacine, F., Ouargli, A., and Hadj-Hamou, A. S. (2019). Preparation and Characterization of Novel Food Packaging Materials Based on Biodegradable PCL/Ag-Kaolinite Nanocomposites with Controlled Release Properties. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 58(3), 328–340. <https://doi.org/10.1080/03602559.2018.1471714>
- Bujok, S., Peter, J., Halecký, M., Ecorchard, P., Macháľková, A., Santos Medeiros, G., Hodan, J., Pavlova, E., and Beneš, H. (2021). Sustainable microwave synthesis of biodegradable active packaging films based on polycaprolactone and layered ZnO nanoparticles. *Polymer Degradation and Stability*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2021.109625>
- Cai, Y., Guan, J., Wang, W., Wang, L., Su, J., and Fang, L. (2021). pH and light-responsive polycaprolactone/curcumin@zif-8 composite films with enhanced antibacterial activity. *Journal of Food Science*, 86(8), 3550–3562. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15839>
- Cai, Z., Shen, C., Deng, Z., Wu, D., and Chen, K. (2022). Solution blow spinning of multilayer polycaprolactone/curcumin-loaded gelatin/polycaprolactone nanofilm for slow release and bacterial inhibition. *Food Hydrocolloids for Health*, 2(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100062>
- Cao, Y., Shen, C., Yang, Z., Cai, Z., Deng, Z., and Wu, D. (2022). Polycaprolactone/polyvinyl pyrrolidone nanofibers developed by solution blow spinning for encapsulation of chlorogenic acid. *Food Quality and Safety*, 6(February), 1–10. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyac014>
- Carothers, W. H., G. Dorrough, G. L. and Natta, F. V. (1932). Studies of polymerization and ring formation. X. The reversible polymerization of six-membered cyclic esters. *Journal of the American Chemical Society*, 54(5), 761–772.
- Cesur, S. (2018). The Effects of Additives on the Biodegradation of Polycaprolactone Composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(4), 1425–1444. <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1029-y>
- Cesur, S., Köroğlu, C., and Yalçın, H. T. (2018). Antimicrobial and biodegradable food packaging applications of polycaprolactone/organo nanoclay/chitosan polymeric composite films. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 24(4), 376–387. <https://doi.org/10.1002/vnl.21607>
- Chavalitpanya, K., and Phattananarudee, S. (2013). Poly(lactic acid)/polycaprolactone blends compatibilized with block copolymer. *Energy Procedia*, 34, 542–548. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.783>
- Choi, I., Yoo, D. S., Chang, Y., Kim, S. Y., and Han, J. (2021). Polycaprolactone film functionalized with bacteriophage T4 promotes antibacterial activity of food packaging toward Escherichia coli. *Food Chemistry*, 346(December 2020), 128883. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128883>
- Correa, J. P., Molina, V., Sanchez, M., Kainz, C., Eisenberg, P., and Massani, M. B. (2017). Improving ham shelf life with a polyhydroxybutyrate/polycaprolactone biodegradable film activated with nisin. *Food Packaging and Shelf Life*, 11, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.11.004>
- El-Naggar, M. E., Hasanin, M., and Hashem, A. H. (2022). Eco-Friendly Synthesis of Superhydrophobic Antimicrobial Film Based on Cellulose Acetate/Polycaprolactone Loaded with the Green Biosynthesized Copper Nanoparticles for Food Packaging Application. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(5), 1820–1832. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02318-9>

- Figuerola-Lopez, K. J., Castro-Mayorga, J. L., Andrade-Mahecha, M. M., Cabedo, L., and Lagaron, J. M. (2018). Antibacterial and barrier properties of gelatin coated by electrospun polycaprolactone ultrathin fibers containing black pepper oleoresin of interest in active food biopackaging applications. *Nanomaterials*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/nano8040199>
- Furquim, F. C., Santos, E. N., Mercante, L. A., Amaral, M. M., Pavinatto, A., and Rodrigues, B. V. M. (2020). Green and low-cost electrospun membranes from polycaprolactone/graphene oxide for Bisphenol A sensing. *Materials Letters*, 274, 128014. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128014>
- Gomes, A. C. D., Silva, K. F., Freitas, A. J., Miranda, K. W. E., Santos, T. A., Borges, S. V., Dias, M. V., and Thomazi, A. C. (2021). Effect of Surfactant on the Formation of Chitosan/ ϵ -Polycaprolactone Blend Films for Food Packaging Applications. *ResearchSquare*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-804708>
- Gorrasi, G., Bugatti, V., Viscusi, G., and Vittoria, V. (2021). Physical and barrier properties of chemically modified pectin with polycaprolactone through an environmentally friendly process. *Colloid and Polymer Science*, 299(3), 429–437. <https://doi.org/10.1007/s00396-020-04699-0>
- Guarás, M. P., Alvarez, V. A., and Ludueña, L. N. (2015). Processing and characterization of thermoplastic starch/polycaprolactone/compatibilizer ternary blends for packaging applications. *Journal of Polymer Research*, 22(9), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10965-015-0817-0>
- Guarino, V., Gentile, G., Sorrentino, L., and Ambrosio, L. (2017). Polycaprolactone: Synthesis, Properties, and Applications. In *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. <https://doi.org/10.1002/0471440264.pst658>
- Guclu, N., Duzyer Gebizli, S., and Orhan, M. (2023). Development of polycaprolactone-based electrospun pH-sensitive sensors as instant colorimetric indicators for food packaging. *Coloration Technology*, November 2022, 1–17. <https://doi.org/10.1111/cote.12701>
- Guo, W., Tao, J., Yang, C., Song, C., Geng, W., Li, Q., Wang, Y., Kong, M., and Wang, S. (2012). Introduction of environmentally degradable parameters to evaluate the biodegradability of biodegradable polymers. *PLoS ONE*, 7(5), 1–6. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038341>
- Harsojuwono, B. A., Arnata, I. W., Hartiati, A., Setiyo, Y., Hatiningsih, S., and Suriati, L. (2022). The Improvement of the Modified Starch—Glucomannan—Polyvinyl Alcohol Biothermoplastic Composite Characteristics With Polycaprolactone and Anhydride Maleic Acid. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6(March), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.844485>
- Holešová, S., Čech Barabaszová, K., Hundáková, M., Ščuková, M., Hrabovská, K., Jozsko, K., Antonowicz, M., and Gzik-Zroska, B. (2021). Development of novel thin polycaprolactone (PCL)/clay nanocomposite films with antimicrobial activity promoted by the study of mechanical, thermal, and surface properties. *Polymers*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/polym13183193>
- İlaslan, K., Tornuk, F., and Durak, M. Z. (2022). Development of polycaprolactone biodegradable films reinforced with silver-doped organoclay and effect on the microbiological quality of ground beef meat. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10), 1–14. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16862>
- Ilyas, R. A., Zuhri, M. Y. M., Norrrahim, M. N. F., Misenan, M. S. M., Jenol, M. A., Samsudin, S. A., Nurazzi, N. M., Asyraf, M. R. M., Supian, A. B. M., Bangar, S. P., Nadlene, R., Sharma, S., and Omran, A. A. B. (2022). Natural Fiber-Reinforced Polycaprolactone Green and Hybrid Biocomposites for Various Advanced Applications. *Polymers*, 14(1), 1–28. <https://doi.org/10.3390/polym14010182>
- Jeong, S., Lee, H. G., Cho, C. H., and Yoo, S. R. (2020). Characterization of multi-functional, biodegradable sodium metabisulfite-incorporated films based on polycaprolactone for active food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 25(April), 100512. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100512>
- Khalid, S., Yu, L., Feng, M., Meng, L., Bai, Y., Ali, A., Liu, H., and Chen, L. (2018). Development and characterization of biodegradable antimicrobial packaging films based on polycaprolactone, starch and pomegranate rind hybrids. *Food Packaging and Shelf Life*, 18(March), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.08.008>
- Khatiwala, V. K., Shekhar, N., Aggarwal, S., and Mandal, U. K. (2008). Biodegradation of Poly(ϵ -caprolactone) (PCL) Film by *Alcaligenes faecalis*. *Journal of Polymers and the Environment*, 16(1), 61–67. <https://doi.org/10.1007/s10924-008-0104-9>

- Khodanazary, A. (2019). Quality characteristics of refrigerated mackerel *Scomberomorus commerson* using gelatin-polycaprolactone composite film incorporated with lysozyme and pomegranate peel extract. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 2056–2070. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1702997>
- Kılınç, M., Tomar, O., and Çağlar, A. (2017). Biodegradable Food Packaging Materials. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 17(3), 988–996. <https://doi.org/10.5578/fmbd.66307>
- Labet, M., and Thielemans, W. (2009). Synthesis of polycaprolactone: A review. *Chemical Society Reviews*, 38(12), 3484–3504. <https://doi.org/10.1039/b820162p>
- Lee, J.-E., and Kim, K. M. (2010). Characteristics of soy protein isolate-montmorillonite composite films. *Journal of Applied Polymer Science*, 118(4), 2257–2263. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.31316>
- Li, T., Zhang, X., Mei, J., Cui, F., Wang, D., and Li, J. (2022). Preparation of Linalool/Polycaprolactone Coaxial Electrospinning Film and Application in Preserving Salmon Slices. *Frontiers in Microbiology*, 13(April). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.860123>
- Lim, B. K. H., and Thian, E. S. (2022). Effects of molecular weight of chitosan in a blend with polycaprolactone and grapefruit seed extract for active packaging and biodegradation. *Food Packaging and Shelf Life*, 34(March), 100931. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100931>
- Lin, W., Ni, Y., and Pang, J. (2020). Size effect-inspired fabrication of konjac glucomannan/polycaprolactone fiber films for antibacterial food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149, 853–860. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.242>
- Lins, L. C., Bugatti, V., Livi, S., and Gorrasi, G. (2018). Ionic liquid as surfactant agent of hydrotalcite: Influence on the final properties of polycaprolactone matrix. *Polymers*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/polym10010044>
- Ludueña, L. N., Kenny, J. M., Vázquez, A., and Alvarez, V. A. (2011). Effect of clay organic modifier on the final performance of PCL/clay nanocomposites. *Materials Science and Engineering A*, 529(1), 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.09.020>
- Mahieu, A., Terrie, C., and Leblanc, N. (2017). Research Article. Role of ascorbic acid and iron in mechanical and oxygen absorption properties of starch and polycaprolactone multilayer film. *Packaging Research*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.1515/pacres-2017-0001>
- Mahieu, A., Terrié, C., and Youssef, B. (2015). Thermoplastic starch films and thermoplastic starch/polycaprolactone blends with oxygen-scavenging properties: Influence of water content. *Industrial Crops and Products*, 72, 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.037>
- Makino, Y., and Hirata, T. (1997). Modified atmosphere packaging of fresh produce with a biodegradable laminate of chitosan-cellulose and polycaprolactone. *Postharvest Biology and Technology*, 10(3), 247–254. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(96\)01402-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(96)01402-0)
- Malik, N. (2022). Thermally exfoliated graphene oxide reinforced polycaprolactone-based bactericidal nanocomposites for food packaging applications. *Materials Technology*, 37(5), 345–354. <https://doi.org/10.1080/10667857.2020.1842150>
- Maraju, P. A., Tata, P., Balapure, A., Ray Dutta, J., and Ganesan, R. (2021). Lactobacillus amylovorus derived lipase-mediated silver derivatization over poly(ϵ -caprolactone) towards antimicrobial coatings. *Enzyme and Microbial Technology*, 150(July), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2021.109888>
- Mathiazhagan, S., Periasamy, V., and Vadivel, A. (2021). Ecofriendly antimicrobial *Acalypha indica* leaf extract immobilized polycaprolactone nanofibrous mat for food package applications. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15302>
- Mohamed, R. M., and Yusoh, K. (2015). A Review on the Recent Research of Polycaprolactone (PCL). *Advanced Materials Research*, 1134, 249–255. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1134.249>
- Mugwagwa, L. R., and Chimphango, A. F. A. (2020). Enhancing the functional properties of acetylated hemicellulose films for active food packaging using acetylated nanocellulose reinforcement and polycaprolactone coating. *Food Packaging and Shelf Life*, 24(August 2019), 100481. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100481>
- Muñoz-Bonilla, A., Cerrada, M. L., Fernández-García, M., Kubacka, A., Ferrer, M., and

- Fernández-García, M. (2013). Biodegradable polycaprolactone-titania nanocomposites: Preparation, characterization and antimicrobial properties. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 9249–9266. <https://doi.org/10.3390/ijms14059249>
- Nabati, S., Aminzare, M., Roohinejad, S., Hassanzad Azar, H., Mohseni, M., Greiner, R., and Tahergorabi, R. (2023). Electrospun polycaprolactone nanofiber containing Ganoderma lucidum extract to improve chemical and microbial stability of rainbow trout fillets during storage at 4°C. *Food Control*, 150(November 2022), 109777. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109777>
- Núñez-Gastélum, J. A., Rodríguez-Núñez, J. R., de la Rosa, L. A., Díaz-Sánchez, A. G., Alvarez-Parrilla, E., Martínez-Martínez, A., and Villa-Lerma, G. (2019). Screening of The Physical and Structural Properties of Chitosan-Polycaprolactone Films Added with Moringa Oleifera Leaf Extract. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(1), 99–105. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n1/Nunez>
- Ortega-Toro, R., Morey, I., Talens, P., and Chiralt, A. (2015). Active bilayer films of thermoplastic starch and polycaprolactone obtained by compression molding. *Carbohydrate Polymers*, 127, 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.080>
- Ortega-Toro, R., Muñoz, A., Talens, P., and Chiralt, A. (2016). Improvement of properties of glycerol plasticized starch films by blending with a low ratio of polycaprolactone and/or polyethylene glycol. *Food Hydrocolloids*, 56, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.029>
- Paula, M., Diego, I., Dionisio, R., Vinhas, G., and Alves, S. (2019). Gamma irradiation effects on polycaprolactone/zinc oxide nanocomposite films. *Polimeros*, 29(1), 1–7. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.04018>
- Pineros-Guerrero, N., Marsiglia-Fuentes, R., and Ortega-Toro, R. (2021). Improvement of the physicochemical properties of composite materials based on cassava starch and polycaprolactone reinforced with sodium montmorillonite. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 20(3). <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim2416>
- Piri, H., Moradi, S., and Amiri, R. (2021). The fabrication of a novel film based on polycaprolactone incorporated with chitosan and rutin: potential as an antibacterial carrier for rainbow trout packaging. *Food Science and Biotechnology*, 30(5), 683–690. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00898-9>
- Reis, R. S., Souza, D. de H. S., Marques, M. de F. V., da Luz, F. S., and Monteiro, S. N. (2021). Novel bionanocomposite of polycaprolactone reinforced with steam-exploded microfibrillated cellulose modified with ZnO. *Journal of Materials Research and Technology*, 13, 1324–1335. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.043>
- Rešček, A., Ščetar, M., Hrnjak-Murgić, Z., Dimitrov, N., and Galić, K. (2016). Polyethylene/Polycaprolactone Nanocomposite Films for Food Packaging Modified with Magnetite and Casein: Oxygen Barrier, Mechanical, and Thermal Properties. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 55(14), 1450–1459. <https://doi.org/10.1080/03602559.2016.1163606>
- Reshmi, C. R., Sundaran, S. P., Juraij, A., and Athiyanaithil, S. (2017). Fabrication of superhydrophobic polycaprolactone/beeswax electrospun membranes for high-efficiency oil/water separation. *RSC Advances*, 7(4), 2092–2102. <https://doi.org/10.1039/c6ra26123j>
- Reul, L. T. A., Pereira, C. A. B., Sousa, F. M., Santos, R. M., Carvalho, L. H., and Canedo, E. L. (2019). Polycaprolactone/babassu compounds: Rheological, thermal, and morphological characteristics. *Polymer Composites*, 40, E540–E549. <https://doi.org/10.1002/pc.24861>
- Rhim, J. W., Park, H. M., and Ha, C. S. (2013). Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, 38(10–11), 1629–1652. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.05.008>
- Rodríguez-Sánchez, I. J., Rivera-Monroy, Z. J., García-Castañeda, J. E., Clavijo-Grimaldo, D., Fuenmayor, C. A., and Zuluaga-Domínguez, C. M. (2023). Multilayer polycaprolactone - pullulan nanofiber mats incorporated with the antimicrobial palindromic peptide LfcinB (21-25)Pal as a potential application in active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 38(February). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101110>
- Rodríguez-Sánchez, I. J., Vergara-Villa, N. F., Clavijo-Grimaldo, D., Fuenmayor, C. A., and Zuluaga-Domínguez, C. M. (2020). Ultrathin single and multiple layer electrospun fibrous membranes of polycaprolactone and polysaccharides. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 35(4–5), 351–362. <https://doi.org/10.1177/0883911520944422>

- Rojas, A., Velásquez, E., Piña, C., Galotto, M. J., and López de Dicastillo, C. (2021). Designing active mats based on cellulose acetate/polycaprolactone core/shell structures with different release kinetics. *Carbohydrate Polymers*, 261(February), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117849>
- Sachan, R., Warkar, S. G., and Purwar, R. (2023). An overview on synthesis, properties and applications of polycaprolactone copolymers, blends & composites. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 62(3), 327–358. <https://doi.org/10.1080/25740881.2022.2113890>
- Sadeghi, A., Razavi, S. M. A., and Shaharampour, D. (2022). Fabrication and characterization of biodegradable active films with modified morphology based on polycaprolactone-poly(lactic acid)-green tea extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 205(October 2021), 341–356. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.070>
- Salmieri, S., and Lacroix, M. (2006). Physicochemical properties of alginate/polycaprolactone-based films containing essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(26), 10205–10214. <https://doi.org/10.1021/jf062127z>
- Sanchez-Garcia, M. D., and Lagaron, J. M. (2010). Novel clay-based nanobiocomposites of biopolyesters with synergistic barrier to UV light, gas, and vapour. *Journal of Applied Polymer Science*, 118(1), 188–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.31986>
- Sanchez-Garcia, M. D., Ocio, M. J., Gimenez, E., and Lagaron, J. M. (2008). Novel polycaprolactone nanocomposites containing thymol of interest in antimicrobial film and coating applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 24(3–4), 239–251. <https://doi.org/10.1177/8756087908101539>
- Sarasam, A. R., Krishnaswamy, R. K., and Madhally, S. V. (2006). Blending chitosan with polycaprolactone: Effects on physicochemical and antibacterial properties. *Biomacromolecules*, 7(4), 1131–1138. <https://doi.org/10.1021/bm050935d>
- Seyrek, M. E., Okur, M., and Saraçoğlu, N. (2021). Improvement of mechanical, thermal and antimicrobial properties of organically modified montmorillonite loaded polycaprolactone for food packaging. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 27(4), 894–908. <https://doi.org/10.1002/vnl.21860>
- Shaharampour, D., Razavi, S. M. A., and Sadeghi, A. (2023). Evaluation of green tea extract incorporated antimicrobial/antioxidant/biodegradable films based on polycaprolactone/poly(lactic acid) and its application in cocktail sausage preservation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 1058–1067. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01670-1>
- Shanbehzadeh, F., Saei-Dehkordi, S. S., and Semnani, D. (2022). Fabrication and characterization of electrospun nanofibrous mats of polycaprolactone/gelatin containing ZnO nanoparticles and cumin essential oil and their anti-staphylococcal potency in white cheese. *Food Bioscience*, 49(April), 101904. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101904>
- Shi, C., Zhou, A., Fang, D., Lu, T., Wang, J., Song, Y., Lyu, L., Wu, W., Huang, C., and Li, W. (2022). Oregano essential oil/ β -cyclodextrin inclusion compound poly(lactic acid)/polycaprolactone electrospun nanofibers for active food packaging. *Chemical Engineering Journal*, 445(November 2021), 136746. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136746>
- Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., and Rosa, M. D. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 19(12), 634–643. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.07.003>
- Sogut, E., and Seydim, A. C. (2018). Development of Chitosan and Polycaprolactone based active bilayer films enhanced with nanocellulose and grape seed extract. *Carbohydrate Polymers*, 195(April), 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.071>
- Sogut, E., and Seydim, A. C. (2019). The effects of chitosan- and polycaprolactone-based bilayer films incorporated with grape seed extract and nanocellulose on the quality of chicken breast fillets. *Lwt*, 101(November 2018), 799–805. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.097>
- Sogut, E., Seydim, A. C., and Chiralt, A. (2021). Development of chitosan/cycloolefin copolymer and chitosan/polycaprolactone active bilayer films incorporated with grape seed extract and carvacrol. *Journal of Polymer Research*, 28(8). <https://doi.org/10.1007/s10965-021-02685-w>
- Takala, P. N., Salmieri, S., Boumail, A., Khan, R. A., Vu, K. D., Chauve, G., Bouchard, J., and Lacroix, M. (2013). Antimicrobial effect and physicochemical properties of bioactive trilayer polycaprolactone/methylcellulose-based films on

the growth of foodborne pathogens and total microbiota in fresh broccoli. *Journal of Food Engineering*, 116(3), 648–655. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.005>

Ullah, A., Sun, L., Wang, F. fei, Nawaz, H., Yamashita, K., Cai, Y., Anwar, F., Khan, M. Q., Mayakrishnan, G., and Kim, I. S. (2023). Eco-friendly bioactive β -caryophyllene/halloysite nanotubes loaded nanofibrous sheets for active food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 35(September 2022), 101028. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101028>

Uzunlu, S., and Niranjan, K. (2017). Laboratory antimicrobial activity of cinnamaldehyde and pomegranate-based polycaprolactone films. *Journal of Applied Polymer Science*, 134(39), 1–9. <https://doi.org/10.1002/app.45347>

Wang, K., Lim, P. N., Tong, S. Y., and Thian, E. S. (2019). Development of grapefruit seed extract-loaded poly(ϵ -caprolactone)/chitosan films for antimicrobial food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 22(September), 100396. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100396>

Wu, C. S., and Liao, H. T. (2012). Polycaprolactone-based green renewable ecomposites made from rice straw fiber: Characterization and assessment of mechanical and thermal properties. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 51(8), 3329–3337. <https://doi.org/10.1021/ie202002p>

Wu, Q., Ma, N., Liu, T., and Koranteng, E. (2019). Properties of Compatible Soy Protein Isolate/Polycaprolactone Composite with Special Interface Structure. *Polymer Composites*, 40, E383–E391. <https://doi.org/10.1002/pc.24694>

Yang, T., Zhan, L., and Huang, C. Z. (2020). Recent insights into functionalized electrospun nanofibrous films for chemo-/bio-sensors. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115813>

Yang, Z., Peng, H., Wang, W., and Liu, T. (2010). Crystallization behavior of poly(ϵ -caprolactone)/layered double hydroxide nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 116(5), 2658–2667. <https://doi.org/10.1002/app>

Yavari Maroufi, L., PourvatanDoust, S., Naeijian, F., and Ghorbani, M. (2022). Fabrication of Electrospun Polycaprolactone/Casein Nanofibers Containing Green Tea Essential Oils: Applicable for Active Food Packaging. *Food and Bioprocess Technology*, 15(11), 2601–2615. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02905-1>

Zhang, S., Campagne, C., and Salaün, F. (2019). Influence of solvent selection in the electrospraying process of polycaprolactone. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/app9030402>

Zhao, X., Shi, T. J., Liu, Y. Y., and Chen, L. J. (2022). Porphyrinic Metal-Organic Framework-Loaded Polycaprolactone Composite Films with a High Photodynamic Antibacterial Activity for the Preservation of Fresh-Cut Apples. *ACS Applied Polymer Materials*. <https://doi.org/10.1021/acsapm.2c01667>

Zou, Y., Sun, Y., Shi, W., Wan, B., and Zhang, H. (2023). Dual-functional shikonin-loaded quaternized chitosan/polycaprolactone nanofibrous film with pH-sensing for active and intelligent food packaging. *Food Chemistry*, 399(August 2022), 133962. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133962>

Özgün Araştırma/Original Article

Trachystemon orientalis (L.) G. Don bitkisinin antioksidan aktivite, toplam fenolik madde içeriği ve α -glukozidaz enzimi inhibisyon potansiyelinin araştırılması

Investigation of antioxidant activity, total phenolic content and α -glucosidase enzyme inhibition potential of *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don plant

Fatma Cebeci^{1*} , Tayyibe Erten¹ 

¹Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, BAYBURT-TÜRKİYE

ORCID ID: 0000-0003-4715-6689, Dr. Öğr. Üyesi

ORCID ID: 0000-0002-2150-2726, Dr. Öğr. Üyesi

* Sorumlu yazar/Corresponding author: fatmacebeci@bayburt.edu.tr

Geliş Tarihi : 23.02.2024

Kabul Tarihi : 08.05.2024

Öz

Amaç: Bu çalışmanın amacı *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don bitkisini yaprak, sap ve rizom olarak 3 kısma ayırıp, bu kısımların protein içeriğini, antioksidan aktivitesini, toplam fenolik madde içeriğini ve α -glukozidaz inhibisyon oranını belirlemektir.

Materyal ve Yöntem: Bitkinin proksimet analizleri Association of Official Analytical Chemists'in (AOAC) metotlarına göre yapılmıştır. Antioksidan aktivite, toplam fenolik madde analizleri ve α -glukozidaz inhibisyonunun belirlenmesinde ise spektrofotometrik yöntemler kullanılmıştır. Örnekler arasındaki farklılıkların değerlendirilmesinde tek yönlü ANOVA ve Tukey testi uygulanmıştır ($p<0,05$).

Tartışma ve Sonuç: Bitkinin yaprak, sap ve rizom kısımlarının içerdiği kül ve kuru madde oranları istatistiksel olarak anlamlı farklılık içermektedir. Buna karşın protein oranı en çok yaprak kısmından elde edilirken (%15,67), sap ve rizom kısımlarında önemli bir fark görülmemiştir. DPPH ve ABTS yöntemleriyle antioksidan aktivitesi ölçüldüğünde; en yüksek antioksidan aktivite rizom kısmında, ardından sırasıyla yaprak ve sap kısımlarında görülmüştür ($p<0,05$). Yaprak, sap, rizom kısımlarının toplam fenolik madde içeriği, antioksidan aktivite sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Toplam fenolik madde içeriği rizom>yaprak>sap şeklinde, sırasıyla $2,78 \pm 0,04$; $1,11 \pm 0,06$ ve $0,81 \pm 0,07$ mg GAE/ g taze ağırlık olarak bulunmuştur. Yaprak ($52,06 \pm 2,87$) ve rizom ($54,34 \pm 1,10$) ekstraktlarının α -glukozidaz inhibisyon değerleri standart α -glukozidaz inhibitörü olan akarboza ($43,05 \pm 1,27$) göre daha yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Sonuç olarak bu çalışma, *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don bitkisinin protein içeriği açısından önemli olduğunu; antioksidan ve antidiyabetik özellikleriyle insan sağlığını destekleyebileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: *Trachystemon orientalis*; antioksidan aktivite; protein; toplam fenolik madde; α -glukozidaz

Abstract

Objective: This study aims to determine the protein content, antioxidant activity, total phenolic content, and α -glucosidase inhibition rate of the parts of *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don plant separating the plant into 3 parts: leaf, stem, and rhizome.

Material and Method: Proximate analyses of the plant were made according to the methods of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Spectrophotometric methods were used to determine antioxidant activity, total phenolic content analysis, and α -glucosidase inhibition. One-way ANOVA and Tukey tests were applied to evaluate the differences between samples ($p<0.05$).

Results and Conclusion: The ash and dry matter ratios of the leaf, stem, and rhizome parts of the plant were found as statistically significant. While the highest protein content was obtained from the leaf (15.67%), no significant difference was observed between the stem and rhizome. The highest antioxidant activity was

observed in the rhizome, followed by the leaf and stem, respectively ($p<0.05$) for DPPH and ABTS methods. The results of the total phenolic content of leaf, stem, and rhizome were compatible with the antioxidant activity results, and the total phenolic content was found as rhizome>leaf>stem with the values of 2.78 ± 0.04 , 1.11 ± 0.06 and 0.81 ± 0.07 mg GAE /g fresh weight, respectively. In addition, the α -glucosidase inhibition values of leaf (52.06 ± 2.87) and rhizome (54.34 ± 1.10) extracts were found to be higher than the standard α -glucosidase inhibitor acarbose (43.05 ± 1.27) ($p<0.05$). As a result, this study showed that all edible and inedible parts of the *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don plants are important in terms of protein content and it has been revealed that this plant can enhance human health with its antioxidant and antidiabetic properties.

Keywords: *Trachystemon orientalis*; antioxidant activity; protein; total phenolic content; α -glucosidase

1. Giriş

Son yıllarda tüm dünyada gözlenen hızlı nüfus artışı ile birlikte, gıda güvencesi endişesi ve yeterli gıda kaynaklarının araştırılması daha fazla önem kazanmıştır. Bu amaçla mevcut gıda kaynaklarının iyileştirilmesinin yanı sıra, yerel olarak tüketilebilen bazı yabani bitkilerin tüketim potansiyelleri de bu araştırmalar içerisinde değerlendirilmektedir (Kaur ve Roy, 2021). Yaygın olarak tüketilmeyen ancak belirli bölgelerde tüketimi olan bu bitkilerin, sürdürülebilir üretim potansiyellerinin de araştırılarak tüketilebilir gıda zincirine eklenmesinin, hem bitki biyoçeşitliliğine hem de beslenmeye katkı sağlayacağı da öngörülmektedir. Çünkü bu bitkilerin tüketilebilen/tüketilemeyen kısımlarının bazı besin öğeleri ve biyoaktif bileşenler açısından değerli olduğu yapılan çalışmalarda bildirilmektedir. Dolayısıyla son çalışmalar, yerel olarak tüketilen bu bitkilerin diyetle eklenmesi ya da yeni fonksiyonel gıda formülasyonlarında muhtemel kullanımı üzerine yoğunlaşmaktadır (Bekar vd., 2021; Iqbal vd., 2022).

Trachystemon orientalis (L.) G. Don, Boraginaceae (Hodangiller) ailesinin üyesi olup ülkemizin kuzey kıyılarında nemli bölgelerde yetişen rizomlu (köksap), yaprakları tüylü, mavi-kırmızı çiçekli, yörede ise 'kaldirik otu' adıyla bilinen bir bitkidir. Bitkinin sap kısmı yörede turşu yapımında veya yemeklerde tüketilmekle beraber, kök ve rizom kısımlarının ise ağrı kesici olarak kullanıldığı bildirilmiştir (Ergen Akçin vd., 2004). Daha önce yapılan çalışmalarda, bitkinin nem, C vitamini, protein içeriği ve mineral içeriği gibi özellikleri belirlenmiştir (Özbakır Özer ve Aksoy, 2019). Yapılan in vitro çalışmalarda ise antifungal (Onaran ve Yılar, 2012), antioksidan (Özen, 2010; Sacan, 2018; Demir, 2022; Bıyık vd., 2023), antidiyabetik, antimutajenik (Ayhan vd. 2019) etkileri olduğu saptanmıştır. Bitkinin değişik kısımlarının biyoaktif maddelerden antosiyanin (Sadikoğlu ve Cevahir, 2014) ve diğer fenolik bileşenleri içerdiği (Demir, 2022) bulunmuştur. Sürdürülebilirlik çerçevesinde, bitkinin sağlık ve gıda endüstrisi açısından önemli olabileceği düşünülmektedir nitekim Tarım ve Orman Bakanlığı'nın Risk Değerlendirme Daire Başkanlığı tarafından yayınlanan bitki listesinde *T. orientalis* bitkisinin toprak üstü kısmının kullanılabilir olduğu belirtilmiştir (Anonim, 2023). Buna göre bitkinin yaprak ve sap kısmının tüketilebilir olduğu değerlendirilmiştir.

α -Glukosidaz enzimi ince bağırsağın fırçası kenarında bulunan ve karbonhidratları

monosakkaritlere parçalayan bir enzimdir. α -Glukozidaz inhibitörleri ise glikoz düzeyini düşürücü ilaç grubudur ve karbonhidratların emilimini geciktirerek postprandiyal glikoz ve insülin zirvelerini azaltmaktadır (Lin vd., 2023). Hiperglisemi durumunda vücutta reaktif oksijen türleri üretiminin daha fazla olduğu, bu nedenle anti-diyabetiklerde antioksidanların kullanımının hiperglisemiyi kontrol altına almakta daha başarılı olacağı önerilmektedir (Hussain vd., 2019). Ancak kullanılan sentetik inhibitörlerin gaz, şişkinlik, mide ağrısı, ishal gibi yan etkileri nedeniyle doğal kaynaklardan yeni inhibitörlerin keşfedilmesine yönelik bir talep gözlenmektedir (Mohd Bukhari vd., 2017). Bu nedenlerle son yıllarda antioksidanlar açısından zengin tıbbi aromatik bitkilerin antidiyabetik potansiyelleri de araştırmalara dahil edilmektedir (Andrade-Cetto vd., 2008; Trinh vd., 2021).

Ülkemiz tıbbi aromatik bitkiler açısından zengin bir coğrafyadır ve *T. orientalis* bu aromatik bitkilerden biridir. Daha önceki çalışmalarda bitkinin antioksidan aktivitesinin incelendiği ancak bitkinin tüm kısımlarının incelenmediği ve farklı metotlarla araştırmaların yapıldığı gözlenmektedir. Bu durum verileri birbirleriyle kıyaslamayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu çalışma; bitkiyi yaprak, sap ve rizom olarak 3 kısma ayırıp, bu kısımların protein içeriğini, antioksidan aktivitesini ve toplam fenolik madde içeriğini ayrı ayrı ortaya koymayı hedeflemiştir. Bu çalışma, *T. orientalis* bitkisinin daha önce incelenmemiş rizom kısmı ve farklı kısımlarından elde edilen ekstraktlarında α -glukozidaz inhibisyon potansiyelini incelemeyi de hedeflemiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Örneklerin temin edilmesi

Trachystemon orientalis (L.) G. Don bitkisi, Mart-Nisan 2022 tarihleri arasında yaprak, sap ve rizom da dahil olarak bütün halinde, Giresun Eynesil ilçesinden (Enlem: 41° 3' 49" Kuzey, Boylam: 39° 8' 30" Doğu) toplanmıştır (Şekil 1). Bitkinin tanımlanması mevcut bilgilere göre değerlendirilmiş ve *T. orientalis* (L.) G. Don olduğu saptanmıştır (Ergen Akçin vd., 2004). Bitkinin yaprak, sap ve rizom kısımları ayrılıp oda koşullarında kurutulmuştur. Kurutulan örnekler bir kahve öğütücü kullanılarak öğütülmüş ve analizlere kadar buzdolabı sıcaklığında (+4 °C) bekletilmiştir.



Şekil 1. *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don bitkisi

2.2. Proksimet analizi

Bitkinin farklı kısımlarının içerdiği kuru madde miktarı AOAC 930.04 numaralı metoduna göre belirlenmiştir. Buna göre sabit tartıma getirilmiş kaplara 2 g taze bitki kısımları alınarak etüvde (Mommert, Schwabach, Almanya) 3 saat boyunca 105 °C de kurutulmuştur. İlk ve son tartımlar arası farktan, örneğe ait toplam kuru madde miktarı yüzde olarak hesaplanmıştır (AOAC, 2015).

Örneklerin toplam kül miktarı standart metoda göre belirlenmiştir (AOAC, 2015; 923.03). Buna göre; bitki kısımlarından 2'şer g tartılarak, kül fırınında (Carbolite Gero, İngiltere) 550°C 'de 4 saat süreyle yakılmıştır. Analiz sonrası kül miktarları % olarak hesaplanmıştır.

Bitkinin rizom, sap ve yaprak kısımlarının protein miktarları ise AOAC'nin (2015), 976.05 numaralı metoduna göre Kjeldahl yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre; 2'şer gram örnek, yakma tüplerinde Kjeldahl tableti ve sülfirik asitle yakılmıştır. Daha sonra 0,1N hidroklorik asit ile titre edilmiş ve nitrojen miktarları belirlenmiştir. Protein miktarının belirlenmesi için 6,25 nitrojen çevirme faktörü kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

2.3. Antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde analizleri

Bitkinin farklı kısımlarının sahip olduğu antioksidan aktivite tayini için metanol ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için 2 g kurutulmuş örnek 20 ml metanol ile oda sıcaklığında 24 saat süreyle çalkalamalı inkübatör kullanılarak ekstre edilmiştir. Ekstraksiyon sonunda örnekler 5000 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüj edilmiş (Universal 320 R, Hettich,

Almanya) ve üst faz toplanmıştır. Katı kısımda kalabilecek biyoaktif bileşenler için çökteltiye 20 ml metanol eklenip yıkama yapılmış, santrifüjlenerek tekrar sıvı faz toplanmıştır. Elde edilen sıvı kısımlar birleştirilip rotary evaporatör (Heizbad Hei-Vap, Heidolph, Almanya) kullanılarak metanolün fazlası uçurulmuş ve son hacim metanol ile 10 ml'ye ayarlanmıştır. Bu sıvı faz, bitkinin farklı kısımlarındaki 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikali ve 2,2-azinobis(3-etilbenzothiazollin-6-sulfonik asit) (ABTS) radikali süpürücü etki yöntemleri ile antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde tayininde kullanılmıştır.

2.3.1. DPPH radikali süpürücü etki yöntemi

DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite belirlenmesinde Gu vd. tarafından (2019) kullanılan mikrolaka metodu bazı modifikasyonlarla kullanılmıştır. Metanol içerisinde 0,1 mM DPPH çözeltisi hazırlanıp, DPPH radikali solüsyonundan 260 µl, uygun düzeyde seyreltilmiş örneklerden ise 40 µl eklenip karıştırılmıştır. Karışım oda sıcaklığında 30 dakika inkübe edildikten sonra absorbans 517 nm'de mikrolaka okuyucu (Multiscan FC Mikrolaka Okuyucu, Thermo Fisher Scientific, Amerika) kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar, ağırlığının gramı başına mg askorbik asit eşdeğeri (AAE) olarak ifade edilmiştir (mg AAE/g taze ağırlık). Askorbik asit standart eğrisini oluşturmak için ise metanolde 0-50 µg/ml aralığında askorbik asit konsantrasyonları kullanılmıştır.

2.3.2. ABTS radikali süpürücü etki yöntemi

ABTS ile antioksidan aktivite belirlenmesinde Gu vd. tarafından (2019) kullanılan mikrolaka metodu bazı modifikasyonlarla kullanılmıştır. Öncelikle, 5 ml 7 mM ABTS çözeltisi 88 µL 140 mM potasyum persülfat çözeltisi ile karıştırılıp, karışım 16 saat boyunca oda sıcaklığında karanlıkta bekletilmiştir. Daha sonra 0,5 ml ABTS çözeltisi, 45 ml etanol eklenerek seyreltilmiş ve absorbansı 734 nm'de 0,7 olacak şekilde ayarlanıp ABTS ölçüm çözeltisi hazırlanmıştır. Ardından örnekler (10 µl) ve 290 µl hazırlanan ABTS ölçüm çözeltisini karıştırılmış, oda sıcaklığında 6 dakika inkübe edilmiştir. Absorbans 734 nm'de mikrolaka okuyucu (Multiscan FC Mikrolaka Okuyucu, Thermo Fisher Scientific, Amerika) kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar, ağırlığının gramı başına mg askorbik asit eşdeğeri (AAE) olarak ifade edilmiştir (mg AAE/g taze ağırlık). Askorbik asit standart eğrisini oluşturmak için ise metanolde 0-100 µg/ml aralığında askorbik asit konsantrasyonları kullanılmıştır.

2.3.3. Toplam fenolik madde analizi

Toplam fenolik madde ölçümü Zlatanović vd. (2019)'a göre Folin-Ciocalteu metodu kullanılarak yapılmıştır. Bitki kısımlarından elde edilen ekstraktlardan 0,25 ml alınarak, 1:10 oranında seyreltilmiş Folin-Ciocalteu standardı ile karıştırılmış ve 6 dakika reaksiyona bırakılmıştır. Bu süre sonunda 1 ml (75g/l) sodyum karbonat solüsyonu eklenerek çalkalanmıştır. Daha sonra ekstraksiyonlar, reaksiyon için 2 saat karanlıkta ve oda sıcaklığında bekletildikten sonra, örneklerin absorbans değerleri 765 nm'de (UV 1800 Spektrofotometre, Shimadzu, Japonya) ölçülmüştür. Sonuçlar, galik asit eşdeğer cinsinden mg (GAE)/g taze ağırlık olarak ifade edilmiştir.

2.4. α-Glukozidaz enzim inhibisyon tayini

α-Glukozidaz enzim inhibisyonu için 50 mM asetat tamponu (pH 6) içinde belirli konsantrasyonda (1 mg/ml) yaprak, sap ve rizom ekstraktları hazırlanmıştır. Ekstraksiyon yukarıda belirtildiği gibi yürütülmüş, en son rotary evaporatörde (Heizbad Hei-Vap, Heidolph, Almanya) tüm metanol uçurulmuş ve elde edilen ekstrakt tamamen kurutulularak tartılmış ve tampon içinde istenen konsantrasyona ayarlanmıştır.

Enzim inhibisyonu tayinininde Verma vd. (2012) tarafından raporlanan metot kullanılmıştır. Ekstraktların inhibisyon değerini belirlemek için 50 mM asetat tamponu (pH 6) içinde ekstrakt (200 µl) ve 2 mU/µl α-glukozidaz (50 µl) içeren reaksiyon karışımı, 37°C'de 10 dakika süreyle inkübe edilmiştir. Ardından karışıma 2 mM p-nitro fenil-α-D-glukopiranozid (0,5 ml) ilave edilip tekrar 10 dakika boyunca 37°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda reaksiyon 0,2 M sodyum karbonat (0,9 ml) eklenerek sonlandırılmıştır. Absorbans 405 nm'de spektrofotometre (UV 1800, Shimadzu, Japonya) kullanılarak ölçülmüştür. Ekstrakt yerine 50 mM asetat tamponu (200 µl), 2 mU/µl α-glukozidaz (50 µl) ve 2 mM p-nitro fenil-α-D-glukopiranozid (0,5 ml) substratı içeren reaksiyon karışımı, pozitif kontrol olarak kullanılmıştır. Her ekstrakt için negatif kontrol hazırlanmış ve 0,2 M sodyum karbonat, enzim aktivitesini bloke etmek için reaksiyonun başlangıcında ilave edilmiştir. Bitki ekstraktlarının enzim inhibisyon potansiyeli ile karşılaştırma yapmak için standart bir α-glukozidaz inhibitörü olan akarboz kullanılmıştır ve % inhibisyon aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\text{İnhibisyon} = \left(1 - \frac{\text{Absorbans (ekstrakt)} - \text{Absorbans (negatif kontrol)}}{\text{Absorbans (pozitif kontrol)}}\right) \times 100$$

2.5. İstatistiksel analiz

Verilerin istatistiksel analizinde IBM SPSS Statistics Versiyon 22 programı kullanılmış, sonuçlar üç tekrarın ortalaması ± standart sapma olacak şekilde sunulmuştur. Ortalamalar arasındaki istatistiksel anlamlılık tek yönlü ANOVA ve Tukey testi kullanılarak (% 95 güven aralığında) saptanmış ve p<0,05 değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

3. Tartışma ve Sonuç

Bitkinin yaprak, sap ve rizom kısımlarının proksimet analizi sonuçları Çizelge 1'de sunulmuştur. Buna göre kuru madde, kül ve protein oranları bitkinin farklı kısımlarında istatistiksel olarak anlamlı (p<0,05) bulunmuştur. Özellikle kuru madde oranı, %37,10 ± 0,22 ile bitkinin en çok rizom kısmından elde edilmiştir. Daha önceden bu bitki ile yapılan çalışmalar dikkate alındığında, Özbakır Özer ve Aksoy (2019), Karadeniz'in farklı bölgelerinden elde ettikleri bitki örneklerinde, çiçek, sap ve yaprağı içeren bitkide kuru maddeyi %13-22 aralığında bulmuşlardır. Koca vd. (2015)

ise tüm bitkide kuru maddeyi ~ %10,5 oranında bulmuştur. Bitkinin sadece yaprak ve sap kısımları düşünüldüğünde, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile önceki yapılan çalışmalar birbirini desteklemektedir. Ayrıca bu veriler Hint ıspanağının (*Beta vulgaris* var. *bengalensis*) (%18,27) ve kıvırcık lahananın (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* D.C.)(%21,7) kuru madde oranı ile de benzerlik göstermektedir (Lefsrud vd., 2008; Jabeen vd., 2018). Ancak bitkinin rizom kısmında herhangi bir çalışma yapılmadığı için, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılacak bir literatür bilgisi bulunmamaktadır. Kül sonuçlarına göre ise; kül miktarları bitki kısımlarına göre istatistiki olarak anlamlı farklılık göstermektedir (p<0,05). Buna göre en çok kül miktarı %19,32 ± 0,04 ile sapta gözlenirken, yaprakta %16,86 ± 0,28 olarak belirlenmiştir. Özbakır Özer ve Aksoy (2019) tarafından yürütülen çalışmada ise yaprak, sap ve çiçeğin bir arada bulunduğu bitki örneklerinde, farklı bölgelerden elde edilen örneklerin kül miktarları %9,12-17,00 aralığında saptanmıştır. Bu

çalışmadan elde edilen kül oranlarına bakıldığında, en yakın kül oranının Ordu ili Akkuş ilçesinden elde edilen değer ile benzerlik gösterdiği bulunmuştur. Kül değerleri arasındaki gözlenen bu farklılık, bitkinin yetiştirme şartlarının önemini göstermekte ve coğrafik şartların bitkinin toplam mineral değerini etkilediğini de işaret etmektedir. Buna ilaveten bu çalışmada elde edilen yaprak % kül değeri, bu bitkinin yaprak yapısına benzerlik gösteren *Althaea officinalis*'in yaprak kül oranı (%17,27) ile benzerlik gösterirken, kökteki kül oranının (%7,27), *T. orientalis* bitkisinden daha düşük olduğu gözlenmektedir (Kaya vd., 2010). Yapraktaki kül oranı *Salvia officinalis* (%16,23), *Rosmarinus officinalis* (%17,16) ve *Thymus camphoratus* kül oranı ile de benzerlik göstermektedir (Mašković vd., 2017). Protein içeriği incelendiğinde ise, bitkinin yaprak, sap ve rizom kısımlarında protein oranları sırasıyla %15,67, %9,18, %9,05 olarak bulunmuştur.

Özellikle gıda olarak değerlendirilmeyen yaprakların protein oranının diğer kısımlara oranla daha yüksek olduğu gözlenmektedir. *T. orientalis*'in protein içeriği literatürde incelendiğinde, bitkinin toplandığı lokasyona göre farklı aralık değerlerinde bulunduğu görülmektedir. Örneğin Kibar ve Kibar (2017) Amasya, Ordu, Samsun ve Tokat'tan toplamış oldukları tam bitki örneklerinde protein oranını, Kjeldahl yöntemi kullanarak %17,86-19,96 aralığında bulmuşken, Özbakır Özer ve Aksoy (2019) ise %14,3-20,3 aralığında bulmuştur. Dolayısıyla, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatür ile benzerlik göstermekte olup, coğrafik lokasyon farklılığının etkisi görülmektedir. Son yıllarda bitkisel protein kaynaklarına artan ilgi düşünüldüğünde *T. orientalis*'in bitkisel protein kaynağı olarak potansiyeli olduğu ancak bu konuda daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. Proksimet analizi sonuçları

Örnekler	Kuru madde (%)	Kül (%)	Protein (%)
Yaprak	19,90 ± 1,19 ^b	16,86 ± 0,28 ^b	15,67 ± 0,65 ^a
Sap	6,90 ± 1,22 ^c	19,32 ± 0,04 ^a	9,18 ± 1,13 ^b
Rizom	37,10 ± 0,22 ^a	12,76 ± 0,20 ^c	9,05 ± 1,93 ^b

Aynı sütundaki farklı harflendirme değerlerin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğunu belirtir

Bitkinin yaprak, sap ve rizom kısımlarının antioksidan aktivite ölçümü için DPPH ve ABTS metodları kullanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Antioksidan aktivite analiz sonuçları

Örnekler	mg AAE/g taze ağırlık	
	DPPH	ABTS
Yaprak	1,19 ± 0,12 ^b	0,97 ± 0,29 ^b
Sap	0,76 ± 0,04 ^c	0,39 ± 0,06 ^c
Rizom	3,29 ± 0,16 ^a	2,58 ± 0,06 ^a

AAE: Askorbik asit eşdeğeri. Aynı sütundaki farklı harflendirme değerlerin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğunu belirtir (p<0,05).

Bu çalışmada *T. orientalis* bitkisinin yaprak, sap ve rizom kısımlarının antioksidan aktivitesi sonuçlarına bakıldığında; yaprak, sap ve rizom kısımlarının antioksidan aktivitesinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu bulunmuştur (p<0,05). DPPH metoduyla antioksidan aktivite tayininde yaprak, sap ve rizom kısımları için sırasıyla 1,19 ± 0,12; 0,76 ± 0,04, 3,29 ± 0,16 mg

AAE/ g taze ağırlık olduğu belirlenmiştir. ABTS metoduyla antioksidan aktivite tayininde ise yaprak, sap ve rizom kısımları için sırasıyla 0,97 ± 0,29; 0,39 ± 0,06; 2,58 ± 0,06 mg AAE/ g taze ağırlık olduğu belirlenmiştir. DPPH metodunda örneklerdeki antioksidan aktivite biraz daha yüksek bulunmakla beraber, kullanılan iki antioksidan aktivite ölçüm metodu da örneklerdeki antioksidan aktivite açısından paralel sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak; en yüksek antioksidan aktivitenin rizom kısmında görüldüğü ardından sırasıyla yaprak ve sap kısımlarının geldiği görülmektedir.

Daha önce *T. orientalis* bitkisinden elde edilen ekstraktlarda DPPH indirgeme gücünü inceleyen farklı çalışmalar mevcuttur. Ayhan vd. (2019), bitkinin yaprak ve sap kısmından elde ettiği ekstraktın (250 mg/l) sırasıyla %65,1 ± 2,4 ve 59,4 ± 2,7 oranında DPPH radikalini indirgeme etkisi tespit edilmiştir. 2022 yılında yapılan bir başka çalışma bitkinin hangi kısımlarını kullandığını belirtmemiş ancak hazırlanan metanol ekstraktı için (25 mg/ml) %14,07 ± 2,88 oranında DPPH radikali indirgeme etkisini raporlamıştır (Demir,

2022). Farklı bir ekstraksiyon metodu kullanan bir çalışma ise bitkiyi ot ve kök diye 2 kısımda inceleyip ot kısmından elde edilen metanol ekstraktında; DPPH radikali indirgeme gücü için IC_{50} değerini $4,31 \pm 0,04 \mu\text{g/ml}$, kök kısmından elde edilen metanol ekstraktında ise IC_{50} değerini $6,12 \pm 0,06 \mu\text{g/ml}$ olarak bulmuştur (Bıyık vd., 2023). ABTS metodu kullanarak bitkinin antioksidan aktivitesini inceleyen çalışmalara bakıldığında; Demir (2022) metanol ekstraktı için (25 mg/ml) $\%88,25 \pm 5,35$ oranında ABTS radikali indirgeme etkisi raporlamıştır. Bu çalışmalar bitkinin antioksidan aktivite gösterdiğini ortaya koymakla beraber, çalışmalarda farklı ekstraksiyon metodları kullanıldığı görülmekte ve sonuçları da farklı şekillerde (IC_{50} değeri halinde veya sadece % indirgeme gücü gibi) sunulmaktadır.

Polifenol içeriği yüksek farklı meyve ve sebzelerin, DPPH ve ABTS radikal süpürücü etki metodlarıyla antioksidan aktivitelerinin incelendiği bir çalışmada DDPH metoduna göre mango, maviyemiş, çilek, sarımsak gibi meyve ve bitkilerin antioksidan aktivite değeri sırasıyla $2,34 \pm 0,00$; $1,36 \pm 0,03$; $1,58 \pm 0,06$; $0,13 \pm 0,00$ mg askorbik asit/taze örnek olarak bulunmuştur (Gu vd., 2019). Bu çalışma, Gu vd. (2019) ile aynı metodu kullanmış ve sonuç olarak bitkinin yaprak, sap ve rizom kısımlarının antioksidan aktivitesinin, yukarıda bahsi geçen meyve ve sebzelerle kıyaslandığında önemli düzeyde olduğu bulunmuştur.

Çizelge 3. Toplam fenolik madde miktarı analiz sonuçları

Örnekler	Toplam Fenolik Madde (mg GAE/g taze ağırlık)
Yaprak	$1,11 \pm 0,06^b$
Sap	$0,81 \pm 0,07^c$
Rizom	$2,78 \pm 0,04^a$

GAE: Gallik asit eşdeğeri. Aynı sütundaki farklı harflendirme değerlerin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğunu belirtir ($p < 0,05$).

Literatürde bitkinin toplam fenolik madde içeriğini ortaya koyan çalışmalara bakıldığında sonuçların kuru ekstraktlardaki miktarları sunduğu (Bıyık vd., 2019) veya sonuçların pirokateşol cinsinde verildiği (Özen, 2010; Saçan, 2018) görülmektedir. Bu çalışmada ise, bitkinin toplam fenolik madde içeriği, meyve ve sebzelerle karşılaştırmayı kolaylaştırmak için taze ağırlık üzerinden, askorbik asit cinsinden sunulmuştur. Yaprak, sap ve rizom kısımlarının toplam fenolik

madde içeriğine bakıldığında (Çizelge 3) antioksidan aktivite sonuçlarıyla paralellik gösterdiği görülmektedir. Toplam fenolik madde içeriği rizom>yaprak>sap şeklinde, sırasıyla $2,78 \pm 0,04$; $1,11 \pm 0,06$ ve $0,81 \pm 0,07$ mg GAE/ g taze ağırlık olarak bulunmuştur. Toplam fenolik madde içeriği Gu vd. (2019) tarafından yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında, bitkinin tüm kısımlarının meyve ve sebzelerle kıyasla önemli düzeyde fenolik madde içerdiği görülmektedir.

T. orientalis bitkisinden elde edilen ekstraktların α -glukozidaz enzim inhibisyon analizinde, aynı konsantrasyonda, standart inhibitör akarboza yakın % inhibisyon değerleri gözlenmiştir (Çizelge 4). Yaprak, sap ve rizom ekstraktında sırasıyla $\%52,06 \pm 2,87$; $\%44,47 \pm 3,19$ ve $\%54,34 \pm 1,10$ inhibisyon gözlenmiştir. Yaprak ve rizom ekstraktının inhibisyon değerleri ise sap ekstraktı ve akarboza ($\%43,05 \pm 1,27$) göre daha yüksek olduğu bulunmuştur ($p < 0,05$). Bitkinin yaprak, sap ve rizom kısımlarından elde edilen ekstraktların standart α -glukozidaz inhibitörü olan akarboza kıyaslandığında önemli düzeyde α -glukozidaz enzimi inhibisyonu yapabilmesi ise antidiyabetik potansiyeli olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada daha önce incelenmemiş rizom ekstresinin de önemli düzeyde α -glukozidaz enzim inhibisyonu yapabildiği gösterilmiştir. Daha önce Ayhan vd. (2019) da benzer şekilde yaprak ekstraktında, sap ekstraktına göre daha yüksek α -glukozidaz enzim inhibisyonu saptamıştır.

Çizelge 4. α -Glukozidaz enzim inhibisyon sonuçları

Örnekler	α -glukozidaz inhibisyonu (%)
Yaprak ekstraktı	$52,06 \pm 2,87^a$
Sap ekstraktı	$44,47 \pm 3,19^b$
Rizom ekstraktı	$54,34 \pm 1,10^a$
Akarboz	$43,05 \pm 1,27^b$

Akarboz, standart α -glukozidaz inhibitörü olarak kullanılmıştır. Hazırlanan ekstraktların ve akarbozun 1 mg/ml konsantrasyonda gösterdikleri % enzim inhibisyon değerleridir. Aynı sütundaki farklı harflendirme değerlerin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğunu belirtir ($p < 0,05$).

α -Glukozidaz enzim inhibisyonunun flavonoidler, alkaloidler, terpenoidler, antosiyaninler, glikozitler, kurkuminoidler ve fenolik bileşikler gibi bitkilerin ikincil metabolitlerinden kaynaklandığı

raporlanmaktadır (Kumar vd., 2011). *T. orientalis* bitkisinin fenolik madde bileşiminin incelendiği bir çalışmada en yaygın fenolik bileşiğin rosmarinik asit olduğu bulunmuştur (Bıyık vd., 2023). Başka bir çalışmada ise fenolik madde içeriğine bakıldığında gallik asit (187,67 µg/g), rosmarinik asit (10,55 µg/g), vanillik asit (3,78 µg/g), ve hidrosinamik asidin (0,78 µg/g) bulunduğu belirtilmiştir (Demir, 2022). Bu bileşiklerden gallik asit (Kokila vd., 2023) ve rosmarinik asitin (Lin vd., 2011; Zhu vd., 2014) α-glukozidaz inhibisyonu gösterdiği daha önce farklı çalışmalarla ortaya konmuştur. Çalışmamızda gözlenen α-glukozidaz inhibisyonu gallik asit veya rosmarinik asit varlığına bağlı olabileceği düşünülmekte ancak kesin bir bağlantı kurabilmek için fenolik bileşiklerinin ayrı ayrı belirlenmesi gibi daha fazla çalışmaya gereksinim duyulmaktadır.

Bu çalışmada *T. orientalis* bitkisinin tüm kısımlarının antioksidan aktivite ve toplam fenolik

4. Kaynaklar

Andrade-Cetto, A., Becerra-Jimenez J. and Cardenas-Vazquez R. (2008). Alfa-glucosidase-inhibiting activity of some Mexican plants used in the treatment of type 2 diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*, (116), 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.10.031>

Anonim (2023). Tarım ve Orman Bakanlığı Risk Değerlendirme Başkanlığı Bitki listesi (Güncelleme tarihi 22.12.2023). <https://www.tarimorman.gov.tr/konu/957/bitki-listesi> (Erişim tarihi 01.03.2024).

AOAC (2015). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists.18th Edition, AOAC, Arlington, 806-814.

Ayhan, B. S., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., and Acar, A. (2019). Antidiabetic potential and multi-biological activities of *Trachystemon orientalis* extracts. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(4), 2887-2893. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00209-1>

Bekar, E., Akpınar Bayizit, A., Çetin, K., Ünal, T. ve Ömeroğlu, P. Y. (2021). Fonksiyonel Nitelikteki Yenilebilir Bazı Çiçeklerin Yağ Asidi Profiline Gaz Kromatografi-Alev İyonizasyon Dedektörü (GC-FID) ile Belirlenmesi. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (26), 49-59. https://dergipark.org.tr/pub/gidaveyem/issue/64673/984848#article_cite

Bıyık B, Yılmaz Sarıaltın S, Gökbulut A, Çoban T and Çoşkun M. (2023). *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don as a Valuable Source of

madde içeriği açısından meyve ve sebzelerle karşılaştırıldığında önemli olduğu bulunmuştur. Bitkinin sadece sap kısmı tüketilmekle beraber yaprak kısmının da biyoaktif özelliğe sahip olması ve protein içeriğinin diğer yeşil yapraklı sebzelerle karşılaştırıldığında yüksek olması, bitkinin bu kısmının da gıda endüstrisine kazandırma potansiyeli olduğunu da göstermiştir. Özellikle protein içeriğinin yüksek olması bitkinin alternatif protein kaynağı olarak da değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte bitkinin yaprak, sap ve rizom kısımlarından elde edilen ekstraktlar, antidiyabetik potansiyele sahiptir. Rizom kısmının kullanılabilmesi için ise toksisite testlerinin yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak bu çalışma, *T. orientalis* bitkisinin antioksidan ve antidiyabetik özellikleriyle insan sağlığını olumlu yönde destekleyebileceğini ortaya koymuştur.

Rosmarinic Acid: Biological Activities and HPLC Profiles. *Turk J Pharm Sci.*, 20(3), 141-148. <https://doi.org/10.4274%2Ftjps.galenos.2022.14265>

Demir, E. (2022). Profile of fatty acids, vitamins, phytosterols and phenolic acids in *Trachystemon orientalis* L. and evaluation of their antioxidant activity. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33), 112-118. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1027061>

Ergen Akçin, Ö., Kandemir, N. and Akçin, Y. (2004). A morphological and anatomical study on a medicinal and edible plant *Trachystemon orientalis* (L.) G.Don (Boraginaceae) in the Black Sea region. *Turkish Journal of Botany*, 28(4), 435-442.

<https://journals.tubitak.gov.tr/botany/vol28/iss4/7>

Gu, C., Howell, K., Dunshea, F.R. and Suleria, H.A.R. (2019). LC-ESI-QTOF/MS Characterisation of Phenolic Acids and Flavonoids in Polyphenol-Rich Fruits and Vegetables and Their Potential Antioxidant Activities. *Antioxidants (Basel)*, 8(9), 405.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31533286/>

Hussain, F., Khan, Z., Jan, M. S., Ahmad, S., Ahmad, A., Rashid, U., Ullah, F., Ayaz, M. and Sadiq, A. (2019). Synthesis, in-vitro alpha-glucosidase inhibition, antioxidant, in-vivo antidiabetic and molecular docking studies of pyrrolidine-2,5-dione and thiazolidine-2,4-dione derivatives. *Bioorg Chem.*, (91), 103128. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31369977/>

- Iqbal, Y., Ponnampalam, E. N., Cottrell, J. J., Suleria, H. A., and Dunshea, F. R. (2022). Extraction and characterization of polyphenols from non-conventional edible plants and their antioxidant activities. *Food Research International*, (157), 111205. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111205>
- Jabeen, A., Narayan, S., Hussain, K., Ahmed Mir, S., and Khan, F. A. (2018). Effect of organic manures and biofertilizers on quality of spinach beet (*Beta vulgaris* var. *bengalensis*). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 7(9), 1312-1317. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.156>
- Kaur, S., and Roy, A. (2021). A Review on the nutritional aspects of wild edible plants. *Current Traditional Medicine*, 7(4), 552-563. <https://doi.org/10.2174/2215083806999201123201150>
- Kaya, G.Ö., Küçükboyacı, N., Ayaz, F., Hürkul, M.M., Uzunhisarcıklı M.E. ve Köroğlu, A.(2010). Ankara ve Adana'da Aktarlarda "Hatmi" Adı Altında Satılan Drogaların Avrupa Farmakopesi'ne Uygunluğunun Değerlendirilmesi. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 39(4), 291-316. https://doi.org/10.1501/Eczfak_00000000571
- Kibar, B., and Kibar, H. (2017). Determination of the nutritional and seed properties of some wild edible plants consumed as vegetable in the Middle Black Sea Region of Turkey. *South African Journal of Botany*, (108), 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.10.011>
- Koca, L., Hasbay, I., Bostanci, S., Yılmaz, V. and Koca, A. (2015). Some wild edible plants and their dietary fiber contents. *Pakistan Journal of Nutrition*, 14(4). <https://doi.org/10.3923/pjn.2015.188.194>
- Kokila, N.R., Mahesh, B., Ramu, R., Mruthunjaya, K., Bettadaiah, B.K. and Madhyastha, H. (2023) Inhibitory effect of gallic acid from *Thunbergia mysorensis* against α -glucosidase, α -amylase, aldose reductase and their interaction: Inhibition kinetics and molecular simulations. *J. Biomol. Struct. Dyn.*, 41(20),10642-10658. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36533383/>
- Kumar, S., Narwal, S., Kumar, V. and Prakash, O. (2011). α -glucosidase inhibitors from plants: A natural approach to treat diabetes. *Pharmacogn Rev.*, 5(9),19-29. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22096315/>
- Lefsrud, M., Kopsell, D., Sams, C., Wills, J., and Both, A. J. (2008). Dry matter content and stability of carotenoids in kale and spinach during drying. *HortScience*, 43(6), 1731-1736. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.6.1731>
- Lin, L., Dong, Y., Zhao, H., Wen, L., Yang, B. and Zhao, M. (2011). Comparative evaluation of rosmarinic acid, methyl rosmarinate and pedalin isolated from *Rabdosia serra* (MAXIM.) HARA as inhibitors of tyrosinase and α -glucosidase. *Food Chem.*,129(3), 884-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25212314/>
- Lin, W.R., Liu, K.H., Ling, T.C., Wang, M.C. and Lin, W.H. (2023). Role of antidiabetic agents in type 2 diabetes patients with chronic kidney disease. *World J Diabetes*, 14(4), 352-363. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37122432/>
- Mašković, P., Đukić, D., Mandić, L., Knežević, D., Cvijović, M., Radojković, M., and Đurović, S. (2017). Quality and Chemical Profile Assessment Of Different Teas in Serbia, XXII Savetovanje O Biotehnologiji Book of Proceedings, 549. <http://arhiva.nara.ac.rs/handle/123456789/2183>
- Mohd Bukhari, D.A., Siddiqui, M.J., Shamsudin, S.H., Rahman, M.M. and So'ad, S.Z.M. (2017). α -Glucosidase Inhibitory Activity of Selected Malaysian Plants. *J Pharm Bioallied Sci*, 9(3), 164-170. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5621178/>
- Onaran, A., and Yılar, M. (2012). Antifungal activity of *Trachystemon orientalis* L. aqueous extracts against plant pathogens. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 8 (1), 37-43. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/443965>
- Özbakır Özer, M. and Aksoy, M. (2019.) Mineral composition and nutritional properties of *trachystemon orientalis* (L.) G. don populations in the central black sea region of Turkey. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus*, 18(4), 157-167. <https://doi.org/10.24326/asphc.2019.4.15>
- Özen, T. (2010). Antioxidant activity of wild edible plants in the Black Sea Region of Turkey. *Grasas y Aceites*, 61(1), 86-94. <https://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/625>
- Sacan, O. (2018). Antioxidant Activity, Total Phenol and Total Flavonoid Contents of *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don. *Eur J Biol.*, 77(2): 70-75. <https://dergipark.org.tr/en/pub/iufsjb/issue/42249/508378>

Sadikoğlu, N. and Cevahir, G. (2014). Anthocyanin content and localization in different parts of *trachystemon orientalis* (L.) g. Don. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 18(1).

<https://doi.org/10.1080/13102818.2004.10819241>

Trinh, P.T.N., Giang, B.L., Tuan, N.T., Hang, H.T.T., Thuy, N.T.L., Tuan, N.N and Dung, L.T. (2021). Alfa glucosidase inhibitory, anti inflammatory activities and a new furanocoumarin derivative of *Ruellia tuberosa*. *Nat Prod Res.*, 35(22), 4248-4255.

<https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1696790>

Verma, N., Behera, B. C., and Sharma, B. O. (2012). Glucosidase Inhibitory and Radical Scavenging Properties of Lichen Metabolites Salazinic Acid, Sekikaic Acid and Usnic Acid. *Haceteppe Journal of Biology and Chemistry*, 40(1), 7-21.

<https://dergipark.org.tr/en/pub/hjbc/issue/61880/926022>

Zhu, F., Asada, T., Sato, A., Koi, Y., Nishiwaki, H. and Tamura, H. (2014). Rosmarinic acid extract for antioxidant, antiallergic, and α -glucosidase inhibitory activities, isolated by supramolecular technique and solvent extraction from *Perilla* leaves. *J. Agric. Food Chem.*, 62(4), 885-92. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24400891/>

Zlatanović, S., Kalušević, A., Micić, D., Laličić-Petronijević, J., Tomić, N., Ostojić, S., and Gorjanović, S. (2019). Functionality and storability of cookies fortified at the industrial scale with up to 75% of apple pomace flour produced by dehydration. *Foods*, 8(11), 561. <https://doi.org/10.3390/foods8110561>

Derleme Makale/Review Paper

Fenolik bileşiklerin ekstraksiyon yöntemleri ve doğal içerik olarak kullanımı

Extraction methods of phenolic compounds and their use as natural ingredients

Merve Gündüz^{1*}, Şeniz Karabıyıklı Çiçek²

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, TOKAT, TÜRKİYE

²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, TOKAT, TÜRKİYE
(Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0000-0002-7684-4002

ORCID ID: 0000-0001-9287-9400, Prof. Dr.

*Sorumlu yazar/Corresponding author: mervegunduz.mg@gmail.com

Geliş Tarihi : 23.02.2024

Kabul Tarihi : 08.05.2024

Öz

Amaç: Fenolik bileşikler, antimikrobiyal ve antioksidan özelliklere sahip olan doğal gıda katkı maddesi olarak kullanılabilen organik bileşiklerdir. Fenolik bileşiklerin antimikrobiyal ve antioksidan etkinliği ekstraksiyon yöntemi ile doğrudan ilişkilidir. Günümüzde geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinin dezavantajlarının minimize edilmesinin amaçlandığı yenilikçi teknolojiler üzerinde çalışmalar hız kazanmıştır. Düşük enerji maliyeti, kullanılan çözen miktarının azaltılması ve ekstraksiyon süresinin kısaltılması gibi avantajlara sahip olan ultrason destekli ekstraksiyon, mikrodalga destekli ekstraksiyon ve süperkritik akışkan ekstraksiyon gibi ekstraksiyon yöntemlerinin, ekstraksiyon sıcaklığını düşürerek elde edilen fenolik bileşiğin kalitesi üzerinde olumlu etkiler sağladığı bilinmektedir. Fenolik bileşiklerin biyoaktif etki mekanizmalarının anlaşılmasıyla gıda endüstrisinde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Doğal içerikli gıda üretim prosesinin bir parçası haline gelen fenolik bileşikler; gıdaların raf ömrünün uzatılması, duysal ve tekstürel özelliklerin stabilizasyonunda görev alması gibi birçok avantaja sahiptir. Fenolik bileşiklerin sağlık üzerindeki birçok olumlu etkisinin aydınlatılması ile fenolik bileşiklerle zenginleştirilmiş diyet gıdalar oldukça ilgi görmektedir.

Sonuç: Bu derleme çalışmasında, fenolik bileşiklerin ekstraksiyon yöntemleri ve doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımı irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu; antimikrobiyal etki; antioksidan etki; doğal gıda katkı maddesi

Abstract

Objective: Phenolic compounds are organic compounds that can be used as natural food additives that have antimicrobial and antioxidant properties. The antimicrobial and antioxidant activity of phenolic compounds is directly related to their extraction method. Today, studies on innovative technologies aimed at minimizing the disadvantages of traditional extraction methods have gained momentum. It is known that extraction methods such as ultrasound-assisted extraction, microwave-assisted extraction and supercritical fluid extraction, which have the advantages of low energy cost, reducing the amount of solvent used and shortening the extraction time, have a positive effect on the quality of the resulting phenolic compounds by reducing the extraction temperature. With the deciphering of the bioactive mechanisms of action of phenolic compounds, their use in the food industry is increasing day by day. Phenolic compounds, which have become a part of the food production process with natural ingredients, have many advantages, such as extending the shelf life of foods, taking part in the stabilization of sensory and textural properties. Dietary foods enriched with phenolic compounds have attracted much attention as a result of the many positive effects of phenolic compounds on health.

Conclusion: In this review study, the extraction methods of phenolic compounds and their use as natural food additives were examined

Keywords: Extraction of phenolic compounds; antimicrobial effect; antioxidant effect; natural food additive

1. Giriş

Fenolik bileşikler, bitkiler tarafından ikincil metabolit olarak üretilen ve bitkilerin dış etkenlere karşı kendilerini savunmasında rol alan organik bileşiklerdir. Düşük moleküler ağırlığa sahip oldukları bilinmekte olan fenolik bileşiklerin; antimikrobiyal, antioksidan, antitrombotik, antikanserojenik, antipatojenik, antiviral ve antidiyabetik özellikler gösterdiği yapılan çalışmalar sonucunda doğrulanmıştır. Yapılan çalışmalarda mikrobiyal enfeksiyonların tedavisinde kullanımın güvenli ve etkili bir tedavi metodu olduğu kanıtlanmıştır ve tıp alanında kullanımı günden güne artmaktadır (Manach vd., 2004; Jaiswal ve Kumar, 2022; Zago vd., 2022).

Tüketicilerin doğal gıdalara olan ilgisinin artmasıyla birlikte gıda endüstrisinde kullanılan sentetik katkı maddeleri yerini bitkilerden ekstrakte edilen fenolik bileşiklere bırakmaktadır. Fenolik bileşikler, gıdaların tekstürel ve duyuşal özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra besin değerlerinin zenginleştirilmesinde kullanımı ve doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımı gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca fenolik bileşiklerin antimikrobiyal ve antioksidan özellik göstermesi doğal gıda katkı maddesi olarak tercih edilmesini sağlamaktadır (Ignat vd., 2011). Gıda endüstrisinde fenolik bileşiklere olan ilginin artmasıyla birlikte fenolik bileşik içeriği zengin olan bitkilere yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Fenolik bileşik içeriği zengin olan meyve ve sebzelere alternatif olabilmeleri için zeytin, çikolata, kahve, bira ve şarap gibi gıdalar, bu gıdaların üretimi sırasında elde edilen atıklar üzerinde birçok çalışma yapılmış ve zengin fenolik içeriğine sahip oldukları belirlenmiştir (Dai ve Mumper, 2010).

2. Fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu

Teknolojik gelişmeler ile birlikte gelişen gıda endüstrisinde meydana gelen değişimler ışığında tüketiciler doğal içerikli gıdalara büyük ilgi duymaya başlamıştır. Üretim prosesine ilave edilen yapay gıda katkı maddelerinin yerini doğal gıda katkı maddelerinin almasıyla birlikte, bitkilerden ekstrakte edilen fenolik bileşikler gıda endüstrisi için önemli bir konu haline gelmiştir. Fenolik bileşiklerin ekstraksiyon işlemi, bileşiklerin tanımlanması ve izole edilmesi doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımında oldukça önemlidir. Ekstraksiyon işlemi sırasında kullanılan çözen ve konsantrasyonu, örneğin partikül boyutu, örnek:çözen oranı, ekstraksiyon süresi ve sıcaklığı; ekstraksiyon verimi ve kalitesi üzerinde etkili kriterlerdir (Pérez-Jiménez ve Saura-Calixto, 2006; Ignat vd., 2011). Fenolik bileşikler birçok farklı yöntem ile ekstrakte edilebilmektedir. Bu

yöntemlerden bazıları katı-sıvı sürekli ekstraksiyon (soxhlet ekstraksiyonu), ultrason destekli ekstraksiyon, mikrodalga destekli ekstraksiyon ve süper kritik akışkan ekstraksiyonudur. Yeşil biyo-rafiner teknolojiler olarak adlandırılan yenilikçi teknolojiler ekstraksiyon veriminin artırılması, ekstraksiyon süresinin kısaltılması, çözen ve enerji sarfiyatının azaltılması gibi birçok farklı avantaja sahip oldukları için kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Santos, 2018).

2.1. Katı-sıvı sürekli ekstraksiyon (soxhlet ekstraksiyonu)

Katı-sıvı sürekli ekstraksiyon yöntemi, meyve ve sebzelerden fenolik bileşiklerin ayrıştırılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Çoğunlukla metanol, etanol ve asetonun çözen olarak kullanıldığı yöntemde çözenlerin farklı konsantrasyonlardaki karışımları veya su ile karışımları tercih edilmektedir (Cong-Cong vd., 2017). Soxhlet ekstraksiyonu, çözenin buharlaşma derecesine kadar kaynatılması ve oluşan buharın yoğunlaşması sonucunda örneğin üzerine damlaması prensibiyle uygulanmaktadır. Çözen, sifon seviyesine gelene kadar ekstraksiyonu hedeflenen bileşikler çözenin yapısına nüfuz etmekte ve bu işlem birkaç saat süre ile devam etmektedir. Ekstraksiyonu etkileyen en önemli kriter kullanılan çözenin polaritesidir (Çolak, 2019). Soxhlet ekstraksiyonunun yüksek oranda çözücü ve uzun zaman gerektirmesi büyük bir dezavantaj olduğundan yöntemin tercih edilememesine sebep olmaktadır (Taşkıran vd., 2023).

Soxhlet ekstraksiyon yöntemi ilk zamanlarda lipit ekstraksiyonunda kullanılsa da zaman içerisinde birçok organik bileşiğin ekstraksiyonunda aktif olarak kullanılmıştır (Taşkıran vd., 2023). Alara vd., (2018) tarafından yapılan çalışmada, Asteraceae familyasına ait sahadevi (*Vernonia cinerea*) bitkisinden soxhlet ekstraksiyon yöntemi ile fenolik bileşik ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Bitkinin yapraklarının materyal olarak kullanıldığı çalışmada toplam fenolik madde ve toplam flavonoidin ekstraksiyonu üzerinde ekstraksiyon süresi, örnek:çözen oranı ve etanol konsantrasyonunun etkili olduğu belirlenmiştir. Ekstrakte edilen fenolik bileşiklerin askorbik asit referans alınarak güçlü antioksidan etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir (Alara vd., 2018).

Zeytin yaprakları, katma değeri yüksek olan fenolik bileşikler için umut vaat eden bir kaynak

olarak kabul edilmektedir. Zeytin yapraklarında bulunan fenolik bileşiklerin kompozisyonunun belirlenmesinin ve ekstraksiyon verimi üzerinde ekstraksiyon yönteminin oldukça etkili olduğu bilinmektedir. Lama-Muñoz vd., (2020) tarafından yapılan çalışmada soxhlet ekstraksiyon yönteminin, zeytin yapraklarından ekstrakte edilen toplam fenolik ve flavonoid bileşik miktarında ve elde edilen bileşiklerin antioksidan etkisi üzerinde, basınçlı sıvı ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen bileşiklere kıyasla daha düşük verim ve antioksidan kapasiteye sahip olan ekstraktın üretimine neden olduğu anlaşılmıştır (Lama-Muñoz vd., 2020).

2.2. Ultrason destekli ekstraksiyon

Geleneksel ekstraksiyon yöntemleri, ekstraksiyon süresinin fazla olması ve ekstraksiyon işleminin yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi nedeniyle elde edilen fenolik bileşiğin kalitesi ve miktarı üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Ekstrakte edilen fenolik bileşiğin verimini ve kalitesini arttırmak için yenilikçi teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda geliştirilen ultrason destekli ekstraksiyon (UDE) yöntemi; yüksek verim üretmesi, ekstraksiyon süresini kısaltması ve kullanılan çözgen miktarını azaltması sayesinde ekstraksiyon maliyetini azaltması gibi birçok avantaja sahip olan çevre dostu bir yöntem olma özelliği taşımaktadır (Fu vd., 2021; Nie vd., 2021).

UDE işlemi; ultrasonik dalgaların, bitki matrisinde neden olduğu değişiklikler ve hücresel bozulmalar kaynaklı değişimlerle bitkide bulunan biyoaktif bileşiklerin çözgenin yapısına geçmesi prensibine dayanmaktadır (Rahman vd., 2021; Hadidi vd., 2020). 20 kHz'in üzerinde bir frekansa sahip olan ultrason enerjisinin ürettiği kavitasyon kabarcıkları, bitki hücreleri üzerinde mekanik ve termal etkiler göstererek hücre duvarının kırılmasını ve biyoaktif bileşiklerin çözünme veya difüzyon yöntemiyle çözgene nüfuz etmesini sağlamaktadır (Bi vd., 2019; Qian vd., 2020). Ultrason, kavitasyon balonunun içe çökmesine neden olarak çözgen ve biyoaktif bileşiğin etkileşime girmesiyle ekstraksiyon süresini hızlandırmaktadır. Aynı zamanda ekstraksiyon ortamını seyreltebilen ve sıkıştırabilen, ortamda basınç oluşturan ve heterojen ortamı hızla titreşmeye zorlayan bir dalgadır. Seyrekleşme alanında basınç düşük iken sıkıştırma alanında basınç daha yüksektir. Yerel basınç, doymuş su buharı basıncından daha düşük olması ile çözgen kavitasyon enerjisi olacak şekilde buharlaşma meydana gelmektedir. Bir süre sonra oluşan alternatif stres kabarcıklarının hızlı bir şekilde

çökmesine neden olmaktadır. Kabarcıkların çökmesiyle oluşan şok dalgaları bitki matrisinde bulunan biyoaktif bileşiklerin dokularına ve hücre duvarlarına zarar vererek parçalanmalara ve böylelikle hücresel bileşiklerin serbest bırakılmasına sebep olmaktadır (Deng vd., 2022).

Yapılan pekçok çalışma, UDE'nin üstün yönlerini ve etkinliği ortaya koymaktadır. UDE; fenolikler, flavonoidler, timoller, saponinler ve proteinler gibi biyoaktif bileşiklerin ekstraksiyonunda yüksek verim üreten bir yöntemdir (Yusoff vd., 2022). Elma guava (*Psidium guajava*) tıbbi ve besleyici özellikleri için tropikal bölgelerde yetiştirilen geleneksel bir bitkidir. Elma guava yapraklarının halk ilaçlarında kullanıldığı ve kateşin, kuersetin, gallik asit ve iso-kuersetin gibi birçok biyoaktif bileşiğe sahip olduğu kanıtlanmıştır. Elma guava yapraklarında bulunan fenolik bileşiklerin ekstraksiyon işlemi için uygulanan geleneksel ekstraksiyon yöntemlerinin düşük verim ve kalitede ekstrakt üretmesi üzerine yenilikçi teknolojilerden olan UDE işlemi uygulanmış ve umut vaad eden düşük maliyetli üretimin mümkün olduğu anlaşılmıştır (Wani ve Uppaluri, 2022).

Hint inciri (*Opuntia ficus-indica*) bitkisinin meyve ve çiçek kısımları besleyici özellikleri sayesinde geleneksel olarak insan ve hayvan beslenmesinde gıda ve yem olarak kullanılmaktadır. Bitkinin çiçek, meyve ve atık olarak değerlendirilebilecek olan meyve kabuğunun yüksek oranda biyoaktif bileşiğe sahip olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Hint inciri meyvesinden fenolik bileşiklerin ekstrakte edilmesi işleminde UDE yönteminin, maserasyon ve soxhlet ekstraksiyonuna kıyasla yüksek verim ürettiği bildirilmiştir (Brahmi vd., 2022).

Yaban mersini (*Vaccinium ashei*), flavonoller ve klorojenik asitler gibi fenolik bileşikler ve birçok farklı antosiyanin bileşik içeren bir meyvedir. İçerdiği antosiyanin, fenolik asit ve şeker gibi bileşikler nedeniyle meyve suyu ve şarap üretiminde kullanımı mevcuttur. Meyve suyu ve şarap üretimi sırasında elde edilen posada fenolik bileşikler gibi birçok biyoaktif bileşik bulunmaktadır. Yaban mersini şarabının yapılması sırasında elde edilen posadan fenolik bileşiklerin ekstrakte edilmesi için UDE işleminin ekstraksiyon veriminin geleneksel solvent ekstraksiyonuna kıyasla daha yüksek verime sahip olduğu belirlenmiştir (He vd., 2016).

Mandalina (*Citrus reticulata* Blanco cv. Sainampung) kabuğunun, meyve toplam kuru ağırlığının yarısını oluşturduğu ve fenolik bileşiklerce zengin bir atık olduğu bilinmektedir. Nipornram vd., (2018) çalışmalarında, mandalina

kabuğundan fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için ultrason destekli ekstraksiyon kullanımının, maserasyon ekstraksiyonuna kıyasla daha yüksek verim sağladığını gözlemlemişlerdir. UDE sonucunda ele edilen ekstraktın hesperidin içeriğinin mikrodalga destekli ekstraksiyona kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Nipornram vd., 2018).

Aspir (*Carthamus caeruleus* L.) bitkisinin kök kısmının flavonoidler, antosiyaninler, lökyoantosiyeninler, tanenler, serbest kinonlar, saponinler, glikozitler ve kumarinler gibi birçok farklı biyoaktif bileşik için iyi bir kaynak olduğu yapılan çalışmalar sonucunda gözlemlenmiştir. Bu biyoaktif bileşiklerin antimikrobiyal, anti-inflamatuar ve antioksidan özellikleri nedeniyle ekstrakte edilmesi oldukça önemlidir. Aspir bitkisinin kök-sap ve yaprak kısmından UDE ile ekstrakte edilen fenolik bileşiklerin serbest radikalleri temizleme konusunda yüksek potansiyele sahip olduğu gözlemlenmiştir (Moussa vd., 2022).

Pirinç (*Oryza sativa*) tanelerinde fenolik bileşikler, fenolik asitler ve fenolik aldehitler şeklinde bulunur ve en yaygın bulunan fenolik asit hidrosinamik asit ve hidrobenzoik asittir. Pirinç tanelerinden ultrason destekli ekstraksiyon yöntemini kullanarak fenolik bileşiklerin optimizasyonu ile elde edilen ekstraktın ultra performanslı sıvı kromatografisi yardımıyla fenolik bileşik kompozisyonu belirlenmiş ve 15 farklı fenolik bileşik tanımlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda UDE yönteminin fenolik bileşiklerin tanımlanmasında etkili bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Setyaningsih vd., 2019).

Lahana (*Brassica oleracea* L.) hidroksisinamik asit ve hidroksibenzoik asit türevleri ile flavonol glikozitler açısından zengin bir bitkidir. Yapısında *p*-kumarik asit, kafeik asit, ferulik asit, hidroksiferulik asit ve sinapik asit bulunmaktadır. Lahanadan elde edilen fenolik bileşiklerin özellikle ilaç endüstrisinde sıklıkla kullanılması nedeniyle ekstraksiyon verimi ve kalitesi oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalar lahanadan UDE ile elde edilen ekstraktın HPLC yardımıyla fenolik asit izolasyonunu gerçekleştirerek ekstraksiyon yönteminin etkinliğini kanıtlar niteliktedir (Oniszczuk ve Olech, 2016).

Rosaceae familyasına ait kırmızı ahududu (*Rubus ideaus* L.) vitaminler, mineraller, proteinler, şekerler, polifenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşiklere sahip olan ve besin değeri bakımından zengin, lezzetli ve sağlıklı bir meyve olarak dünya çapında büyük ilgi görmektedir. Derin ötetik

çözücülerin kullanılarak UDE ile kırmızı ahududu meyvesinden fenolik bileşiklerin ve antosiyaninlerin ekstraksiyonun mümkün olduğu gözlemlenmiştir. UDE teknolojisi ile TPC, TFC ve antosiyanin ekstraksiyonu da çözücü kontrasyonu ve türü, ekstraksiyon süresi ve sıcaklığın etkili olduğu belirlenmiştir (Koraqi vd., 2023).

Dut türlerinden biri olan jack meyvesi (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) tropikal bir meyve olmakla birlikte dünyanın en ağır meyvesidir. Bitki ile yapılan fitokimyasal çalışmalar, jack meyvesinin çeşitli farmakolojik özellikleriyle ilişkilendirilebilecek flavonoidler ve fenolik asitler gibi çok çeşitli biyoaktif bileşenler içerdiğini göstermektedir. Jack meyve püresinde bulunan 35 farklı fenolik bileşiğin farklı çözümler kullanılarak UDE işlemine tabi tutulduğu, aseton ve metanolün 18 farklı fenolik bileşiği ekstrakte edebildiği saptanmıştır (Cheng vd., 2023).

Yeşil Hindistan cevizi kabuğu, Hindistan cevizi suyu ve kreması çıkarıldıktan sonra kalan atıktır ve toplam ağırlığın neredeyse %85'ini oluşturan kısımdır. Kimyasal bileşiminde flavonoidler, indirgeyici şekerler, karbonhidratlar, saponinler, alkaloidler, tanenler, glikozitler, fenoller ve terpenoidler gibi birçok farklı biyoaktif bileşen bulunmaktadır. Yapısında bulunan fenolik bileşiklerin, flavonoidlerin ve tanenlerin UDE teknolojisi ile ekstrakte edildiğinde mikrodalga destekli ekstraksiyona kıyasla daha yüksek verim elde edildiği belirlenmiştir (Singh vd., 2023).

2.3. Mikrodalga destekli ekstraksiyon

Mikrodalga destekli ekstraksiyon (MDE); fenolik bileşikler, karbonhidratlar ve lipitler gibi çeşitli biyoaktif maddelerin ekstraksiyonunda kullanılan bir yöntemdir. Tecrübe gerektirmeyen kolay kullanımı, ekstraksiyon veriminin yüksek oluşu, enerji ve süreden tasarruf sağlaması gibi avantajlara sahiptir (Moradi vd., 2018). Frekansı 300 MHz ila 300 GHz arasındaki elektromanyetik dalgalara mikrodalga denir. Mikrodalga işleminde, iyonik iletim ve dipol hareketi çifti, mikrodalganın varlığında maddelerin ısınmasından sorumludur. Mikrodalgalar her zaman polar çözücülerle birleştğinde maddenin ısınması tetiklenmektedir (Bagade ve Patil, 2021). MDE'nin çalışma prensibi, mikrodalga enerjisinin moleküler hareketi arttırması ile gıdanın yapısında bulunan bileşenlere mikrodalga enerjisinin nüfuz ederek ısınması ve bileşiklerin gıda yapısından ayrılmasına dayanmaktadır (Li, 2015). Mikrodalga ile bitki matriksinin ısıtılmasının ardındaki temel ilişki, bitki hücresinde suyun oluşmasıdır. MDE'de, kurutulmuş bitki materyalinin kullanılması, bitki hücresinde mevcut olan az miktardaki suyu

ısıtmaktadır. Bitki matriksinde bulunan suyun mikrodalga enerjisi ile ısıtılması sonucunda hücre duvarı üzerine büyük bir basınç oluşmaktadır. Hücre duvarı üzerinde oluşan bu basınç hücre duvarının içeriden zayıflamasına ve kırılmasına neden olmaktadır. Hücre duvarının deforme olması sonucunda, bitki matriksinde bulunan biyoaktif bileşenler hücre dışına çıkmakta ve ekstraksiyon işlemi gerçekleşmektedir. Bitkilerden fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu sırasında kullanılan çözügenler, hücre dışına atılan biyoaktif bileşenlerin absorbe edilmesinde önemli görev üstlenmekte ve ekstraksiyon veriminde etkin olmaktadır (Bagade ve Patil, 2021).

Surinam kirazı (*Eugenia uniflora*) yapısında bulunan fenolik bileşikler nedeniyle terapötik özelliklere sahiptir. Surinam yaprakları anti-inflamatuar, anti-tripanozomal ve hipoglisemik özelliklerinin doğrulanması nedeniyle bitkisel ilaç geliştirme üzerine çalışan bilim insanlarının ilgisini çekmekte ve yapısında bulunan fenolik bileşikler önem kazanmaktadır. Surinam kirazının yapraklarında bulunan fenolik bileşiklerin ekstraksiyon yöntemi, elde edilen bileşiklerin kalitesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Yeşil biyo-rafiner teknolojilerden olan MDE yönteminin ekstraksiyon verimi ve kalitesi üzerinde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir (Souza vd., 2022).

Kakao (*Theobroma cacao* L.) kabuğu, kakao işleme sırasında birincil atık olarak atılmakta ve kakao meyvesinin toplam ağırlığının %76-86'sını oluşturmaktadır. Kakao kabuğu yüksek oranda protein, karbonhidrat, lipid, lignoselülozik bileşikler, pektin, alkaloid, antosiyanidinler ve pigment dahil fenolik bileşikler içerdiğinden doğal gıda katkı maddesi üretiminde hammadde olarak değerlendirilmesi için yüksek bir potansiyele sahiptir. Kakao kabuğundan değerli biyoaktif bileşiklerin ekstrakte edilmesinde MDE yönteminin; solvent ekstraksiyonu, maserasyon, geri akış ekstraksiyonu gibi geleneksel yöntemlere kıyasla daha etkili olduğu anlaşılmıştır (Dewi vd., 2022).

Fındık (*Corylus avellana* L.) fenolik bileşikler açısından zengin bir kuruyemiştir. Fındık endüstrisinden elde edilen fındık yan ürünlerinin potansiyel doğal antioksidan kaynakları ve fonksiyonel gıda bileşenleri olarak kullanımına ilgi artmaktadır. Fındık posasından fenolik bileşiklerin ekstraksiyonu için MDE yönteminin geleneksel ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla yüksek verimlilikte antioksidan bileşik ekstraksiyonuna sebep olduğu ve fındığın yapısında bulunan fenolik

bileşiklere minimum düzeyde zarar vererek ekstrakte edebildiği anlaşılmıştır (Bener vd., 2022).

Zeytin pirinası ekonomik değeri düşük bir yan ürün olmasına rağmen, yüksek fenolik bileşiklerin çeşitliliği bu yan ürüne değer katacak işleme stratejilerinin geliştirilmesi için zorlayıcı bir durum oluşturmıştır. Zeytin pirinasından fenolik bileşiklerin geri kazanımı üzerine birçok çalışma yapılmış ve birçok farklı ekstraksiyon yönteminin etkinliği kıyaslanmıştır. Geleneksel solvent ekstraksiyonuna alternatif olması amacıyla çözügen olarak sadece su kullanarak MDE uygulanan çalışmalar mevcuttur. MDE'de fenolik bileşik ekstraksiyonu verimini yükseltmek için enzim ilavesinin etkisi araştırılmış ve enzim ilavesinin ekstraksiyon sıcaklığını ve süresini düşürdüğü için gelecek vaat eden bir yöntem olduğu anlaşılmıştır (Macedo vd., 2021).

Domates (*Solanum lycopersicum*); antioksidanlar, flavonoidler ve karotenoidler açısından zengin bir meyvedir. Yapılan çalışmada MDE işlemi ile elde edilen ekstraktın fenolik bileşik karakterizasyonunda ana fenolik bileşiğin klorojenik asit olduğu tespit edilmiş ve yöntemin fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunda kullanılabilirliği doğrulanmıştır (Baltacıoğlu vd., 2021).

Mango (*Mangifera indica*), Anacardiaceae familyasına ait olan, yapısındaki karbonhidratlar, lipitler, proteinler, organik asitler, vitaminler ve biyoaktif bileşikler nedeniyle oldukça fazla tüketilen bir meyvedir. Mango kabuğu ve tohumu sahip olduğu biyoaktif bileşenlerden dolayı çok iyi bir ekstrakt kaynağı olarak kabul edilen atık ürünlerdir. MDE, mango kabuğundan ekstrakte edilen toplam fenolik madde miktarı ve elde edilen ekstraktın antioksidan kapasitesi ile ilişkili olduğu belirlenmiştir (Ramírez-Brewer vd., 2023).

Kestane (*Castanea sativa* Mill.), tarımsal ormancılık ekonomisinde önemli rol oynayan bir sıcak iklim meyvesidir. Kestane kabuklarının proteinler, karbonhidratlar, selüloz, klason lignin içerdiği bilinmektedir. Kestane kabuğunun biyoaktif bileşiklerinin geri kazanımı ve melanin pigmentlerinin izolasyonu üzerine de bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bir çalışmada kestane kabuğundan MDE ile elde edilen ekstraktın gallik asit, ellagik asit, protokatekuik asit, kateşin ve epikateşin içerdiği ve *Staphylococcus aureus*'a karşı inhibitif etki gösterdiği belirlenmiştir. MDE yönteminin, kestane kabuğundan fenolik bileşik içeriği zengin ve koyu kahve rengine sahip olan doğal renklendirici üretiminde kullanılmasının mümkün olduğu gözlemlenmiştir (Kocer vd., 2024).

2.4. Süperkritik Akışkan Ekstraksiyonu

Süperkritik akışkan ekstraksiyonu (SAE), biyoaktif bileşiklerin süperkritik koşullardaki bir akışkan içinde çözünmesi ve sonrasında basıncın düşürülmesiyle gaz halindeki solventin geri kazanılması ve bileşiklerin ayrılması prensibine dayanmaktadır (Güvenç, 1997; Khaw vd., 2017). Son yıllarda fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunda süperkritik akışkan ekstraksiyon yöntemi; az miktarda çözgen kullanımı, enerji maliyetini azaltması ve çevre dostu bir yöntem olmasından dolayı büyük ilgi görmektedir (Marcus, 2018). Bu yöntemde çözgen olarak genellikle düşük maliyetli, yanıcı olmayan ve kritik noktası diğer sıvılardan çok daha düşük olan CO₂ kullanılmaktadır. İnsan sağlığı ve çevre açısından güvenli olan, ortam sıcaklığı ve basıncında gaz hâlinde bulunan CO₂, sistemin basıncının düşürülmesiyle ekstrakttan kolaylıkla uzaklaştırılabilmektedir. CO₂'in dezavantajı düşük polariteye sahip olmasıdır ve bu sorunun çözülmesi için düşük konsantrasyonlarda etanol, metanol veya su ilavesi ile yüksek polarite elde edilmektedir (Pereira ve Meireles, 2010; Khaw vd., 2017). Günümüzde fenolik bileşikler elde etmek için bir ekstraksiyon tekniği arayışı çok sayıda araştırmanın odak noktasıdır. Bu tür çalışmaların amacı, fenolik içerikleri ile doğrudan ilişkili olan yüksek antioksidan aktiviteye sahip bitki ekstraktları elde etmek için ekonomik ve güvenli bir yöntem bulmaktır. SAE, literatürde bildirilen 300'den fazla türle, bitkisel materyallerden ekstraktların hazırlanması için sürdürülebilir ve güvenli bir ekstraksiyon seçeneği olarak avantajlı bir şekilde konumlandırılmıştır.

Kuşkonmazın (*Asparagus officinalis* L.) fenolik bileşik kompozisyonunun önemli bir kısmını flavonoidler oluşturmaktadır. Kuşkonmazın yapısında bulunan fenolik bileşikler SAE ile yüksek verim ve kalitede ekstrakte etmenin mümkün olduğu anlaşılmıştır (Solana vd., 2015).

Sarımsağın (*Allium sativum* L.) yapısında organosülfür bileşikler, vitaminler, saponinler, alkaloidler ve flavonoidler gibi biyoaktif bileşikler bulunmaktadır. Sıklıkla tüketilen sebzelere kıyasla yapısında daha yüksek fenolik bileşik olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, sarımsak özellikle zengin bir diyet fenolik bileşik kaynağı olarak tavsiye edilmektedir. Yapısında bulunan fenolik bileşiklerin SAE ile ekstraksiyonunun ve ekstraktın fenolik karakterizasyonunun incelenmesine yönelik çalışmalarda 15 farklı fenolik bileşiğin ekstrakte edilebildiği anlaşılmıştır. SAE'nin sarımsaktan fenolik bileşik ekstraksiyonu için ideal

bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir (Liu vd., 2018).

Çikolata endüstrisinin yan ürünü olan kakao kabuğundan SAE ile fenolik bileşik ekstraksiyonunun mümkün olduğu bilinmektedir. SAE'nin sıcaklık, basınç ve yardımcı çözücü faktörlerin dikkate alınarak kakao kabuğundan fenolik bileşiklerce zenginleştirilmiş bir ekstrakt elde etmeye uygun bir teknoloji olduğu ve yüksek verim üreten, gelecek vaat eden bir yeşil biyofine teknoloji olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Valadez-Carmona vd., 2018).

Şeker otu (*Stevia rebaudiana*) yaprakları mükemmel bir fenolik bileşik kaynağı olarak kullanılabilir. Şeker otu yapraklarından SAE ile fenolik bileşiğin optimizasyonunun mümkün olduğu ve ekstraksiyon veriminin yüksek olduğu anlaşılmıştır (Ameer vd., 2017).

Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), Lamiaceae familyasına ait, yüksek antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteye sahip aromatik bir bitkidir. Biberiye esansiyel yağı; kimya, ilaç, gıda ve tatlandırıcı endüstrilerinde kullanılmaktadır. Biberiyeden karnosol, karnosik asit ve rosmarinik asit elde etmek için hızlandırılmış solvent ekstraksiyonu, UDE ve SAE uygulanmış olup SAE'nin diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek verim elde ettiği belirlenmiştir (Saklar-Ayyıldız vd., 2024).

3. Fenolik bileşiklerin doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımı

Gıda katkı maddeleri, işlenmiş gıdaların büyük çoğunluğunun üretiminde kullanılan maddelerdir (Cao vd., 2020). Gelişen teknoloji ile tüketicilerin doğal gıdalara olan ilgisinin artmasından dolayı fenolik bileşiklerin, doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımı gıda endüstrisinde önemli bir yere sahip olmuştur. Bitkilerden ekstrakte edilen fenolik bileşiklerin doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımı, gıda atıklarının değerlendirilmesi ve hiçbir kimyasal katkı maddesi kullanılmadan doğal gıda üretimi gibi birçok avantajın yanı sıra sürdürülebilir üretim kapsamında büyük ilgi görmektedir. Fenolik bileşiklerin antioksidan ve antimikrobiyal etkilerinden dolayı fonksiyonel gıdaların, diyet gıdaları ve besin içeriği zenginleştirilmiş gıda üretiminde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Castald vd., 2020; Zieniuk vd., 2021). Fenolik bileşenlerle zenginleştirilmiş diyet gıdalarının; kanser, diyabet, nörodejeneratif, kardiyovasküler hastalıklar ve yaşlanma gibi çok çeşitli hastalıkları önlemeye yardımcı olabileceği bilinmektedir (Balasundram vd., 2006; Shahidi ve Ambigaipalan, 2015).

Zeytin değirmenlerinin yan ürünü olan atık sulardan ekstrakte edilen fenolik bileşiklerin takviyesiyle elde edilen zenginleştirilmiş kan portakalı suyu, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi'nin sağlık beyanında önermiş olduğu günlük ihtiyacı karşılayabilir nitelikte hidroksitirosol içeren doğal bir içecek olmuştur (Foti vd., 2022). Fenolik bileşiklerin insan metabolizmasına dahil edilmesinin ana yolu gıda tüketimidir. Farklı bitkilerden izole edilen fenolik bileşiklerin doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımının mümkün olduğu kanıtlanmıştır (Joshi vd., 2015; Güneş vd., 2019; Li vd., 2020). Fenolik bileşiklerin varlığının, meyve ve sebzelerin raf ömrünün uzamasıyla ilişkili olduğu da bilinmektedir (Shahidi ve Ambigaipalan, 2015).

Ekmeğin reçetesine ilave edilen polifenollerin, unda bulunan glutenin hidrofilik özelliklerini iyileştirdiği ve böylelikle su bağlama kapasitesini artırılabilirdiği anlaşılmıştır. Ayrıca ekmeğin üretim sırasında fenolik bileşiklerin pişirme sıcaklığının stabilizasyonunda görev aldığı bilinmektedir (Taglieri vd., 2021).

Nar kabuğu ekstraktının gıda katkı maddesi olarak kullanımında ekstraktın yapısında bulunan fenolik bileşiklerin antimikrobiyal etkilerinin yanı sıra oksidasyonu da engelleyerek işleme, depolama veya gastrointestinal sindirim koşulları üzerine etki ederek gıda stabilitesini artırdığı belirlenmiştir (Kaderides vd., 2021).

Kividen elde edilen polifenollerin, sığır etinin işlenmesi sırasında doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımının, tiyobarbitürik asit reaktif türlerin ve toplam uçucu bazik nitrojenin oluşumunu engellediği ve buna bağlı olarak etin renk bozulmasını önleyen ve duyuşal özelliklerini korurken stabil doku sağlayan yağ asidi oksidasyonunu azalttığı belirlenmiştir (Jiao vd., 2020). Ayrıca deve sütünden elde edilen fermente gıdaların reçetesine, kivi ekstraktı dahil edildiğinde depolama süresi boyunca radikal temizleme aktivitesinin korunduğu anlaşılmıştır (Soliman ve Shehata, 2019).

Kestane kabuklarından SAE ile elde edilen fenolik ekstraktın gastrointestinal sindirimden sonra bile antioksidan etkinliğine sahip olduğu ve

fonksiyonel gıda üretiminde katkı maddesi olarak kullanımının mümkün olduğu gözlemlenmiştir (Pinto vd., 2024).

4. Sonuç

Bitkilerden ekstrakte edilen klorojenik asit, gallik asit, valin, ferulik asit, ellagik asit, kurkumin ve rosmarinik asit gibi doğal fenolik bileşikler, gıda endüstrisinde büyük öneme sahiptir. Ekstraksiyon yöntemi, ekstraksiyon süresi ve sıcaklığı, kullanılan çözügen ve partikül boyutu ekstrakte edilen fenolik bileşiğin kalitesi ve ekstraksiyon verimi üzerinde önemli etkiye sahip parametrelerdir. Yenilikçi teknolojilerden olan yeşil biyo-rafinasyon teknolojileri; kullanılan çözügen miktarının azaltılması, ekstraksiyon süresinin kısaltılması, ekstraksiyon maliyetinin düşürülmesi ve yüksek ekstraksiyon verimi sağlanmasından dolayı son yıllarda tercih edilen ve üzerine çalışan teknolojilerden olmuştur. Yenilikçi teknolojiler kapsamında UDE, MDE ve SAE büyük ilgi görmektedir. Bu teknolojiler; yüksek verim üretimi, enerji ve çözügen tasarrufu, ekstraksiyon süresinin azalması gibi birçok avantaja sahip olan çevre dostu uygulamalardır. UDE teknolojisi diğer yeşil biyo-rafinasyon teknolojilerinin sahip olduğu avantajlara ek olarak kullanımın kolaylığı ve ekipmanın ucuz olması avantajına da sahiptir. MDE işlemi, ekstraksiyon ortamı ısıtılmadan sadece örnek matriksi ısıtıldığından hızlı sonuç üreten bir sistemdir. SAE teknolojisinde çözügen olarak kullanılan CO₂'nin toksik olmaması, alev almaması ve ucuz olması sistemin ilgi görmesini sağlamaktadır. Ayrıca CO₂'nin elde edilen ekstrakttan kolaylıkla uzaklaşması tercih edilmesinde etkilidir. Antimikrobiyal ve antioksidan özelliklere sahip olduğu bilinen fenolik bileşiklerin, değişen tüketici algısı ile birlikte doğal gıda üretimi amacıyla gıda katkı maddesi olarak kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Fenolik bileşiklerin doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımı güvenli gıda üretimi, besin içeriği zenginleştirilmiş gıda üretimi ve sürdürülebilir üretim gibi birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Doğal gıda katkı maddesi olarak kullanımının gıdaların raf ömrü üzerindeki olumlu etkiler sağladığı, duyuşal ve tekstürel özelliklerin stabilizasyonunda görev aldığı bilinmektedir.

5. Kaynaklar

Alara, O.R., Abdurrahman, N.H. and Ukaegbu, C.I., (2018). Soxhlet extraction of phenolic compounds from *Vernonia cinerea* leaves and its antioxidant activity. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 11, 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.07.003>

Ameer, K., Chun, B.S. and Kwon, J.H., (2017). Optimization of supercritical fluid extraction of steviol glycosides and total phenolic content from *Stevia rebaudiana* (Bertoni) leaves using response surface methodology and artificial neural network modeling. *Industrial Crops and Products*. 109, 672-

685. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.023>

Bagade, S.B. and Patil, M. (2021). Recent advances in microwave assisted extraction of bioactive compounds from complex herbal samples: a review. *Critical reviews in analytical chemistry*, 51(2), 138- 149. <https://doi.org/10.1080/10408347.2019.1686966>

Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191- 203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>

Baltacıoğlu, H., Baltacıoğlu, C., Okur, İ., Tanrıvermiş, A. and Yalçın, M. (2021). Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. *Vibrational Spectroscopy*, 113, 103204. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2020.103204>

Bener, M., Şen, F.B., Önem, A.N., Bekdeşer, B., Çelik, S.E., Lalikoğlu, M., Aşçı, Y.S., Capanoğlu, E. and Apak, R. (2022). Microwave-assisted extraction of antioxidant compounds from by-products of Turkish hazelnut (*Corylus avellana* L.) using natural deep eutectic solvents: Modeling, optimization and phenolic characterization. *Food Chemistry*, 385(13), 132633. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132633>

Bi, Y., Lu, Y., Yu, H. and Luo, L. (2019). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of bioactive compounds from *Sargassum henslowianum* using response surface methodology. *Pharmacognosy Magazine*, 15, 156-163. <https://doi.org/10.4103/pm.pm.347.18>

Brahmi, F., Blando, F., Sellami, R., Mehdi, S., De Bellis, L., Negro, C., Haddadi-Guemghar, H., Madani, K. and Makhoul-Boulekbahe, L. (2022). Optimization of the conditions for ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Opuntia ficus-indica* [L.] Mill. flowers and comparison with conventional procedures. *Industrial Crops and Products*, 184, 114977. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114977>

Cao, Y., Liu, H., Qin, N., Ren, X., Zhu, B. and Xia, X. (2020). Impact of food additives on the composition and function of gut microbiota: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 99, 295- 310. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.006>

Castaldo, L., Narváez, A., Izzo, L., Graziani, G. and Ritieni, A. (2020). In Vitro Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Coffee Silverskin Polyphenolic Extract and Characterization of Bioactive Compounds Using UHPLC-Q-Orbitrap HRMS. *Molecules*, 25(9), 2132. <https://doi.org/10.3390/molecules25092132>

Cheng, M., He, J., Wang, H., Li, C., Wu, G., Zhu, K., Chen, X., Zhang, Y. and Tan, L. (2023). Comparison of microwave, ultrasound and ultrasound-microwave assisted solvent extraction methods on phenolic profile and antioxidant activity of extracts from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) pulp. *Food Science And Technology*, 173, 114395. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114395>

Cong-Cong, X.U., Bing, W.A.N.G., Yi-Qiong, P.U., Jian-Sheng, T.A.O. and Zhang, T. (2017). Advances in extraction and analysis of phenolic compounds from plant materials. *Chinese journal of natural medicines*, 15(10), 721-731. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(17\)30103-6](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(17)30103-6)

Çolak, M. (2019). *Prunus laurocerasus* Meyvesi Yağ Asidi Bileşenlerinin Ultrason Destekli Mikrodalga Ekstraksiyon Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi), T.C. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Niğde, TÜRKİYE.

Dai, J. and Mumper, R.J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15, 7313-7352. <https://doi.org/10.3390/molecules15107313>

Deng, Y., Wang, W., Zhao, S., Yang, X., Xu, W., Guo, M., Xu, E., Ding, T., Ye, X. and Liu, D. (2022). Ultrasound-assisted extraction of lipids as food components: Mechanism, solvent, feedstock, quality evaluation and coupled technologies – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 122, 83-96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.034>

Dewi, S.R., Stevens, L., Pearson, A.E., Ferrari, R., Irvine, D.J. and Binner, E.R. (2022). Investigating the role of solvent type and microwave selective heating on the extraction of phenolic compounds from cacao (*Theobroma cacao* L.) pod husk. *Food and Bioproducts Processing*, 134, 210-222. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.05.011>

Foti, P., Occhipinti, P.S., Romeo, F.V., Timpanaro, N., Musumeci, T., Randazzo, I. and Caggia, C. (2022). Phenols recovered from olive mill wastewater as natural booster to fortify blood

orange juice. *Food Chemistry*, 393, 133428. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133428>

Fu, X., Wang, D., Belwal, T., Xie, J., Xu, Y., Zou, L., Zhang, L. and Luo, Z. (2021). Natural deep eutectic solvent enhanced pulse-ultrasonication assisted extraction as a multi-stability protective and efficient green strategy to extract anthocyanin from blueberry pomace. *Food Science and Technology*, 144, 111220. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111220>

Güneş, A., Kordali, Ş., Turan, M. and Usanmaz-Bozhüyük, A. (2019). Determination of antioxidant enzyme activity and phenolic contents of some species of the Asteraceae family from medicinal plants. *Industrial Crops and Products*, 137, 208-213. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.042>

Güvenç, A. (1997). Etanolün fermantasyon çözeltisinden süperkritik CO₂ ekstraksiyonu. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.

Hadidi, M., Ibarz, A. and Pagan, J. (2020). Optimisation and kinetic study of the ultrasonic-assisted extraction of total saponins from alfalfa (*Medicago sativa*) and its bioaccessibility using the response surface methodology. *Food Chemistry*, 309, 125786. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125786>

He, B., Zhang, L.L., Yue, X.Y., Liang, J., Jiang, J., Gao, X.L. and Yue, P.X. (2016). Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium ashei*) wine pomace. *Food Chemistry*, 204, 70- 76. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.094>

Ignat, I., Volf I. and Popa, V.I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126, 1821-1835. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>

Jaiswal N. and Kumar A. (2022). HPLC in the discovery of plant phenolics as antifungal molecules against *Candida* infection related biofilms. *Microchemical Journal*, 179, 107572. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107572>

Jiao, Y., Quek, S.Y., Gu, M., Gu, Y. and Liu, Y. (2020). Polyphenols from thinned young kiwifruit as natural antioxidant: Protective effects on beef oxidation, physicochemical and sensory properties during storage. *Food Control*, 108, 106870. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106870>

Joshi, J.R., Burdman, S., Lipsky, A. and Yedidia, I. (2015). Effects of plant antimicrobial phenolic

compounds on virulence of the genus *Pectobacterium*. *Research in Microbiology*, 166(6), 535- 545. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.04.004>

Kaderides, K., Kyriakoudi, A., Mourtzinis, L. and Goula, A.M. (2021). Potential of pomegranate peel extract as a natural additive in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 380-390. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.050>

Khaw, K. Y., Parat, M. O., Shaw, P. N. and Falconer, J. R. (2017). Solvent supercritical fluid technologies to extract bioactive compounds from natural sources: A review. *Molecules*, 22(7), 1186. <https://doi.org/10.3390/molecules22071186>

Kocer, S., Copur, O. U., Tamer, C. E., Suna, S., Kayahan, S., Uysal, E., Cavaş, S. and Akman, O. 2024. Optimization and characterization of chestnut shell pigment extract obtained microwave assisted extraction by response surface methodology. *Food Chemistry*, 443, 138424. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138424>

Koraqi, H., Petkoska, A. T., Khalid, W., Kumar, N. and Pareek, S. (2023). Optimization of experimental conditions for bioactive compounds recovery from raspberry fruits (*Rubus idaeus* L.) by using combinations of ultrasound-assisted extraction and deep eutectic solvents. *Applied Food Research*, 3(2), 100346. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100346>

Lama-Muñoz, A., Cotreras, M.M., Espínola, F., Moya, M., Romero, I. and Castro, E. (2020). Content of phenolic compounds and mannitol in olive leaves extracts from six Spanish cultivars: Extraction with the Soxhlet method and pressurized liquids. *Food Chemistry*, 320, 126626. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126626>

Separations Li, J., Huang, S.Y., Deng, Q., Li, G., Su, G., Liu, J. and Wang, H.M.D. (2020). Extraction and characterization of phenolic compounds with antioxidant and antimicrobial activities from pickled radish, *Food and Chemical Toxicology*, 136, 111050. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.111050>

Li, Y. (2015). Explore microwave extraction technology and its application in food chemistry, *Food Safety Guide*, 3, 55-56.

Liu, J., Ji, F., Chen, F., Guo, W., Yang, M., Huang, S., Zhang, F. and Liu, Y. (2018). Determination of garlic phenolic compounds using supercritical fluid extraction coupled to supercritical fluid chromatography/tandem mass spectrometry, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical*

Analysis, 159, 513- 523. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2018.07.020>

Macedo, G.A., Santana, A.L., Crawford, L.M., Wang, S.C., Dias, F.F.G. and Moura-Bell, J.M.L.N. (2021). Integrated microwave- and enzyme-assisted extraction of phenolic compounds from olive pomace, *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 138, 110621. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110621>

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C. and Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 79(5), 727-747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>

Marcus, Y. (2018). Extraction by subcritical and supercritical water, methanol, ethanol and their mixtures. *Separations*, 5(1), 4.

Moradi, S., Fazlali, A. and Hamed, H. (2018). Microwave-assisted hydro-distillation of essential oil from rosemary: comparison with traditional distillation. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 10(1), 22-28.

Moussa, H., Dahmoune, F., Hentabli, M., Remini, H. and Mouni, L. (2022). Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic-saponin content from *Carthamus caeruleus* L. rhizome and predictive model based on support vector regression optimized by dragonfly algorithm. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 222, 104493. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2022.104493>

Nie, J., Chen, D., Ye, J., Lu, Y. and Dai, Z. (2021). Optimization and kinetic modelling of ultrasonic-assisted extraction of fucoxanthin from edible brown algae *Sargassum fusiforme* using green solvents. *Ultrasonic Sonochemistry*, 77, 105671. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105671>

Nipornram, S., Tochampa, W., Rattanatraiwong, P. and Singanusong, R. (2018). Optimization of low power ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from mandarin (*Citrus reticulata* Blanco cv. Sainampung) peel. *Food Chemistry*, 241, 338-345. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.114>

Oniszczuk, A. and Olech, M. (2016). Optimization of ultrasound-assisted extraction and LC-ESI-MS/MS analysis of phenolic acids from *Brassica oleracea* L. var. Sabellica. *Industrial Crops and Products*, 83, 359-363. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.01.015>

Ramírez-Brewer, D., Quintana, S. E. & García-Zapateiro, L. A. (2023). Modeling and

optimization of microwave-assisted extraction of total phenolics content from mango (*Mangifera indica*) peel using response surface methodology (RSM) and artificial neural networks (ANN). *Food Chemistry*, X, 101420. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.101420>

Pinto, D., López-Yerena, A., Lamuela-Raventós, R., Vallverdú-Queralt, A., Delerue-Matos, C. and Rodrigues, F., (2024). Predicting the effects of in-vitro digestion in the bioactivity and bioaccessibility of antioxidant compounds extracted from chestnut shells by supercritical fluid extraction – A metabolomic approach. *Food Chemistry*, 435, 137581. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137581>

Pereira, C.G. and Meireles, M.A.A. (2010). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: Fundamentals, applications and economic perspectives. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 340-372. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0263-2>

Pérez-Jiménez, J. and Saura-Calixto, F. (2006). "Effect of Solvent and Certain Food Constituents on Different Antioxidant Capacity Assays", *Food Research International*, 39(7):791-800.

Qian, J., Li, Y., Gao, J., He, Z. and Yi, S. (2020). The effects of ultrasonic intensity on physicochemical properties of Chinese fir. *Ultrasonic Sonochemistry*, 64, 104985. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104985>

Rahman, M.M., Byanju, B., Grewell, D. and Buddhi, P.L. (2021). High-power sonication of soy proteins: Hydroxyl radicals and their effects on protein structure. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64, 105019. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105019>

Saklar-Ayyildiz, S., Pelvan, E. and Karadeniz, B. (2024). Optimization of accelerated solvent extraction, ultrasound assisted and supercritical fluid extraction to obtain carnosol, carnosic acid and rosmarinic acid from rosemary. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 37, 101422. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101422>

Santos, A.L. (2018). Recuperação de compostos bioativos do resíduo do processamento do café (silverskin): Otimização do processo de extração; caracterização química, capacidade kahveidante e toxicidade dos extratos (Doktora Tezi), Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul., Brazil.

Setyaningsih, W., Saputro, I.E., Carrera, C.A. and Palma, M. (2019). Optimisation of an ultrasound-assisted extraction method for the simultaneous

- determination of phenolics in rice grains. *Food Chemistry*, 288(1), 221-227. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.107>
- Shahidi, F. and Ambigaipala, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review, *Journal of Functional Foods*, 18, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Singh, P., Pandey, V. K., Chakraborty, S., Dash, K. K., Singh, R., Shaikh, A. M. and Béla, K. (2023). Ultrasound-assisted extraction of phytochemicals from green coconut shell: Optimization by integrated artificial neural network and particle swarm technique. *Heliyon*, 9(12), e22438. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22438>
- Solana, M., Boschiero, I., Dall'Acqua, S. and Bertucco, A. (2015). A comparison between supercritical fluid and pressurized liquid extraction methods for obtaining phenolic compounds from *Asparagus officinalis* L. *The Journal of Supercritical Fluids*, 100, 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.02.014>
- Soliman, T.N. and Shehata, S.H. (2019). Characteristics of fermented camel's milk fortified with kiwi or avocado fruits, *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 18(1), 53-63. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2019.0602>
- Souza, O.A., Ramalhão, V.G.S., Trentin, L.M., Funari, C.S., Carneiro, R.L., Bolzani, V.S. and Rinaldo, D. (2022). Combining natural deep eutectic solvent and microwave irradiation towards the eco-friendly and optimized extraction of bioactive phenolics from *Eugenia uniflora* L. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 26, 100618. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100618>
- Taglieri, I., Sanmartin, C., Venturi, F., Macaluso, M., Bianchi, A., Sgherri, C., Quartacci, M.F., De Leo, D., Pistelli, L., Palla, F., Flamini, G. and Zinnai, A. (2021). Bread fortified with cooked purple potato flour and *Citrus albedo*: An evaluation of its compositional and sensorial properties, *Foods*, 10(5), 942. <https://doi.org/10.3390/foods10050942>
- Taşkıran, Z. G., Dündar, A., and Yıldız, H. (2023). Bitkisel Materyallerdeki Biyoaktif Bileşenlerin Ekstraksiyonunda Kullanılan Konvansiyonel ve Yeni Nesil Ekstraksiyon Yöntemleri. *Gıda Bilimi ve Mühendisliği Araştırmaları*, 2(2), 50-58.
- Valadez-Carmona, L., Ortiz-Moreno, A., Ceballos-Reyes, Guillermo, Mendiola, J.A. and Ibáñez, E. (2018). Valorization of cacao pod husk through supercritical fluid extraction of phenolic compounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 131, 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.011>
- Wani, K.M. and Uppaluri, R.V.S. (2022). Efficacy of ultrasound-assisted extraction of bioactive constituents from *Psidium guajava* leaves. *Applied Food Research*, 2(1), 100096. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100096>
- Yusoff, I.M., Taher, Z.M., Rahmat, Z. and Chua, L.S. (2022). A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: Phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. *Food Research International*, 157, 111268. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111268>
- Zago, E., Tiller, C., De Leneer, G., Nandasiri, R., Delporte, C., Bernaest, K.V. and Shavandi, A. (2022). Sustainable production of low molecular weight phenolic compounds from Belgian Brewers' spent grain. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100964. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100964>
- Zieniuk, B., Groborz, K., Wołoszynowska, M., Ratusz, K., Białecka-Florjańczyk, E. and Fabiszewska, A. (2021). Enzymatic Synthesis of Lipophilic Esters of Phenolic Compounds, Evaluation of Their Antioxidant Activity and Effect on the Oxidative Stability of Selected Oils. *Biomolecules*, 11(2), 314. <https://doi.org/10.3390/biom11020314>

Original Article/Özgün Araştırma

Bioproduction of xylitol by *Candida tropicalis* 13803 from pistachio shell hydrolysate obtained through MW-HPCO₂ system

MW-HPCO₂ sistemi ile elde edilen antep fıstığı kabuğu hidrolizatından *Candida tropicalis* 13803 kullanılarak ksilitol biyoüretimi

Filiz Hazal^{1*}, Neval Özbek¹, Murat Yılmaztekin², Fahrettin Göğüş¹, Derya Koçak Yanık³

¹Department of Food Engineering, Engineering Faculty, University of Gaziantep, 27310, GAZİANTEP, TÜRKİYE

²Department of Food Engineering, Engineering Faculty, İnönü University, 44280, MALATYA, TÜRKİYE

³Department of Food Engineering, Faculty of Agriculture, Eskişehir Osmangazi University, 26160, ESKİŞEHİR, TÜRKİYE

(By author order/Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0000-0003-4923-0774, Gıda Yük. Müh.

ORCID ID: 0000-0001-6543-4086, Arş. Görv. Dr.

ORCID ID: 0000-0002-5667-9169, Prof. Dr.

ORCID ID: 0000-0002-8610-5297, Prof. Dr.

ORCID ID: 0000-0003-3866-899X, Doç. Dr.

* Corresponding author/Sorumlu yazar: filizhazal@gmail.com

Received/Geliş Tarihi : 21.03.2024

Accepted/Kabul Tarihi : 14.06.2024

Abstract

Objective: Biotechnological xylitol production from secondary agricultural residues is a promising approach for a sustainable and environmental purpose. Lignocellulosic biomass is a significant feedstock for biofuel and biochemical production. Its accessibility, cost-effectiveness, renewability, and environmental friendliness make it an attractive alternative to fossil fuels and other conventional sources of energy and chemicals.

Materials and methods: In this study, the conversion of xylan to xylose in a pistachio shell was provided with a novel technology of microwave-assisted high-pressure CO₂/H₂O system. Xylose rich pistachio shell hydrolysate was utilized by *Candida tropicalis* ATCC 13803 for xylitol production. Different concentrations of xylose (50, 100, and 150 g/L) were employed for xylitol production in shake-flask.

Results and conclusion: HMF and furfural were completely removed from xylose-rich hydrolysate by activated charcoal. The improvement in yeast performance was limited with increasing xylose concentration. The highest xylitol produced by *C. tropicalis* from pistachio shell hydrolysate (65.15 g/L) and the maximum yield of xylitol 0.66 g/g with 100 g/L xylose were obtained in shake-flask whereas xylitol produced at 50 g/L and 150 g/L xylose were 0.65 and 0.37 g/g, respectively. Volumetric productivity at 100 g/L of xylose was 1.28 times and 1.84 times higher compared to xylose concentrations of 50 g/L and 150 g/L, respectively. Xylitol production performance (71.73 g/L) of detoxified pistachio shell hydrolysate at 100 g/L of xylose was almost identical to pure xylose. However, the yeast was not able to consume xylose at 150 g/L resulting in no xylitol production.

Keywords: Xylose; microwave-assisted high-pressure CO₂/H₂O hydrolysis; pistachio shell hydrolysate; xylitol; *Candida tropicalis*

Öz

Amaç: İkincil tarımsal kalıntılardan biyoteknolojik yolla ksilitol üretimi, sürdürülebilir ve çevresel bir amaç için umut verici bir yaklaşımdır. Lignoselülozik biyokütle, biyoyakıt ve biyokimyasal üretim için önemli bir hammaddedir. Erişilebilirliği, maliyet etkinliği, yenilenebilirliği ve çevre dostu olması onu fosil yakıtlara ve diğer geleneksel enerji ve kimyasal kaynaklarına karşı cazip bir alternatif haline getirmektedir.

Materyal ve yöntem: Bu çalışmada, Antep fıstığı kabuğundaki ksilanın ksiloza dönüşümü, yeni bir teknoloji olan mikrodalga destekli yüksek basınçlı CO₂/H₂O ile sağlanmıştır. Ksiloz bakımından zengin Antep fıstığı kabuğu hidrolizati, ksilitol üretimi için *Candida tropicalis* ATCC 13803 tarafından kullanılmıştır. Erlenmayerde ksilitol üretimi için farklı ksiloz konsantrasyonları (50, 100 ve 150 g/L) kullanılmıştır.

Tartışma ve sonuç: HMF ve furfural, aktif kömür ile ksiloz bakımından zengin hidrolizattan tamamen uzaklaştırılmıştır. Maya performansındaki iyileşme, ksiloz konsantrasyonunun artması ile kısıtlanmıştır. Erlenmayerde fıstık kabuğu hidrolizati kullanılarak *C. tropicalis* tarafından üretilen en yüksek ksilitol (65,15 g/L) ve 0,66 g/g maksimum verim 100 g/L ksiloz konsantrasyonu ile elde edilirken, 50 g/L ve 150 g/L ksiloz ile üretilen ksilitol sırasıyla 0,65 ve 0,37 g/g bulunmuştur. Hacimsel verimlilik 100 g/L ksilozda, 50 g/L ve 150 g/L ksiloz konsantrasyonlarına kıyasla sırasıyla 1,28 kat ve 1,84 kat daha yüksek bulunmuştur. Detoksifiye edilmiş fıstık kabuğu hidrolizatının 100 g/L ksilozdaki ksilitol üretim performansı (71,73 g/L) saf ksiloz ile neredeyse aynı bulunmuştur. Ancak, maya 150 g/L'de ksilozu tüketememiş ve ksilitol üretimi gerçekleşmemiştir.

Anahtar kelimeler: Ksiloz; mikrodalga destekli yüksek basınçlı CO₂/H₂O hidrolizi; fıstık kabuğu hidrolizati; ksilitol; *Candida tropicalis*

1. Introduction

Lignocellulosic biomass, non-edible plant residues generated from forests and energy crops mainly composed of hemicellulose (20-40%), cellulose (35-55%), and lignin (10-25%) together with low quantities of acetyl groups, minerals and phenolic substituents (Okolie et al., 2021). Lignocellulosic biomass is cheap, renewable, and bounteously accessible in nature (Chen et al., 2021). Fermentable sugars (C-5 and C-6) such as glucose and xylose released after deconstruction of the lignocellulosic biomass are valuable feedstocks for biofuels and various biochemicals production through microbial fermentation (Suhartini et al., 2022). The utilization of agricultural residues for industrial purposes is therefore gaining attention as alternative feedstocks replacing petroleum-based resources (Mujtaba et al., 2023). Pistachio shell is a valuable lignocellulosic biomass with its 46.13, 24.50, and 24.83 % of hemicellulose, cellulose, and lignin content, respectively (Hazal et al., 2024). Pistachio shell is potentially one of the most promising feedstocks for microbial xylitol production because of its rich xylan content in hemicellulose fraction (80-90%) (Özbek et al., 2020). Xylan is the primary component of hemicellulose, and it can be depolymerized into xylose, a key precursor for xylitol production (Ergün et al., 2022).

Xylitol is known as a sugar alcohol that offers the same profile of sweetness as sucrose but with approximately 40% fewer calories (Baptista et al., 2020). It is also a favorable natural sweetener with its antimicrobial and anticarcinogenic properties employed for diabetics in the pharmaceutical industry while it is utilized as a direct substitute for sugar in a wide range of food products, including sugar-free or reduced-sugar versions of candies, chewing gum, baked goods, desserts, and beverage (Xu et al., 2019; Selvasekaran and Chidambaram, 2021). Today, xylitol is produced by xylose hydrogenation chemically obtained from various sources with Ni/Al₂O₃ as a catalyst under elevated temperature and pressure conditions (Du et al., 2021). The cost of the chemical process can be relatively high, mostly because of the difficulties related to the purification and separation of xylitol (Xu et al., 2019). An alternative way to chemical processes, there are high-efficiency biotechnological processes in which xylose is reduced to xylitol using yeasts which are environmentally friendly and can utilize lignocellulosic residues as carbon source (Narisetty et al., 2021; Queiroz et al., 2022). Xylitol production via microbial route depends on xylose reductase reducing xylose to xylitol using NADPH

as a coenzyme. Afterward, xylitol oxidation to xylulose is catalyzed by an enzyme known as xylitol dehydrogenase (XDH), which depends on the cofactor NAD⁺ (nicotinamide adenine dinucleotide) (Felipe Hernández-Pérez et al., 2019). Conversion of D-xylose to xylitol can be provided by several yeast species through their metabolic pathways. Some of these yeasts have been studied and used in biotechnology and industrial applications for xylitol production such as *Debaryomyces hansenii*, *Scheffersomyces stipitis* (*Pichia stipitis*), *Kluyveromyces marxianus* and recombinant *Saccharomyces cerevisiae* (De Albuquerque et al., 2014; Zhang et al., 2014). Further, certain bacteria, such as *Escherichia coli* (Jin et al., 2018), and various filamentous fungi, like *Aspergillus oryzae* and *Trichoderma reesei* can synthesize xylitol, however, the efficiency of xylitol production was very low. Among these microorganisms, *Candida tropicalis* stands out owing to its natural xylose conversion ability to xylitol with high yield and its strong resistance to inhibitive compounds (furfural, acetate, and phenolic compounds) that are usually released in hemicellulose hydrolysate after pretreatment (Xu et al., 2019). Conventional pretreatment methods are insufficient to promote the sustainable production of bioenergy and bioproducts and may have limitations such as high costs, longer processing times, and potential environmental impacts compared to advanced pretreatment methods such as microwave-assisted pretreatment and high-pressure CO₂ pretreatment (Sidana and Yadav, 2022). Microwave energy provides less reaction time, efficient and quick heating, and higher yield, and it is cost-efficient, environmentally friendly, and energy saving (Mankar et al., 2021). The shorter processing time of microwave-based heating can significantly reduce energy consumption compared to traditional heating methods (Hoang et al., 2021). Under pressure, carbon dioxide molecules can penetrate through the small pores in lignocellulose (Sasaki and Ohsawa, 2021). As pressure increases within high-pressure systems, the solubility of CO₂ in water rises to an optimal level, leading to a decrease in pH and facilitating hydrolysis (Kumar et al., 2021). Still, the presence of inhibitory products in hemicellulosic hydrolysate derived from lignocellulosic biomass after pretreatment can be a significant challenge for biotechnological xylitol production. These inhibitory compounds, often byproducts of the biomass pretreatment and hydrolysis process, can hinder microbial fermentation and lead to incomplete or prolonged

fermentation, making the process inefficient. To overcome this, detoxification of hemicellulosic hydrolysate is needed to remove toxic substances for biotechnological xylitol production. There is a variety of detoxification studies in the literature such as pH adjustment (Sjulander and Kikas, 2020), ion-exchange resins (Vardhan et al., 2024), and activated charcoal (Ahuja et al., 2022). The utilization of activated charcoal in the detoxification process is vast due to its simple application and is economically feasible to minimize the amounts of phenolic compounds, acetic acid, aromatic compounds, furfural and hydroxymethylfurfural (HMF) generally present in hemicellulosic hydrolysate (Arminda et al., 2021). One of the factors affecting the product yield in microbial xylitol production is the selection of microorganisms as well as the determination of appropriate fermentation conditions. The ambient temperature, dissolved oxygen concentration, pH, initial substrate concentration, the amounts of nitrogenous substances in the medium, and agitation speed are the parameters to be taken into account in microbial fermentation. As a result of proper control of these factors, high efficiency of the target product can be achieved (Manaf et al., 2023). The initial concentration of xylose in the medium is the key factor affecting xylitol yield produced by yeast. However, at high xylose concentrations, microorganism growth and product formation are inhibited due to osmotic stress (Hoppert et al., 2022).

Conventional methods, primarily employing acid hydrolysis, were used to obtain pistachio shell hydrolysate for xylitol production (Sasaki et al., 2011; Domínguez et al., 2012). This is the first research to hydrolyze pistachio shells before fermentation using an eco-friendly technique. Therefore, the aim of this work was to develop a biotechnological xylitol production from pistachio shell hydrolysate obtained with a sustainable strategy. In this context, the pistachio shell was depolymerized into C-5 sugars with microwave-assisted high-pressure CO₂/H₂O hydrolysis (MW-HPCO₂) application in the first stage. Xylose-enriched hydrolysate was detoxified using activated charcoal followed by the concentration of the hydrolysate to attain desired concentrations. Subsequently, the effect of the initial xylose concentrations on the yield of xylitol by *Candida tropicalis* was studied in flasks. Further, non-detoxified pistachio shell hydrolysate and pure xylose were compared to detoxified hydrolysate from pistachio shell for culture medium at optimum xylose concentration to investigate xylitol production.

2. Materials and methods

2.1. Materials

Pistachio shells were supplied from Gaziantep, Turkey. The shells were milled to 1-2 mm size by Brook Crompton Series 2000 (Huddersfield, UK). All chemicals and standards were supplied from Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA).

2.2. Preparation of pistachio shell hydrolysate by microwave-assisted high-pressure CO₂/H₂O hydrolysis

MW-HPCO₂ system was conducted by using a microwave (Milestone SynthWave, Italy) equipped with a chiller and CO₂-supplying tube. Pistachio shell and distilled water (5°C) were added into a 1 liter polytetrafluoroethylene (PTFE) vessel. The system was pressurized by CO₂ to 55 bars. Microwave power was set to 1500 W for each run. Preliminary runs were carried out by Hazal et al. (2023). The experiments were performed under optimum conditions at 190°C for 30 min previously reported by Hazal et al. (2024). Liquid (hemicellulose-enriched sugars) and solid fractions were separated by vacuum filtration. The liquid part was kept at -20°C for further use. Concentrations of fermentable sugars (xylose, arabinose, and glucose), acetyl groups (acetic acid and formic acid), HMF, and furfural in the hydrolysate were identified by HPLC.

2.3. Detoxification of pistachio shell hydrolysate by activated charcoal

Activated charcoal at different concentrations (1, 2, and 3% w/v) and temperatures (25-45°C) was mixed with the hydrolysate of the pistachio shell to remove inhibitive products (acetic acid, furfural, and HMF) for the bioconversion process. The suspension of charcoal was stirred at 200 rpm for 60 min using an orbital shaker incubator. The removal of the charcoal from the liquid part was provided through vacuum filtration. The further concentration of the detoxified hydrolysate using a rotary vacuum evaporator to obtain specific concentrations of xylose (50, 100, and 150 g/L) was applied at 70°C. The xylose, acetic acid, HMF, and furfural composition in the hydrolysate after detoxification and their concentrations were analyzed by HPLC.

2.4. Microorganism and inoculum preparation

Candida tropicalis 13803 was supplied from ATCC. Lyophilized cells were grown on Yeast Malt (YM) agar slants at 4°C. Yeast cells were cultivated in the medium containing 50 g/L xylose, 5 g/L yeast extract, 5 g/L (NH₄)₂SO₄, 2 g/L KH₂PO₄, 0.5 g/L MgSO₄·7H₂O, and 1 g/L peptone

to prepare inoculum for xylitol production in 250 mL Erlenmeyer flasks containing 50 mL of medium (Cheng et al., 2009). A loopful of *C. tropicalis* grown on YM agar was passed to the medium. The cells were harvested at 200 rpm and 30°C for 48 h using an orbital shaker incubator (New Brunswick Innova 40R Incubator Shaker, USA). After completion of the inoculum culture, the medium was centrifuged at 4°C, $4000 \times g$ for 10 min, and yeast cells were washed twice with sterilized water. The cells were suspended in 5 mL of the fresh medium containing 5 g/L yeast extract, 5 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 2 g/L KH_2PO_4 , 0.5 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and 1 g/L peptone (without xylose). The cell density of the suspension was measured by counting under the microscope using a hemocytometer to attain 1×10^7 cells/mL.

2.5. Xylitol production in shake-flask

All shake flask experiments were carried out in 50 mL of the same medium as used in the inoculum culture: 5 g/L yeast extract, 5 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 2 g/L KH_2PO_4 , 0.5 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and 1 g/L peptone containing pistachio shell hydrolysate at 50, 100 and 150 g/L in 250 mL flasks at 30°C and 200 rpm using an orbital shaker incubator (Morais Junior et al., 2019; Zhang et al., 2019). The inoculum was added to the medium at 1×10^7 cells/mL. The pH of the medium was modified by 1 N KOH to 6 using and not controlled throughout the bioconversion process. Sugar was sterilized with 0.22 μm sterile filter whereas other nutrients were autoclaved at 121°C for 15 min. Samples were withdrawn periodically at 12 h intervals until all xylose was consumed.

2.6. Determination of fermentation parameters

QP ($\text{g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$) volumetric xylitol yield is the ratio of xylitol produced to fermentation time, $Y_{P/S}$ (g/g) maximum xylitol yield is the ratio of xylitol produced (g/L) to xylose consumed (g/L) and q_P (g xylitol $\text{g cell}^{-1} \text{ h}^{-1}$) specific productivity is the ratio of xylitol concentration produced to cell mass during fermentation time.

2.7. Analytical methods

All samples were withdrawn regularly at 12 h intervals to analyze the microbial growth, dry cell weight (DCW), xylose consumption, and xylitol yield. For DCW samples were withdrawn at 12 h intervals and then were centrifuged at 4°C, $4000 \times g$ for 10 min. The samples were washed twice to remove the residues of the medium. The yeast cells were then dried in the oven at 105°C. The microbial cells were counted using a hemocytometer for the microbial growth.

Xylose, acetyl groups (acetic acid), furfural, HMF, and xylitol concentrations (g/L) were determined through HPLC using an Aminex HPX-87H column (Biorad, USA) described by the method previously by Hazal et al (2023).

3. Results and discussion

3.1. Microwave-assisted $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ hydrolysis and detoxification of the pistachio hydrolysate using activated charcoal

As CO_2 dissolves in water, carbonic acid is formed that primarily supports the dissolution of the biomass because of decreasing in the pH linked to an increase in hydronium ion, which also contributes to the decomposition of hemicellulose into monomeric sugars, just like in acid hydrolysis (Hunt et al., 2010; Morais et al., 2015). The pH of a mixture of water (H_2O) and carbon dioxide (CO_2) has decreased to approximately 2.9. A pH of 2.9 is considered strongly acidic. The presence of such acidity in the environment is mentioned to facilitate biomass hydrolysis (Sasaki and Ohsawa, 2021). In addition, the acidity of the hydrolysis medium does not pose an environmental problem since it is easily eliminated by releasing the pressure in the process medium. The carbon dioxide will leave the reaction medium as a gas and so the medium will be free from the carbonic acid (Morais et al., 2015). In this study, the pH of the medium decreased minimum level of 2.9 through high-pressure CO_2 and the carbonic acid formation provided by dissolution of CO_2 in water. With decreasing pH and temperature supplied by microwave, xylan in the hemicellulose fraction of the pistachio shell was degraded to monomer sugars such as xylose and glucose.

Xylose (14.05 ± 0.26 g/L) was clearly the major component in the hydrolysate. Furfural and acetic acid were 1.57 ± 0.06 and 2.96 ± 0.05 g/L respectively, whereas HMF (0.05 ± 0.00 g/L) was only found in very low concentrations. Özbek et al. (2021) investigated how microwave-assisted alkali pre-treatment influences the deconstruction of pistachio shells. They found that under optimal conditions determined by response surface methodology (RSM), consisting of a microwave power of 224 W, NaOH concentration of 1.96 N, and pre-treatment time of 2.63 min, the process yielded 2.62 g/L xylose, 3.47 g/L acetic acid, and 0.30 g/L furfural. In comparison to our study, the temperature (142°C) generated by the microwave system in their study did not sufficiently break down hemicellulose into xylose. With the use of high-pressure $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ pretreatment for pistachio shell, xylose was obtained as 1.7 g/L at conditions of 182°C, 0 min and liquid to solid ratio of 6.16 (Özbek et al., 2018). The results indicated that the

combined use of microwave and high-pressure CO₂ resulted in a significant increase in xylose yield. The use of hemicellulosic hydrolysates in bioconversion processes can result in the formation of some inhibitive substances such as furfural, HMF, and acetic acid because of harsh process conditions. Among these substances, acetic acid has showed a strong inhibitive effect on xylose

metabolism by cells (Felipe et al., 1995). The fermentation of the hemicellulosic hydrolysate can be improved by the removal or minimizing of these inhibitive compounds (Lee et al., 2011). The results of the detoxification process applied by activated charcoal are summarized in Table 1. Less than 3% of activated charcoal was not very effective in removing inhibitive compounds.

Table 1. Concentrations of xylose, acetic acid, HMF, and furfural after hydrolysis by MW-HPCO₂ and detoxification

	Temperature (°C)	Activated charcoal	Concentration (g/L)			
			Xylose	Acetic acid	HMF	Furfural
Raw hydrolysate			14.05±0.26	2.96±0.05	0.05±0.00	1.57±0.06
Detoxified hydrolysate	25	1%	12.27±0.16	2.74±0.05	-	0.21±0.01
		2%	12.24±0.11	2.60±0.04	-	0.07±0.00
		3%	12.12±0.14	2.55±0.05	-	-
	30	1%	12.23±0.14	2.85±0.04	-	0.23±0.01
		2%	12.10±0.09	2.67±0.04	-	0.07±0.01
		3%	11.55±0.12	2.62±0.05	-	0.02±0.00
	45	1%	12.25±0.21	3.06±0.06	-	0.25±0.01
		2%	12.11±0.12	2.77±0.06	-	0.08±0.00
		3%	12.03±0.11	2.67±0.04	-	0.04±0.00

Higher activated charcoal content (>3%) used in the pretreated hydrolysate decreased xylose concentration which necessity is essential for xylitol bioconversion, and the change in acetic acid was not considerable. The effect of the detoxification method changes in terms of the type of hemicellulosic hydrolysate (raw material composition and pretreatment conditions) due to differences in their toxicity (Carvalho et al., 2006). Although higher temperatures of 30 and 45°C were studied rather than 25°C, a decrease was observed in the xylose concentration. Interestingly acetic acid was more absorbed at 3% activated charcoal at 25°C. Therefore, in the detoxification process, 3% of activated charcoal was utilized in the hydrolysate at 25°C with a rotary incubator for 60 min. The xylose concentration was found as 12.12 g/L whereas HMF and furfural were completely removed from the hydrolysate, however, activated charcoal was not strongly effective in the removal of acetic acid.

3.2. The influence of initial xylose concentration on xylitol production

Initial xylose concentration in the fermentation process plays a crucial and game-changing role in xylitol production. Xylose is particularly used for cell development at low initial concentrations. Increased concentration in xylose is necessary for both microbial development and xylitol production (Winkelhausen and Kuzmanova, 1998).

Nevertheless, too high xylose concentrations can cause substrate inhibition and negatively affect xylitol production (Xu et al., 2019). In this context, different xylose concentrations were used in the ranges of 50, 100, and 150 g/L for the production of xylitol by *C. tropicalis*.

The change of DCW concentration in detoxified hydrolysate with concentrations of 50, 100, and 150 g/L of xylose depending on the cultivation time is presented in Figure 1-3. The lag phase was observed at 12 h in the culture medium with 50 g/L hydrolysate whereas this phase lasted 12 h and 24 h for 100 and 150 g/L, respectively. The highest dry cell concentration for 50 g/L was 11.70±0.12 g/L, however, this value started to decline after 60 h. The cell density showed a continuous increase during the cultivation period of 168 h at 150 g/L. Despite the depletion of xylose in the culture medium, yeast growth continued. When xylose in the medium was exhausted after 168 h, xylitol was therefore utilized for cell growth (Buhner and Agblevor, 2004). When looking at the culture medium at 100 g/L, a decrease was observed after 158 h. The highest concentration of dry cells reached 31.70±0.23 g/L at 100 g/L. Similar results have been obtained in the literature (Buhner and Agblevor, 2004; Ko et al., 2006) when compared with studies on the production of xylitol with *C. tropicalis*.

Higher xylose concentrations (100-150 g/L) enhanced yeast growth, however, *C. tropicalis* could not metabolise sole carbon source xylose until 12 and 24 h for 100 and 150 g/L respectively. At 50 g/L, xylose was consumed rapidly within 60 h while yeast growth was highest at 96 h for 100 g/L and 120 h for 150 g/L then decreased dramatically. The increasing xylose concentration resulted in the depletion of xylitol consumption by *C. tropicalis*. Higher substrate concentration in a hydrolysate medium decreased xylitol production by *C. tropicalis* due to an unfavourable effect on yeast growth (Li et al., 2012).

A high initial xylose concentration, especially when using a small amount of xylose for cell growth, can be advantageous for xylitol production. This means that a larger portion of the xylose is available for conversion into xylitol, potentially leading to higher xylitol yields. However, there is a limit to how much xylose concentration can be increased. If the xylose concentration becomes too high, it can lead to substrate inhibition. Substrate inhibition occurs when the high concentration of the substrate (xylose, in this case) starts to negatively affect the metabolic activity of the microorganisms, leading to reduced xylitol yield (Mussatto and Roberto, 2008).

The consumption of xylose and xylitol concentration in the detoxified pistachio shell hydrolysate of 50 g/L by *Candida tropicalis* were demonstrated in Figure. 1. Whilst xylose was consumed rapidly by the yeast between 12 and 24 h, 20.18±1.76 g/L of xylitol was produced. This increase remained up to 60 h and the xylitol concentration reached to 31.96±1.50 g/L. After this, xylose was almost completely depleted, and xylitol yield also decreased. In the literature, the fermentation carried out using pure xylose (50 g/L) with *C. tropicalis* 20336, 33.6 g/L xylitol was obtained (Ko et al., 2006). Compared to the current study, almost the same amount of xylitol production was obtained. This, in turn, has proved that pistachio shell hydrolysate is promising for the production of xylitol.

The highest xylitol production was obtained at 65.15±1.5 g/L for 100 g/L of concentrated xylose of the pistachio shell hydrolysate after 96 h with xylose consumption of 98.00±0.91 g/L shown in Figure 2. Results were similar to the report by Xu et al. (2019) who investigated xylitol fermentation by *Candida tropicalis* from sugarcane bagasse hydrolysate and reached the highest xylitol concentration of 62.98 g/L after 54 h.

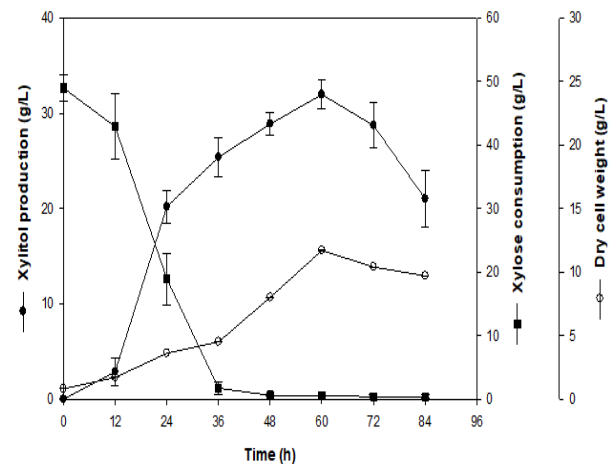


Figure 1. Shake flask by *C. tropicalis* for xylitol production (g/L), xylose consumption (g/L), and DCW (g/L) using concentrated initial xylose concentrations of 50 g/L

The phenomenon involved in this process can be acetic acid concentration in the fermentation broth because the amount of acetic acid in the fermentation medium did not affect much xylose consumption when it was around 2 g/L, but when this value reached 4 g/L, the concentration of xylitol in the medium dramatically dropped by 72% (Cheng et al., 2009).

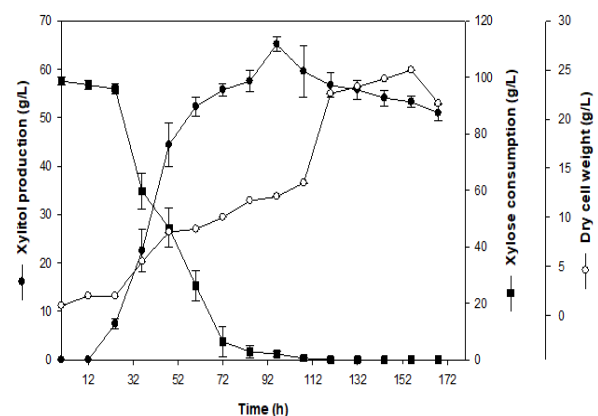


Figure 2. Shake flask by *C. tropicalis* for xylitol production (g/L), xylose consumption (g/L), and DCW (g/L) using concentrated initial xylose concentrations of 100 g/L

In this study, even though the detoxification process was performed for 150 g/L of concentrated pistachio shell hydrolysate, the amount of acetic acid was maintained at a very high concentration (9.56±2.62 g/L), and acetic acid was not well absorbed by activated charcoal. This could be one of the reasons why the concentration of xylitol remained low in bioconversion trials where the initial concentration was 150 g/L (Figure 3). Zhang

et al. (2012) investigated the effects of initial xylose concentration on xylitol production from 100 to 300 g/L using *Candida athensensis* SB18 in flasks. They reported that 69.02 ± 0.84 g/L xylitol was produced by 100 g/L initial xylose concentration after 96 h. Similarly, maximum xylitol concentration was obtained at 96 h in this study. However, different bioconversion capacities of yeasts and the type of the hydrolysate can impact the xylitol production. The differences in behavior observed among different yeasts when metabolizing xylose can indeed be attributed to variations in the initial stage of xylose metabolism. The enzyme responsible for this stage is xylose reductase. The activity of xylose reductase is known to depend on the initial concentration of xylose (Mussatto and Roberto, 2008). When the concentration of xylose is high, the enzyme tends to exhibit higher activity, resulting in efficient conversion of xylose to xylitol. On the other hand, at low concentrations of xylose, the activity of xylose reductase may be limited, leading to reduced conversion of xylose and, consequently, lower xylitol accumulation (Gurpilhares et al., 2009).

The effect of the initial xylose concentrations on the xylitol yield represented in Table 2 was subjected to $Y_{P/S}$ (g xylitol/g xylose) maximum xylitol yield, q_P (g xylitol g cell⁻¹ h⁻¹) specific xylitol production rate and Q_P (g L⁻¹ h⁻¹) volumetric xylitol yield.

Table 2. The effect of the initial xylose concentration on xylitol yield by *Candida tropicalis*

Initial xylose concentration (g/L)	Incubation time (h)	Xylose consumption (g/L)	Xylitol concentration (g/L)	Xylitol productivity (g L ⁻¹ h ⁻¹)	Xylitol yield (%)	Specific productivity (g xylitol g cell ⁻¹ h ⁻¹)
50	60	49.67±0.29	31.96±1.50	0.53±0.03	64.34±2.64	0.05±0.01
100	96	98.00±0.91	65.15±1.49	0.68±0.02	67.00±0.90	0.06±0.00
150	168	148.34±0.30	55.15±0.52	0.33±0.00	37.17±0.27	0.01±0.00

3.3. Comparison of xylitol production from hydrolysate, detoxified hydrolysate, and pure commercial xylose

On the contrary, pure xylose and undetoxified pistachio shell hydrolysate were used at an initial concentration of 100 g/L xylose (optimum xylose concentration found in detoxified pistachio shell

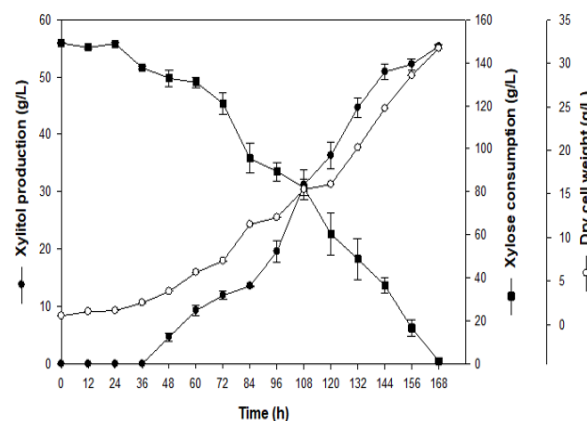


Figure 3. Shake flask by *C. tropicalis* for xylitol production (g/L), xylose consumption (g/L), and DCW (g/L) using concentrated initial xylose concentrations of 150 g/L.

Xylose was almost completely consumed in all three concentrations. Although the xylitol yield for 50 and 100 g/L of xylose concentrations was constant after completion of the bioprocess, the highest volumetric xylitol yield and specific xylitol production rate were 0.68 ± 0.02 g L⁻¹ h⁻¹ and 0.06 ± 0.00 for 100 g/L, respectively. Volumetric productivity was higher as compared to the results reported by Tamburini et al. (2015) who studied xylitol production using pure xylose in the synthetic medium.

hydrolysate) in the culture medium to evaluate the xylitol production by *C. tropicalis*. The use of undetoxified hydrolysate did not allow the yeast to consume xylose because of the inhibitive compounds (acetic acid, HMF, and furfural) formation after pretreatment. The results of xylitol production, xylose consumption, and DCW at 100 g/L using pure xylose are shown in Figure 4.

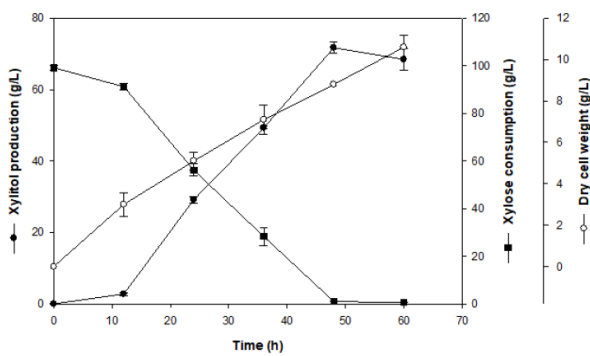


Figure 4. Xylose consumption, xylitol production DCW (g/L) at 100 g/L of pure xylose

Xylose was consumed by *C. tropicalis* until 48 h and 71.73 ± 1.61 g/L xylitol was produced. After that, a depletion occurred in the xylitol production. Xylose consumption was highly effective on yeast growth leading to 10.6 ± 0.57 g/L of DCW. Prakash et al. (2011) studied *Debaryomyces hansenii* to produce xylitol using D-xylose and sugarcane bagasse hydrolysate. They reported that maximum xylitol yield and volumetric productivity were 0.76 g/g and 0.44 g/L/h by D-xylose while using sugarcane bagasse hydrolysate the yield of xylitol and volumetric productivity were 0.69 g/g and 0.28 g/L/h.

4. Conclusion

In summary, a green method, microwave integrated with CO₂ system, was applied for depolymerization of lignocellulosic biomass into reducing sugars. The removal of inhibitive compounds through detoxification facilitated the bioconversion to produce xylitol. Highest xylitol yield of 67% was achieved after the bioconversion of the pistachio shell hydrolysate at 100 g/L of xylose by *C. tropicalis* ATCC 13803. *C. tropicalis* had the capacity to ferment xylose for xylitol production. However, the conversion of xylose into xylitol was inhibited by the existence of acetic acid, HMF and furfural in the undetoxified pistachio shell hydrolysate after pretreatment. When the concentration of xylose in the culture medium increased, the xylose consumption was strongly affected by the yeast, resulting in decrease in the xylitol production. Therefore, initial xylose concentration should be optimized for the efficiency of the xylitol production. With this work, a green and sustainable system revealed that pistachio shell hydrolysate is a promising carbon source for xylose assimilating yeast to produce xylitol. This study can pave the way for new approaches in terms of xylitol production and valorisation of value-added products from lignocellulosic wastes.

5. Acknowledgements

This work was supported financially by Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) 1001 Project No: 120O999.

6. Kaynaklar

Ahuja, V., Kshirsagar, S., Ghosh, P., Sarkar, B., Sutar, A., More, S., and Dasgupta, D. (2022). Process development for detoxification of corncob hydrolysate using activated charcoal for xylitol production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), 107097.

Arminda, M., Josué, C., Cristina, D., Fabiana, S., and Yolanda, M. (2021). Use of activated carbons for detoxification of a lignocellulosic hydrolysate: Statistical optimisation. *Journal of Environmental Management*, 296, 113320.

Baptista, S. L., Carvalho, L. C., Romaní, A., and Domingues, L. (2020). Development of a sustainable bioprocess based on green technologies for xylitol production from corn cob, *Industrial Crops and Products*, 156, 112867.

Buhner, J., and Agblevor, F. A. (2004). Effect of detoxification of dilute-acid corn fiber hydrolysate on xylitol production, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 119, 13-30.

Carvalho, G. B., Mussatto, S. I., Cândido, E. J., and Almeida e Silva, J. B. (2006). Comparison of different procedures for the detoxification of eucalyptus hemicellulosic hydrolysate for use in fermentative processes, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 81(2), 152-157.

Chen, J., Zhang, B., Luo, L., Zhang, F., Yi, Y., Shan, Y., Liu, Y., Zhou, Y., Wang, X., and Lü, X. (2021). A review on recycling techniques for bioethanol production from lignocellulosic biomass. *Renewable and sustainable energy reviews*, 149, 111370.

Cheng, K. K., Zhang, J. A., Ling, H. Z., Ping, W. X., Huang, W., Ge, J. P., and Xu, J. M. (2009). Optimization of pH and acetic acid concentration for bioconversion of hemicellulose from corncobs to xylitol by *Candida tropicalis*. *Biochemical Engineering Journal*, 43(2), 203-207.

De Albuquerque, T. L., da Silva Jr, I. J., de Macedo, G. R., and Rocha, M. V. P. (2014). Biotechnological production of xylitol from lignocellulosic wastes: a review. *Process Biochemistry*, 49(11), 1779-1789.

- Domínguez, J. M., Salgado, J. M., Rodríguez, N., and Cortés, S. (2012). Biotechnological production of xylitol from agro-industrial wastes. *Food additive*, 139-156.
- Du, H., Ma, X., Jiang, M., Yan, P., Zhao, Y., and Zhang, Z. C. (2021). Efficient Ni/SiO₂ catalyst derived from nickel phyllosilicate for xylose hydrogenation to xylitol. *Catalysis Today*, 365, 265-273.
- Ergün, B. G., Laçın, K., Çaloğlu, B., and Binay, B. (2022). Second generation *Pichia pastoris* strain and bioprocess designs. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 15(1), 150.
- Felipe, M. G., Vieira, D. C., Vitolo, M., Silva, S. S., Roberto, I. C., and Manchilha, I. M. (1995). Effect of acetic acid on xylose fermentation to xylitol by *Candida guilliermondii*. *Journal of Basic Microbiology*, 35(3), 171-177.
- Felipe Hernández-Pérez, A., de Arruda, P. V., Sene, L., da Silva, S. S., Kumar Chandel, A., and de Almeida Felipe, M. D. G. (2019). Xylitol bioproduction: state-of-the-art, industrial paradigm shift, and opportunities for integrated biorefineries. *Critical Reviews in Biotechnology*, 39(7), 924-943.
- Gurpilhares, D. B., Hasmann, F. A., Pessoa Jr, A., and Roberto, I. C. (2009). The behavior of key enzymes of xylose metabolism on the xylitol production by *Candida guilliermondii* grown in hemicellulosic hydrolysate. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 36(1), 87.
- Hazal, F., Özbek, H. N., Göğüş, F., and Yanık, D. K. (2023). Fıstık sert kabuğunun mikrodalga-CO₂ destekli hidroliz sistemi ile ksiloza hidrolizi. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (29), 38-45.
- Hazal, F., Özbek, H. N., Göğüş, F., and Yanık, D. K. (2024). The green novel approach in hydrolysis of pistachio shell into xylose by microwave-assisted high-pressure CO₂/H₂O. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(1), 116-124.
- Hoang, A. T., Nižetić, S., Ong, H. C., Mofijur, M., Ahmed, S. F., Ashok, B., and Chau, M. Q. (2021). Insight into the recent advances of microwave pretreatment technologies for the conversion of lignocellulosic biomass into sustainable biofuel. *Chemosphere*, 281, 130878.
- Hoppert, L., Kölling, R., and Einfalt, D. (2022). Synergistic effects of inhibitors and osmotic stress during high gravity bioethanol production from steam-exploded lignocellulosic feedstocks. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 43, 102414.
- Hunt, A. J., Sin, E. H., Marriott, R., and Clark, J. H. (2010). Generation, capture, and utilization of industrial carbon dioxide. *ChemSusChem: Chemistry & Sustainability Energy & Materials*, 3(3), 306-322.
- Jin, L. Q., Zhao, N., Liu, Z. Q., Liao, C. J., Zheng, X. Y., and Zheng, Y. G. (2018). Enhanced production of xylose from corn cob hydrolysis with oxalic acid as catalyst. *Bioprocess and Biosystem Engineering*, 41(1), 57-64.
- Ko, B. S., Kim, J., and Kim, J. H. (2006). Production of xylitol from D-xylose by a xylitol dehydrogenase gene-disrupted mutant of *Candida tropicalis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(6), 4207-4213.
- Kumar, P., Kermanshahi-pour, A., Brar, S. K., and Brooks, M. S. L. (2021). Conversion of lignocellulosic biomass to reducing sugars in high pressure and supercritical fluids: Greener alternative for biorefining of renewables. *Advanced Sustainable Systems*, 5(4), 2000275.
- Lee, J. M., Venditti, R. A., Jameel, H., and Kenealy, W. R. (2011). Detoxification of woody hydrolyzates with activated carbon for bioconversion to ethanol by the thermophilic anaerobic bacterium *Thermoanaerobacterium saccharolyticum*. *Biomass and Bioenergy*, 35(1), 626-636.
- Li, M., Meng, X., Diao, E., and Du, F. (2012). Xylitol production by *Candida tropicalis* from corn cob hemicellulose hydrolysate in a two-stage fed-batch fermentation process. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 87(3), 387-392.
- Manaf, S. F. A., Luthfi, A. A. I., Tan, J. P., Abdul, P. M., and Jamali, N. S. (2023). Kinetic study and model of fermentation parameters affected growth and xylitol production in bioreactor by *Kluyveromyces marxianus* ATCC 36,907. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(8), 7247-7263.
- Mankar, A. R., Pandey, A., Modak, A., and Pant, K. K. (2021). Pretreatment of lignocellulosic biomass: A review on recent advances. *Bioresource Technology*, 334, 125235.
- Misra, S., Raghuwanshi, S., and Saxena, R. K. (2013). Evaluation of corn cob hemicellulosic hydrolysate for xylitol production by adapted strain of *Candida tropicalis*. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1596-1601.
- Morais, A. R., da Costa Lopes, A. M., and Bogel-Lukasik, R. (2015). Carbon dioxide in biomass processing: contributions to the green biorefinery concept. *Chemical reviews*, 115(1), 3-27.

- Morais Junior, W. G., Pacheco, T. F., Trichez, D., Almeida, J. R., and Gonçalves, S. B. 2019. Xylitol production on sugarcane biomass hydrolysate by newly identified *Candida tropicalis* JA2 strain. *Yeast*, 36(5), 349-361.
- Mujtaba, M., Fraceto, L. F., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S. M., de Medeiros, G. A., Santo Pereira, A. E., Mancini, S. D., Lipponen, J., and Vilaplana, F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, 402, 136815.
- Mussatto, S. I., and Roberto, I. C. (2008). Establishment of the optimum initial xylose concentration and nutritional supplementation of brewer's spent grain hydrolysate for xylitol production by *Candida guilliermondii*. *Process Biochemistry*, 43(5), 540-546.
- Narisetty, V., Castro, E., Durgapal, S., Coulon, F., Jacob, S., Kumar, D., Kumar Awasthi, M., Pant, K. K., Parameswaran, B., and Kumar, V. (2021). High level xylitol production by *Pichia fermentans* using non-detoxified xylose-rich sugarcane bagasse and olive pits hydrolysates. *Bioresource Technology*, 342, 126005.
- Okolie, J. A., Nanda, S., Dalai, A. K., and Kozinski, J. A. (2021). Chemistry and specialty industrial applications of lignocellulosic biomass. *Waste Biomass Valorization*, 12, 2145-2169.
- Özbek, H. N., Yanık, D. K., Fadiloğlu, S., Çavdar, H. K., and Göğüş, F. (2018). Microwave-assisted extraction of non-polar compounds from pistachio hull and characterization of extracts. *Grasas y Aceites*, 69(3), e260-e260.
- Prakash, G., Varma, A. J., Prabhune, A., Shouche, Y., and Rao, M. (2011). Microbial production of xylitol from D-xylose and sugarcane bagasse hemicellulose using newly isolated thermotolerant yeast *Debaryomyces hansenii*. *Bioresource Technology*, 102(3), 3304-3308.
- Queiroz, S. S., Jofre, F. M., Mussatto, S. I., and Maria das Graças, A. F. (2022). Scaling up xylitol bioproduction: Challenges to achieve a profitable bioprocess. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111789.
- Sasaki, C., Kurosumi, A., Yamashita, Y., Mtui, G., and Nakamura, Y. (2011). Xylitol production from dilute-acid hydrolysis of bean group shells. In *Microorganisms In Industry And Environment: From Scientific and Industrial Research to Consumer Products* (pp. 605-609).
- Sasaki, M., and Ohsawa, K. (2021). Hydrolysis of lignocellulosic biomass in hot-compressed water with supercritical carbon dioxide. *ACS omega*, 6(22), 14252-14259.
- Selvasekaran, P., and Chidambaram, R. (2021). Advances in formulation for the production of low-fat, fat-free, low-sugar, and sugar-free chocolates: An overview of the past decade. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 315-334.
- Sidana, A., and Yadav, S. K. (2022). Recent developments in lignocellulosic biomass pretreatment with a focus on eco-friendly, non-conventional methods. *Journal of Cleaner Production*, 335, 130286.
- Sjulander, N., and Kikas, T. (2020). Origin, impact and control of lignocellulosic inhibitors in bioethanol production—A review. *Energies*, 13(18), 4751.
- Suhartini, S., Rohma, N. A., Mardawati, E., Hidayat, N., and Melville, L. (2022). Biorefining of oil palm empty fruit bunches for bioethanol and xylitol production in Indonesia: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111817.
- Özbek HN, Koçak Yanık D, Fadiloğlu S, and Göğüş F. (2020). Ultrasound-assisted alkaline pre-treatment and its sequential combination with microwave for fractionation of pistachio shell. *Renewable Energy*, 157, 637-46.
- Özbek, H. N., Koçak Yanık, D., Fadiloğlu, S., and Göğüş, F. (2021). Effect of microwave-assisted alkali pre-treatment on fractionation of pistachio shell and enzymatic hydrolysis of cellulose-rich residues. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 96(2), 521-531.
- Tamburini, E., Costa, S., Marchetti, M. G., and Pedrini, P. (2015). Optimized production of xylitol from xylose using a hyper-acidophilic *Candida tropicalis*. *Biomolecules*, 5(3), 1979-1989.
- Vardhan, H., Sasmal, S., and Mohanty, K. (2024). Detoxification of areca nut acid hydrolysate and production of xylitol by *Candida tropicalis* (MTCC 6192). *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 54(1), 61-72.
- Winkelhausen, E., and Kuzmanova, S. (1998). Microbial conversion of D-xylose to xylitol. *Journal of fermentation and Bioengineering*, 86(1), 1-14.
- Xu, L., Liu, L., Li, S., Zheng, W., Cui, Y., Liu, R., and Sun, W. (2019). Xylitol production by *Candida tropicalis* 31949 from sugarcane bagasse hydrolysate. *Sugar Technology*, 21(2), 341-347.

Zhang, J., Geng, A., Yao, C., Lu, Y., and Li, Q. (2012). Xylitol production from D-xylose and horticultural waste hemicellulosic hydrolysate by a new isolate of *Candida athensensis* SB18. *Bioresource technology*, 105, 134-141.

Zhang, J., Zhang, B., Wang, D., Gao, X., and Hong, J. (2014) Xylitol production at high temperature by

engineered *Kluyveromyces marxianus*. *Bioresource Technology*, 152, 192-201.

Zhang, C., Qin, J., Dai, Y., Mu, W., and Zhang, T. 2019. Atmospheric and room temperature plasma (ARTP) mutagenesis enables xylitol over-production with yeast *Candida tropicalis*. *Journal of biotechnology*, 296, 7-13.

Özgün Araştırma/Original Article

Farklı protein kaynaklarının salamın fiziksel, kimyasal ve duyuşsal özelliklerine etkileri

Effects of different protein sources on the physical, chemical and sensory properties of bologna type sausage

Nalan Çırak¹, Muhammed Alpgiray Çelik^{2,5}, Kader Çetin^{3,5}, Arzu Akpınar Bayizit^{4,5*},
Ertürk Bekar^{4,5}, Taha Turgut Ünal^{4,5}, Senem Kamiloğlu Beştepe^{4,5}

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme, Et ve Ürünleri Teknolojisi Programı, BURSA, TÜRKİYE

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, BURSA, TÜRKİYE

³Bursa Uludağ Üniversitesi, Karacabey Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Programı, BURSA, TÜRKİYE

⁴Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, BURSA, TÜRKİYE

⁵Bursa Uludağ Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, BURSA, TÜRKİYE

(Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0000-0002-0580-9023, Öğr. Gör., Dr.,

ORCID ID: 0000-0001-5193-5293, Doktora Öğrencisi,

ORCID ID: 0000-0001-5369-0728, Öğr. Gör., Dr.,

ORCID ID: 0000-0003-1898-1153, Prof. Dr.,

ORCID ID: 0000-0001-8783-921X, Araş. Gör. Dr.,

ORCID ID: 0000-0002-7826-6322, Araş. Gör.,

ORCID ID: 0000-0003-3902-4360, Doç. Dr.,

*Yazışmalardan sorumlu yazar/Corresponding author: abayizit@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi : 07.06.2023

Kabul Tarihi : 11.10.2023

Öz

Amaç: Tüketicilerin doğal katkı maddeleri içeren; yağ, kolesterol ve tuz seviyeleri düşürülmüş; besin değeri yüksek ve bitkisel içerikli fonksiyonel et ürünlerine gösterdikleri ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada; sığır eti kaynaklı kıymaya soya unu, mercimek unu ve nohut unu baklagil proteinleri, bal kabağı unu, karabuğday unu, peynir altı suyu tozu ile *Spirulina* ve *Chlorella* cinsine ait mikroalg tozları gibi farklı protein analoglarının ilave edilmesiyle üretilen salam örneklerinin çeşitli özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve yöntem: Temel salam hamuru sığır eti kaynaklı kıymaya ilave olarak %2 tuz, %0,3 karabiber, %0,3 zencefil, %0,1 kişniş, %0,25 toz şeker, %0,25 tatlı kırmızıbiber, %2 süt tozu, %16,6 buz ve %2,5 nişasta kullanılarak hazırlanmıştır. Temel salam hamuruna *Spirulina platensis* tozu, *Chlorella vulgaris* tozu, peynir altı suyu tozu, soya unu, mercimek unu, nohut unu, bal kabağı unu ve karabuğday unu protein analogları ilavesiyle üretilen salam numunelerinin fiziko-kimyasal ve duyuşsal özellikleri ile aminoasit içerikleri belirlenmiştir.

Bulgular ve sonuç: Salamın baklagil proteinleri (nohut unu, mercimek unu ve soya unu) peynir altı suyu tozu, bal kabağı unu, karabuğday unu ve alg kaynaklı proteinler (*Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris*) ile zenginleştirilmesinin ürün besin değerini iyileştirdiği ve tüketici açısından tercih edilebileceği belirlenmiştir. *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, soya unu ve bal kabağı unu ilavesi ile üretilen salamların protein değerinde artış gösterdiği belirlenmiştir. Kullanılan protein kaynağına bağlı olarak renk parametreleri açısından da önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Salamın *Chlorella vulgaris* ilavesi ile zenginleştirilmesinin aminoasit profili üzerine olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Duyusal değerlendirme ile en çok beğeni alan salam örneğinin karabuğday unu ilaveli örnek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Salam, mikroalg, tahıl, bakliyat, aminoasit

Abstract

Objective: Consumers are showing an increasing interest in alternative healthy meat and meat products of high nutritional value and plant origin with natural additives and reduced fat, cholesterol and salt levels. The aim of this study was to determine various properties of bologna type sausage produced with addition of different protein analogues such as soy flour, lentil flour and chickpea flour, leguminous proteins, pumpkin flour, buckwheat flour, whey powder and microalgae extracts of *Spirulina* and *Chlorella* species to beef-derived ground beef.

Material and method: Basic bologna type sausage dough was prepared using ground beef in addition to 2% salt, 0.3% black pepper, 0.3% ginger, 0.1% coriander, 0.25% granulated sugar, 0.25% sweet red pepper, 2% milk powder, 16.6% ice, and 2.5% starch. Physio-chemical and sensory properties along with amino acid contents of bologna type sausage produced by addition of various protein analogues such as *Spirulina platensis* powder, *Chlorella vulgaris* powder, whey powder, soybean flour, lentil flour, chickpea flour, pumpkin flour and buckwheat flour to the basic salami dough were determined.

Results and conclusion: It were determined that the enrichment of bologna type sausage with legume proteins (chickpea flour, lentil flour and soy flour), whey powder, pumpkin flour, buckwheat flour and algae-derived proteins (*Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris*) improves the consumer nutritional profile and can be preferred by the consumers. The protein value of bologna type sausage produced with the addition of *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, soy flour and pumpkin flour was increased. Significant differences were also observed in terms of color parameters depending on the protein source used. The enrichment of beef salami with the addition of *Chlorella vulgaris* had a positive effect on the amino acid profile. The most appreciated salami sample according to sensory evaluation was the one enriched with buckwheat flour.

Keywords: Bologna type sausage, microalgae, grain, legume, amino acid

1. Giriş

Sağlıklı, yeterli ve dengeli bir diyetin bileşeni olarak et ve et ürünleri önemli ve gerekli makro ile mikro besin öğelerini içermektedirler. Kırmızı et başta histidin olmak üzere esansiyel aminoasitleri içermekte olup bu aminoasitler insan vücudu tarafından üretilemediği için gıdalar ile dışarıdan alınmalıdırlar. Esansiyel aminoasitler dışında kırmızı ette B₂ (riboflavin), B₃ (niasin), B₁₂, pantotenik asit, folik asit, B₆, A, D ve E vitaminleri ile selenyum, çinko, demir, fosfor, potasyum, magnezyum, bakır, kobalt, krom ve nikel elementleri de değişik oranlarda bulunmaktadır (Charles vd., 2018).

Etin en pratik ve günümüz koşullarındaki en uygun tüketim şekli endüstriyel ön hazırlık, dondurma, pişirme ve ısıtılarak servis edilme ve hatta ekmek arası ya da aç-bitir şeklinde anlık tüketime uygun işlenmiş et ürünleri formudur. Salam ve sosis gibi su ile hayvansal yağın et proteinleri ve emülsifiye edici ajanlar yardımıyla bir arada tutulması sonucu elde edilen emülsifiye et ürünleri de kolay hazırlama, kahvaltılık olarak tüketim ve özellikle çocuklar tarafından tercih edilme gibi nedenlerden dolayı yaygın olarak tüketilmektedirler. Salam; hayvan etlerinin kıyma haline getirildikten sonra, gerekli yardımcı ve çeşni maddelerinin (baharatlar ve nişasta gibi) katılmasıyla hazırlanan et hamurunun, doğal veya polimer kılıflara doldurulması ve tiplerine uygun tarzda tutsülenip, sıcak buhar ile pişirilmesiyle üretilen bir emülsifiye et ürünüdür (Anonim, 2019).

Kolesterol ve yağ içeriği ile yağın bileşimi gibi tüketici açısından sağlık riski barındırabilecek özellikleri nedeniyle et ürünlerinin tüketiminin sınırlı ve bilinçli olması önerilmektedir (Boada vd., 2016; Banjari ve Hjartåker, 2018; Charles vd., 2018). Bitkisel gıdalarla zenginleştirilmiş bir diyetin kardiyovasküler, nörodejeneratif hastalıklar ve kanser gibi kronik hastalıkların riskini azalttığına dair yürütülen çalışmalar neticesinde araştırmacılar; sağlık yararları, düşük maliyetleri ve kolesterol içermemeleri nedeniyle, et ürünlerinin üretiminde bitkisel protein analoglarının dahil edilmesine yönelmişlerdir (Eisinaite vd., 2016; Gorissen vd., 2018; Marti-Quijal vd., 2019; Zamuz vd., 2019). Bu bitkisel proteinler arasında soya, buğday, arpa, yulaf, karabuğday, pirinç gibi tahıllar ile nohut, mercimek gibi baklagil proteinleri ve mikroalg ekstraktları ön plana çıkmaktadır (Asgar vd., 2010). Katkı maddesi olarak soya proteini, et ile eşdeğer aminoasit içeriğine sahip olması nedeniyle bitkisel proteinler arasında en çok tercih edilendir. Süt

endüstrisinin atık ürünü olan peynir altı suyu, inek sütü proteinlerinin yaklaşık %20'sini içermektedir. Besinsel açısından zengin ve aynı zamanda dengeli bir esansiyel aminoasit kaynağı olan peyniraltı suyu, bitkisel protein analoglarının yanı sıra et ürünlerinde ve birçok farklı ürün eldesinde kullanım alanı bulmaktadır. Son yıllarda bu protein kaynaklarına ilave olarak mikroalgler de dikkat çekmektedirler. Özellikle *Spirulina* ve *Chlorella* türü mikroalgler; alerjen etkilere sahip olmamaları, yüksek düzeyde biyolojik değerli protein içermeleri, düşük maliyetli ve sürdürülebilir protein kaynağı olmaları, serbest radikallerin etkisini azaltan/önleyen biyoaktif bileşenlere sahip olmaları, bir günde ağırlıklarının iki katına ulaşabilmeleri, çevresel faktörlere oldukça dirençli olmaları ve kolay gelişmeleri nedeniyle yaygın kullanım alanı bulmaktadır (Priyadarshani vd., 2012; Anvar ve Nowruzi, 2021; Iskusnykh vd., 2022). *Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris* mikroalglerinin esansiyel amino asitler; özellikle lizin, lösin, izolösin, triptofan, valin ve tirozin için önemli bir kaynak oldukları bildirilmiştir (Andrade vd., 2018; Liestianty vd., 2019; Bito vd., 2020).

Et ve et ürünleri; esansiyel yağ asitleri, vitaminler, mineraller, biyoyararlılığı yüksek proteinler için iyi bir kaynak olmakla birlikte yüksek doymuş yağ asitleri, kolesterol, sodyum ve nitrit içermeleri ile diyet lif açısından fakir olmaları gibi nedenlerle sağlık üzerine olumsuz etkiler de gösterebilmektedirler (Talukder, 2015; McClements ve Grossmann, 2021). Bu durum yağsız et kullanılması, yağ asidi bileşiminin değiştirilmesi, sodyum ve nitrit kullanım miktarının azaltılması/ikame edilmesi, yağ ve kolesterolün uzaklaştırılması veya diyet lif ilavesiyle düzenlenebilmektedir. Diyet lifler, insanların ince bağırsağında enzimler tarafından sindirilemeyen ve emilemeyen ancak kalın bağırsakta tam veya kısmi fermente olan bitkisel polisakkarit bileşenleri ve lignin olarak tanımlanmaktadır (Dhingra vd., 2012). Günlük diyetimizde yer alan geleneksel lif kaynakları hem taze hem de işlenmiş tahıllar, baklagiller, meyveler ve sebzeler gibi çok çeşitli gıdalardır. Diyet lif, et ürünlerine fonksiyonel bir bileşen olarak ilave edilebildiği gibi elde edilmek istenen ürünün su ve yağ bağlama özelliklerini geliştirmek, pişirme verimini artırmak ve düşük yağ içeriğine sahip et ürünlerinin dokusunu güçlendirmek amaçlarıyla da kullanılmaktadır (Schmiele vd., 2015; Özboy Özbaş ve Ardıç, 2016; Bis-Souza vd., 2018; Zinina vd., 2019).

Žugčić vd. (2018) yaptıkları çalışmada, fasulye (%1) ile *Chlorella* ve *Spirulina* proteinlerinin (%1) ilave edilmesinin sığır köftelerinde mevcut amino asitlerin konsantrasyonlarını artırdığını belirtmişlerdir. Thirumdas vd. (2018), farklı protein analogları ilave edilen fermente İspanyol “chorizo” sosilerinin renk, pH, doku parametreleri, protein, amino asit profili ve karbonhidrat içeriği bakımından grupları arasında önemli ölçüde farklılıklar olduğunu gözlemlemişlerdir. Protein içeriği; soya proteini (%35,62), *Chlorella* (%34,66), *Spirulina* (%34,89) ve bakla proteini (%34,66) ile zenginleştirilmiş örneklerde fasulye ve mercimek proteini ile elde edilenlere göre daha yüksek bulunmuştur. Örneklerde lizin (%19,0), arjinin (%17,5) ve lösin (%17,5) majör esansiyel amino asitler iken glutamik asit (%32,0) ve aspartik asit (%19,0) ise en çok bulunan esansiyel olmayan aminoasitler olarak tespit edilmiştir.

Bilinçli tüketiciler, sağlıklı yaşama olumlu katkıda bulunabilecek bileşenler eklenerek kompozisyonları geliştirilen; diğer taraftan yağ, kolesterol, tuz ve nitrit seviyesi düşürülen fonksiyonel et ve et ürünlerine artan bir ilgi göstermektedir. Bu nedenle, son yıllarda tüketici taleplerini karşılamak, işlenmiş et ürünlerine karşı negatif algıyı değiştirmek, kardiyovasküler ve nörodejeneratif hastalıklar ile kanser gibi kronik hastalıkların riskini azalttığı bilinen bitkisel kökenli proteinlerin ilavesiyle, içerik ve oranları değiştirilerek, sağlıklı yaşama katkı sağlayabilecek, fonksiyonel ve sürdürülebilir ürünleri geliştirmek önem kazanmıştır. Bu amaçla araştırmamızda sığır eti kaynaklı kıymaya farklı bitkisel kökenli protein analoglarının ilave edilmesiyle üretilen salamların fiziko-kimyasal ve duyuşsal özellikleri ile serbest aminoasit içeriğindeki değişimler değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Araştırmada protein kaynağı olarak; *Spirulina platensis* tozu, *Chlorella vulgaris* tozu, peynir altı suyu tozu, soya unu, mercimek unu, nohut unu, bal kabağı unu ve karabuğday unu ilave edilmiştir. *Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris* tozu Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nden, sığır eti kaynaklı kıyma, baharatlar ve diğer protein analogları ise yerel marketlerden temin edilmiştir.

2.2. Salam üretimi

Salam üretiminde sığır eti kaynaklı kıyma kullanılmıştır. Temel salam hamuru sığır eti kaynaklı kıymaya %2,0 tuz, %0,3 karabiber, %0,3 zencefil, %0,1 kişniş, %0,25 toz şeker, %0,25 tatlı kırmızıbiber, %2,0 süt tozu, %16,6 buz ve %2,5 nişasta ilave edilmesiyle hazırlanmıştır. Çizelge 1’de belirtilen üretime göre protein analoglarının temel salam hamuruna ilavesi ile 9 farklı salam örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan salam hamurları kılıflara doldurulduktan sonra sıcaklık, rutubet ve hava akımı kontrol edilebilen otomatik kurutma, haşlama ve dumanlama fonksiyonlarına sahip fırında; 55°C’de kuru sıcaklıkta 20 dk. ön kurutmanın ardından 45°C’de dumanlama yapılmıştır. Sonra iç sıcaklık 72°C olana kadar pişirilip iç sıcaklığı 32°C olana kadar soğuk duşla soğutulmuştur. Hazırlanan örnekler analizlere kadar 2-4°C sıcaklıktaki soğuk hava deposunda muhafaza edilmiştir.

Çizelge 1. Farklı protein kaynakları ilavesiyle üretilen salamların uygulama kodları

Uygulama Kodu	Açıklama
K	Kontrol grubu (temel salam hamuru)
SP	%1 oranında <i>Spirulina platensis</i> tozu içeren salam hamuru
CV	%1 oranında <i>Chlorella vulgaris</i> tozu içeren salam hamuru
PAST	%1 oranında peynir altı suyu tozu içeren salam hamuru
SU	%1 oranında soya unu içeren salam hamuru
MU	%1 oranında mercimek unu içeren salam hamuru
NU	%1 oranında nohut unu içeren salam hamuru
BU	%1 oranında bal kabağı unu içeren salam hamuru
KU	%1 oranında karabuğday unu içeren salam hamuru

2.3. Yöntem

2.3.1. Fiziko-kimyasal analizler

Çalışma kapsamında üretimi yapılan salamların; nem, kül, protein, toplam yağ ve pH tayini için homojenizasyon işlemi, numune öğütücü (Waring 8011EG, Amerika) kullanılarak yapılmıştır. Homojenize edilen örneklerden hemen analize alınacak miktarlar ayrılmış daha sonra analize alınacak kısımlar -18°C’de depolanmıştır.

Analizler 3 paralel olarak gerçekleştirilmiş olup sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde verilmiştir. Örneklerin nem miktarı TSE 1743-ISO 1442 (2001) ve kül miktarı TSE 1746 ISO936 (2001) metotlarıyla gerçekleştirilmiştir. Protein miktarı AOAC 928.08 (1974)'e göre Kjeldahl protein tayin sistemi (Buchi Speed Digester K-439, Buchi Scrubber B-415, Buchi Kjell Master K-360, İsviçre) ile belirlenmiştir. Toplam yağ miktarı AOAC 991.36 (1996)'e göre sıcak ekstraksiyon sistemiyle (Buchi HydrolEx H-506, Buchi FatExtractor E-500 Hot Extraction, İsviçre) yapılmıştır. Örneklerin pH değerleri Mettler Toledo S220 (İsviçre) kullanılarak ISO 2917 (1999) metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Renk yoğunluklarının ölçümünde kolorimetre cihazı (Konica Minolta CR-5, Minolta Co., Osaka, Japan) kullanılarak L^* , a^* , b^* , Chroma ve Hue değerleri tespit edilmiştir. Örneklerin tekstürel özelliklerini değerlendirmek amacıyla tekstür analiz cihazı (TA-XT Plus Stable Micro Systems, İngiltere) ile Warner-Bratzler Shear bıçağı (düz kenar) kullanılarak kesme kuvveti (Shear Force) ve kesme işi (Work of Shear) parametreleri ölçülmüştür. Test parametreleri, De Huidobro vd. (2005)'nin uyguladığı metot modifiye edilerek belirlenmiş olup; ön-test hızı: 2 mm/sn, test hızı: 1 mm/sn, son-test hızı: 2 mm/sn, çap: 25 mm ve yükseklik: 15 mm olarak ayarlanmıştır.

2.3.2. Duyusal analiz

Duyusal analizler Karaca Demircioğlu vd. (2013)'nin uyguladığı prosedür modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirme, Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi personeli olan yarı eğitilmiş 10 panelist ile yapılmıştır. Duyusal değerlendirme için örneği temsil edecek şekilde alınan numuneler, her bir analiste tek kullanımlık tabaklar ile değerlendirmeye sunulmuştur. Panelistlerden salam örneklerinin kesit yüzeyi, su ve yağ bağlama durumu, yapısal homojenlik, koku, lezzet, renk ve genel kabul edilebilirlik parametreleri için 10 puan üzerinden (1: hiç beğenmedim, 10: çok beğendim) değerlendirmeleri istenmiştir.

2.3.3. Serbest aminoasit profili analizi

Serbest aminoasit profili analizi için ekstraksiyon, Lorenzo vd. (2015) tarafından yapılan prosedür modifiye edilerek kullanılmıştır. Buna göre 5 g örneğe 25 ml 0,1 N hidroklorik asit ilave edilmiş ve IKA Ultra-Turrax ile kuru buz içinde soğutulmuş 8 dk. boyunca homojenize edilmiştir. Homojenize edilmiş numune 20 dk. 5240 g'de 4°C'de santrifüjlenerek süpernatant 0,45 μ m PVDF

filtreden geçirilerek sonraki analizler için hazırlanmıştır. Elde edilen ekstraktın 200 μ L'sine 800 μ L asetonitril eklenmiştir. 3 dk. süre ile 4°C'de 5240 g'de santrifüjlenerek deproteinize edilmiştir. Ekstrakt 0,45 μ m PVDF filtre yardımıyla filtrelenecek amber renkli viallere alınmıştır. Halisçelik (2020)'in uyguladığı aminoasit tayin yöntemi HPLC cihaz koşulları modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Aminoasit türevlendirme aşaması HPLC ile kolon öncesi 3-Merkaptopronionik asit (3-MPA), Ortofitaldehit (OPA) ve Florenilmetiloksikarbonil klorür (FMOC) türevlendirici ajanları ile gerçekleştirilmiştir. Metoda ait veriler ile analitik koşullar Çizelge 2 ve 3'te verilmiştir.

Çizelge 2. Aminoasit analiz metoduna ait veriler

Bileşen	Alıkonma Süresi	R ²
<i>L-Aspartik Asit</i>	1,578	1,000
<i>L-Glutamik Asit</i>	2,179	1,000
<i>L-Asparajin</i>	3,831	0,999
<i>L-Serin</i>	5,240	1,000
<i>L-Glutamin</i>	5,654	1,000
<i>L-Histidin</i>	6,735	1,000
<i>L-Glisin</i>	7,094	1,000
<i>L-Treonin</i>	7,216	1,000
<i>L-Arjinin</i>	7,544	1,000
<i>L-Alanin</i>	8,105	1,000
<i>L-Tirozin</i>	8,846	1,000
<i>L-Sistein</i>	9,866	1,000
<i>L-Valin</i>	11,052	1,000
<i>L-Metiyonin</i>	11,268	1,000
<i>L-Triptofan</i>	11,641	1,000
<i>L-Fenilalanin</i>	12,210	1,000
<i>L-Izolösin</i>	12,366	1,000
<i>L-Lösin</i>	12,668	1,000
<i>L-Lizin</i>	13,010	0,996
<i>L-Prolin</i>	19,960	1,000

2.3.4. İstatistiksel analiz

Elde edilen sonuçlar varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur (SPSS 23, Chicago, IL, ABD). Ortalamalar Tukey'in post-hoc testi ile karşılaştırılmıştır ($p < 0,05$). Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde verilmiştir. Bunun dışında Pearson korelasyonunun ısı haritası grafiği (heatmap), kümeleme grafiği (clustermap) ve PCA grafikleri sklearn, numpy, seaborn, prince, matplotlib ve pandas gibi kütüphaneler kullanılarak python yazılım dili kodlanmış ve Jupyter Notebook ile görselleştirilmiştir.

Çizelge 3. Aminoasit analizi analitik koşulları

HPLC Cihaz Parametreleri	
Cihaz	Shimadzu Prominence-i LC-2030C
Dedektör	Diode Array dedektör ve Floresans
Kolon	GLScience, Inertsil ODS-3, 3 µm, 4,6x100mm
Mobil Faz A	20 mM potasyum fosfat tamponu
Mobil Faz B	ACN:MeOH:Su [45:40:15]
Akış Hızı	1,0 mL/dk.
Kolon Fırın Sıcaklığı	40°C
Analiz Süresi	29 dk
Enjeksiyon Hacmi	10 µL

3. Bulgular ve tartışma**3.1. Fiziko-kimyasal özellikler**

Türk Gıda Kodeksi Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği'ne göre (emülsifiye et ürünlerinde) salam ürünlerinde nem miktarının toplam et proteinine oranının 6,5'in altında olması gerekliliği bildirilmiştir (Anonim, 2019). Araştırmamız kapsamında nem değerlerinin örnekler arasında istatistiksel anlamda farklılık görülmüştür ($p<0,05$). Nem değerleri açısından; nohut unu (NU) ve peynir altı suyu tozu (PAST)

ilave edilen grupların en yüksek değere sahip oldukları tespit edilmiştir (Çizelge 4). Bu iki grupta kullanılan protein kaynağının su bağlama yeteneğinin diğer kaynaklara göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Nem değerleri için SP, CV ve KU grupları arasında istatistiksel anlamlı bir farklılık görülmemiştir ($p>0,05$). Bal kabağı unu (BU) ilaveli grubun ise nem değeri en düşük olarak tespit edilmiştir.

Fiziko-kimyasal analiz sonuçlarına göre kül değerleri açısından, gruplar arasında istatistiksel anlamda farklılıklar gözlenmiştir ($p<0,05$). En yüksek kül değeri K grubunda, en düşük kül değeri ise PAST grubunda tespit edilmiştir.

En yüksek protein değeri SP numunesinde bulunmuş olup SU ve BU numunelerinin protein değerleri istatistiksel anlamda aynı grupta yer almıştır ($p<0,05$). Bu bağlamda *Spirulina platensis*, soya unu ve bal kabağı unu ilavesinin salamda protein değeri açısından pozitif yönde etkili olduğu söylenebilir. En düşük protein değeri ise PAST ilaveli salam örneğinde bulunmuştur.

Toplam yağ analizine göre en yüksek değer SP grubunda belirlenmiş olup, istatistiksel anlamda her bir grup açısından anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p<0,05$).

SP grubunda en yüksek pH değeri tespit edilirken en düşük pH, SU grubunda tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Çizelge 4. Salam örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri

Örnekler	Nem (%)	Kül (%)	Protein (%)	Yağ (%)	pH
K	64,92±0,01 ^{ab}	1,44±0,02 ^a	24,59±0,26 ^d	6,66±0,02 ^f	6,08±0,01 ^h
SP	64,82±0,20 ^{bc}	1,35±0,01 ^c	26,08±0,33 ^a	7,82±0,01 ^a	6,24±0,02 ^a
CV	64,71±0,61 ^{bc}	1,26±0,03 ^e	25,25±0,43 ^{bc}	6,95±0,02 ^e	6,19±0,01 ^g
PAST	65,09±0,09 ^a	1,05±0,02 ^f	19,26±0,01 ^e	7,67±0,01 ^b	6,13±0,01 ^c
SU	64,36±0,18 ^c	1,27±0,02 ^e	25,63±0,48 ^{ab}	7,33±0,08 ^c	6,02±0,01 ^b
MU	64,59±0,07 ^c	1,36±0,01 ^c	25,02±0,15 ^{cd}	7,00±0,01 ^e	6,11±0,02 ^e
NU	65,14±0,02 ^a	1,26±0,01 ^e	25,28±0,11 ^{bc}	6,62±0,10 ^f	6,12±0,01 ^d
BU	62,49±0,52 ^d	1,37±0,01 ^c	25,74±0,05 ^{ab}	7,23±0,04 ^d	6,09±0,01 ^{fg}
KU	64,86±0,14 ^{bc}	1,31±0,01 ^d	24,80±0,27 ^{cd}	6,65±0,07 ^f	6,20±0,01 ^b

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler istatistiksel anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$)

Abdullah vd., (2018) yaptıkları çalışmada, dana sosise soya unu (okara) eklenmesinin ürünün nem, yağ ve protein içeriğinde azalmaya neden olurken ham lif, kül ve karbonhidrat içeriğinde artışa neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Grizotto vd. (2012) bitki bazlı protein ile ikame edilen et ürünlerinde

kül, lif ve proteinde artış, nem ve yağ içeriğinde ise azalma olduğunu bildirmiştir. Van piyasasında tüketime sunulan salam ve sosislerin çeşitli kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada ise salam örneklerinin ortalama nem değerlerinin %54,53 kül değerlerinin

ise ortalama %3,04 olduğu bildirilmiştir (Elibol, 1996). Kuyumcu (1999), Ankara piyasasında satışı sunulan çeşitli et ürünlerinin özelliklerini incelediği bir çalışmada salam örneklerinin ortalama nem değerlerinin %61,3±1,4 ve kül değerlerinin de %2,9±0,4 olduğunu tespit etmiştir. Araştırmamız kapsamında numunelerde belirlenen nem, protein ve yağ değerleri daha önceki çalışmalara (Elibol, 1996; Kolsarıcı vd., 1986; Kuyumcu, 1999) benzer bulunurken, kül miktarı açısından ise daha düşük düzeylerde oldukları belirlenmiştir. Kara vd. (2021) Afyonkarahisar'da tüketime sunulan sucuk, salam ve sosis örneklerinde renk (L, a, b), su aktivitesi (a_w), pH ve tekstür profillerini inceledikleri çalışmalarında, salam örnekleri için pH değerini 6,30 olarak tespit etmişlerdir. Marti-Quijal vd. (2019) yaptıkları çalışmada, domuz eti kaynaklı sosis üretiminde *Spirulina platensis* ilavesinin bizim çalışmamıza benzer olarak en yüksek pH değerini gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Yaptığımız çalışmada, en yüksek pH değeri 6,24 ile SP grubunda saptanmış olmakla birlikte tüm örneklerin pH değerinin 6,40'dan düşük bulunması; TKG Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği'ne uygun olduklarını göstermiştir. pH düzeyinin diğer protein analoglarına göre *Spirulina* ve *Chlorella* ilaveli örneklerde daha yüksek belirlenmesi bu mikroalglerin optimum gelişmeleri için pH 7-11 gibi alkali ortama ihtiyaç duymaları ve elde edilen biyokütleinin de pH değerinin nötr veya daha yüksek olması ile açıklanabilir.

3.2. Tekstürel özellikler

Enstrümental ve duyuşal yöntemlerle değerlendirilen tekstür; doku, aroma ve lezzet gibi çok sayıda özellik ile ilişkilendirilmektedir (Erdemir ve Karaoğlu, 2021). Tüketici tarafından ürünün kabul edilebilirliği ve duyuşal kalitesini değerlendirmek için kullanılan en temel kriterlerden biri olan tekstür analizi sonuçları incelendiğinde (Çizelge 5); K, MU ile NU örneklerinin en yüksek ve SP ile PAST örneklerinin ise en düşük kesme işi değerine sahip oldukları gözlenmiştir ($p<0,05$). Kontrol örneği ile karşılaştırıldığında diğer protein analoglarına kıyasla NU ve MU ilavesinin salamda kesme işi anlamında artış sağladığı söylenebilir. Kesme, "çiğnenebilirlik" olarak ifade edilmekle birlikte, daha çok et, balık ve kanatlı ürünleriyle ilişkilendirilen dokusal bir özelliktir. Bu özellik, ürünün dış etki ile parçalanmasının belirlenmesidir ve eğrinin altındaki toplam pozitif alan olarak hesaplanmaktadır. Kesme işi ise bu testin gerçekleştirilmesi için gerekli olan toplam iş

gücünü tanımlamaktadır. Daha yüksek alan değeri, daha yüksek miktarda enerji kullanılmasını gerektirmekte ve örneğin daha zor kesildiğine/çiğnendiğine vurgu yapmaktadır. Bu durumda SP ve PAST ilavelerinin protein yapıları arasındaki bağlanmayı azalttığı ve diğer salam gruplarına göre çiğnenmeleri/kesilmeleri için daha az güce ihtiyaç duyulduğu söylenebilir (Abdallahi vd., 2014; Babu vd. 2020).

Etler kesim şekline göre değişen miktarlarda olmak üzere çoğunlukla kas/lifler ile yağ içermektedirler. Bu durum etin en doğal haliyle bile homojen olmayan bir gıda maddesi olduğunu göstermektedir. Salam gibi emülsifiye ürünler ise hayvanların çeşitli bölgelerinde bulunan et gruplarından elde edildikleri için hem kas doku hem de yağ içeriği bakımından farklılıklar göstermektedirler. Aynı zamanda üretim prosesi gereği de çeşitli katkı maddeleri içermektedirler. Salamın stabil tekstürel özelliklerini garanti altına almak için farklı kesim, öğütme ve pişirme gibi işlem parametrelerinin ürünün nihai dokusuna etkilerinin anlaşılması önemlidir. Tekstürel özellikler de dahil olmak üzere reolojik davranışı belirlemek için en sık kullanılan enstrümental yöntemlerden birisi olan Tekstür Profil Analizi (TPA) testinde, ilk sıkıştırma eğrisinden tespit edilen "sertlik" numuneyi belli bir düzeye kadar deforme etmek için gereken kuvvet veya ilk sıkıştırma için gereken maksimum kuvvet olarak tanımlanmaktadır (Nishinari vd., 2013; Peleg, 2019; Srilakshmi, 2020). Çizelge 5'te görüldüğü gibi gıda maddelerinde uygulanan herhangi bir etkiye karşı gösterilen güç olarak belirlenen sertlik parametresi açısından istatistiksel anlamda en yüksek değer; aynı grupta yer alan kontrol, MU ve NU gruplarında saptanmıştır. En düşük sertlik değerine sahip olan SP, CV ve PAST gruplarının dış etkilere karşı daha kırılğan oldukları gözlenmiştir ($p<0,05$). Bu durum üç analogun lif içeriklerinin diğer analoglara göre daha düşük olması nedeniyle et protein ağı ile zayıf etkileşim göstermelerinden kaynaklanabilir.

Miyofibriler proteinlerin, etin toplam protein içeriğinin %60'ını oluşturduğunu bildiren Bertola vd. (1994), ısıtma işlemi ile üretilen et ürünlerinde miyofibriler proteinlerin denatüre olduğunu ve sertliğin arttığını vurgulamışlardır.

Diyet lifleri et endüstrisinde, yüksek su ve yağ tutma kapasiteleri, nötr bir kokuya sahip olmaları ile ürünlerin dilimlenmesini iyileştirme, sertlik düzeyini geliştirme ve formülasyon maliyetlerinde azalma sağlamaları gibi fonksiyonel ve teknolojik özelliklerinden dolayı özellikle emülsifiye ürün

uygulamalarında yağ ikamesi olarak kullanılmaktadırlar (Sánchez-Alonso vd., 2007; Yang vd., 2007; Piñero vd., 2008; Schmiele vd., 2015). Barretto vd. (2015) yaptıkları çalışmada buğday lifi miktarının artması ile Bologna sosisinin emülsiyon sertliğinin arttığını gözlemlemişlerdir. Yang vd. (2009), ördek etinden üretilen az yağlı sosislerin kalite ve tekstürel özellikleri üzerine doku değiştirici ajanlar olarak pirinç, buğday, mısır, darı ve arpa gibi farklı tahıl unlarının etkisini inceledikleri çalışmalarında yapılan tekstür analizinde, tahıl unları veya sığır yağı ilave edildiğinde sertlik değerinin önemli ölçüde azaldığını ve en düşük sertlik değerinin pirinç unu ilaveli örneklerde olduğunu gözlemlemişlerdir. Tahılların sahip oldukları β -glukan ve arabinoksilan gibi diyet lif, dirençli nişasta ve oligosakkaritlerin su tutma kapasitelerinin yüksek olduğunu ve yağ tarafından sağlanan dokusal nitelikleri sağlayabildikleri için yağ ikamesi olarak

kullanılabileceklerini vurgulamışlardır. Benzer şekilde Pereira vd. (2016) su bağlama özelliğini geliştirerek yağı azaltılmış sosisin tekstürel özelliklerini incelediği çalışmalarında pirinç unu ilavesinin kontrol örneğine göre sertlik değerini önemli ölçüde artırdığını bulmuşlardır. López-López vd. (2009), sosis ve düşük tuzlu et/su emülsiyonlarına kahverengi bir makroalg olan *Himanthalia elongata* ilave edildikten sonra sertlik ve çiğnenebilirlik değerlerinde bir artış olduğunu ifade etmişlerdir. Park vd. (2017), tam karabuğday unu ile formüle edilmiş domuz sosislerinin depolama sırasında kalite özelliklerinin artırılmasına yönelik çalışmalarında, karabuğday unu ilavesinin kontrol numunesine göre sosislerin sertliğini, yapışkanlığını ve çiğnenebilirliğini etkilemediğini, ancak karabuğday unu arttıkça esneklik ve yapışkanlığının azaldığını gözlemlemişlerdir.

Çizelge 5. Salam örneklerinin tekstürel özellikleri

Örnekler	Kesme işi (Work of Toughness) (N/mm.sec)	Sertlik (Firmness) (N/mm)
K	21,28±1,82 ^a	2,29±0,55 ^a
SP	14,81±1,02 ^d	1,60±0,09 ^b
CV	18,86±2,37 ^{abc}	1,68±0,21 ^b
PAST	14,73±0,04 ^d	1,63±0,08 ^b
SU	17,04±0,64 ^{bcd}	1,99±0,52 ^{ab}
MU	20,93±1,05 ^a	2,40±0,08 ^a
NU	20,53±0,96 ^{ab}	2,21±0,11 ^a
BU	16,86±4,12 ^{cd}	1,86±0,30 ^{ab}
KU	18,41±1,03 ^{abc}	1,91±0,46 ^{ab}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler istatistiksel anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$)

3.3. Renk değerleri

Salam üretimine mikroalg proteinlerinin dahil edilmesinden sonra renk parametrelerinin önemli ölçüde değiştiği gözlenmiştir (Çizelge 6). PAST ilavesi ile üretilen salam örneklerinde rengin parlaklığı-matlığı ya da açıklığı-koyuluğu anlamına gelen L^* değeri en yüksek olarak belirlenmiştir. L^* değeri açısından SP ve CV grupları en düşük değerde bulunmuştur ($p<0,05$). CV ve SP grupları düşük a^* renk özelliği ile yeşil rengi barındıran gruplar olmuştur. Bu grupların haricindeki gruplar kırmızı renge yakınlık göstermektedir. BU numunesi b^* değeri ile en yüksek tespit edilirken, SP numunesi en düşük

tespit edilmiştir ($p<0,05$). Tüm gruplar sarı renge yakınlık göstermektedir. Renk doygunluğunu ifade eden Chroma, kontrol grubunda en yüksek değerde bulunmuştur ($p<0,05$). Bundan dolayı kontrol numunesinin canlı renklerde olduğu tespit edilmiştir. Ürünlerde renk veya ton açısı olarak bilinen Hue değerleri bakımından CV numunesi en yüksek bulunurken, K grubunda ise en düşük Hue değeri bulunmuştur ($p<0,05$). Hue değerleri 0° - 90° arasında olduğundan örneklerin çoğu kırmızı-sarı bölgede ama sarıya daha yakın değerlerde oldukları tespit edilmiştir. Sadece CV değeri yeşil bölgeye daha yakındır.

Çizelge 6. Salam örneklerinin renk özelliklerinin değerlendirilmesi

Örnekler	L*	a*	b*	Chroma	Hue
K	59,53±0,08 ^{ab}	10,38±0,11 ^a	18,93±0,05 ^{abc}	21,59±0,08 ^a	61,27±0,24 ^d
SP	43,83±0,58 ^d	1,49±0,14 ^d	16,91±0,27 ^f	16,98±0,25 ^e	84,97±0,55 ^b
CV	48,38±0,40 ^d	-1,00±0,08 ^e	18,97±0,44 ^{ab}	18,99±0,43 ^d	93,03±0,33 ^a
PAST	61,17±1,28 ^a	8,53±0,05 ^c	17,44±0,43 ^{ef}	19,42±0,41 ^d	63,92±0,43 ^c
SU	59,39±0,14 ^b	9,59±0,17 ^{ab}	18,34±0,18 ^{bcd}	20,69±0,23 ^{abc}	62,39±0,22 ^{cd}
MU	59,85±0,63 ^{ab}	9,28±0,25 ^{bc}	18,78±0,22 ^{abc}	20,94±0,31 ^{ab}	63,70±0,34 ^c
NU	60,21±0,29 ^{ab}	9,59±0,86 ^{ab}	18,14±0,35 ^{cde}	20,52±0,71 ^{bc}	62,17±1,70 ^{cd}
BU	57,68±0,14 ^c	9,30±0,25 ^{bc}	19,38±0,07 ^a	21,50±0,15 ^{ab}	64,37±0,58 ^c
KU	59,23±0,44 ^{bc}	9,49±0,52 ^{abc}	18,76±0,35 ^{abc}	21,02±0,49 ^{ab}	63,18±1,11 ^{cd}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler istatistiksel anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$)

Yang vd. (2009) ördek eti sosislerinde pirinç, buğday, mısır, darı ve arpa gibi tahıl unlarını yağ ikamesi olarak denemişler; L* ve a* değerlerinin düşük b* değerinin ise yüksek olduğunu gözlemlemişler ve emülsiyon renk parametrelerinin yağ, su içeriği ile ısıtılma işleminden etkilendiğini bildirmişlerdir. Marti-Quijal vd. (2019) farklı protein kaynaklarının sosis formülasyonuna dahil edilmesinin parlaklık (L*) ve kırmızılık (a*) renk parametreleri üzerinde

önemli ölçüde etkili olduğunu; fasulye proteini ile yapılan taze domuz sosisi örneklerinde L* değeri daha yüksek iken, alg proteinleri (*S. platensis* ve *C. vulgaris*) ile hazırlanan numunelerde a* değerinin en düşük olduğu ve sarılık (b*) değerinin ise protein kaynağı ilavesinden etkilenmediğini belirtmişlerdir. Kara vd. (2021) ise piyasadan aldıkları salam örneklerinin renk değerlerini sırasıyla 56,64; 19,78 ve 11,85 olarak saptamışlardır.

Çizelge 7. Salam örneklerinin duyuşsal özelliklerinin değerlendirilmesi

Örnekler	Kesit Yüzeyi	Su ve Yağ Bağlama	Yapısal Homojenlik	Koku	Lezzet	Renk	Genel Kabul Edilebilirlik**
K	7,57±1,13 ^{ab}	8,29±0,76	7,86±1,07 ^{ab}	7,29±1,60	6,57±0,79	7,57±0,53 ^{ab}	8,00±1,53
SP	6,14±1,71 ^{abc}	7,14±0,69	6,29±0,76 ^b	5,86±2,41	6,86±2,73	6,86±0,38 ^{abc}	6,86±2,27
CV	5,57±1,62 ^c	7,29±0,76	7,00±1,15 ^{ab}	6,00±2,45	6,86±2,73	7,14±0,69 ^{ab}	7,14±2,41
PAST	6,29±0,49 ^{abc}	7,29±1,38	6,71±1,25 ^b	6,29±0,95	6,00±1,15	6,43±0,79 ^{bc}	6,14±0,90
SU	5,71±1,50 ^{bc}	7,14±0,69	6,86±0,69 ^{ab}	6,14±1,07	6,29±1,38	5,71±0,76 ^c	6,71±1,11
MU	6,57±1,13 ^{abc}	8,00±0,82	7,29±0,95 ^{ab}	6,86±0,69	7,29±0,76	7,29±0,95 ^{ab}	6,57±1,40
NU	7,14±0,38 ^{abc}	7,86±0,38	7,29±0,49 ^{ab}	7,00±0,58	7,57±0,53	7,43±0,53 ^{ab}	7,14±0,90
BU	7,57±0,79 ^{ab}	7,71±0,76	7,29±0,95 ^{ab}	6,86±0,69	7,43±0,79	6,86±0,69 ^{abc}	6,71±0,76
KU	7,86±0,69 ^a	8,43±0,79	8,43±0,79 ^a	7,57±0,79	7,00±0,82	7,86±0,69 ^a	8,00±0,82

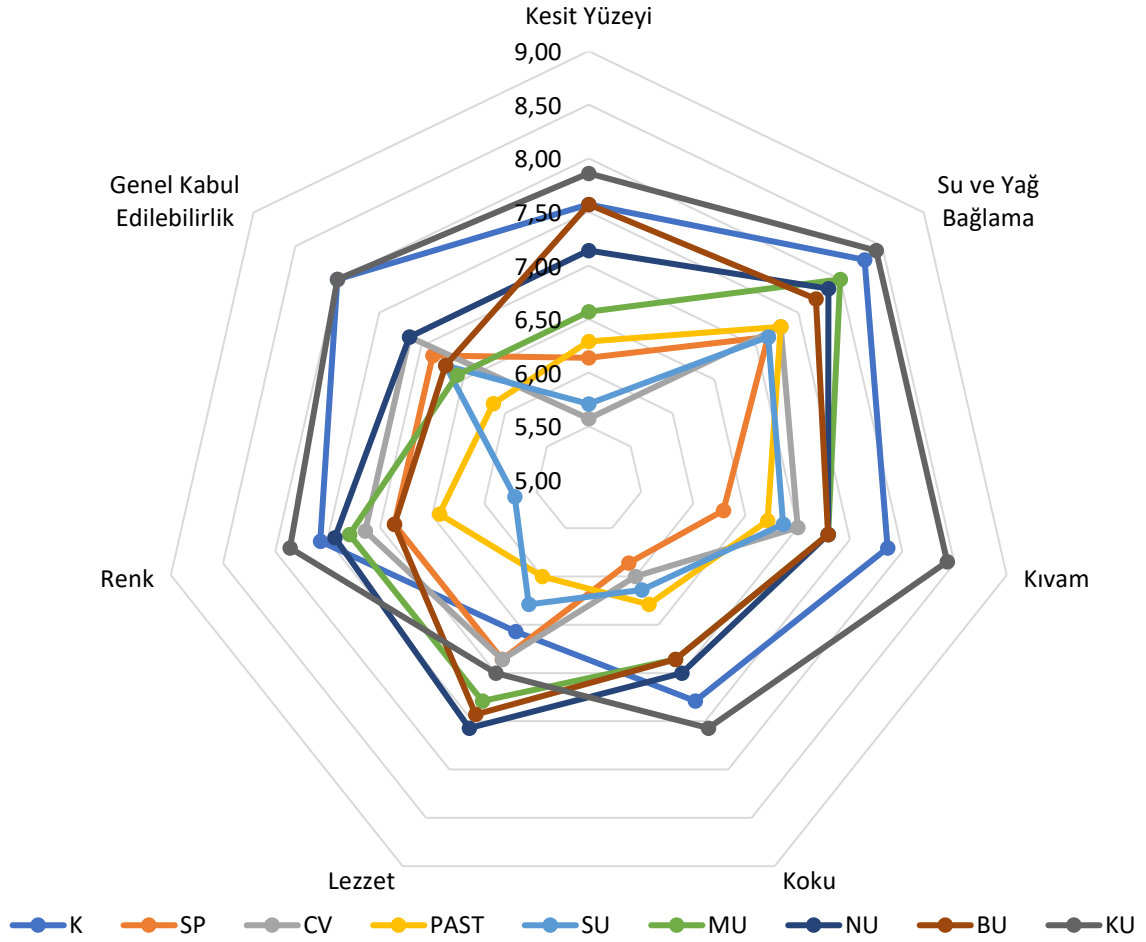
*Aynı sütundaki farklı küçük harfler istatistiksel anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p<0,05$)

** (1: hiç beğenmedim, 10: çok beğendim.)

3.4. Duyusal özellikler

Salam örneklerinin duyuşsal analiz sonuçları değerlendirildiğinde (Çizelge 7), genel kabul edilebilirlik açısından tüm örnekler beğenilmiştir. Genel kabul edilebilirlik parametresi açısından istatistiksel bir fark oluşmamakla birlikte ($p>0,05$) aritmetik olarak en yüksek kabul edilebilirlik değeri kontrol ve karabuğday unu ilaveli gruplarda belirlenmiştir

Duyusal değerlendirme sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi için örümcek ağı diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 1). İstatistiksel anlamda gruplar arasında su ve yağ bağlama, koku, lezzet ve genel kabul edilebilirlik parametreleri açısından anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$). Kesit yüzeyi, yapısal homojenlik ve renk parametrelerinde en çok beğeni alan grup %1 karabuğday ilavesi ile üretilen sığır eti kaynaklı salam örneği olmuştur ($p<0,05$).



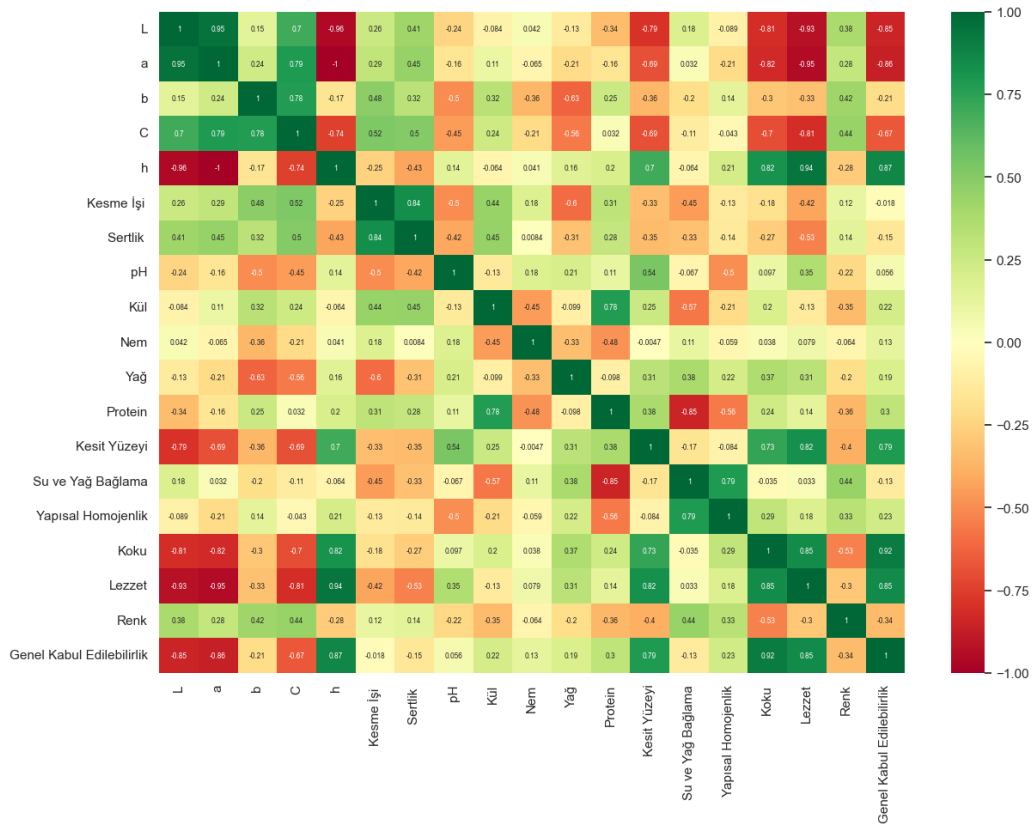
Şekil 1. Salam örneklerinin duyu değerlendirmesine dair örümcek ağı diyagramı

3.5. Salam örneklerinin çeşitli özellikleri arasındaki korelasyonun değerlendirilmesi

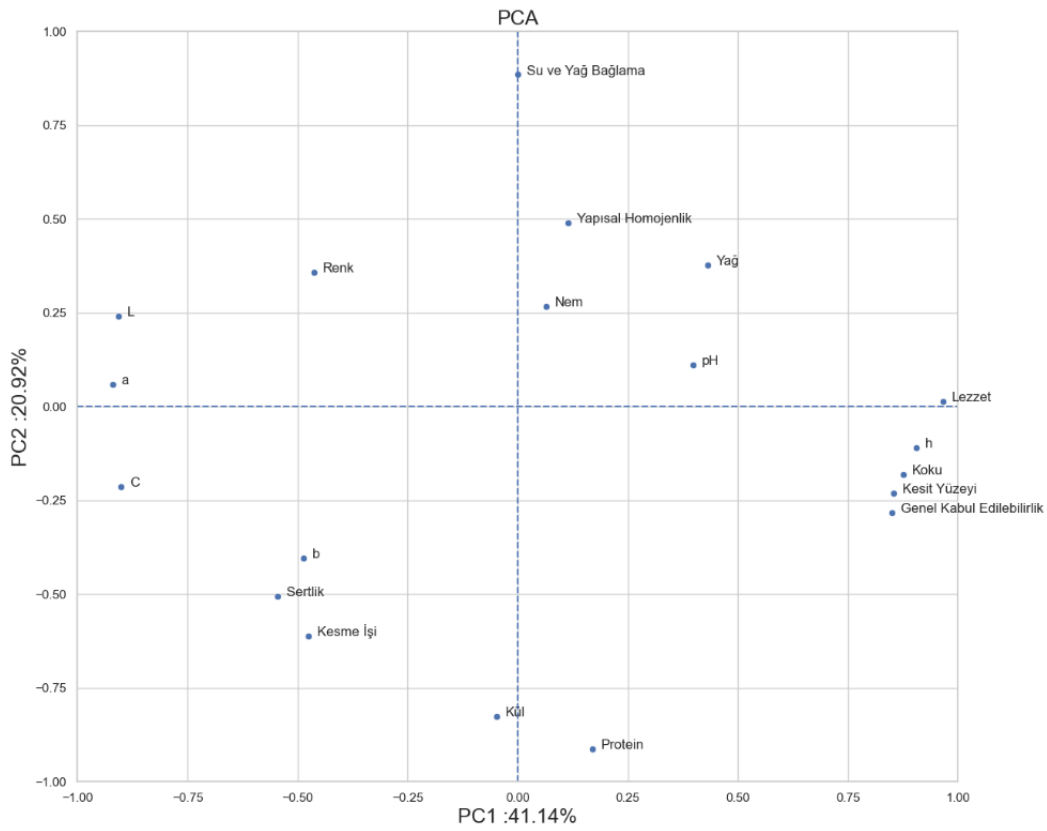
Salam örneklerinin fizikokimyasal, renk, tekstür ve duyu özellikler arasındaki Pearson korelasyonu Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre 0,7’den yüksek olan korelasyonlar sırasıyla L*-a* (0.946), h-Lezzet (0.941), Koku-Genel Kabul Edilebilirlik (0.921), h-Genel Kabul Edilebilirlik (0.869), Lezzet-Genel Kabul Edilebilirlik (0.854), Koku-Lezzet (0.848), Kesme İşi -Sertlik (0.840), Kesit Yüzeyi-Lezzet (0.823), h-Koku (0.819), a*-C (0.788), Kesit Yüzeyi-Genel Kabul Edilebilirlik (0.787), Su ve Yağ Bağlama-Yapısal Homojenlik (0.787), Kül-Protein (0.780), b*-C (0.779), Kesit Yüzeyi-Koku (0.733) ve L*-C (0.703) olarak güçlü pozitif korelasyonlara sahip özellikler olarak bulunmuştur. Buna karşın -0,7’den küçük olan korelasyonlar sırasıyla a*-h (-0.997), L*-h (-0.960), a-Lezzet (-0.947), Lezzet-L** (-0.928), a-Genel Kabul Edilebilirlik (-0.863), L*-Genel Kabul Edilebilirlik (-0.851), Su ve Yağ Bağlama-

Protein (-0.849), a*-Koku (-0.822), C-Lezzet (-0.809), L*-Koku (-0.805), L*-Kesit Yüzeyi (-0.794), C-h (-0.743) ve C-Koku (-0.701) olarak güçlü negatif korelasyona sahip özellikler olarak bulunmuştur.

Şekil 3’te PCA yük grafiği paylaşılmış olup 19 öz nitelikten beslenen veri seti 2 boyutta varyansın %62,06’sını açıklamaktadır. PC1 düzeyinde en önemli özellikler pozitif anlamda bu bileşeni etkileyen lezzet (0,966), h değeri (0,905), koku (0,877), kesit yüzeyi (0,853), genel kabul edilebilirlik (0,849) şeklinde sıralanırken a* değeri (-0,920), L* değeri (-0,906), C değeri (-0,901), Sertlik (-0,545) değerleri PC1 bileşenine negatif bir katkıda bulunmaktadır. Aynı şekilde PC2 düzeyinde önemli olan bileşenlerden su ve yağ bağlama (0,885) PC2 bileşenine olumlu katkıda bulunurken protein (-0,914), kül (-0,826), kesme işi (-0,613) ve sertlik (-0,505) değerleri PC2 bileşenine negatif katkıda bulunan önemli öz nitelikler olarak tespit edilmiştir.



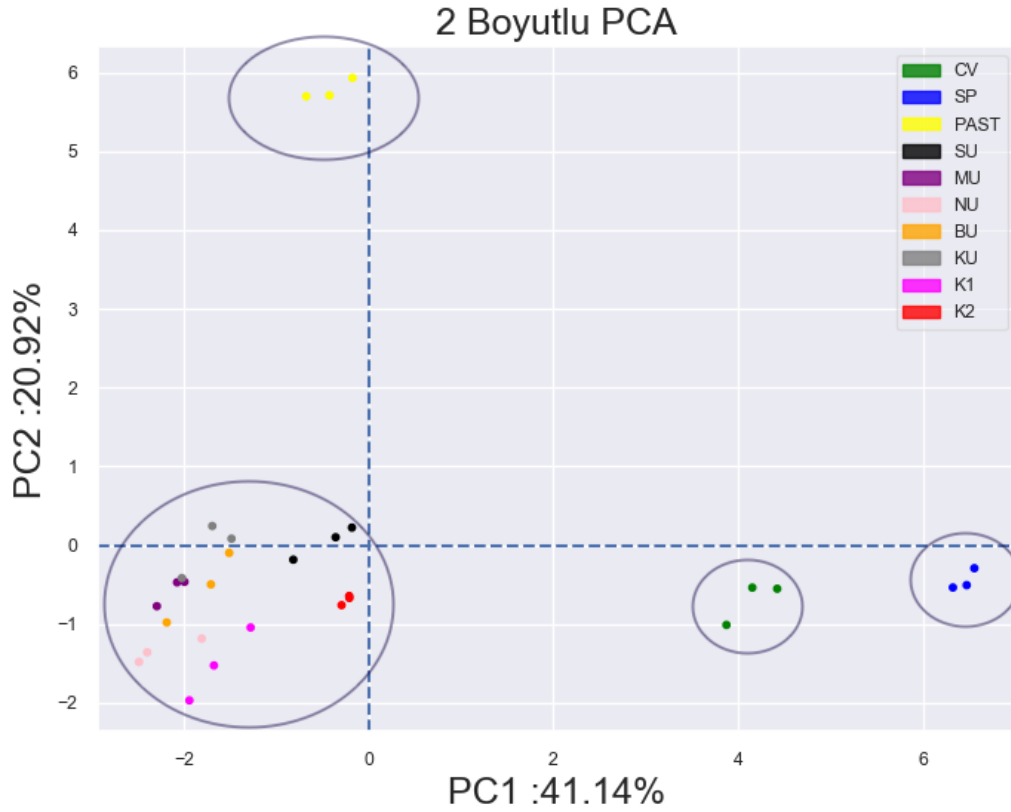
Şekil 2. Salam örneklerinin fizikokimyasal, renk, tekstür ve duyuşal özellikleri arasındaki korelasyonlar



Şekil 3. PCA yük grafiği (PCA loading)

Şekil 4'te ise üretilen salam numunelerinin 2 boyutlu PCA'da konumlanmış skor grafiği verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere CV ve SP örnekleri 1. temel bileşen üzerinde ayrılırken PAST örneği 2. bileşen üzerinde pozitif dağılmıştır. Diğer örnekler ise birlikte göreceli olarak 1. ve 2. temel bileşene negatif katkıda bulunan lokasyonda kümelenmiştir. CV ve SP örneklerinin kümелendiği bölgeye gidildikçe

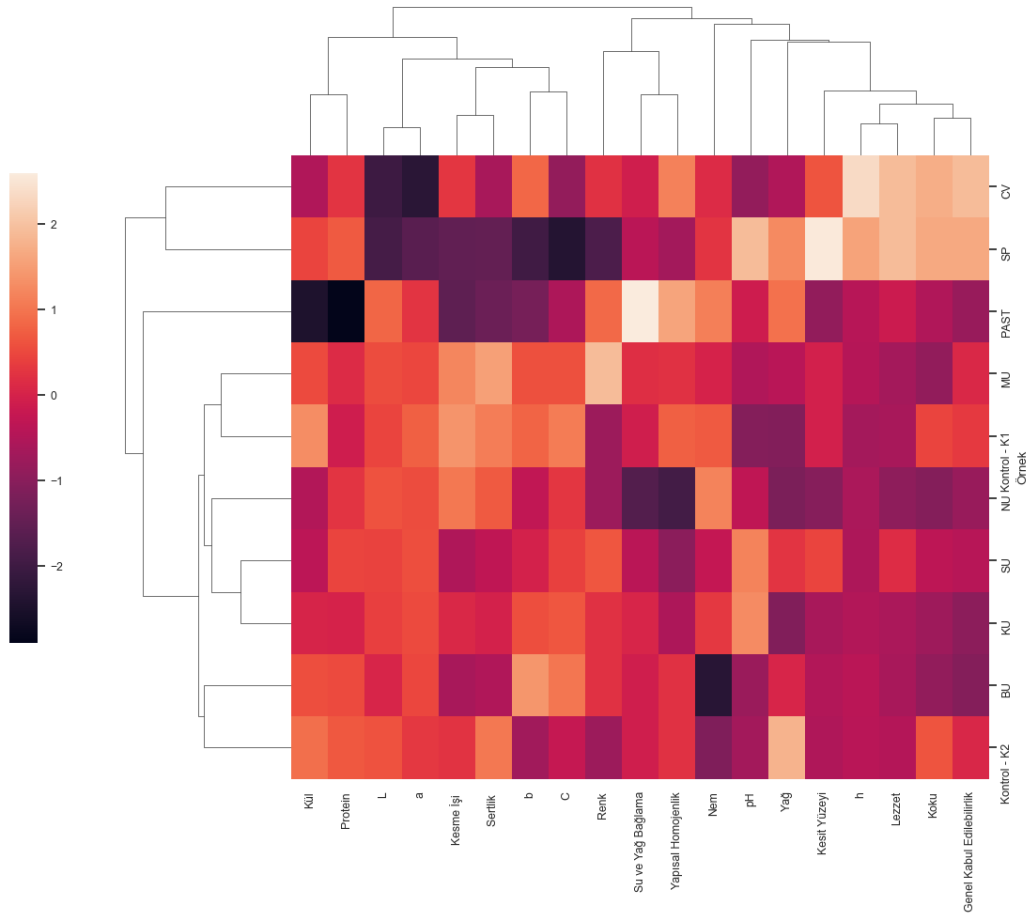
lezzet, h değeri, koku, kesit yüzeyi ve genel kabul edilebilirlik özellikleri artmaktayken PAST örneğinin kümелendiği bölgede su ve yağ bağlama ve renk değerlerinde artış ile karakterize olmaktadır. Bu bölgelerin dışında kalan diğer numuneler ise iki temel bileşenin negatif olarak kesiştiği c değeri, b değeri, sertlik ve kesme işinin artışı ile karakterize olan bölgede yer almaktadır.



Şekil 4. Salam numunelerinin 2 boyutlu PCA skor grafiği

Şekil 5'te özellikler arasında ve örnekler arasında hiyerarşik kümeleme gerçekleştirilmiş olup kümeleme haritası (clustermmap) vasıtası ile görselleştirilmiştir. Bu şekilden anlaşılabacağı üzere salam örnekleri ilk olarak 2 büyük kümeye ayrılmış olup ilk kümede alg ilaveli CV ve SP örnekleri yer alırken 2. kümede diğer örnekler yer almaktadır. 2. küme altında PAST numunesi ve diğer örnekler ana kümeyi oluşturmakta ve PAST numunesi diğer numunelerden taşıdığı özellikler bakımından ayrılmaktadır. Bu şekilde bir kümelenme PCA skor grafiğinde de tartışıldığı üzere birbirinden farklı yerlerde konumlanmış CV, SP ve PAST örnekleri

için de teyit edici niteliktedir. Özniteliklere bakıldığında ise ilk kümede kül, protein, L*, a*, b*, C, kesme işi, sertlik gibi cihazlar ile ölçülen nicel değerler toplanırken ikinci kümede renk, su ve yağ bağlama, yapısal homojenlik, nem, pH, yağ, kesit yüzeyi, h, lezzet, koku ve genel kabul edilebilirlik gibi daha çok duyuşal parametrelerin önemli olduğu bir küme oluşmuştur. En yakın özellikler ise ilk kümede sırasıyla L*-a* değerleri, kesme işi-sertlik, kül-protein, b*-C arasında saptanırken ikinci kümede sırasıyla lezzet-h değeri, koku-genel kabul edilebilirlik, su ve yağ bağlama-yapısal homojenlik arasında saptanmıştır.



Şekil 5. Örnekler ve öz nitelikler kullanılarak görselleştirilen kümeleme haritası (clustermap)

3.6. Serbest aminoasit bileşiminin protein ilavesi ile değişiminin değerlendirilmesi

Farklı protein analogları kullanımının salam örneklerinin aminoasit içeriği üzerindeki etkisi Çizelge 9'da gösterilmiştir. Salam örneklerinde asparajin, glisin, treonin, arjinin, tirozin, metionin, triptofan, lösin ve izolösin aminoasitlerinin miktarları açısından anlamlı farklılıklar bulunmamıştır ($p>0,05$). Birden fazla karboksilik asit içeren asidik karakteristikteki aspartik asit ve glutamik asit ile nötr bir aminoasit olan asparajin içerikleri tüm örneklerde düşük bulunmuştur. Bununla birlikte yine nötr bir aminoasit olan glutamin içeriği ise örneklerde en yüksek konsantrasyonda bulunan aminoasit olarak belirlenmiştir. İki karboksil grubuna sahip aspartik ve glutamik asit, azot ile birleştiği zaman asit amidleri olan asparajin ve glutamin oluşmaktadır. Aspartik ve glutamik asidin pH 7'de negatif olan yükünün aksine glutamin ve asparajin yüksüzdürler. Glutamik asit metabolizmada sinir hücrelerinin birbiriyle iletişim kurmasında yani nörotransmitter olarak da görev alırken, glutamin bağırsak sağlığı ve bağırsıklık sistemi ile

ilişkilendirilmektedir. En yüksek aspartik asit *Chlorella vulgaris* ilaveli örnekte belirlenmiş olup, soya unu ilaveli örnek ile arasında anlamlı farklılık olmayıp ($p>0,05$) diğer örnekler arasında anlamlı farklılık gözlenmiştir ($p<0,05$). En yüksek serin değerleri bal kabağı unu ilaveli (72,60 mg/kg) ve *Chlorella vulgaris* ilaveli (66,72 mg/kg) örneklerde saptanmıştır. Fenilalanin en yüksek değeri *Chlorella vulgaris* ilavesi (61,23 mg/kg) ile üretilen salam örneğinde bulunmuştur. Lisin değeri en yüksek *Chlorella vulgaris* ilaveli grubunda gözlenirken, bal kabağı unu ilaveli örnek hariç, tüm örnekler ile arasındaki farklılık anlamlı olarak belirlenmiştir ($p<0,05$). Bu sonuçlara göre *Chlorella vulgaris* ilavesinin aminoasit profili üzerine etkisinin olumlu olduğu söylenebilir. Kontrol örneğinde glutamik asit değeri 16,26 mg/kg iken en yüksek sonuç 28,51 mg/kg soya unu ilaveli salam örneğinde belirlenmiş olup diğer örnekler ile arasında anlamlı farklılık olduğu saptanmıştır ($p<0,05$). Bununla birlikte, örneklerin glutamin içeriği kontrol grubundan düşük olarak gözlenmiştir.

Çizelge 9. Salam örnekleri aminoasit analizi (ortalama $\pm$ standart sapma) (mg/kg)

Örnekler	K	SP	CV	PAST	SU	MU	NU	BU	KU	Sig
<i>Nötr aminoasitler</i>										
Alanin	427,10 $\pm$ 12,73 ^{ab}	442,62 $\pm$ 19,37 ^{ab}	382,42 $\pm$ 3,04 ^b	410,57 $\pm$ 63,57 ^{ab}	482,30 $\pm$ 27,54 ^a	442,03 $\pm$ 37,35 ^{ab}	454,05 $\pm$ 8,20 ^{ab}	453,92 $\pm$ 1,80 ^{ab}	420,56 $\pm$ 60,65 ^{ab}	s
Glisin	104,15 $\pm$ 31,08 ^a	111,31 $\pm$ 4,16 ^a	100,88 $\pm$ 5,21 ^a	89,21 $\pm$ 19,11 ^a	108,22 $\pm$ 3,57 ^a	112,66 $\pm$ 6,88 ^a	106,73 $\pm$ 10,27 ^a	122,00 $\pm$ 16,23 ^a	101,62 $\pm$ 15,80 ^a	ns
Izolösin	57,35 $\pm$ 9,62 ^a	61,85 $\pm$ 2,24 ^a	52,95 $\pm$ 11,00 ^a	52,01 $\pm$ 10,48 ^a	46,30 $\pm$ 1,13 ^a	56,77 $\pm$ 2,65 ^a	54,86 $\pm$ 4,37 ^a	68,33 $\pm$ 10,98 ^a	59,50 $\pm$ 13,12 ^a	ns
Lösin	139,00 $\pm$ 36,52 ^a	145,55 $\pm$ 5,70 ^a	144,95 $\pm$ 40,45 ^a	117,71 $\pm$ 23,56 ^a	123,22 $\pm$ 0,42 ^a	146,58 $\pm$ 2,95 ^a	135,51 $\pm$ 10,91 ^a	180,45 $\pm$ 32,07 ^a	160,13 $\pm$ 27,56 ^a	ns
Valin	78,43 $\pm$ 22,22 ^{ab}	95,56 $\pm$ 4,36 ^a	81,27 $\pm$ 10,11 ^{ab}	77,53 $\pm$ 14,80 ^{ab}	48,13 $\pm$ 0,90 ^b	82,35 $\pm$ 4,14 ^{ab}	76,07 $\pm$ 7,88 ^{ab}	99,81 $\pm$ 16,28 ^a	93,92 $\pm$ 15,49 ^{ab}	s
Prolin	28,55 $\pm$ 3,50 ^b	52,12 $\pm$ 8,50 ^a	22,53 $\pm$ 1,36 ^b	37,83 $\pm$ 9,56 ^{ab}	43,68 $\pm$ 5,82 ^{ab}	29,05 $\pm$ 8,63 ^b	37,10 $\pm$ 3,50 ^{ab}	41,03 $\pm$ 10,27 ^{ab}	37,87 $\pm$ 3,54 ^{ab}	s
Asparajin	7,78 $\pm$ 1,43 ^a	8,17 $\pm$ 2,02 ^a	7,98 $\pm$ 0,19 ^a	7,27 $\pm$ 0,85 ^a	7,75 $\pm$ 0,07 ^a	8,56 $\pm$ 0,30 ^a	7,80 $\pm$ 0,46 ^a	8,57 $\pm$ 0,95 ^a	8,90 $\pm$ 0,95 ^a	ns
Glutamin	424,03 $\pm$ 94,53 ^a	392,65 $\pm$ 15,88 ^{ab}	340,55 $\pm$ 19,20 ^{ab}	411,15 $\pm$ 71,24 ^{ab}	227,05 $\pm$ 4,14 ^b	410,23 $\pm$ 24,27 ^{ab}	381,92 $\pm$ 39,67 ^{ab}	414,06 $\pm$ 80,63 ^{ab}	370,98 $\pm$ 55,63 ^{ab}	s
Serin	59,37 $\pm$ 16,02 ^{ab}	61,95 $\pm$ 25,75 ^{ab}	66,72 $\pm$ 1,48 ^a	48,71 $\pm$ 11,83 ^{ab}	36,62 $\pm$ 0,57 ^b	62,86 $\pm$ 2,60 ^{ab}	60,42 $\pm$ 7,46 ^{ab}	72,60 $\pm$ 10,08 ^a	64,60 $\pm$ 12,34 ^{ab}	s
Treonin	36,22 $\pm$ 9,79 ^a	37,55 $\pm$ 1,62 ^a	38,18 $\pm$ 1,64 ^a	30,76 $\pm$ 5,95 ^a	34,37 $\pm$ 0,04 ^a	42,12 $\pm$ 0,78 ^a	36,63 $\pm$ 4,90 ^a	46,75 $\pm$ 6,93 ^a	41,32 $\pm$ 7,50 ^a	ns
Fenilalanin	27,38 $\pm$ 10,16 ^b	38,51 $\pm$ 1,64 ^{ab}	61,23 $\pm$ 2,52 ^a	23,15 $\pm$ 3,57 ^b	26,67 $\pm$ 0,32 ^b	26,23 $\pm$ 0,90 ^b	25,58 $\pm$ 2,03 ^b	33,43 $\pm$ 5,43 ^{ab}	30,58 $\pm$ 3,20 ^b	s
Tirozin	53,58 $\pm$ 8,50 ^a	57,31 $\pm$ 1,88 ^a	34,21 $\pm$ 3,16 ^a	51,66 $\pm$ 14,65 ^a	44,83 $\pm$ 0,62 ^a	59,92 $\pm$ 5,44 ^a	53,37 $\pm$ 1,59 ^a	65,13 $\pm$ 10,52 ^a	61,43 $\pm$ 17,80 ^a	ns
Triptofan	245,06 $\pm$ 27,59 ^a	202,50 $\pm$ 7,35 ^a	151,57 $\pm$ 9,26 ^a	200,26 $\pm$ 53,09 ^a	251,56 $\pm$ 11,79 ^a	224,66 $\pm$ 57,15 ^a	225,17 $\pm$ 15,84 ^a	246,82 $\pm$ 46,00 ^a	191,83 $\pm$ 64,68 ^a	ns
Sistein	83,56 $\pm$ 10,27 ^{ab}	67,12 $\pm$ 2,50 ^{ab}	52,53 $\pm$ 0,69 ^b	72,40 $\pm$ 19,09 ^{ab}	85,10 $\pm$ 4,95 ^{ab}	77,23 $\pm$ 16,63 ^{ab}	76,31 $\pm$ 3,13 ^{ab}	86,30 $\pm$ 7,85 ^a	66,47 $\pm$ 21,04 ^{ab}	s
Metiyonin	31,61 $\pm$ 8,54 ^a	35,12 $\pm$ 1,37 ^a	29,71 $\pm$ 4,65 ^a	26,68 $\pm$ 4,93 ^a	23,83 $\pm$ 0,30 ^a	33,95 $\pm$ 0,53 ^a	30,42 $\pm$ 2,05 ^a	38,77 $\pm$ 6,29 ^a	36,02 $\pm$ 6,19 ^a	ns
<i>Bazik aminoasitler</i>										
Arjinin	58,77 $\pm$ 16,72 ^a	60,61 $\pm$ 2,30 ^a	59,98 $\pm$ 0,55 ^a	51,46 $\pm$ 9,92 ^a	51,13 $\pm$ 0,09 ^a	64,92 $\pm$ 1,45 ^a	67,58 $\pm$ 6,17 ^a	73,75 $\pm$ 12,87 ^a	65,98 $\pm$ 10,87 ^a	ns
Histidin	21,38 $\pm$ 5,57 ^{ab}	22,72 $\pm$ 6,85 ^{ab}	19,48 $\pm$ 7,27 ^b	20,62 $\pm$ 3,89 ^{ab}	26,63 $\pm$ 0,42 ^{ab}	29,71 $\pm$ 0,37 ^a	22,86 $\pm$ 1,22 ^{ab}	28,60 $\pm$ 4,49 ^{ab}	26,11 $\pm$ 5,53 ^{ab}	s
Lisin	56,98 $\pm$ 1,79 ^b	54,88 $\pm$ 1,57 ^b	121,80 $\pm$ 5,98 ^a	34,42 $\pm$ 4,67 ^b	42,03 $\pm$ 0,94 ^b	59,21 $\pm$ 5,46 ^b	54,40 $\pm$ 3,64 ^b	72,12 $\pm$ 14,32 ^{ab}	63,17 $\pm$ 10,89 ^b	s
<i>Asidik aminoasitler</i>										
Aspartik Asit	3,63 $\pm$ 0,05 ^c	3,83 $\pm$ 0,36 ^c	4,35 $\pm$ 0,07 ^a	3,62 $\pm$ 0,25 ^c	4,27 $\pm$ 0,04 ^{ab}	3,80 $\pm$ 0,04 ^c	3,72 $\pm$ 0,10 ^c	3,82 $\pm$ 0,01 ^c	3,92 $\pm$ 0,25 ^{bc}	s
Glutamik Asit	16,26 $\pm$ 3,94 ^c	13,96 $\pm$ 1,98 ^c	17,48 $\pm$ 1,43 ^c	13,35 $\pm$ 2,12 ^c	28,51 $\pm$ 0,65 ^a	17,11 $\pm$ 0,76 ^c	15,90 $\pm$ 1,38 ^c	23,85 $\pm$ 3,54 ^b	15,10 $\pm$ 1,94 ^c	s

*Sig: İstatistiksel anlamlı farklılık; n.s.: anlamlı farklılık yoktur ($p > 0,05$); s: anlamlı farklılık vardır ($p < 0,05$).

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler istatistiksel anlamlı farklılıkları göstermektedir ($p < 0,05$)

*K: Kontrol grubu (temel salam hamuru); SP: %1 *Spirulina platensis* tozu içeren; CV: %1 *Chlorella vulgaris* tozu içeren; PAST: %1 peynir altı suyu tozu içeren; SU: %1 soya unu içeren; MU: %1 mercimek unu içeren; NU: %1 nohut unu içeren; BU: %1 bal kabağı unu içeren; KU: %1 karabuğday unu içeren

Chlorella ve *Spirulina* ilavesinin et ürünlerinde aminoasit konsantrasyonlarını artırdığı bildirilmiştir (Fleurence 1999; Dawczynski vd., 2007; López-López vd., 2009). Abdullah vd. (2018) okara unu ilavesinin dana sosisinin aminoasit kompozisyonu üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında, okara unu ile ürettikleri sosilerin esansiyel amino asit içeriğini kontrol örneğinden farklı olarak bulmuşlardır. Bu farklılığın da okara unu ilave edilen sosilerde hayvan ve bitki proteinlerinin birlikte bulunmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kontrol sosisinde treonin belirlenmesine rağmen, okara unu eklenmiş sığır sosisinde bu aminoasit tespit edilememiştir. Bu durum treoninin parçalanmasıyla asetaldehit ve glisin aminoasitlerinin oluşması sonucu glisinin serine dönüşmesiyle açıklanmıştır.

Salejda vd. (2022) Frankfurter tipi sosis üretiminde karabuğday kabuklarını biyoaktif bileşik kaynağı olarak değerlendirmişlerdir. Hayvansal proteine ilave olarak bitkisel protein kaynaklı aminoasitlerin de formülasyona dahil olmasıyla treonin, sistein, izolösin ile fenilalanin içeriğini bir kat geliştirirken, alanin ile tirozin içeriğini iki katı kadar geliştirdiğini ifade etmişlerdir.

4. Sonuç

Araştırmamızda farklı protein kaynakları kullanılarak salam üretimleri gerçekleştirilmiş olup üretilen salamların fiziko-kimyasal, duyuşsal ve aminoasit içerikleri belirlenmiştir. *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris*, soya unu ve bal kabağı unu ilavesi ile üretilen salamların protein miktarında artış sağladığı belirlenmiştir. *Spirulina platensis* ile hazırlanan salam örneği protein miktarı ve pH değeri açısından farklı bulunmuştur. Salam üretiminde mercimek unu kullanımının kesme işi ve sertlik parametrelerinde artış sağladığı görülmüştür. Kullanılan protein kaynağına bağlı olarak farklı salamlar arasında renk parametreleri açısından da önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. *Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris* ilavesinin salamın daha koyu yeşil-siyaha yakın renkte olmasına, peynir altı suyu tozunun ise daha açık renkte olmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Bu anlamda mikroalg proteinleri (*Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris*) ile hazırlanan numunelerde en düşük a* değeri elde edilmiştir. Araştırmamızda üretilen salam örneklerinin aminoasit profillerinde önemli farklılıklar bulunmuş olup *Chlorella vulgaris* ilavesinin olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir. Gıda maddeleri tüketiminde önemli bir yer teşkil eden tüketici tercihi belirlenmiş olup duyuşsal değerlendirme ile gıda maddelerinin

tüketiminde önemli bir yer teşkil eden tüketici tercihleri belirlenmiş olup istatistiksel olarak anlamlı farklılıkların olduğu kesit yüzeyi, yapısal homojenlik ve renk parametrelerine göre en çok beğeni alan salam örneğinin karabuğday unu ilaveli örnek olduğu belirlenmiştir. Araştırmamızda üretilen salamların tüketici açısından tercih edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Et ürünlerine katma değer katabilecek yenilikçi ve sağlıklı içeriklerin kullanımı konusunda tüketicinin artan farkındalığı, gıda endüstrisini bitkisel ve alg kaynaklı alternatif protein kaynaklarını araştırmaya yöneltmiştir. Çalışmamızda salamın, baklagil proteinleri (nohut unu, mercimek unu ve soya unu), peynir altı suyu tozu, bal kabağı unu, karabuğday unu ve alg kaynaklı proteinler (*Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris*) ile zenginleştirilmesinin ürün besin değerinin iyileştireceği pazar fırsatını artırmak için yararlı bir alternatif oluşturacağı ve ileride yapılacak çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma HDP(BTUAM)-2020/21 proje numarasıyla Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiş olup, araştırma kapsamında yapılan analizler Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BİTUAM)'nde yapılmıştır.

6. Kaynaklar

- Abdalahi, M. H., Bashari, M., Lagnika, C., He, Q. and Sun, X. (2014). Effect of ultrasound treatment prior to vacuum and modified atmosphere packaging on microbial and physical characteristics of fresh beef. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(6), 312-320.
- Abdullah, N., Rosselan, A. and Ahmad, N. (2018). Effects of the addition of okara flour on the proximate and amino acid compositions of beef sausage. *Proceedings of 2nd International Conference on Food Quality, Safety and Security*, 1, 26-32.
- Andrade, L. M., Andrade, C. J., Dias, M., Nascimento, C. A. O. and Mendes, M. A. (2018). Chlorella and Spirulina microalgae as sources of functional foods, nutraceuticals, and food supplements: An overview. *MOJ Food Processing & Technology*, 6(1), 45-58.
- Anonim (2019). Et, Hazırlanmış Et Karışımları ve Et Ürünleri Tebliği. Tarım ve Orman Bakanlığı Türk Gıda Kodeksi Tebliğ No: 2018/52. (Erişim Tarihi: 01.02.2023) <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/01/20190129-4.htm>
- Anvar, A. A. and Nowruzi, B. (2021). Bioactive properties of spirulina: A review. *Microbial Bioactives*, 4, 134-142.
- AOAC. (1974). AOAC 928.08, Official Methods of Analysis, Kjeldahl Method, Meat and Meat Product/Meat, Association of Official Analytical Collaboration International. <http://www.aoacofficialmethod.org> (Erişim Tarihi: 01.02.2023)
- AOAC. (1996). AOAC 991.36-1996, Official Methods of Analysis, Fat (Crude) in Meat and Meat Products - Solvent Extraction (Submersion) Method, Association of Official Analytical Collaboration International. <http://www.aoacofficialmethod.org> (Erişim Tarihi: 01.02.2023)
- Asgar, M., Fazilah, A., Huda, N., Bhat, R. and Karim, A. A. (2010). Nonmeat protein alternatives as meat extenders and meat analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), 513-529.
- Babu, M., Ashok, K., Senthil, J. and Kalaiyarasu, T. (2020). Effect of pH on *Arthrospira platensis* production. *Alochana Chakra Journal*, IX (V), 1-10.
- Banjari, I. and Hjartåker, A. (2018). Dietary sources of iron and vitamin B12: Is this the missing link in colorectal carcinogenesis? *Medical Hypotheses*, 116, 105-110.
- Barretto, A. C. D. S., Pacheco, M. T. B. and Pollonio, M. A. R. (2015). Effect of the addition of wheat fiber and partial pork back fat on the chemical composition, texture and sensory property of low-fat bologna sausage containing inulin and oat fiber. *Food Science and Technology*, 35, 100-107.
- Becerra-Tomás, N., Díaz-López, A., Rosique-Esteban, N., Ros, E., Buil-Cosiales, P., Corella, D. and Alba, M. B. (2018). Legume consumption is inversely associated with type 2 diabetes incidence in adults: A prospective assessment from the PREDIMED study. *Clinical Nutrition*, 37(3), 906-913.
- Bertola, N. C., Bevilacqua, A. E. and Zaritzky, N. E. (1994). Heat treatment effect on texture changes and thermal denaturation of proteins in beef muscle. *Journal of Food Processing and Preservation*, 18(1), 31-46.
- Bis-Souza, C. V., Henck, J. M. M. and Barretto, A. C. D. S. (2018). Performance of low-fat beef burger with added soluble and insoluble dietary fibers. *Food Science and Technology*, 38, 522-529.
- Bito, T., Okumura, E., Fujishima, M. and Watanabe, F. (2020). Potential of Chlorella as a dietary supplement to promote human health. *Nutrients*, 12(9), 2524.
- Boada, L. D., Henríquez-Hernández, L. A. and Luzardo, O. P. (2016). The impact of red and processed meat consumption on cancer and other health outcomes: Epidemiological evidences. *Food and Chemical Toxicology*, 92, 236-244.
- Charles, H., Godfray, J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W., Key, T. J. and Jebb, S. A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399), 1-8.
- Dawczynski, C., Schubert, R. and Jahreis, G. (2007). Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chemistry*, 103(3), 891-899.
- De Huidobro, F. R., Miguel, E., Blázquez, B. and Onega, E. (2005). A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat. *Meat Science*, 69(3), 527-536.

- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H. and Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 255-266.
- Eisinaite, V., Vinauskiene, R., Viskelis, P. and Leskauskaite, D. (2016). Effects of freeze-dried vegetable products on the technological process and the quality of dry fermented sausages. *Journal of Food Science*, 81(9), C2175-C2182.
- Elibol, C. (1996). Van Piyasasında Tüketime Sunulan Salam ve Sosislerin Mikrobiyolojik, Kimyasal, Fiziksel ve Duyusal Niteliklerinin İncelenmesi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- Erdemir, E. ve Karaoglu, M. (2021). Et ve et ürünlerinin tekstürel özelliklerini enstrümental olarak tespit etme yöntemleri ve tekstür profil analizi üzerine bir derleme. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(4), 2836-2848.
- Fleurence, J. (1999). Seaweed proteins: Biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science & Technology*, 10(1), 25-28.
- Gorissen, S. H., Crombag, J. J., Senden, J. M., Waterval, W. H., Bierau, J., Verdijk, L. B. and van Loon, L. J. (2018). Protein content and amino acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids*, 50, 1685-1695.
- Haliscelik, O. (2020). HPLC ile premiks, gübre ve yemde aminoasit uygulaması. <https://www.antteknik.com/Upload/ProductAppAreasLiteratur/tr/02914e8086374233434eb3cbf405276d.pdf> (Erişim Tarihi: 01.02.2023)
- Handoyo, T. and Morita, N. (2006). Structural and functional properties of fermented soybean (tempeh) by using *Rhizopus oligosporus*. *International Journal of Food Properties*, 9(2), 347-355.
- Havemeier, S., Erickson, J. and Slavin, J. (2017). Dietary guidance for pulses: The challenge and opportunity to be part of both the vegetable and protein food groups. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1392(1), 58-66.
- Iskusnykh, O. Y., Iskusnykh, A. Y. and Iskusnykh, D. O. (2022). Processing microalgae for use as a supplant in food industry. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1052(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1052/1/012012>
- ISO, (1999). ISO 2917, Meat and Meat Products-Measurement of pH-Reference method. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/24785.html> (Erişim Tarihi: 01.01/2023)
- Kara, R., Acaröz, U., Gürler, Z. ve Soylu, A. (2021). Bazı et ürünlerinin fizikokimyasal özelliklerinin araştırılması. *Akademik Et ve Süt Kurumu Dergisi* 2, 5-12.
- Karaca Demircioglu, S., Obuz, E. ve Kayaardı, S. (2013). Textural, chemical and sensory properties of döners produced from beef, chicken and ostrich meat. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 19(6), 917-921.
- Kuyumcu, A. (1999). Ankara Piyasasında Satılan Salam, Sucuk Sosislerin Su, Yağ, Tuz, Kül ve Kalıntı Nitrat, Nitrit Miktarlarının Tayini Üzerine Bir Araştırma, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Liestianty, D., Rodianawati, I., Arfah, R. A. and Assa, A. (2019). Nutritional analysis of *Spirulina* sp to promote as superfood candidate. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 509(1), 012031. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012031>
- López-López, I., Bastida, S., Ruiz-Capillas, C., Bravo, L., Larrea, M. T., Sánchez-Muniz, F., Cofrades, S. and Jiménez-Colmenero, F. (2009). Composition and antioxidant capacity of low-salt meat emulsion model systems containing edible seaweeds. *Meat Science*, 83(3), 492-498.
- Lorenzo, J. M., Cittadini, A., Bermúdez, R., Muneke, P. E. and Domínguez, R. (2015). Influence of partial replacement of NaCl with KCl, CaCl₂ and MgCl₂ on proteolysis, lipolysis and sensory properties during the manufacture of dry-cured lacón. *Food Control*, 55, 90-96.
- Mallika, E. N., Prabhakar, K. and Reddy, P. M. (2009). Low Fat Meat Products-An Overview. *Veterinary World*, 2(9), 364-366.
- Marti-Quijal, F. J., Zamuz, S., Tomašević, I., Gómez, B., Rocchetti, G., Lucini, L. and Lorenzo, J. M. (2019). Influence of different sources of vegetable, whey and microalgae proteins on the physicochemical properties and amino acid profile of fresh pork sausages. *LWT-Food Science and Technology*, 110, 316-323.
- McClements, D. J. and Grossmann, L. (2021). The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 4049-4100.
- Nishinari, K., Kohyama, K., Kumagai, H., Funami, T. and Bourne, M. C. (2013). Parameters of texture

profile analysis. Food Science and Technology Research, 19(3), 519-521.

Özbaş, Ö. Ö. ve Ardıç, M. (2016). Et ürünlerinde fonksiyonel gıda bileşeni olarak besinsel lifler. Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 5(2), 184-189.

Park, W., Kim, J.-H., Ju, M.-G., Hong, G.-E., Yeon, S.-J., Seo, H.G. and Lee, C.-H. (2017). Enhancing quality characteristics of salami sausages formulated with whole buckwheat flour during storage. Journal of Food Science and Technology, 54, 326-332.

Peleg, M. (2019). The instrumental texture profile analysis revisited. Journal of Texture Studies, 50(5), 362-368.

Pereira, J., Zhou, G. H. and Zhang, W. G. (2016). Effects of rice flour on emulsion stability, organoleptic characteristics and thermal rheology of emulsified sausage. Journal of Food and Nutrition Research, 4(4), 216-222.

Priyadarshani, I. and Rath, B. (2012). Commercial and industrial applications of micro algae-A review. Journal of Algal Biomass Utilization, 3(4), 89-100.

Salejda, A. M., Olender, K., Zielińska-Dawidziak, M., Mazur, M., Szperlik, J., Miedzianka, J., Zawislak, I., Kolniak-Ostek, J., Szmaja, A. (2022). Frankfurter-type sausage enriched with buckwheat by-product as a source of bioactive compounds. Foods, 11(5), 674.

Sánchez-Alonso, I., Solas, M. T. and Borderías, A. J. (2007). Technological implications of addition of wheat dietary fibre to giant squid (*Dosidicus gigas*) surimi gels. Journal of Food Engineering, 81(2), 404-411.

Schmiele, M., Mascarenhas, M. C. C. N., da Silva Barretto, A. C. and Pollonio, M. A. R. (2015). Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system. LWT-Food Science and Technology, 61(1), 105-111.

Srilakshmi, A. (2020). Texture profile analysis of food and TPA measurements: A review article. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 7, 708-711.

Sytar, O., Brestic, M., Zivcak, M. and Phan Tran, L. S. (2016). The contribution of buckwheat genetic resources to health and dietary diversity. Current Genomics, 17(3), 193-206.

Talukder, S. (2015). Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a

review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55(7), 1005-1011.

Thirumdas, R., Brnčić, M., Brnčić, S. R., Barba, F. J., Gálvez, F., Zamuz, S. and Lorenzo, J. M. (2018). Evaluating the impact of vegetal and microalgae protein sources on proximate composition, amino acid profile, and physicochemical properties of fermented Spanish “chorizo” sausages. Journal of Food Processing and Preservation, 42(11), e13817. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13817>

TSE, (2001). TS 1743 ISO 1442, Et ve Et Ürünleri-Rutubet Muhtevası Tayini, Türk Standartları Enstitüsü.

(ErişimTarihi:01.02/2023)<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073097090047097097111087118075113070>.

TSE, (2001). TS 1746 ISO 936, Et ve Et Ürünleri-Toplam Kül Tayini, Türk Standartları Enstitüsü. (ErişimTarihi:01.02/2023)<https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073082119069104065067055066054121054>.

Yang, H. S., Choi, S. G., Jeon, J. T., Park, G. B. and Joo, S. T. (2007). Textural and sensory properties of low fat pork sausages with added hydrated oatmeal and tofu as texture-modifying agents. Meat Science, 75(2), 283-289.

Yang, H. S., Ali, M. S., Jeong, J. Y., Moon, S. H., Hwang, Y. H., Park, G. B. and Joo, S. T. (2009). Properties of duck meat sausages supplemented with cereal flours. Poultry Science, 88(7), 1452-1458.

Zamuz, S., Purriños, L., Galvez, F., Zdolec, N., Muchenje, V., Barba, F. J. and Lorenzo, J. M. (2019). Influence of the addition of different origin sources of protein on meat products sensory acceptance. Journal of Food Processing and Preservation, 43(5), e13940. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13940>

Zargar, F. A., Kumar, S., Bhat, Z. F. and Kumar, P. (2014). Effect of pumpkin on the quality characteristics and storage quality of aerobically packaged chicken sausages. Springer Plus, 3(1), 1-10.

Zinina, O., Merenkova, S., Tazeddinova, D., Rebezov, M., Stuart, M., Okuskhanova, E. and Baryshnikova, N. (2019). Enrichment of meat products with dietary fibers: A review. Agronomy

Research 17(4), 1808-1822.
<https://doi.org/10.15159/AR.19.163>

Žugčič, T., Abdelkebir, R., Barba, F.J., Rezek-Jambrak, A., Gálvez, F., Zamuz, S., Granato, D. and Lorenzo, J.M. (2018). Effects of pulses and microalgal proteins on quality traits of beef patties. *Journal of Food Science and Technology* 55, 4544-4553.

GIDA VE YEM BİLİMİ-TEKNOLOJİSİ DERGİSİ

ETİK KURALLARI ve İNTİHAL KONTROLÜ

Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi, Yayın Etiği Komitesi [Committee on Publication Ethics (COPE)] tarafından hazırlanan yönerge (The COPE Code of Conduct for Journal Editors) hükümlerine uymayı kabul ve taahhüt etmiştir.

Dergi tarafından kabul edilen etik görev ve sorumluluklar Committee on Publication Ethics (COPE) ve Council of Science Editors (CSE) tarafından yayınlanan rehberler ve politikalar dikkate alınarak hazırlanmıştır.

A- EDITÖRLER ve YAYIN KURULUNUN UYMASI GEREKEN ETİK KURALLAR

Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi'nin Editörler Kurulu, açık erişim olarak Committee on Publication Ethics (COPE) tarafından yayınlanan "COPE Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors" ve "COPE Best Practice Guidelines for Journal Editors" rehberleri temelinde belirtilen tüm etik görev ve sorumluluklara bağlı kalmayı taahhüt eder.

1-Editörler, dergide basılan tüm makalelerden sorumlu olup derginin niteliğinin iyileştirilmesine katkı yapmakla yükümlüdürler.

2-Editörler, okuyuculardan gelen geri bildirimleri dikkate almak ve geri bildirim vermekle yükümlüdürler.

3- Editörler, dergiye gönderilen çalışmaların önemi, özgün değeri, geçerliliği, anlatımın açıklığı ve derginin amaç ve hedeflerine uygunluğu bakımından değerlendirerek olumlu ya da olumsuz karar vermelidirler.

4-Editörler, dergiye gönderilen çalışmaları; yazarların sosyal, kültürel, ekonomik özellikleri ile dini inançları göz önüne alınmaksızın, sadece entelektüel değerleri çerçevesinde değerlendirilmelidir.

5-Editörler ve Yayın Kurulu, dergiye yayınlanmak üzere gönderilen çalışmaların, 3 hafta içerisinde değerlendirmeye alıp almayacaklarına karar vermeli ve bunu yazara bildirmelidirler.

6-Editörler ve Yayın Kurulu, makaleyi ilk inceleme sonucunda red etme kararına varırsa yazarlara bunun nedenini açık bir şekilde bildirmekle yükümlüdürler.

7-Dergiye gönderilen çalışmalar editörler tarafından öncelikle intihal ihtimaline karşı raporların olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu aşamada intihal raporu olmayan çalışmalar ve intihal ihtimali olan çalışmalar, editörler tarafından reddedilir.

8-Editörler ve Yayın Kurulu Üyeleri Dergiye gönderilen makaleleri hakemler dışında hiç kimseye ifşa etmemelidirler.

9-Editörler, dergiye gönderilen çalışmaların kabulü için yazarlara dergideki herhangi bir makaleye veya başka bir çalışmaya atıf yapması konusunda telkinde bulunmamalıdır.

10-Editörler, makaleleri aynı disiplindeki konu uzmanlıklarına uygun olan hakemlere göndermelidirler.

11- Yayın Kurulu, yazarlarla, yazarların kurumları ya da yazarların bir veya daha fazla ilgi alanı ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması/çakışması yaşama durumundaysa, görevlendirilen editöre bilgi vermeli ve değerlendirme sürecinden çekilmelerini istemelidirler.

12-Editörler, hakemleri tarafsız, bilimsel ve nesnel bir dille çalışmayı değerlendirmeleri için teşvik etmelidirler.

13-Editörler, makaleleri objektif değerlendiren, hakemlik sürecini zamanında yerine getiren, makaleyi yapıcı eleştirilerle değerlendiren ve etik kurallara uygun davranan bilim insanlarının olmasına özen göstermelidirler.

14-Editörler, yayın kurulu ve hakemler kurulu üyelerini, uzmanlık alanlarına uygun, katkı sağlayabilir ve uygun nitelikte belirleyerek kurullara derginin yayın politikaları konusunda bilgi vermekle yükümlüdür.

B-YAZARLARIN UYMASI GEREKEN ETİK KURALLAR

Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi yayın etiği açısından, COPE (Committee on Publication Ethics) tarafından kabul edilen kriterlere uymayı taahhüt eder.

1-Eserlerin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir. Eserler, bilim etiği ilkelerine uygun olarak hazırlanmalı, Etik Kurul Raporu gerektiren durumlarda bir kopyası eklenmelidir.

Aşağıdaki araştırma konuları ile ilgili Etik Kurul Raporu bilgileri (kurul adı, tarih ve sayı no) yöntem bölümünde ve ayrıca makale son sayfasında ek olarak verilmelidir.

- ✓ Anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen her türlü araştırmalar.

- ✓ İnsan ve hayvanların (materyal/veriler dahil) deneysel ya da diğer bilimsel amaçlarla kullanılması,
- ✓ İnsanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- ✓ Hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar,
- ✓ Kişisel verilerin korunması kanunu gereğince retrospektif çalışmaları.
- ✓ Ayrıca, kullanılan fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine riayet edilmeli, başkalarına ait ölçek, anket, fotoğrafların kullanımı için sahiplerinden izin alınması.

2-Yayımlanması istenilen eserlerin herhangi bir yerde yayımlanmamış veya yayımlanmak üzere herhangi bir dergiye gönderilmemiş olması zorunludur.

3-Ancak; yurtiçi veya yurtdışı kongrelerde sunularak yalnızca özeti yayımlanmış makaleler yayıma kabul edilmektedir.

4-Dergiye yayımlanmak üzere gönderilen eserlerle birlikte Telif Hakkı Devir Sözleşmesi de tüm yazarlarca imzalanarak, makale ile birlikte gönderilmelidir.

5-Dergi, COPE hükümleri doğrultusunda, hakemlerin ve yazarların kimliklerinin birbirinden gizlendiği double blind peer review (Çift Kör) hakem değerlendirmesi sistemini kullanmaktadır

6-Yayın sürecinde, dergi ile yazışmaları yapan kişi/kişiler “Sorumlu Yazar” olarak kabul edilir. Yazışmaların diğer yazarlarla paylaşılması, gerekli işlemlerin zamanında ve doğru olarak yapılması “Sorumlu Yazar”a aittir. “Sorumlu Yazar” makalenin ilk ismi olmak zorunda değildir.

7-Değerlendirme süreci başlamış bir çalışmada yazar ekleme, yazar sırası değiştirme ve yazar çıkartma gibi özel durumlar “Sorumlu Yazar” inisiyatifindedir.

8-Son Kontrol Listesi sadece sorumlu yazar tarafından imzalanarak makale ile birlikte gönderilmelidir.

9-Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi yayımlanmak üzere gönderilen makaleler, hakem süreci başlatıldıktan sonra geri çekilemez.

10-Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi İntihal ve Duplicate önüne geçmek üzere sorumlu yazarlardan İntihal raporu talep edilir.

11-Benzerlik oranı kaynakça hariç en fazla %20-30 olmalıdır.

12-Yazarlar, yayımlanmak üzere gönderilen tüm çalışmaların potansiyel çıkar çatışması teşkil edebilecek durumları ve çalışmaları destekleyen kuruluşları makalenin son kısmında beyan etmekle yükümlüdürler.

13-Ayrıca, çalışma lisansüstü tezlerden üretilmiş ise ve çalışmaya katkısı için teşekkür edilecek kişi veya kurumlar varsa bu gibi durumların da makalenin son kısmında belirtilmesi gerekmektedir.

C-HAKEMLERİN UYMASI GEREKEN ETİK KURALLAR

1-Hakemler, Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi’ne gönderilen bir çalışma kendi uzmanlık alanında değilse, makale konusu hakkında yeterli bilgiye sahip değilse ya da zamanında bir değerlendirme yapamayacak durumda ise, editörü bu durumdan haberdar ederek değerlendirme görevinden ayrılmalıdır.

2-Hakemler, yazarı ile aralarında rekabet, iş birliği veya başka türlü ilişki ya da bağlantılar bulunduğunu tespit ettiği çalışmaları kesinlikle değerlendirmemelidir.

3-Hakemler, gizlilik ilkesine riayet ederek değerlendirmesini yapmalı, çalışmayı üçüncü kişilerle paylaşmamalıdır.

4-Hakemler, inceleme sürecinde elde etmiş olduğu ayrıcalıklı bilgi ve fikirleri gizli tutmalı ve kişisel çıkarı için kullanmamalıdır.

5-Hakemler, eleştiri ve önerilerini nazik bir dille objektif ve yapıcı bir şekilde yapmalıdır.

6-Yazara karşı iftira ve hakaret içeren aşağılayıcı yorum ve eleştiri kullanılmamalıdır.

7-Hakemler, fikirlerini açık biçimde destekleyen belgelerle desteklemelidir.

8-Hakemler, değerlendirilen çalışmanın daha önce yayınlanmış başka bir çalışma ile arasında esaslı bir benzerlik tespit etmeleri halinde, durumu editöre iletmelidirler.

GIDA VE YEM BİLİMİ-TEKNOLOJİSİ DERGİSİ
GENEL İLKELER ve YAZIM KURALLARI

Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi, yılda iki defa (Ocak ve Temmuz) yayımlanan hakemli bir dergidir.

Dergide, özgün araştırma ürünü makaleler ile belirli bir konuyu yeterli sayıda kaynaktan araştırarak hazırlanmış derleme makaleleri yayımlanır

Önemli bir potansiyeli ya da bulgusu olmayan ve sadece yerel ilgi çekecek makaleler basıma kabul edilmez.

Derleme makalelerde, en az %75'i son 10 yıla ait olmak üzere en az (30) kaynak olmalıdır.

Dergide yayımlanacak makaleler; gıda, yem, bunlara ait katkı maddeleri ve hammaddeler, su-atık su, su ürünleri, gıda ile temas eden madde ve malzemelerde;

- Güvenilirlik ve kalite
- İşleme teknolojileri
- Analiz yöntemleri
- Biyogüvenlik ve biyoteknoloji
- Sosyo-ekonomik araştırmalar
- Mevzuatlar
- Diğer konular (geleneksel gıdalar, organik gıda ve yem, beslenme, gıda kimlik belirleme, gıda ve yem sanayi atıklarının değerlendirilmesi vb.) ile ilgili olmalıdır.

"Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi" dergisine gönderilmiş ve makalenin tamamı ya da bir bölümünün herhangi bir dilde daha önceden yayınlanmamış (tezler ve kongre sunu özetleri hariç) başka bir dergiye basım için gönderilmemiş olması gerekir. "Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi" dergisinde yayınlanmış olan bir makale başka bir yerde yayınlanamaz.

"Etik Kurul İzin Belgesi"nin kullanıldığı araştırmalarda bu belgelerin makaleye eklenmesi gerekir.

Yayınlanması için "Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi" dergisine gönderilen makalede herhangi bir kurum ya da kuruluşan doğrudan ya da dolaylı alınan desteğin makale içinde ilk sayfa dipnot veya teşekkür başlığı altında belirtilmesi tümüyle yazarların sorumluluğundadır.

Tüm aşamalardan geçmiş dergimizde yayınlanması uygun olarak değerlendirilmiş makalenin hangi sayıda yayınlanacağı ile ilgili bilgi sorumlu yazara iletilir.

Aşağıda verilen yazım kurallarına uymadan hazırlanmış ve/veya dergi yayın ilkeleri ile uyuşmayan makaleler, hakeme gönderilmeden yazara iade edilir.

1.1.1. MAKALE GÖNDERİMİ

Makaleler, basılı kopyaya gerek olmaksızın bursagida@tarimorman.gov.tr ve dergi.bursagida@gmail.com adresine e-posta yolu ile gönderilmelidir.

Makaledeki bilgilerin doğruluğunun sorumluluğu yazar(lar)a aittir.

Yazışma Adresi: e-posta: bursagida@tarimorman.gov.tr; dergi.bursagida@gmail.com

Yazar isterse, makaleyi değerlendirmek üzere "Son Kontrol Listesi Formu (BGA-FR-103)"nda ilgili bölüme üç isme kadar hakem önerebilir. Editör ve Yayın Kurulu, hakemleri seçme hakkını korur.

Gönderilen yazılar, önce yayım kurulunca dergi ilkelerine uygunluk açısından incelenir. Yayın kurulu üyeleri tarafından incelenen makaleler için “Yayın Kurulu Değerlendirme Formu (BGA-FR-105)” doldurulur. Uygun bulunmayanlar için kabul edilmeme sebebi yazara bildirilir.

Uygun bulunanlar, “Hakemlik Görev Yazısı Formu (BGA-FR-107)” doldurmuş olan o alandaki en az iki hakeme “Hakem Makale İnceleme Yazısı Formu (BGA-FR-106)” ile birlikte gönderilir (Hakemlerden birinden olumsuz sonuç gelmesi halinde üçüncü hakeme gönderilir). Dergi, COPE hükümleri doğrultusunda, hakemlerin ve yazarların kimliklerinin birbirinden gizlendiği double blind peer review (Çift Kör) hakem değerlendirmesi sistemini kullanmaktadır.

Hakemler “Hakem Değerlendirme Formu (BGA-FR-102)”nu doldurarak makale ile ilgili değerlendirmelerini editöre iletirler. Hakemlerin ve yazarların isimleri gizli tutulur ve raporlar beş yıl süreyle saklanır. Hakem raporlarından ikisi olumlu, diğeri olumsuz olduğu takdirde, yazı editör kurulu kararına göre yayımlanır. Olumsuz görüş bildiren hakeme durum hakkında bilgi verilir. Yazarlar, hakemlerin görüş ve önerileri doğrultusunda düzeltmeleri yaparlar. Editör ve Yayın Kurulu gerektiği durumlarda yazıların yazım şekli üzerinde değişiklik yapabilir. Makalesi kabul edilen yazarlara “Makale Kabul Yazısı (BGA-FR-110)” bu makalede değerlendirme yapan hakemlere de “Hakem Makale Teşekkür Yazısı (BGA-FR-115)” gönderilir.

Bütün makaleler ile birlikte "Telif Devir Hakkı Formu (BGA-FR-104)" ile "Son Kontrol Listesi (BGA-FR-103)" de gönderilmelidir.

<http://arastirma.tarimormman.gov.tr/bursagida> adresindeki “Telif Devir Hakkı Formu (BGA-FR-104)” doldurulup sorumlu yazar tarafından imzalandıktan sonra tarayıcıdan geçirilmeli ve elektronik dosya olarak bursagida@tarimormman.gov.tr ve dergi.bursagida@gmail.com adresine mail ile gönderilmelidir. Makale basım için kabul edilmezse, “Telif Devir Hakkı Formu (BGA-FR-104)”nun yasal bir önemi kalmaz ve hükümsüz olarak kabul edilir.

“Telif Devir Hakkı Formu (BGA-FR-104)”nun imzalanması ile yazar, makalenin "Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi" dergisinde basılması ve web sayfasında yayınlamasına ilaveten makalenin tamamı ya da bir kısmının yasal olarak çoğaltılması, yeniden basılması ve dağıtılması hakkını Gıda ve Yem Kontrol Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne devrederek, kendi haklarından feragat etmektedir.

1.1.2. MAKALENİN HAZIRLANMASI

Dergiye başvuru sırasında gönderilecek makale, Microsoft Word yazılımıyla, A4 boyutundaki kağıdın tek yüzüne Times New Roman yazı tipi, 12 punto ve 2 satır aralıkla iki yana yaslanmış olarak yazılmalı ve satırlar numaralandırılmalıdır. Kenar boşlukları, her bir kenardan 2,5 cm olmalıdır. Sayfada gölgelendirme ve çerçeve vb. uygulamalar yapılmamalıdır. Makale içeriği dil bilgisi kurallarına özen gösterilerek akıcı ve anlaşılır bir şekilde yazılmalıdır. Makaleler, çizelge ve şekiller dâhil toplam 22 sayfayı geçmemelidir. Editör ve yayın kurulu, makalenin kısaltılmasını isteyebilir. Ayrı kapak sayfası dışındaki tüm sayfalar numaralandırılmalı, ancak metin içinde belirli bir sayfa numarasına atıf olmamalıdır.

Makale;

- Makale türü (Özgün Araştırma / Original Article-Derleme Makale / Review Paper),
- Başlık, İngilizce Başlık,
- Yazar İsimleri ve Adresleri
- ORCID ID,
- Özet
- Türkçe Anahtar Kelimeler,
- Abstract, Keywords,

- Ana Metin (Giriş, Materyal ve Yöntem (Özgün Araştırma), Tartışma ve sonuç),
- Teşekkür (gerekliyorsa),
- Kaynaklar

başlıkları altında hazırlanmalıdır. Kısaltmalar metin içerisinde ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Çalışma içerisinde geçen mikroorganizma isimleri ile Latince ifade ve isimler italik olarak yazılmalı ve kısaltmalarda uluslararası yazım kuralları göz önünde bulundurulmalıdır. İngilizce hazırlanacak makalelerde ana metin kısımları aynı başlıklardan oluşmalıdır.

Başlık: Makale başlığı metne uygun kısa ve açık, İngilizce ve Türkçe, sadece ilk harfi büyük, 12 punto, koyu ve sayfaya ortalanmış olmalıdır. Diğer başlıklarda-sola dayalı olarak yazılmalı ve sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük yazılmalıdır.

Yazar İsimleri: Eserin yazar ya da yazarlarının adı ve soyadı başlığın hemen altında bir satır boşluktan sonra, unvan belirtilmeden, 10 punto, yazarın isim ve soyadı baş harfleri büyük ve kelime koyu yazılmalıdır. *Altına* bağlı oldukları kurumlar numaralandırılarak italik ve 8 punto olarak yazılmalıdır. Kurumların altına ise ORCID ID başlığı koyu renk olacak şekilde, numara ve ünvanlar yer almalıdır. Bu bilgilerin altında ise yazışmalardan sorumlu yazara ait iletişim maili bulunmalıdır.

Öz/Abstract: Türkçede 250 İngilizcede 300 kelimeyi geçmeyecek şekilde yazılmalıdır. Özet bölünmüş olarak düzenlenmelidir. Derleme makalelerde bölünmüş özet Amaç/Objective ve Sonuç/Conclusion olarak belirtilmelidir. Özgün Araştırma makalelerde ise Bölünmüş özet (Amaç/Objective, Materyal ve yöntem/Material and method, Tartışma ve sonuç / Results and conclusion) olarak düzenleme yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler / Keywords: Özetlerin altına eser metnini ifade edebilecek en az 3 en çok 7 adet anahtar kelime özel isimler hariç küçük harfle yazılmalıdır. Anahtar kelimeler özet içerisinde yer almalıdır.

Metin: Özgün Araştırma makalelerde; Giriş, Materyal ve yöntem, Tartışma ve sonuç kısımlarından oluşur. Derlemelerde ise konuya uygun olarak bölümlendirme yapılabilir. Metin içerisinde geçen tüm başlık ve alt başlıklar bir alt satırda İngilizce ve italik olarak yazılmalıdır.

Çizelgeler ve Şekiller: Yazı içinde geçen tablolar, “çizelge”; grafik, resim, fotoğraf, harita ve akım şemaları ise “şekil” olarak isimlendirilmeli ve 11 puntodan düşük punto kullanılmasından olabildiğince kaçınılmalıdır.

Çizelge başlıkları çizelgenin üstüne, şekil başlıkları ise şeklin altına yazılmalı ve sırayla numaralandırılmalıdır. Kullanılan çizelge ve şekillere metin içinde atıf mutlaka yapılmalıdır. Metin içinde geçen veriler çizelge ve şekillerin tekrarı olmamalıdır. Çizelge ve şekillerin başlıkları içerikleriyle uyumlu ve anlaşılabilir olmalıdır. Şekiller ve resimlerin yüksek çözünürlükte olmasına dikkat edilmelidir. Resimler (ve gerekiyorsa şekiller) *.jpg formatında metin içerisinde yer almalıdır. Çizelge ve şekillerde verilecek dipnotlar çizelge ve şekillerin altına 8 punto ve italik olarak yazılmalıdır. Tercihe bağlı olarak Türkçe araştırma makalelerinde çizelge/şekil başlığı ve varsa tüm dipnotlar çizelgede/şekilde yer alan Türkçe kelimelerin İngilizcesi de bir alt satırında italik olarak yazılmalıdır.

Metin içinde geçen kaynak bildirimleri ve Kaynaklar kısmı APA yazım stili kullanılarak hazırlanmalıdır. Kaynakların yazımında aşağıdaki örnek yazım biçimleri kullanılmalı ve makalelerin yayınlandığı dergi isimleri kısaltma kullanılmadan ve italik olarak yazılmalıdır. Web adreslerine atıf yapılacağına (mümkün olduğunca Resmi web sayfalarına atıf yapılmalıdır) mutlaka ilgili web adresine erişim tarihi verilmelidir.

Kaynaklar:

Metin içinde yazar veya yazarlara yapılan atıf

Tek yazar:

Vurarak (2021)’a göre

(Vurarak, 2021).

BGA-TL-23

Rev.No/Tar: 07/12.07.2024

İki yazarlı:

Ciniviz ve Yılmaz Ersan (2021)'a göre
(Ciniviz ve Yılmaz Ersan, 2021)

Üç ve daha fazla yazarlı metinlerde, sadece ilk yazarın adı kullanılıp sonrasında “vd.” ifadesi kullanılır:

Harris vd. (2001) ifade ettiği üzere (...)
Harris vd. (2001)'ne göre (...)
(Harris vd., 2001)

Yazar bir organizasyon veya hükümet kurumu ise,**İlk atıfta olduğu gibi atıf yapılır; eğer çok bilinen bir kurum ise, sonraki kullanımlarda kısaltması tercih edilir:**

İlk atıf: Association of Official Analytical Collaboration International'a (2021) göre
İkinci atıf: AOAC'a (2021) göre
İlk atıf: (Association of Official Analytical Collaboration International [AOAC], 2021)
İkinci atıf: (AOAC, 2021)

Aynı parantezde birden fazla esere atıfta bulunulduğunda, bunlar harf sırasına göre dizilmeli ve iki eser noktalı virgül ile ayrılmalıdır:

(Ciniviz ve Yılmaz Ersan, 2021; Hamzaoğlu vd., 2021; Vurarak, 2021).

Aynı soyisme sahip yazarlarda, karışıklığı önlemek için ismin ilk harfi de kullanılır:

(E. Kural, 2010; L. Kural, 1999)

Aynı yazarın aynı yıl yayımlanan iki veya daha fazla eserine atıf yapılıyorsa; yıldan sonra (a, b, c) harfleri kullanılır:

Rice (2017a)'nin çalışmasına göre
Rice (2017b)'nin çalışmasına göre

Dipnotlar ve sonnotlar

APA yazım stiline, dipnot ve sonnot kullanımı pek tercih edilmemektedir. Bundan dolayı mümkün olduğu kadar az dipnot kullanılmalıdır. Yalnızca çok elzem bir açıklayıcı not gerektiğinde dipnot kullanılmalıdır.

Önemli not:

APA atıf ve kaynakçada “and” yerine “&” kullanılmasını önermektedir. Ancak Türkçede “&” sembolü “ve” yerine kullanılmadığından, Türkçe olarak yazılan metinlerde atıf yaparken ve kaynakça yazarken “&” sembolü kullanılmamalıdır. Ayrıca, üç kişiden çok yazarlı metinlere atıf yaparken APA “et al.” (Hamzaoğlu et al., 2021) kullanılmasını önermektedir. Ancak Türkçe’de “et al.” yerine “vd.” (Hamzaoğlu vd., 2021) kullanılmalıdır. Makale İngilizce ise yerine göre “&” sembolü ve “and” kullanılmalıdır.

Kaynak listesi:

Yararlanılan kaynaklar sıra numarası verilmeksizin yazarın soyadı dikkate alınarak alfabetik sıraya göre yazılmalıdır. Aynı yazara ait fazla sayıdaki eserler kronolojik olarak sıralanmalıdır.

Tek yazar:

Vurarak, Y. (2021). Semi-Mechanical Harvesting method effect on oil content and fat composition of sesame. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (25), 39-47. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursagida/issue/60450/886028>

İki yazar:

Ciniviz, M. ve Yılmaz Ersan, L. (2021). Süt ürünleri tüketiminin kolorektal kanser üzerine etkisi. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (25), 1-14. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursagida/issue/60450/885980>

Üç ile yedi yazar arası:

Hamzaoglu, M., Demir, S., Tosunoğlu, H., Zengingönül Gökçay, R. ve Deniz, A. (2021). QuEChERS -LC MS/MS yönteminin ballarda bazı pestisit kalıntıları için metot validasyonu. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (25), 48-56. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bursagida/issue/60450/886069>

Yedi yazardan fazla ise; ilk altı yazarın adı listelendikten sonra üç nokta koyup son yazarın adı eklenir. Yedi isimden fazlası yer almamalıdır:

Miller, F. H., Choi, M. J., Angeli, L. L., Harland, A. A., Stamos, J. A., Thomas, S. T., . . . and Rubin, L. H. (2009). Web site usability for the blind and low-vision user. *Technical Communication*, 57, 323-335.

Organizasyonun yazar olduğu durumlarda:

AOAC. (2021).

Aynı yazarın iki ve daha fazla çalışması kullanılmışsa; kaynaklar tarih sırasına göre dizilmelidir:

Çetin, T. (2019).

Çetin, T. (2020).

Eğer yazar bir çalışmada tek yazar ve başka çalışmada ortak yazar ise, önce tek yazarlı olan çalışma listelenmelidir:

İç, E. (2000). Hıyar turşusu salamurasında kalsiyum klorür kullanarak tuz konsantrasyonunun azaltılma olanağı üzerine araştırma. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi-117 s. Ankara.

İç, E., Özçelik, F. ve Denli, Y. (1999). Hıyar turşularının depolanması üzerine kalsiyum asetat ve pastörizasyonun etkisi. *Gıda*, 24 (4): 243-250.

Eğer bir yazarın farklı yazarla yayımladığı eserler varsa, sıralama alfabetik olarak ikinci veya sonraki isme bağlı olarak yapılır:

Wegener, D. T. Kerr, N. L., Fleming, M. A. and Petty, R. E. (2000). Flexible corrections of juror judgments: Implications for jury instructions. *Psychology, Public Policy, and Law*, 6, 629-654.

Wegener, D. T., Petty, R. E. and Klein, D. J. (1994). Effects of mood on high elaboration attitude change: The mediating role of likelihood judgments. *European Journal of Social Psychology*, 24, 25-43.4

Bir yazarın aynı yıl yayımlanmış iki veya daha fazla çalışması varsa, (a, b, c) gibi harfler kullanılır:

Rice, W.E. (2017a). Alkalinity 2320 B, Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd Edition, ISBN: 9780875532875.

Rice, W.E. (2017b). Chloride 4500 CL, Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd edition, ISBN: 9780875532875.

Kitap: yazarı birden fazla olan ya da bilinmeyen durumlarda

Anonim (1983). Gıda maddeleri muayene ve analiz yöntemleri. TOKB Köy Hiz. Gen. Müd. Yayınları, Genel Yayın No: 65, 796 s, Ankara.

Kongre bildirisi veya poster:

Parsons, C.M. (1994). Amino acid availability for poultry. 9th European Poultry Conference, World's Poultry Science Association, Book of proceedings, Glasgow, UK, Vol: 2, 356-359.

Makale:

Karakaya, M., Sarıçoban, C. ve Aksoğan, M. (2003). Tavşan etinin prerigor ve postrigor aşamalarında bazı teknolojik özelliklerinin tespiti. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi*, 3, 15-19.

İnternet Kaynağı:

Warrence, N.J., Bauder J.W. and Pearson K.E. (2004). Basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties. Land Resources and Environmental Sciences Department, Montana State University, <http://waterquality.montana.edu/docs/methane/basics.pdf> (Erişim Tarihi/Access Date 15.12.2004).