

GIDA

THE JOURNAL OF FOOD



E-ISSN 1309 - 6273, ISSN 1300 - 3070

CİLT / VOLUME : 50

SAYI / NUMBER : 2

YIL / YEAR : 2025

GIDA TEKNOLOJİSİ DERNEĞİ YAYINI

*PUBLISHED BY THE ASSOCIATION OF
FOOD TECHNOLOGY IN TURKEY*

Sahibi / Owner

Gıda Teknolojisi Derneği Adına / On behalf of the Association of Food Technology; Turkey

Prof. Dr. İbrahim ÇAKIR

Yönetim Kurulu Başkanı / President of the Association

Editör / Editor-in Chief Çakır, İbrahim; <i>Bolu Abant İzzet Baysal University, Türkiye</i>	Danışma Kurulu / Advisory Board Acar Soykut, Esra; <i>Bolu Abant İzzet Baysal University, Turkey</i> Atalar, İlyas; <i>Eskişehir Osman Gazi University, Turkey</i> Baysal, Taner; <i>Ege University, Turkey</i> Bezirtzoglou, Eugenia; <i>Democritus University of Thrace, Greece</i> Boyacı, İsmail Hakkı; <i>Hacettepe University, Turkey</i> Bozdoğan Konuşkan, Dilşat; <i>Mustafa Kemal University, Turkey</i> Candoğan, Kezban; <i>Ankara University, Turkey</i> Coşansu Akdemir, Serap; <i>Sakarya University, Turkey</i> Çapanoğlu Güven, Esra; <i>İstanbul Teknik University, Turkey</i> Dertli, Enes; <i>İstanbul Technical University, Turkey</i> Draughon, Ann; <i>Tennessee University, USA</i> El, Sedef Nehir; <i>Ege University, Turkey</i> Erbay, Zafer; <i>Adana Bilim ve Teknik University, Turkey</i> Erten, Hüseyin; <i>Çukurova University, Turkey</i> Fogliano, Vincenzo; <i>University of Napoli Federico II, Italy</i> Ghosh, Bikash C.; <i>National Dairy Research Institute, India</i> Griffiths, Mansel; <i>University of Guelph, Canada</i> Gül, Hülya; <i>Süleyman Demirel University, Turkey</i> Güneşer, Onur; <i>Uşak University, Turkey</i> Ho, Chi-Tang; <i>The State University of New Jersey, USA</i> İşleten Hoşoğlu, Müge; <i>Gebze Teknik University, Turkey</i> Kaban, Güzin; <i>Atatürk University, Turkey</i> Karaaslan, Mehmet; <i>Harran University, Turkey</i> Karaca, Hakan; <i>Pamukkale University, Turkey</i> Kuleaşan, Hakan; <i>Süleyman Demirel University, Turkey</i> Küçükçetin, Ahmet; <i>Akdeniz University, Turkey</i> Mete, Aylin A.; <i>Mersin University, Turkey</i> Morales, Francisco J.; <i>CSIC Instituto del Fr o, Spain</i> Muhtaba, Mustafa G.; <i>Florida Gulf Coast University, USA</i> Özmen Toğay, Sine; <i>Bursa Uludağ University, Turkey</i> Paalme, Toomas; <i>Tallinn University of Technology, Estonia</i> Raspor, Peter; <i>University of Primorska, Slovenia</i> Rezessy-Szabo, Judit M.; <i>Corvinus University of Budapest, Hungary</i> Selli, Serkan; <i>Çukurova University, Turkey</i> Soyer Küçükşenel, Yeşim; <i>Orta Doğu Teknik University, Turkey</i> Tekin, Aziz; <i>Ankara University, Turkey</i> Toker, Ömer S.; <i>Yıldız Teknik University, Turkey</i> Velioglu, Murat; <i>Namık Kemal University, Turkey</i> Yemiş, Oktay; <i>Sakarya University, Turkey</i> Yıldırım, Zeliha; <i>Ömer Halis Demir University, Turkey</i> Yorulmaz, Aslı; <i>Adnan Menderes University, Turkey</i> Yüceer, Yonca; <i>Çanakkale On Sekiz Mart University, Turkey</i>
Editörler / Editors Avcı, Ayşe; <i>Sakarya University, Türkiye</i> Aydın, Furkan; <i>Aksaray University, Türkiye</i> Çevik, Kutlu; <i>Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye</i> Çolakoglu, A. Sinan; <i>Kabramanmaraş Sütçü İmam University, Türkiye</i> Demirkesen Mert; <i>Ilkem, Ministry of Agriculture And Forestry, Türkiye</i> Demirok Soncu, Eda; <i>Ankara University, Türkiye</i> Erinç, Hakan; <i>Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye</i> Eyiler, Esen; <i>Akdeniz University, Türkiye</i> Kahraman, Kevser; <i>Abdullah Gül University, Türkiye</i> Kuleaşan, Şükran; <i>Mehmet Akif University, Türkiye</i> Oskaybaş Emlek, Betül; <i>Niğde Ömer Halisdemir University, Türkiye</i> Sarcaoğlu, Furkan Türker; <i>Bursa Technical University, Türkiye</i> Torun, Mehmet; <i>Akdeniz University, Türkiye</i> Yılmaz, Merve Sılanur; <i>Bitlis Eren University, Türkiye</i>	
Yönetim Yeri Adres / Address Büyükelçi Sokak No: 18/1 Kavaklıdere/Ankara Turkey Tel: (+90) 0534 968 5994 • Faks: (+90) 312 317 8711 E-posta / E-mail: dergi@gidadernegi.org URL: http://www.gidadernegi.org	
Yayın Türü: Yaygın süreli ve hakemli/ <i>Widely published and peer-reviewed</i>	
Hazırlayan / Prepared Sim Ajans, 19. Sokak No: 47/1 Emek / Ankara Tel : (+90) 312 925 25 95 e-mail: simajans@simajans.com	
Yayın Tarihi / Publication Date 15 04 2025	

Bu dergi, TÜBİTAK ULAKBİM TR Dizin, CrossRef, DergiPark Akademik, EBSCO Host, CiteFactor, Infobase Index, SciLit, Journal Index, BASE (Bielefeld Academic Search Engine), OCLS WorldCat, FAO Agris, CAB Abstracts, DIIF, Journal Factor, COSMOS, Scholarsteer, JIFACTOR, Research Impact Factor, Index Copernicus, Scientific World Index (Sciwindex), Scientific Indexing Services (SIS), CABI (CAB Direct), Academic Resource Index, IJIF, Food Science and Technology Abstracts (FSTA), Google Scholar ve Academindex Türkiye veri tabanları kapsamındadır.

This journal is covered by TÜBİTAK ULAKBİM TR Dizin, CrossRef, DergiPark Akademik, EBSCO Host, Cite Factor, Infobase Index, SciLit, Journal Index, BASE (Bielefeld Academic Search Engine), OCLS WorldCat, FAO Agris, CAB Abstracts, DIIF, Journal Factor, COSMOS, Scholarsteer, JIFACTOR, Research Impact Factor, Index Copernicus, Scientific World Index (Sciwindex), Scientific Indexing Services (SIS), CABI (CAB Direct), Academic Resource Index, IJIF, Food Science and Technology Abstracts (FSTA), Google Scholar and Academindex Turkey database systems.

İçindekiler / Content GIDA (2025)50(2)

Araştırmalar (İngilizce) / Researches (English)

Mujdeci, G. N. (2025). *A functional property of a domestic apple isolate: Pulcherrimin production by Metschnikowia pulcherrima ELM-GS-3 via waste valorization* / Yerli bir elma izolatının fonksiyonel özelliği: Atıkların değerlendirilmesi yoluyla *Metschnikowia pulcherrima* ELM-GS-3 tarafından pulkerimin üretimi165-177

Derin, E., Serdaroglu, M. (2025). *Effect of laurel extract and cooking time on quality and oxidative stability of sous-vide cooked turkey breast* / Defne ekstraktı kullanımı ve pişirme süresinin sous-vide pişirilmiş hindi göğüs eti kalitesi ve oksidatif stabilitesi üzerine etkisi201-222

Cinar Topcu, K., Anlar, P., Çakır, Ö., Sefali, A. (2025). *Antioxidant capacity, phenolic compound content, and mineral composition of ethanol extracts from Sorbus aucuparia and Sorbus kusnetzovii* / *Sorbus aucuparia* ve *Sorbus kusnetzovii*'den elde edilen etanol ekstraktlarının antioksidan kapasitesi, fenolik bileşik içeriği ve mineral kompozisyonu223-234

Küçükçiftçi, S., Geniş, B., Tuncer, Y. (2025). *Effect of different culture media, initial pH, incubation temperature, and carbon sources on growth and bacteriocin production of Enterococcus mundtii YB6.30* / Farklı kültür besiyeri, başlangıç pH'sı, inkübasyon sıcaklığı ve karbon kaynaklarının *Enterococcus mundtii* YB6.30'un gelişimi ve bakteriyosin üretimi üzerine etkisi245-259

Topaloğlu Günan, K., Boğa, T., Berber, D., Aktürk Gümüşay, Ö. (2025). *Enrichment of şekerpare dessert with spent coffee ground: Physicochemical, nutritional, sensory and texture characteristics* / Şekerpare tatlısının kullanılmış kahve telvesi ile zenginleştirilmesi: Fizikokimyasal, besinsel, duyuşsal ve dokusal özellikleri260-274

Acar, O. (2025). *Effect of moisture content on wheat hardness: An SKCS-based study* / Buğday Sertliği Üzerine Rutubet İçeriğinin Etkisi: SKCS Tabanlı Bir Çalışma275-283

Araştırmalar (Türkçe) / Researches (Turkish)

Esendemir, Y. D., Yıldız, S., Sıçramaz, H. (2025). *Ultrasound modified aquafaba protein concentrate in vegan mayonnaise production* / *Utilization of ultrasound-modified aquafaba protein concentrate in vegan mayonnaise production*147-164

Yazar, G. (2025). *Farklı glutensiz un karışımlarıyla hazırlanmış hamurların düşük (SAOS), orta (MAOS) ve yüksek (LAOS) genlikli salınlı kayma özellikleri* / *SAOS, MAOS and LAOS properties of gluten-free doughs from different flour blends*178-200

Apaydın, D. (2025). *Mısır ununun yağ asitleri bileşimi ve fizikokimyasal kalitesi üzerine gama ışınlanmanın etkisi* / *Effect of gamma irradiation on fatty acid composition and physicochemical quality of maize flour*235-244

Acoğlu Çelik, B., Durgut Malçok, S., Yolcu Ömeroğlu, P., Tamer, C. E. (2025). *Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar üretiminin yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu ve kurutma prosesinin modellenmesi* / *Optimization of vegetable and fruit based oatmeal bar production with response surface methodology and modelling of drying process*284-316

ULTRASES İLE MODİFİYE EDİLEN AQUAFABA PROTEİN KONSANTRATININ VEGAN MAYONEZ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

Yaren Didem ESENDEMİR^{a,b}, Semanur YILDIZ^{a,b,c,*}, Hatice SİÇRAMAZ^{a,b}

^a Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

^b Sakarya Üniversitesi, Sürdürülebilir Gıda İşleme Laboratuvarı (SuProLab), Sakarya, Türkiye

^c Sakarya Üniversitesi, Araştırma, Geliştirme ve Uygulama merkezi (SARGEM), Sakarya, Türkiye

Geliş / Received 07.12.2024; Kabul / Accepted: 13.02.2025; Online baskı / Published online: 20.02.2025

Esendemir, Y. D., Yıldız, S., Sıçramaz, H. (2025). Ultrases ile modifiye edilen aquafaba protein konsantratının vegan mayonez üretiminde kullanımı. GIDA (2025) 50 (2) 147-164 doi: 10.15237/gida.GD24114

Esendemir, Y. D., Yıldız, S., Sıçramaz, H. (2025). Utilization of ultrasound-modified aquafaba protein concentrate in vegan mayonnaise production. GIDA (2025) 50 (2) 147-164 doi: 10.15237/gida.GD24114

ÖZ

Bu çalışma, aquafaba proteinlerinin ultrases (US) teknolojisiyle fonksiyonel özelliklerinin geliştirilerek vegan mayonez üretiminde emülgatör olarak kullanımını incelemektedir. Doğal formdaki aquafaba protein konsantratına (AQ) %80 genlikte 5, 15 ve 25 dakika US uygulanmış ve en yüksek emülsiyon stabilitesi (%9.28) 5 dakikalık sonikasyonla elde edilmiştir (AQUS-5). FTIR ve SEM analizleri, yapısal ve fiziksel değişiklikleri ortaya koymuştur. %70 yağ ve %10 emülgatör (AQ/AQUS-5 ve nohut unu) içeren formülasyonla M-AQ (doğal aquafaba içerikli) ve M-AQUS-5 (modifiye aquafaba içerikli) mayonezler üretilmiş olup kontrol grubu mayonezinde (M) %80 yağ ve %10 yumurta sarısı kullanılmıştır. Depolamanın başlangıcında M mayonezinin sertlik (91 g) ve emülsiyon stabilitesi (5.19%) değerleri M-AQ (78.3 g ve 3.87%) ve M-AQUS-5 (74.5 g ve 4.44%) örneklerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Depolama sonunda ise, emülsiyon stabilitesi açısından M-AQ (6.31%) ve M-AQUS-5 (5.53%) örnekleri M mayonezine (3.70%) göre daha istikrarlı bulunmuştur. Bu çalışmada, modifiye aquafaba proteinlerinin yağ oranı azaltılmış vegan gıda ürünü geliştirme potansiyeli ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: ultrases, aquafaba, bitkisel protein, emülgatör, kalite özellikleri, depolama

UTILIZATION OF ULTRASOUND-MODIFIED AQUAFABA PROTEIN CONCENTRATE IN VEGAN MAYONNAISE PRODUCTION

ABSTRACT

This study investigates the use of aquafaba proteins as emulsifiers in vegan mayonnaise production by improving their functional properties by ultrasound (US) technology. The natural form of aquafaba protein concentrate (AQ) was sonicated at 80% amplitude for 5, 15, and 25 minutes, with the highest emulsion stability (9.28%) achieved after 5 minutes (AQUS-5). FTIR and SEM analyses revealed structural and physical changes. Mayonnaise formulations containing 70% oil and 10% emulsifier (AQ/AQUS-5 and chickpea flour) were prepared, while the control (M) used 80% oil and 10% egg yolk. Initially, M mayonnaise exhibited higher hardness (91 g) and emulsion stability (5.19%)

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: semanury@sakarya.edu.tr

☎: +90 (264) 295 5853

☎: +90 (264) 295 5601

Yaren Didem Esendemir; ORCID no: 0009-0001-8357-4960

Semanur Yıldız; ORCID no: 0000-0002-1845-7813

Hatice Sıçramaz; ORCID no: 0000-0002-5943-9566

than M-AQ (78.3 g and 3.87%) and M-AQUS-5 (74.5 g and 4.44%). However, at the end of storage, M-AQ (6.31%) and M-AQUS-5 (5.53%) showed greater emulsion stability than M (3.70%). This study highlights the potential of modified aquafaba proteins in developing reduced-fat vegan food products.

Keywords: ultrasound, aquafaba, plant protein, emulsifier, quality properties, storage

GİRİŞ

Günümüzde gelişen bilinçli tüketici profili, değişen beslenme alışkanlıkları ve hayvansal proteinlere yönelik olumsuz algılar sebebiyle bitkisel kaynaklı alternatif gıda katkı maddelerinin geliştirilmesi kritik bir önem kazanmıştır. Özellikle, vegan ve vejetaryen gibi farklı beslenme rejimlerini benimseyen tüketici gruplarının beklentilerini karşılamak adına gıda sanayiinde kullanılan hayvansal kaynaklı katkı maddelerine alternatif çözümler geliştirilmesi önemli bir gereklilik haline gelmiştir (Erdoğan ve Gürbüz, 2023). Gıda katkı maddeleri, koruma ve stabilizasyon gibi teknolojik amaçlarla gıdaya eklenmekte olup (Yüceer vd., 2020) özellikle yumurta sarısı, süt tozu, jelatin, kolajen ve peynir altı suyu gıda sanayiinde geniş bir kullanım alanı bulan hayvansal kaynaklı katkıları arasında yer almaktadır. Ancak, bu durum hayvansal içerikli ürün tüketmek istemeyen bireyler için kısıtlayıcı bir unsur oluşturmaktadır. Bu sebeple, bitkisel kaynaklı ve protein bazlı katkı maddelerinin geliştirilmesi ve teknofonksiyonel özelliklerinin araştırılması konuları dikkat çekmektedir.

Gıda sanayii atık ve yan ürünlerinin değerlendirilmemesi, çevresel ve ekonomik kayıplara yol açarken içerdiği değerli bileşenlerin kaybına da neden olmaktadır (Badıllı vd., 2020). Bu yan ürünlerin sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi çerçevesinde değerlendirilmesi ekonomik açıdan katma değer yaratmanın yanı sıra, çevre kirliliğini azaltma, ürün çeşitliliğini artırma ve değerli bileşenleri geri kazanma gibi birçok avantaj sunmaktadır (Ratu vd., 2023). Sürdürülebilirlik, toplumsal ve doğal kaynakların etkin kullanımı ile bu kaynakların geleceğe aktarılmasını hedefleyen bir süreç olup (Gladwin vd., 1995; Güneş vd., 2022) gıda sektöründe de giderek önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, protein açısından zengin bitkisel kaynaklı yan ürünlerin geri kazanılarak hayvansal katkılara alternatif olarak kullanılması, hayvansal protein tüketimini sınırlayan bireylerin gereksinimlerine

hitap eden sürdürülebilir çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır.

Gıda sistemlerinde yoğunluk farkı nedeniyle karışmayan bileşenlerle homojen bir emülsiyon yapısının elde edilmesi emülgatör ajanlar yardımıyla sağlanmaktadır (Kocacık vd., 2021). Proteinler ise yapılarındaki hidrofilik ve hidrofobik gruplar nedeniyle gıda sistemlerinde emülgatör olarak rol almakta ve stabil bir emülsiyon yapısının oluşmasına katkı sunmaktadırlar (Yüceer vd., 2020). Günümüzde gıda endüstrisinde yumurta sarısı emülgatör olarak yaygın bir şekilde kullanılsa da tüketici beklentilerini karşılama ve artan dünya nüfusunun hammadde arayışına cevap verme gibi amaçlar bilim dünyasını bitkisel bazlı yeni kaynaklar bulma konusunda araştırmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bu kapsamda, protein içeren bitkisel kaynaklı gıda sanayii yan ürünlerinden bitkisel protein eldesi, üretilen bitkisel protein izolat ve konsantratlarının emülsiyon oluşturma gibi fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi ve bu alternatif proteinlerin emülsiyon tipi gıda sistemlerinde emülgatör nitelikli katkı maddesi girdisi olarak kullanılması önemli bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Türkiye'de en yaygın olarak üretilen ve ekilen baklagillerden biri olan nohut, yüksek protein içeriği nedeniyle değerli bir alternatif bitkisel protein kaynağı olarak kabul edilmektedir (Stantiall vd., 2018). Su (aqua) ve baklagiller (faba) anlamına gelen Latince kelimelerden türetilen aquafaba, nohut, bezelye, mercimek ve fasulye gibi baklagillerin kaynatılması ve süzülmesiyle elde edilen kıvamlı sıvıyı ifade etmektedir (He vd., 2021). Konserve endüstrisinde nohut haşlama sonrasında yan ürün olarak açığa çıkan haşlama suyu aquafaba olarak adlandırılmakta ve kuru bazda yaklaşık %18 düzeyinde protein içermekte olup (Meurer vd., 2020), nohut bazlı aquafaba emülgatör özelliklere sahip protein içeriğinden dolayı çeşitli gıda formülasyonları için umut verici

bitkisel bir katkı maddesi olarak kullanılma potansiyeli taşımaktadır. Ayrıca, aquafaba ayrıldıktan sonra nohut danelerinin de yine formülasyona dahil edilmesi hem besinsel açıdan hem de ürüne kıvam kazandırma açısından avantaj sunacağı için farklı beslenme tercihlerini benimseyen bireylerin taleplerini karşılayabilecek niteliktedir.

Nohut proteini gibi bitki bazlı proteinler köpürme, emülsifikasyon ve jel oluşumu gibi tekno-fonksiyonel özellikler sunarak hayvansal proteinlerin yerini alabilecek veya kullanımını azaltabilecek alternatifler haline gelmektedirler; ancak, bitkisel proteinler genellikle hayvansal proteinlere kıyasla daha zayıf tekno-fonksiyonel özellikler sergilemektedir (Stantiall vd., 2018). Bu özellikleri geliştirmek için araştırmacılar, ultrases (US) teknolojisi de dahil olmak üzere yenilikçi ve çevre dostu teknolojileri araştırmaktadırlar. Ultrases, insan işitmesinin üzerindeki frekanslardaki ses dalgalarıdır. Ultrases prosesinin temel etki mekanizması mekanik titreşimlere ve akustik kavitasyona dayanmaktadır. Akustik kavitasyon, ultrases dalgalarının ortam içerisinde yaratmış olduğu basınç farklarına bağlı olarak oluşan, gelişen ve kritik bir noktaya ulaştığında patlayan mikro baloncukların etkisiyle bölgesel sıcaklık ve basınç farklılıkları ile kesme kuvvetlerinin ve türbülans etkisinin oluşumunu kapsamaktadır (Tiwari ve Mason, 2012; Barbosa-Cánovas vd., 2022). Bu kavitasyon etkisi, proteinlerin konformasyonel yapısında değişikliklere sebebiyet vermekte ve yapıda gömülü olarak bulunan hidrofobik grupları açığa çıkarmaktadır. Bu modifikasyon etkisiyle birlikte bitkisel proteinlerin emülsiyon oluşturma ve çözünürlük gibi tekno-fonksiyonel özelliklerinde gelişme kaydedilebilmektedir. Ancak, bu teknolojinin etkili kullanımını sağlamak için uygun proses parametrelerinin seçimine yönelik daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma, sürdürülebilir gıda üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve vegan beslenme rejimi için ürün çeşitliliğinin artırılması ihtiyaçlarına paralel olarak, gıda sanayii yan ürünlerden bitkisel bazlı gıda katkı maddesinin geliştirilmesine ve emülsiyon tipi gıda sistemlerine

entegrasyonuna odaklanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, i) Nohut haşlama suyundan elde edilen aquafaba proteinlerinin ultrases prosesi ile modifikasyonunun, ii) Modifiye edilmiş ve edilmemiş aquafaba proteinleri ve haşlanmış nohut danelerinden elde edilen nohut ununun kullanımıyla vegan ve yağı azaltılmış mayonez formülasyonu geliştirilmesinin, iii) Depolama süresince mayonez kalite özelliklerindeki değişimin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, ultrases prosesinin aquafaba proteinlerinin emülsiyon oluşturma aktivitesi ve stabilitesi üzerine etkisinin incelenmesi; aquafaba proteinlerinin ve nohut ununun vegan ve yağı azaltılmış mayonez üretiminde yumurta ikamesi olarak kullanılma potansiyelinin değerlendirilmesi ve depolama süresince mayonezlerde renk, emülsiyon stabilitesi ve tekstürel özellikler özelindeki değişikliklerin araştırılması hedeflenmiştir. Bu çalışma, gıda sanayi yan ürünlerinin değerlendirilerek döngüsel ekonomi çerçevesinde yeniden ekonomiye kazandırılması ve sürdürülebilir gıda üretim sistemlerinin geliştirilmesi süreçlerine katkı sunmayı amaçlamaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

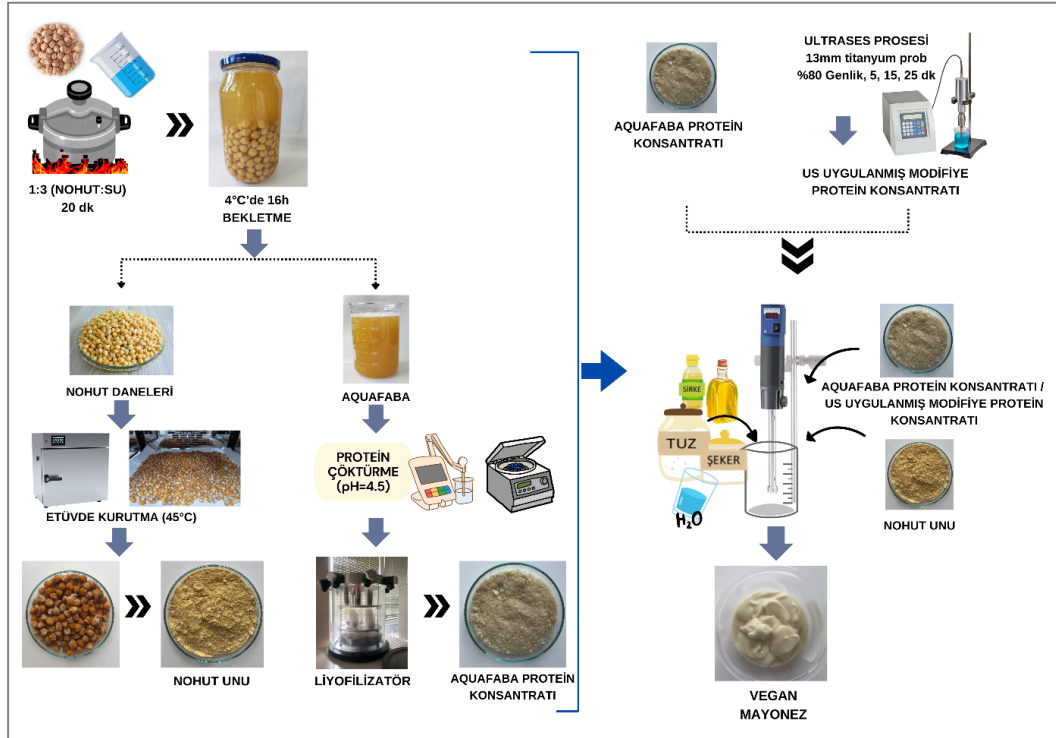
Analizlerde kullanılan dipotasyum fosfat (K_2HPO_4), potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4) ve sodyum dodesil sülfat (SDS) Sigma'dan (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) temin edilmiş olup aquafaba ve mayonez üretiminde kullanılan nohut, yumurta, ayçiçek yağı, sirke, su, tuz, şeker, gibi diğer malzemeler yerel bir marketten (Sakarya) satın alınmıştır.

Aquafaba ve Nohut Unu Eldesi

Nohuttan aquafaba eldesi Stantiall vd. (2018) metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, nohut baklagili öncelikle 16 saat kadar suda bekletilmiş ve ardından süzülerek en az 3 kez yıkanmıştır. Yıkanan nohut daneleri üzerine katı:sıvı oranı 1:3 olacak şekilde içilebilir nitelikteki steril su ilave edilerek bir düdüklü tencerede 20 dk haşlanmıştır. Haşlanmış nohut, suyu ile birlikte cam bir kaba aktararak soğumaya bırakılmış ve 24 saat sonra nohut daneleri bir süzgeç yardımıyla ayrılarak haşlama suyu

(aquafaba) elde edilmiştir. Geriye kalan nohut daneleri ise 45°C sıcaklıkta fanlı etüvde 2 gün süresince kurutulmuş ve sonrasında laboratuvar tipi bir blender (Waring, 8011S, Connecticut,

USA) aracılığıyla toz forma getirilerek elde edilen nohut unu 4°C'de hava almayacak şekilde buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Aquafaba protein konsantratlarının ve nohut ununun elde edilmesine ve vegan mayonez üretimine ilişkin şematik gösterim

Figure 1. Schematic representation of the production of aquafaba protein concentrates, chickpea flour and vegan mayonnaise

Aquafaba Protein Konsantratının Üretilmesi

Nohut danelerinden süzülen ve ayrılan haşlama suyunun pH değeri 1 N HCl kullanılarak izoelektronik noktaya (pH 4.5) getirilmiş ve 24652 x g devirde 10 dk santrifüjlenerek (Beckman Coulter, Allegra 64R, Indianapolis, IN, USA) aquafaba proteinleri çöktürülmüştür. Elde edilen aquafaba protein pelletleri toplanarak 0.01 N NaOH ile nötralize edilmiş ve ardından dondurularak kurutulmuştur (Labconco, Freezone, Kansas, USA). Elde edilen toz formdaki aquafaba protein konsantratı daha sonraki işlem ve analizler yapıncaya kadar 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Bu aşamadaki ürün “doğal formdaki aquafaba protein konsantratı” (AQ) olarak adlandırılmıştır.

Aquafaba Proteinlerinin Ultrases Teknolojisi ile Modifikasyonu

Doğal formdaki aquafaba protein konsantratından (AQ) fosfat tamponunda (pH 7.2) %1'lik protein solüsyonları hazırlanmış (100 mL) ve çift cidarlı örnek haznesine alınarak bir ultrasonik homojenizatör (Sonics, VCX750, Newtown, USA) kullanılarak %80 genlik seviyesinde 5, 15, 25 dk süresince ultrasonikasyon işlemine tabii tutulmuştur. Sonikasyonda uygulanan genlik düzeyi daha önceki çalışmalardaki proses koşulları değerlendirilerek seçilmiştir (Meurer vd., 2020; Roosta ve Sourki, 2024). Sıcaklık kontrolünün sağlanması için çift cidarlı örnek haznesine 4 °C sıcaklığa ayarlanmış soğutmalı sirkülatör (Scientz, DC2006, Ningbo, China) bağlanmış ve sıcaklık artışı K-tipi bir

termokupl kullanılarak işlem süresince kontrol edilmiştir. US işleminde 13 mm çaplı titanyum prob kullanılmış ve protein solüsyonu içerisine yaklaşık 1.5 cm kadar daldırılmıştır. Uygulanan işlem süreleri sonucunda protein konsantratlarının pH değeri 1 N HCl ile izoelektrik noktaya (pH 4.5) ayarlanmış ve 24652 x g devirde 10 dakika süresince santrifüjlenerek protein pelletleri toplanmıştır. Toplanan protein peletleri 0.01 N NaOH ile nötralize edildikten sonra dondurularak kurutulmuş ve elde edilen toz ürün "US ile modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratu" olarak adlandırılmıştır. Protein konsantratları, uygulanan işlem sürelerini temsil edecek şekilde AQUUS-5, AQUUS-15 ve AQUUS-25 şeklinde kodlanmıştır.

Aquafaba Protein Konsantratlarının Analizleri

Protein içeriği

Aquafaba protein konsantratlarının toplam azot içeriği Kjeldahl metodu kullanılarak belirlenmiştir (AOAC, 2002). Yakma, distilasyon ve titrasyon işlemlerinin ardından 6.25 faktörü kullanılarak örneklerdeki % protein miktarı hesaplanmıştır.

Emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi

US uygulanmış ve uygulanmamış aquafaba protein konsantratlarının emülsiyon oluşturma özellikleri emülsiyon aktivitesi indeksi (EAI) ve emülsiyon stabilitesi indeksi (ESI) analizleri ile belirlenmiştir. Bu kapsamda Pearce ve Kinsella (1978) tarafından geliştirilen yöntem modifiye edilerek uygulanmıştır. 0.01 M fosfat tamponu (pH 7.2) içerisinde 10 mg/mL konsantrasyonunda hazırlanan aquafaba protein çözeltilerinden 10 mL alınarak 30 °C'de 30 dakika süre ile bekletilmiş ve daha sonra bu çözelti üzerine 3.25 mL ayçiçek yağı eklenmiş ve dijital kontrollü mekanik bir homojenizatör (Daihan, WiseTis HG-15D, Daihan Scientific, Kore) ile 18000 rpm'de 2 dk homojenize edilmiştir. Bu emülsiyondan 200 µL alınıp 25 mL SDS çözeltisi (10 mg/mL) ilave edilerek UV-Vis spektrofotometrede (Shimadzu, UV-1280, Kyoto, Japan) 500 nm dalga boyunda absorbens ölçümü gerçekleştirilerek EAI değeri belirlenmiştir. Emülsiyon oluşumundan 30 dakika sonra benzer şekilde spektrofotometrede absorbens ölçümü

alınarak ESI belirlenmiştir. EAI ve ESI değerleri, aşağıda verilen Formül [1] ve [2] aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$[1] \quad EAI \left(\frac{m^2}{g} \right) = \frac{2 \times 2.203 \times A_0 \times SF}{C \times \Phi \times \theta \times 10000}$$

$$[2] \quad ESI (dk) = \frac{A_0}{A_0 - A_t} \times \Delta t$$

Bu eşitlikte SF seyreltme faktörünü, C başlangıç protein konsantrasyonunu (g/mL), Φ ışık yolunu (1 cm), θ emülsiyon oluşturmada kullanılan yağın fraksiyonunu, A_0 t= 0 anındaki absorbens değerini, A_t t süre sonundaki absorbens değerini ifade etmektedir.

Fourier kızılötesi dönüşümlü spektroskopisi (FTIR)

Protein konsantratlarının FTIR analizi bir Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (Perkin Elmer Spectrum Two) kullanılarak 4 cm⁻¹ çözünürlükte gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle havaya karşı ölçüm yapılarak havanın absorbens spektrumu, örneklerin FTIR spektrumlarından çıkarılmış ve liyofilize toz örnekler ölçüm plakasına yerleştirilerek spektrumları 400 ila 4000 cm⁻¹ arasında değişen dalga sayısı bölgesinde alınmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Aquafaba protein konsantratlarının mikro yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Jeol JSM 6060 LV, Japan) kullanılarak incelenmiştir. Analizden önce, numune iletken karbon yapışkanlı çift taraflı bant üzerine yerleştirilmiştir ve ardından toz partiküllere 60 s boyunca altın-platin tabakası ile püskürtmeli kaplama yapılmıştır. Aquafaba protein konsantratlarının SEM görüntüleri 15 kV voltajda farklı büyütme oranlarında (x100, x500, x2000) alınmıştır.

Mayonez Üretimi

Mayonez üretimi Özdemir vd. (2021) tarafından geliştirilen yöntem modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Her bir mayonez örneği için formülasyonda %10 emülgatör, %7.5 sirke, %2 şeker, %0.5 tuz kullanılmış, farklı yağ (%60-75) ve su (%5-20) oranları test edilerek farklı mayonez üretimleri yapılmıştır. Vegan mayonez formülasyonu, yağ ve su fazlarının birbiriyle homojen bir şekilde bağlanmasını ve istenen kıvamın elde edilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilen formülasyon denemeleri

sonucunda geliştirilmiştir. Yağ oranının ve aquafaba miktarının ayarlanması, mayonezin kıvamı ve duyu özellikleri üzerinde yapılan gözlemlere dayanarak gerçekleştirilmiş olup vegan mayonez formülasyonu %70 yağ, %10 su, %10 emülgatör, %7.5 sirke, %2 şeker ve %0.5 tuz olarak belirlenmiştir. Formülasyon geliştirme sürecindeki gözlemler *Mayonez Formülasyonunun Optimizasyonu ve Mayonez Üretimi* başlığı altında detaylandırılmıştır. Vegan mayonez formülasyonundaki emülgatör etki aquafaba proteinlerinden sağlanmış, ayrıca nohut unu ise kıvam verici olarak yapıya katkı sunmuştur. Formülasyonda kullanılacak %10'luk emülgatör hazırlanırken; aquafaba protein konsantratu ve nohut unu 1:4 oranında karıştırılmış ve akabinde bu karışıma 1:1 oranında su ilave edilerek 185 rpm'de manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından mekanik homojenizatör (Daihan, WiseTis HG-15D, Daihan Scientific, Kore) ile 1 dk 3000 rpm devirde homojenize edilen karışıma tuz ve şeker girdileri de ilave edilmiş ve 1 dk daha homojenizasyona devam edilmiştir. Elde edilen karışıma %70 oranında yağ sırasıyla, 3000 rpm'de 2 dk; 4000 rpm'de 4 dk ve 5000 rpm'de 4 dk olacak şekilde toplamda 10 dk boyunca aşamalı olarak ilave edilmiştir. Bu şekilde US işlemi uygulanmamış doğal formdaki aquafaba protein konsantratu katkısıyla M-AQ mayonezi ve US işlemi uygulanarak modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratu katkısıyla da M-AQUS-5 mayonezi üretilmiştir. Kontrol amaçlı olarak aquafaba protein konsantratu yerine yumurta sarısı kullanılarak kontrol mayonezi (M) üretilmiştir. Kontrol mayonezi de yine aynı üretim basamaklarından geçerek elde edilmiş olup formülasyonu ön denemelere dayanarak %80 yağ, %10 yumurta sarısı (emülgatör), %7.5 sirke, %2 şeker ve %0.5 tuzdan oluşmuştur. Üretimi gerçekleştirilen mayonezler, depolama çalışmaları öncesinde 72 °C'de 20 dk boyunca pastörize edilmiştir.

Mayonezin Depolama Süresince İncelenen Özellikleri

Mayonez örneklerinin depolanması

Üretilen M, M-AQ ve M-AQUS-5 mayonezleri 60 gün boyunca 4 °C sıcaklıkta depolanmış ve 0., 7., 14., 30. ve 60. gün örnekleri alınarak pH, renk

özellikleri, emülsiyon stabilitesi ve tekstürel özellikler açısından analiz edilmiştir.

pH ve renk özellikleri

Mayonez örneklerinin pH ölçümleri Ataie, Shekarabi ve Jalili (2019) yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, 5 g mayonez örneği tartılmış, üzerine 45 ml distile su ilave edilerek mekanik homojenizatör ile 3000 rpm'de 1 dk süresince homojenize edilmiş ve akabinde pH değerleri ölçülmüştür. Mayonezlerin renk özellikleri ise (L^* , a^* ve b^*) bir renk ölçüm cihazı (Konica Minolta, CR400, Japan) kullanılarak kaydedilmiştir. Ölçüm öncesinde kolorimetre standart beyaz plaka kullanılarak kalibre edilmiş ve ölçümler en az 3 tekrarlı olacak şekilde alınmıştır. Sonuçlar CIELAB sisteminde ortalama±standart sapma olarak ifade edilmiştir. Depolama süresince örnekler arasındaki toplam renk farklılıkları ilk depolama günü başlangıç alınarak Formül [3] aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$[3] \Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Emülsiyon stabilitesi

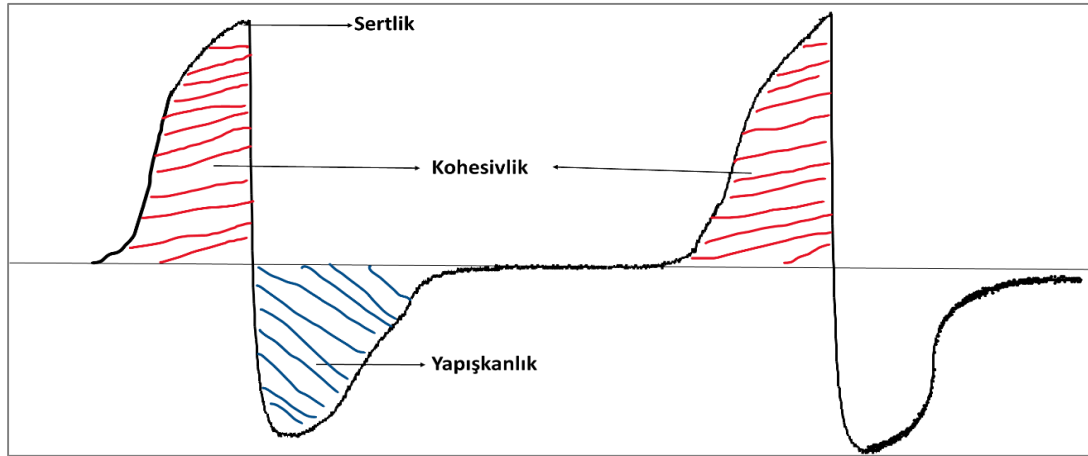
Emülsiyon stabilitesi He vd. (2021) metoduna göre belirlenmiştir. Bu kapsamda, 10 g (F_0) mayonez örneği santrifüj tüpüne alınarak 1860 x g'de 30 dakika süresince santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrası süpernatant (F_1) (g) tartılmış ve mayonez örneklerinin emülsiyon stabiliteyi aşağıda verilen Formül [4] yardımıyla hesaplanmıştır.

$$[4] \text{ Emülsiyon stabilitesi (\%)} = \frac{F_1}{F_0} \times 100$$

F_0 : 10 g mayonez örneği, F_1 : Santrifüj sonrası süpernatant (g)

Tekstür profil analizi

Mayonezlerin tekstür profil analizleri bir tekstür analiz cihazı (TexturePro CT3 V1.9 Build 35, Brookfield Engineering Labs Inc., ABD) ile TA-BEC probu kullanılarak ölçülmüş olup analiz koşulları Cedergårdh (2014) yöntemi modifiye edilerek test hızı 1 mm/s, hedef uzunluk 15 mm, trigger yükü 3 g olacak şekilde tasarlanmıştır. Mayonez örneklerinin tekstür profili Şekil 2'de gösterilen temsili tekstür profil analizi ölçüm grafiği dikkate alınarak sertlik, kohesivlik ve yapışkanlık özellikleri üzerinden ifade edilmiştir.



Şekil 2. Mayonezde tekstürel özelliklerin ölçümünde elde edilen tekstür profilinin temsili gösterimi
Figure 2. Representative display of the texture profile obtained in the measurement of textural properties of mayonnaise

Veri Analizi

Aqua faba proteinlerinin modifikasyonu çalışmasında ultrasonikasyon süresi bağımsız değişken, emülsiyon aktivite indeksi ve emülsiyon stabilite indeksi bağımlı değişken olarak ele alınmış olup ultrasonik modifikasyon deneyleri 2 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Mayonezler ise yine 2 tekrarlı olarak üretilmiş olup depolama süresince kalite özelliklerini belirlemek için yapılan analizler ise en az 2 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Elde edilen veriler, Minitab 16 (Minitab Inc., State College, PA, ABD) veri analiz programı kullanılarak Tukey karşılaştırmalı ANOVA testi ile %95 güven aralığında değerlendirilmiştir. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde verilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Ultrases Prosesiyle Aqua faba Protein Konsantratlarının Modifikasyonu

Aqua faba ürünlerinin protein içeriği

Nohutun haşlanması ve süzülmesi sonucunda elde edilen işlem görmemiş sıvı aqua faba (AQ-sıvı), izoelektronik noktada çöktürülmüş aqua faba (AQ) ve ultrasonik işlem (%80 genlik, 5 dk) uygulanmış aqua faba (AQU5-5) örneklerinin Kjeldahl yöntemiyle belirlenen protein içerikleri Çizelge 1’de gösterilmektedir. Haşlama sonrasında sıvı olarak elde edilen aqua faba %1.25 düzeyinde protein içermekte olup bu bulgu literatürde bulunan diğer çalışmalarla benzer değerlerde seyretmektedir (Raikos vd., 2019; He

vd., 2021; He vd., 2024). AQ ve AQU5-5 ise sırasıyla %54.02 ve %54.49 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Boye vd. (2010) çalışmasında kabuli nohut proteinlerinin izoelektronik noktada çöktürülmesiyle %63.9 protein içeriğine sahip protein konsantratu üretiltiği bildirilmiştir. Dolayısıyla, bu çalışmada da aqua faba protein konsantratlarında önemli düzeyde protein seviyesine ulaşıldığı görülmektedir.

Çizelge 1. Aqua faba ürünlerinin protein içerikleri
Table 1. Protein contents of aqua faba products

Protein kaynağı <i>Protein source</i>	Protein (%) <i>Protein (%)</i>
AQ-sıvı (AQ-liquid)	1.25 $\pm$ 0.01 ^b
AQ	54.02 $\pm$ 0.19 ^a
AQU5-5	54.49 $\pm$ 1.02 ^a

AQ-sıvı, nohut haşlama sonrasında elde edilen ilk viskoz sıvı ürününü; AQ, sıvı formdaki aqua fabadan izoelektronik noktada çöktürme işlemiyle üretilen doğal formdaki aqua faba protein konsantratını; AQU5-5, US işlemiyle (%80 genlikte, 5 dk) modifiye edilen aqua faba protein konsantratını temsil etmektedir. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir.

AQ-liquid represents the first viscous liquid product obtained after boiling chickpeas; AQ represents the aqua faba protein concentrate in natural form produced by the isoelectronic point precipitation from aqua faba in liquid form; AQU5-5, represents the modified aqua faba protein concentrate sample subjected to US treatment (80% amplitude, 5 min). The results are presented as mean $\pm$ standard deviation.

Aquafaba örneklerinin emülsiyon oluşturma özellikleri

Aquafaba protein konsantratlarının emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi değerleri Çizelge 2’de sunulmuştur. US uygulaması yapılmış numunelerin (AQUS-5, AQUS-15, AQUS-25), EAI değerlerinde kontrol örneğine (AQ) kıyasla bir miktar artış olduğu gözlemlense de bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($P > 0.05$). Proses sonrasında, emülsiyon oluşturma aktivitesi en yüksek protein konsantratu AQUS-25 numunesi olarak belirlenmiştir ($11.08 \pm 0.23 \text{ m}^2/\text{g}$). Protein konsantratlarının 30 dakika sonrasındaki emülsiyon stabiliteyi incelendiğinde ise AQUS-5 ve AQUS-15 numunelerinde kontrol grubuna (AQ) kıyasla kısmi bir iyileşme kaydedilmiştir. AQUS-5 için ESI30 değeri ($\%9.28 \pm 0.38$), kontrol örneğine ($\%8.98 \pm 0.36$) göre hafif bir artış göstermiştir. Benzer şekilde, AQUS-15 numunesi de ($\%9.29 \pm 0.41$) kontrol grubundan yüksek bir stabilite sergilemiştir. Ancak, 25 dakika boyunca uygulanan sonikasyonun ardından, AQUS-25 numunesinin emülsiyon stabilitesinde daha kısa süreli sonikasyon işlemlerine kıyasla belirgin bir azalma ($\%8.58 \pm 1.09$) gözlemlenmiştir ($P < 0.05$). Sonuçlar, US işlem süresinin emülsiyon özellikleri üzerinde farklı etkiler yaratabileceğini ve özellikle AQUS-5 ve AQUS-15 işlem sürelerinin emülsiyon stabilitesini iyileştirme potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Ancak, uzun sonikasyon süresinin emülsiyon stabilitesi üzerinde olumsuz bir etki yaratabileceği anlaşılmaktadır. Yüksek yoğunluklu ultrases işlemi uygulanan genlik, süre, frekans gibi parametrelere bağlı olarak farklı sonuçlar verebilmekte olup literatürdeki çalışmalar ultrases prosesinin bitkisel proteinlerin emülsiyon oluşturma özelliklerini çoğunlukla geliştirdiğini göstermektedir. Örneğin; 450 W gücünde uygulanan ultrases prosesiyle soya protein izolatu için en yüksek emülsiyon stabilitesine ulaşıldığı belirlenmiş olup bu durum ultrases prosesinin proteinlerin yüzey aktivitesini ve emülsiyon oluşturma kapasitesini artırma potansiyeli ile ilişkilendirilmiştir (Wang vd., 2022). Benzer şekilde, badem protein izolatının ultrases işlemi ile modifiye edilmesi, daha küçük partikül boyutları ve proteinlerin yağ-su ara yüzüne daha etkin bir şekilde bağlanmasını sağlamıştır. Bu etkiler, proteinlerin ara yüzeye adsorpsiyon

kapasitesini artırmış ve daha stabil emülsiyonların oluşmasına olanak tanımıştır (Zhu vd., 2018). Öte yandan; Wang vd. (2022) soya protein izolatlarını 100-600 W güç seviyesinde 5 dakika süresince ultrases işlemine tabii tutmuş ve 500 W güçte uygulanan ultrases işleminin en stabil ve kararlı emülsiyonları oluşturduğu bildirilmiştir. Noh vd. (2024) ise, 40 kHz ve 280 W koşullarında 20-60 dakika süresince uygulanan US işleminin çeşitli baklagillerin fizikokimyasal ve yapısal özellikleri üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmalarında, sonikasyon süresi arttıkça tüm baklagillerde EAI ve ESI değerlerinde artış gözlemlendi; ancak, 60. dakikadan sonra uzun süreli yüksek yoğunluklu ultrases maruziyetinin proteinlerde meydana gelen yapısal değişiklikler sebebiyle EAI ve ESI değerlerinde azalma gözlemlendiği raporlanmıştır. Bu çalışmada, EAI değerlerinin sonikasyon süresiyle birlikte bir miktar artış göstermesi, literatürle uyumlu bulunmuştur. Ayrıca, Noh vd. (2024) çalışmasına benzer şekilde, AQUS-25 örneklerinde ESI değerlerinde gözlenen azalma, uzun süreli ultrases maruziyetinin proteinlerin emülsiyon stabilitesinde istikrarsızlığa yol açmasıyla ilişkilendirilebilir. Tüm bu veriler ışığında, proses süresi ve enerji tasarrufu parametreleri göz önüne alındığında, 5 dakikalık US uygulamasının seçilmesine karar verilmiştir.

Çizelge 2. Aquafaba protein konsantratlarının emülsiyon oluşturma özellikleri
Table 2. Emulsification properties of aquafaba protein concentrates

Protein konsantratu <i>Protein concentrate</i>	EAI (m^2/g)	ESI30 (%)
AQ	10.68 ± 0.33^a	8.98 ± 0.36^{ab}
AQUS-5	11.05 ± 0.70^a	9.28 ± 0.38^a
AQUS-15	11.00 ± 0.40^a	9.29 ± 0.41^a
AQUS-25	11.08 ± 0.23^a	8.58 ± 1.09^b

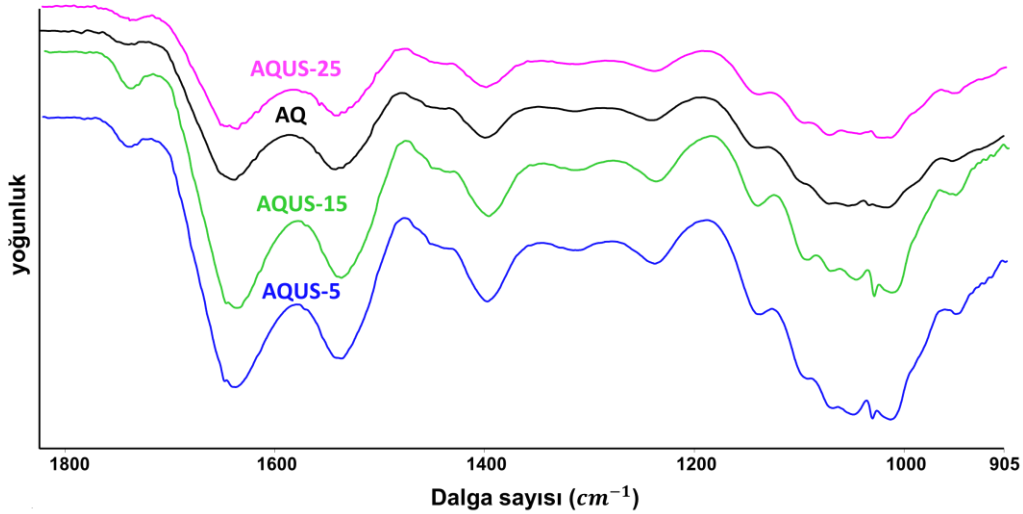
EAI Emülsiyon aktivite indeksini, ESI ise emülsiyon stabilite değerini göstermektedir. ESI30 aquafaba protein konsantratlarının emülsiyon oluştuktan 30 dakika sonrasındaki stabilitesini ifade etmektedir. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiş olup aynı kolonda farklı harfler (a-b) ortalamalar arasındaki istatistiksel farklılığı temsil etmektedir ($P < 0.05$).

EAI represents emulsion activity index, and ESI represents emulsion stability values. ESI30 expresses the stability of aquafaba protein concentrates 30 minutes after emulsion formation. Results are given as mean $\pm$ standard deviation, and different letters (a-b) in the same column represent statistical differences between means ($P < 0.05$).

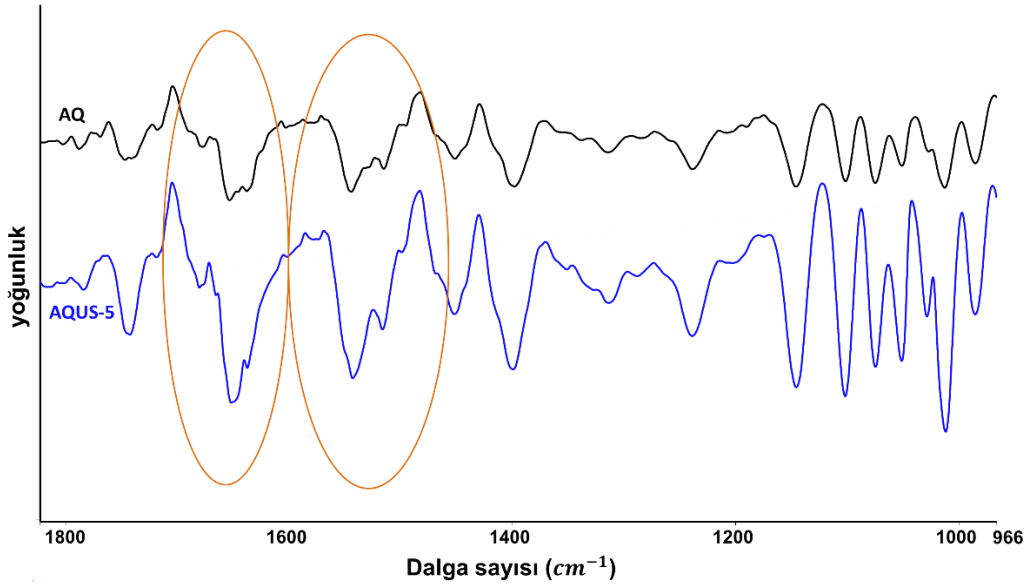
Aquafaba protein konsantratlarının yapısal özellikleri

Doğal formdaki aquafaba protein konsantratu ve US işlemine tabi tutulmuş olan modifiye aquafaba protein konsantratına ait FTIR spektrumları Şekil 3a'da verilmektedir. Özellikle doğal formdaki aquafaba proteinleri (AQ) ile bu çalışma kapsamında seçilmiş olan %80 genlikte 5 dakika sonikasyon uygulamasından elde edilen modifiye aquafaba proteinlerinin (AQUS-5) FTIR spektrumlarının ikincil türevleri (Şekil 3b) incelendiğinde, US uygulamasının aquafaba proteinlerinin konformasyonel yapılarında değişikliklere neden olduğu görülmüştür. Amid-1 ($1700 - 1600 \text{ cm}^{-1}$) ve amid-2 ($1600-1500 \text{ cm}^{-1}$) bölgelerindeki piklerde hem pik yoğunluğu hem de dalga sayısı açısından farklılıklar gözlemlenmiştir. Piklerde görülen bu kaymalar US prosesinin aquafaba proteinlerinin ikincil yapısında belirgin değişikliklere yol açtığını ortaya koymaktadır. US prosesinin kaviteasyon etkisiyle hidrojen bağlarına ve hidrofobik etkileşimlere etki ederek proteinlerin yapılarını açtığı ve proteinlerin ikincil yapılarında değişikliklere sebebiyet vererek α -heliks yapılarının azalmasına ve buna karşılık β -

tabakalarının ve rastgele sarmalların artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Tawalbeh vd., 2023; Tian vd., 2024). Dolayısıyla doğal formdaki aquafaba protein konsantratına kıyasla amid-1 ve amid-2 bölgesinde AQUS-5 örnekleri için görülen kaymaların US prosesinin kaviteasyon etkisiyle meydana gelen yapısal değişikliklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Protein yapısında gömülü olarak bulunan hidrofobik grupların kaviteasyon etkisiyle açığa çıkması ise emülsiyonların stabilizasyonu için kritik bir öneme sahiptir. β -tabaka ve rasgele sarmal yapılarına dönüşüm, proteinlerin yağ-su ara yüzüne daha iyi adsorbe olmasını sağlayarak emülsifiye edici aktiviteyi arttırmakta ve daha stabil emülsiyonların oluşmasına katkıda bulunmaktadır (Yang vd, 2022; Kim ve Shin, 2022). Bu bağlamda, aquafaba örneklerinin emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi gibi fonksiyonel özelliklerinde gözlemlenen iyileşme, US uygulamasının etkisiyle α -heliks yapılarının rastgele sarmal ve β -tabaka yapısına dönüşmesiyle ilişkilendirilebilir.



(a)



(b)

Şekil 3. Doğal formdaki ve US ile modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratlarının FTIR spektrumu

Figure 3. FTIR spectrum of native and US-modified aquafaba protein concentrates

(a) grafiği normal FTIR spektrumunu, (b) grafiği ise ikincil türevi alınmış FTIR spektrumunu göstermektedir. (AQ kısaltması pH 4.5'te çöktürülmüş ve US işlemi uygulanmamış doğal formdaki aquafaba protein konsantratını temsil etmektedir. US ise ultrases prosesini göstermekte olup AQUUS-5, AQUUS-15, AQUUS-25 sırasıyla 5, 15 ve 25 dakika boyunca %80 genlikte US işlemi uygulanmış aquafaba protein konsantratlarını ifade etmektedir.)

Graph (a) shows the normal FTIR spectrum, graph (b) demonstrates the second derivative of the FTIR spectrum. (AQ represents the control aquafaba protein concentrate precipitated at pH 4.5 and not subjected to US treatment. US shows the ultrasound process, and AQUUS-5, AQUUS-15, AQUUS-25 represent the aquafaba protein concentrates subjected to US treatment at 80% amplitude for 5, 15, and 25 minutes, respectively.)

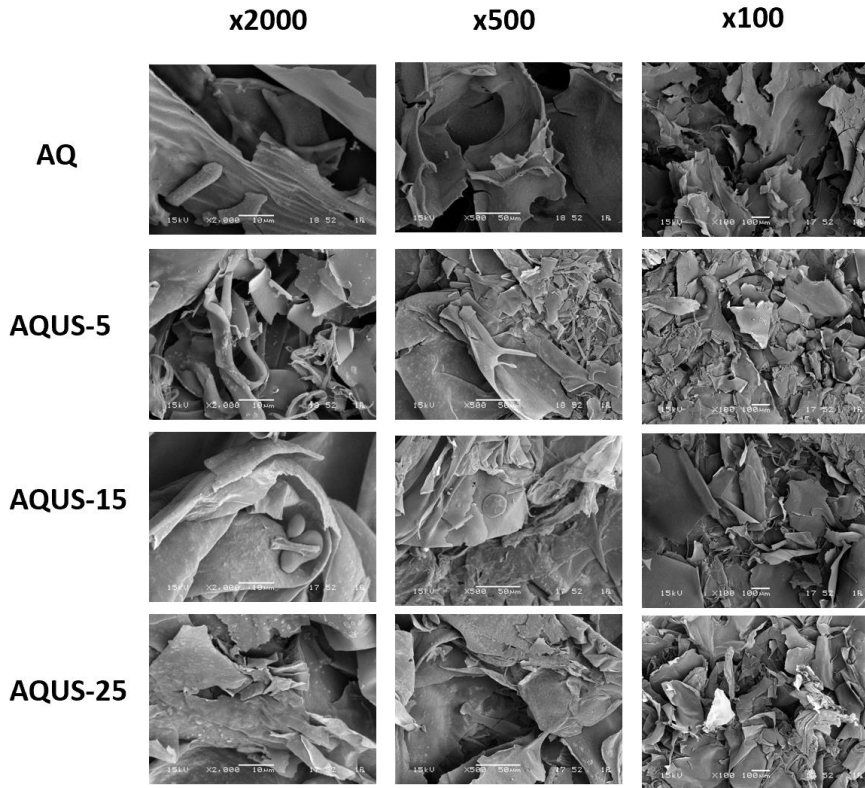
Aquafaba protein konsantratlarının morfolojik özellikleri
Doğal formdaki aquafaba protein konsantratı (AQ) ve US ile modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratlarının taramalı elektron mikroskop görüntüleri Şekil 4'te verilmektedir. Kontrol örneğinde plaka görümlü düzenli yapılar gözlemlenirken, US uygulamasıyla bu yapıların yerini kısmen parçalanmış, düzensiz, pul şeklindeki yapılar almıştır. Ayrıca, US prosesinin kavitasyon etkisiyle parçacık boyutlarını küçülttüğü açıkça görülmektedir. Benzer şekilde, başka bir çalışmada da US işleminin bitkisel protein izolatlarında daha yumuşak ve düzensiz yapıların oluştuğu gözlemlenmiştir (Karabulut vd., 2023). Bu bulgular US prosesinin proteinlerin yüzey özelliklerini düzenleyerek fiziksel modifikasyonlara neden olduğunu göstermektedir.

Mayonez Formülasyonunun Optimizasyonu ve Mayonez Üretimi

Mayonez örneklerinin %10 emülgatör ihtiyacı, yumurta sarısına alternatif olarak doğal formdaki aquafaba protein konsantratı ve US ile modifiye edilmiş protein konsantratı kullanılarak karşılanmıştır. Mayonezde yaygın emülgatör ajan olarak yumurta sarısı kullanılmakta ve yumurta sarısının yaklaşık olarak %50 kuru madde içeriğine sahip olduğu ve %17.5 düzeyinde protein içerdiği bilinmektedir (Serdaroğlu ve Deniz, 2002). M-AQ ve M-AQUS vegan mayonezlerinin üretiminde emülgatör etkisinin büyük bir kısmı aquafaba proteinleri tarafından sağlanırken, nohut unu da ilave edilerek hem kuru madde düzeyinin hem de mayonez kıvamının artırılarak uygun tekstürel özelliklerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Su ve yağ fazının bağlanarak stabil yapının elde edilebilmesi için birçok ön deneme gerçekleştirilmiş olup bu

denemelerden seçilen bazı görüntüler Şekil 5(a)'da sunulmuştur. Örneğin; %75 yağ ve %5 su içeren formülasyonda, proteinlerin agregat oluşturarak dibe çöktüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, formülasyondaki su oranının düşük olması nedeniyle kullanılan sirkenin yeterince seyreltilmemesi ve pH'nın düşmesi sonucu proteinlerin izoelektrik noktaya yaklaşması ve çökme eğilimi göstermesi ile ilişkilendirilmiştir. Diğer bir denemede, %60 yağ ve %20 su kullanılarak üretilen mayonez düşük viskoziteye sahip olmuş ve tüketicilerin beklediği kıvamlı mayonez yapısından oldukça uzak bulunmuştur. %70 yağ ve %20 su içeren formülasyonda ise kıvam bir miktar daha oturmuş olsa da üst yüzeyde yağ fazının ayrıldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, en uygun formülasyon %70 yağ, %10 su, %10 emülgatör (aquafaba ve nohut unu),

%7.5 sirke, %2 şeker ve %0.5 tuz kullanılarak M-AQ ve M-AQUS-5 mayonezlerinde elde edilmiştir. Kontrol mayonezi (M) ise %80 yağ, %10 yumurta sarısı, %7.5 sirke, %2 şeker ve %0.5 tuz kullanılarak üretilmiştir. M-AQ ve M-AQUS-5 örneklerinde, kontrol örneği olan M'ye kıyasla %10 daha az yağ kullanılmıştır. Bu bulgu, doğal formdaki ve US ile modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratlarının kullanımıyla hem daha düşük yağ içerikli mayonez üretiminin sağlanabileceğini hem de kıvam açısından kabul edilebilir bir yapı elde edilebileceğini göstermiştir (Şekil 5b). Yapılan formülasyon çalışmalarıyla aquafaba ve nohut unu gibi bitkisel kaynaklı sürdürülebilir katkıları kullanarak, kontrole göre yağ oranı %10 azaltılmış ve bilinçli tüketici profiline uygun vegan mayonez üretimi sağlanmıştır.

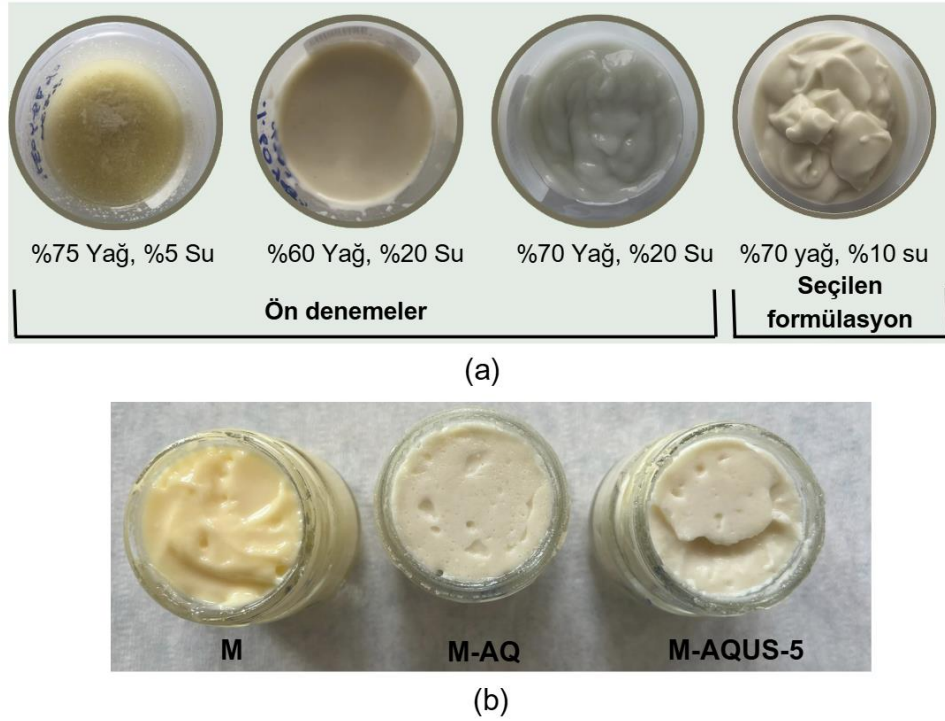


Şekil 4. Doğal formdaki ve US ile modifiye edilmiş aquafaba protein konsantratlarının SEM görüntüleri

Figure 4. SEM images of native and US-modified aquafaba protein concentrates

(AQ modifiye edilmemiş doğal formdaki aquafaba protein konsantratını temsil etmektedir. AQUS-5, AQUS-15 ve AQUS-25 %80 genlikte sırasıyla 5, 15 ve 25 dakika ultrases prosesi uygulanmış modifiye aquafaba protein konsantrlerini göstermektedir.)

(AQ represents the unmodified native form of aquafaba protein concentrate. AQUS-5, AQUS-15 and AQUS-25 represent modified aquafaba protein concentrates that were subjected to ultrasound processing at 80% amplitude for 5, 15 and 25 minutes, respectively.)



Şekil 5. Vegan mayonez geliştirme için formülasyon ön çalışmaları (a) ve seçilen formülasyona göre üretilen mayonezlerin fotoğrafları (b)

Figure 5. Preliminary trials for vegan mayonnaise formulations (a) and images of mayonnaises produced based on the selected formulation (b).

M, M-AQ ve M-AQUS-5 sırasıyla yumurta sarısı kullanılarak üretilen kontrol mayonez örneğini, modifiye edilmemiş aquafaba katkılı mayonez örneğini ve US ile modifiye edilmiş aquafaba proteinleriyle üretilmiş mayonez örneğini temsil etmektedir.

M, M-AQ and M-AQUS-5 represent the control mayonnaise sample produced using egg yolk, the mayonnaise sample with unmodified aquafaba and the mayonnaise sample produced with US modified aquafaba proteins, respectively.

Mayonez Örneklerinin Depolama Sırasındaki Kalite Özellikleri

pH ve renk özellikleri

Tüm mayonez örneklerinin ortalama pH değeri yaklaşık olarak 4.0 seviyesinde seyretmiş olup aynı depolama gününde mayonez örnekleri arasında önemli bir fark gözlenmemiştir ($P > 0.05$). Depolama süresine bağlı olarak aynı örnek gruplarının pH değerlerinde varyasyonlar gözlemlenmiştir (Çizelge 3). Literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde, bitkisel kaynaklı proteinlerin emülgatör nitelikli kullanımıyla üretilen mayonezlerin pH değerlerinin 3.66 – 4 aralığında değiştiği gözlemlenmekte (Kumar vd., 2021; Sachko vd., 2023) ve bu yönüyle çalışmadan elde edilen çıktıların literatür ile uyduğu görülmektedir. Tavakoli vd. (2021) ise US uygulamasıyla mayonezin pH değerinin düştüğünü belirlemiştir.

Ürün kabul edilebilirliği açısından mayonezdeki en etkin görsel parametrelerden biri olan aydınlık (L^*) değeri, tüm mayonez örnekleri için depolama süresince 69.40 – 73.87 aralığında değişmiş olup analiz günlerinde mayonez örneklerinin L^* değerlerinde önemli bir farklılık görülmemiştir ($P < 0.05$). Kumar vd. (2021), damlacık boyutundaki değişimin, mayonezin L^* değerini değiştirdiğini belirlemiştir. Benzer şekilde, Jung vd. (2024) fıstık yağı ve aquafaba kullanarak elde ettikleri mayonezlerin L^* değerlerinin, yağ damlacık boyutunun azalmasına bağlı olarak arttığını ve bizim çalışmamızdan yüksek değerlerde, 76-81 arasında değiştiğini gözlemlenmiştir. Mayonez örneklerinin a^* değeri ise, yumurta sarısı ile üretilen kontrol grubu mayonezde yeşillik yönünde daha yüksek bulunmuş olup bu trend tüm depolama süresince

devam etmiştir. Mayonez örneklerinin b^* değerleri incelendiğinde, yumurta sarısı içeren kontrol örneğinin yüksek β -karoten içeriği nedeniyle diğer örneklerle kıyasla çok daha yüksek sarılık değerine sahip olduğu (b^* : 18-19) ve bu durumun raf ömrü boyunca devam ettiği gözlemlenmiştir. Jung vd. (2024) ise, aquafaba yerine yumurta sarısı kullanarak elde ettikleri fıstık yağı mayonezlerin sarılık (b^*) değerlerinin, yumurta sarısı konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak aquafaba içeren örneklerle kıyasla çok daha yüksek değerlerde seyrettiğini (20-24) belirlemiştir. Her

bir depolama gününe ait örneğin depolama başlangıcındaki mayoneze kıyasla toplam renk farklılıkları da yine Çizelge 3'te verilmiştir. ΔE toplam renk farkı “fark edilmez” (0-0.5), “hafif fark edilir” (0.5-1.5), “fark edilir” (1.5-3.0), iyi düzeyde fark edilir (3.0-6.0) ve “yüksek düzeyde fark edilir” (6.0-12.0) şeklinde kategorize edilmektedir (Cserhalmi vd., 2006). Elde edilen veriler mayonez örneklerinde depolama süresince “fark edilir” ve “iyi düzeyde fark edilir” seviyesinde değişiklikler olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Depolama süresi boyunca mayonezlerin kalite özellikleri

Table 3. *Quality characteristics of mayonnaise during storage period*

Depolama süresi (gün) Storage period (day)	Mayonez örneği Mayonnaise samples	pH	Renk özellikleri Color properties			ΔE	Emülsiyon stabilitesi (%) Emulsion stability (%)
			L*	a*	b*		
1	M	4.02±0.04 ^{Aab}	69.40±0.49 ^{Ab}	-1.90±0.06 ^{Ba}	19.2±0.34 ^{Aa}		5.19±0.50 ^{Aa}
	M-AQ	4.12±0.06 ^{Aab}	70.20±1.02 ^{Aa}	-1.20±0.34 ^{ABa}	10.6±0.93 ^{Ba}		3.87±0.77 ^{Aa}
	M-AQUS-5	4.07±0.03 ^{Ab}	70.50±0.25 ^{Ab}	-1.20±0.19 ^{Aa}	10.9±0.22 ^{Ba}		4.44±0.00 ^{Ac}
7	M	4.05±0.08 ^{Aab}	72.32±1.01 ^{Aab}	-1.72±0.05 ^{Ca}	18.42±0.40 ^{Aa}	3.03	4.92±0.02 ^{ABa}
	M-AQ	3.99±0.01 ^{Ab}	73.25±0.58 ^{Aa}	-1.17±0.01 ^{Ba}	10.67±0.41 ^B	3.01	4.12±0.90 ^{Ba}
	M-AQUS-5	4.03±0.04 ^{Ab}	72.41±0.51 ^{Aab}	-0.97±0.00 ^{Aa}	10.64±0.29 ^{Ba}	1.93	6.66±0.00 ^{Aa}
14	M-K	3.66±0.10 ^{Ab}	72.03±0.12 ^{Aa}	-2.04±0.04 ^{Aa}	19.61±0.54 ^{Aa}	2.64	5.55±3.85 ^{Aa}
	M-AQ	3.78±0.07 ^{Ac}	72.53±0.78 ^{Aa}	-1.27±0.11 ^{Aa}	11.28±0.06 ^{Aa}	2.39	6.35±0.06 ^{Aa}
	M-AQUS-5	3.83±0.06 ^{Ac}	73.15±0.32 ^{Aa}	-1.08±0.04 ^{Aa}	10.99±0.15 ^{Aa}	2.64	4.09±0.00 ^{Ad}
30	M	4.01±0.20 ^{Aab}	73.87±0.73 ^{Aa}	-1.91±0.07 ^{Ba}	19.34±0.52 ^{Aa}	4.46	4.15±0.35 ^{Aa}
	M-AQ	3.93±0.03 ^{Abc}	72.33±0.89 ^{Aa}	-1.17±0.01 ^{Aa}	11.86±0.22 ^{Ba}	2.45	4.92±0.34 ^{Aa}
	M-AQUS-5	4.00±0.03 ^{Aab}	72.55±1.00 ^{Aab}	-1.13±0.25 ^{Aa}	10.35±0.50 ^{Ba}	2.11	3.94±0.00 ^{Ac}
60	M	4.13±0.09 ^{Aab}	72.60±0.79 ^{Aa}	-2.20±0.07 ^{Ba}	18.10±0.41 ^{Aa}	3.42	3.70±1.60 ^{Aa}
	M-AQ	4.24±0.04 ^{Aab}	73.40±0.20 ^{Aa}	-1.40±0.04 ^{Aa}	11.30±0.55 ^{Aa}	3.28	6.31±3.13 ^{Aa}
	M-AQUS-5	4.21±0.06 ^{Aa}	73.2±1.12 ^{Aa}	-1.20±0.03 ^{Aa}	10.60±0.00 ^{Ba}	2.75	5.53±0.00 ^{Ab}

M, M-AQ ve M-AQUS-5 sırasıyla yumurta sarısı kullanılarak üretilen kontrol mayonez örneğini, modifiye edilmemiş aquafaba katkılı mayonez örneğini ve US ile modifiye edilmiş aquafaba proteinleriyle üretilmiş mayonez örneğini temsil etmektedir. Sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda verilen farklı büyük harfler (A - C) aynı günde analiz edilen örneklerin birbirleri arasındaki farkı göstermektedir, aynı sütunda verilen farklı küçük harfler ise (a - e) ise her mayonez örneğinde depolama süresine bağlı olarak görülen önemli farklılıkları ifade etmektedir ($P < 0.05$).

M, M-AQ and M-AQUS-5 represent the control mayonnaise sample produced using egg yolk, the unmodified aquafaba-added mayonnaise sample and the mayonnaise sample produced with US-modified aquafaba proteins, respectively. Results are given as mean $\pm$ standard deviation. Different capital letters (A - C) in the same column indicate the differences between the samples analyzed on the same day, different lower-case letters (a - e) in the same column indicate significant differences in each mayonnaise sample depending on the storage period ($P < 0.05$).

Emülsiyon stabilitesi

Mayonez örneklerinin emülsiyon stabilitesi değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Emülsiyon kararlılığı, yağ/su fazları arasındaki yoğunluk farkı, dağılmış fazın partikül boyutu ve

emülsiyonun viskozitesi gibi faktörlere bağlıdır. Viskozitedeki azalma ve damlacık boyutunun artışı, Stokes yasasına göre emülsiyon stabilitesinde düşüşe neden olur (Dhiman ve Prabhakar, 2021). Çalışmamız kapsamında

geliştirilen aquafaba ve nohut unu ilaveli mayonez, emülsiyon kararlılığı açısından depolama süresince kontrol mayonezle aynı kararlı yapıyı göstererek başarılı bir ürün reçetesi elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda US prosesinin mayonezde emülsiyon stabilitesini arttırdığı yönünde bulgular mevcuttur (Ramisetty ve Shyamsunder, 2011; Kumar vd., 2021). Bu durum, partikül boyutlarıyla ilişkilidir. Önceki çalışmalarda, ultrasonikasyon yardımıyla elde edilen küçük partiküller, en yüksek stabiliteyi göstermiştir (Tavakoli vd., 2021). Bununla birlikte, aşırı US işlemi kararlılığın bozulmasına neden olarak emülsiyon yapısı yeniden kırılmaktadır (Kumar vd., 2021). Bu bilgiler doğrultusunda ön çalışmalarla belirlenen 5 dakikalık US uygulaması, depolama sırasında M-AQUS-5 örneklerinin emülsiyon stabilitesinde artışlara neden olmuştur. Bu durum; ultrases ile modifiye edilmiş aquafabanın, yumurtanın yerini tutabilecek nitelikte, iyi bir emülgatör ajan olduğunu kanıtlar nitelik taşımaktadır.

Tekstürel özellikler

Tekstür analiz sonuçları (sertlik, yapışkanlık, kohesivlik) Çizelge 4'te verilmiştir. Elde edilen verilere göre, sertlik ve kohesivlik, aynı depolama günlerinde örnekler arasında değişkenlik göstermezken, yapışkanlık değeri kontrol mayonez grubunda 30. günden itibaren düşük değerde seyretmiştir. Bizim çalışmamızın aksine, Özcan vd. (2023), yaptıkları çalışmada ilave ettikleri aquafaba konsantrasyonu artışına bağlı olarak mayonez örneklerinin sertlik, kohesivlik ve yapışkanlık değerlerinde düşüş gözlemlemiştir.

Yağ damlacığı boyutu ile dokusal parametreler arasında ise ters orantılı ilişki belirlenmiştir (Liu vd., 2007). Aynı şekilde, Özcan vd. (2023) daha büyük damlacık boyutlu mayonez örneklerinin sertlik ve yapışkanlık özelliklerinde düşüş tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise, bu hipotezi destekleyecek şekilde, M-AQUS-5 örneklerinin sertlik değerleri, depolama süresince düzenli olarak artmıştır. Bu durum, US prosesi etkisiyle damlacık boyutunun küçülmesi ve bu nedenle dokusal özelliklerin gelişmesi ile ilişkilendirilebilir. Bunun yanı sıra, özellikle 14. günden sonra kontrol grubu örneklerinde sertlik ve yapışkanlık değerlerinin diğer örnek gruplarına kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. M-AQUS-5 mayonezinde ise 14. analiz gününde en düşük, 60. günde ise en yüksek yapışkanlık değeri tespit edilmiştir. Yapışkanlık değeri, yüzeydeki yapışkanlığın bir ölçüsü olup, mayonezde kolay sürülebilme özelliğinin bulunması için düşük değerde olması istenmektedir (Ali vd., 2020). İç yapışkanlık olarak da tanımlanan kohesivlik değeri ise, emülsiyona stabilite kazandıracağı için mayonezde yüksek olması istenen bir değerdir. Bu çalışmada üretilen mayonezler, 0.62-0.86 arasında kohesivlik değeri göstermiş olup, elde ettiğimiz sonuçlar Jing vd. (2023)'nin emülgatör olarak soya proteini kullanarak ürettiği mayonezlerde 0.75-0.79 olarak ölçülen kohesivlik değerleri ile uyumludur. Depolama süresince kohesivlik değerinin, mayonezin formülasyon değişiminden etkilenmediği, aquafaba ilavesiyle de benzer değerler elde edildiği görülmüştür (Çizelge 4).

Çizelge 4. Mayonezlerin depolama süresince belirlenen tekstürel özellikleri

Table 4. Textural properties of mayonnaise determined during storage

Depolama süresi (gün)	Mayonez örneği	Sertlik (g)	Yapışkanlık (mJ)	Kohesivlik
<i>Storage period (day)</i>	<i>Mayonnaise samples</i>	<i>Hardness (g)</i>	<i>Adhesiveness (mJ)</i>	<i>Cohesiveness</i>
1	M	91±4.95 ^{Aab}	5.83±1.01 ^{Aa}	0.71±0.08 ^{Aa}
	M-AQ	78.3±6.01 ^{Aa}	5.77±0.44 ^{Aa}	0.67±0.11 ^{Aa}
	M-AQUS-5	74.5±0.00 ^{Ac}	6.36±0.00 ^{Ac}	0.86±0.00 ^{Aa}
7	M	93.25±6.72 ^{Aa}	4.58±1.09 ^{Aa}	0.64±0.00 ^{Aa}
	M-AQ	87.75±4.60 ^{Aa}	5.78±0.85 ^{Aa}	0.76±0.09 ^{Aa}
	M-AQUS-5	101±0.00 ^{Ac}	7.48±0.00 ^{Ab}	0.79±0.00 ^{Ab}

14	M	91.5±8.49 ^{Aab}	4.93±0.63 ^{Aa}	0.67±0.08 ^{Aa}
	M-AQ	104.8±10.25 ^{Aa}	6.72±0.30 ^{Aa}	0.71±0.05 ^{Aa}
	M-AQUS-5	91.5±0.00 ^{Ad}	4.97±0.00 ^{Ae}	0.62±0.00 ^{Ae}
30	M	70.25±3.18 ^{Ab}	3.16±0.42 ^{Ba}	0.67±0.01 ^{Aa}
	M-AQ	105±14.85 ^{Aa}	5.73±0.49 ^{Aa}	0.71±0.05 ^{Aa}
	M-AQUS-5	106.5±0.00 ^{Ab}	5.11±0.00 ^{Ad}	0.66±0.00 ^{Ad}
60	M	77.25±3.18 ^{Aab}	4.61±0.50 ^{Ba}	0.72±0.05 ^{Aa}
	M-AQ	98.5±9.19 ^{Aa}	6.69±1.39 ^{Aa}	0.72±0.03 ^{Aa}
	M-AQUS-5	109±0.00 ^{Aa}	8.09±0.00 ^{Aa}	0.74±0.00 ^{Ac}

M, M-AQ ve M-AQUS-5 sırasıyla yumurta sarısı kullanılarak üretilen kontrol mayonez örneğini, modifiye edilmemiş aquafaba katkı lı mayonez örneğini ve US ile modifiye edilmiş aquafaba proteinleriyle üretilmiş mayonez örneğini temsil etmektedir. Sonuçlar ortalama ±standart sapma olarak verilmiştir. Aynı sütunda verilen farklı büyük harfler (A - C) aynı günde analiz edilen örneklerin birbirleri arasındaki farkı göstermektedir, aynı sütunda verilen farklı küçük harfler ise (a - e) ise her mayonez örneğinde depolama süresine bağlı olarak görülen önemli farklılıkları ifade etmektedir ($P < 0.05$).

M, M-AQ and M-AQUS-5 represent the control mayonnaise sample produced using egg yolk, the unmodified aquafaba-added mayonnaise sample and the mayonnaise sample produced with US-modified aquafaba proteins, respectively. Results are given as mean ±standard deviation. Different capital letters (A - C) in the same column indicate the differences between the samples analyzed on the same day, different lower-case letters (a - e) in the same column indicate significant differences in each mayonnaise sample depending on the storage period ($P < 0.05$).

SONUÇ

Hayvansal proteinlere alternatif bitkisel kaynaklı gıda katkı maddelerinin geliştirilmesi, artan dünya nüfusunun beslenme gereksinimlerini karşılamak ve farklı beslenme rejimleri için ürünler sunmak açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada nohut haşlama suyundan elde edilen aquafaba proteinlerinin ultrases teknolojisiyle modifikasyonu ve vegan mayonez üretiminde yumurta sarısına alternatif olarak kullanıma potansiyeli ortaya konulmuştur. 60 günlük depolama süresince modifiye aquafaba katkı lı mayonezin yumurta sarısı katkı lı mayoneze alternatif bir performans gösterdiği görülmüştür. Çalışma bulguları gıda sanayi yan ürünlerinin değerlendirilerek döngüsel ekonomi çerçevesinde yeniden ekonomiye kazandırılması, sürdürülebilir gıda üretim sistemlerinin geliştirilmesi, hayvansal kaynaklara bağımlılığı azaltacak bitkisel çözümlerin sunulması ve vegan besleme rejimi için alternatif ürün seçeneklerinin oluşturulması için geliştirilen yaklaşımlara katkı sunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, ultrases işleminin süre ve genlik gibi işlem parametrelerinin sistematik bir şekilde optimize edilmesine odaklanmalıdır. Ayrıca, ultrases ile modifiye edilmiş aquafabanın farklı gıda matrikslerinde fonksiyonel

özelliklerinin incelenmesi ve endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğinin araştırılması bitkisel bazlı gıda katkı maddelerinin üretim süreçlerine ışık tutacaktır. Söz konusu çalışmalar hem vegan ürün çeşitliliğinin artırılmasına hem de sürdürülebilir gıda üretim sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir (Başvuru no: 1919B012304126). Çalışmanın bir kısmı Yaren Didem Esendemir'in Lisans Bitirme çalışması olarak gerçekleştirilmiş olup destekleri için TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı'na (BİDEB) teşekkürlerimizi sunarız.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu makalede yazarların, başka kişiler veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar analizlerin gerçekleştirilmesi ve makalenin yazımında katkıda bulunmuş, son halini okuyarak onaylamıştır.

KAYNAKÇA

- Ali, M. R., El Said, R. M. (2020). Assessment of the potential of Arabic gum as an antimicrobial and antioxidant agent in developing vegan “egg-free” mayonnaise. *Journal of Food Safety*, 40(2), e12771.
- AOAC. (2002). *Official Methods of Analysis*. Vol. II. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, International. Gaithersburg, MD.
- Ataie, M. J., Shekarabi, S. P. H., Jalili, S. H. (2019). Gelatin from bones of bighead carp as a fat replacer on physicochemical and sensory properties of low-fat mayonnaise. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 8(4), p. 979.
- Badıllı, A. G. (2020). *Yağı azaltılmış fonksiyonel dondurma üretiminde süt tozu yerine nobut ununun kullanılabilme olanaklarının araştırılması*. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 119 s.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Donsi, F., Yıldız, S., Candoğan, K., Pokhrel, P. R., Guadarrama-Lezama, A. Y. (2022). Nonthermal processing technologies for stabilization and enhancement of bioactive compounds in foods. *Food Engineering Reviews*, 1-37.
- Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., Rajamohamed, S. H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537-546.
- Cedergårdh, F. (2014). *Characterization of commercial mayonnaise products—texture, viscosity and droplet size*. M.Sc. Dissertation, Lund University, Sweden.
- Cserhalmi, Z., Sass-Kiss, A., Tóth-Markus, M., Lechner, N. (2006). Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1-2), 49-54.
- Dhiman, A., Prabhakar, P. K. (2021). Micronization in food processing : A comprehensive review of mechanistic approach, physicochemical, functional properties and self-stability of micronized food materials. *Journal of Food Engineering*, 292, 110248, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110248>.
- Erdoğan, Z., Gürbüz, E. (2023). Vegan tüketim uygulamaları üzerinde sürdürülebilirlik yaklaşımı. *Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, 16(3), pp. 697-730.
- Güneş, E., Karakaş, T. (2022). Tarım ve gıda sistemlerinde sürdürülebilirlik yaklaşımları. *Journal of Academic Value Studies*, 8(3), 304-316.
- Gladwin, T. N., Kennelly, J. J., Krause, T. S. (1995). Shifting paradigms for sustainable development: Implications for management theory and research. *Academy of management Review*, 20(4), pp. 874-907.
- He, Y., Purdy, S. K., Tse, T. J., Tar'an, B., Meda, V., Reaney, M. J. T., Mustafa, R. (2021). Standardization of Aquafaba Production and Application in Vegan Mayonnaise Analogs. *Foods*, 10(9), p. 1978. <https://doi.org/10.3390/foods10091978>.
- He, Y., Shen, J., Meda, V., Reaney, M. J. (2024). Composition and properties of ethanol-precipitated chickpea aquafaba. *Food Hydrocolloids*, 150, 109723.
- Jing, X., Cai, Y., Liu, T., Chen, B., Zhao, Q., Deng, X., Zhao, M. (2023). Formation, texture, and stability of yolk-free mayonnaise: Effect of soy peptide aggregates concentration. *Food Chemistry*, 403, 134337.
- Jung, H., Oh, I. Physicochemical and structural properties of vegan mayonnaise prepared with peanut sprout oil and aquafaba. *Available at SSRN* 4924613. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4924613
- Karabulut, G., Yıldız, S., Karaca, A. C., Yemiş, O. (2023). Ultrasound and enzyme-pretreated extraction for the valorization of pea pod proteins. *Journal of Food Process Engineering*, 46(12), e14452.
- Kim, M. J., Shin, W. S. (2022). Structural and functional modification of proteins from black soybean Aquasoya via ultrasonication. *Ultrasonics Sonochemistry*, 91, 106220.

- Kocacık, A. (2021). *Çöven Ekstraktının Kurutulması ve Dondurmada Emülgatör Olarak Kullanılmasının Araştırılması*. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ordu, Türkiye, 156 s.
- Kumar, Y., Roy, S., Devra, A., Dhiman, A., Prabhakar, P. K. (2021). Ultrasonication of mayonnaise formulated with xanthan and guar gums: Rheological modeling, effects on optical properties and emulsion stability. *LWT*, 149, 111632.
- Liu, H., Xu, X., Guo, S. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT*, 40, pp. 946–954. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.007>.
- Meurer, M. C., de Souza, D., Marczak, L. D. F. (2020). Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). *Journal of Food Engineering*, 265, 109688.
- Noh, E., Lee, K. G. (2024). Effects of ultrasound on the structural, physicochemical, and emulsifying properties of aquafaba extracted from various legumes. *Food Chemistry*, 451, 139438.
- Özcan, I., Özyiğit, E., Erkoç, S., Tavman, S., Kumcuoğlu, S. (2023). Investigating the physical and quality characteristics and rheology of mayonnaise containing aquafaba as an egg substitute. *Journal of Food Engineering*, 344, 111388.
- Özdemir, N., Bayrak, A., Tat, T., Yanık, Z. N., Altay, F., Halkman, A. K. (2021). Fabrication and characterization of basil essential oil microcapsule-enriched mayonnaise and its antimicrobial properties against *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium*. *Food Chemistry*, 359, 129940.
- Pearce, K. N., Kinsella, J. E. (1978). Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(3), pp. 716-723.
- Raikos, V., Hayes, H., Ni, H. (2020). Aquafaba from commercially canned chickpeas as potential egg replacer for the development of vegan mayonnaise: Recipe optimisation and storage stability. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(5), 1935-1942.
- Ramisetty, K. A., Shyamsunder, R. (2011). Effect of ultrasonication on stability of oil in water emulsions. *International Journal of Drug Delivery*, 3(1), pp. 133–140. <https://doi.org/10.5138/ijdd.2010.0975.0215.03063>.
- Roosta, F., Sourki, A. H. (2024). Techno-functional, physicochemical and thermal characteristics of black chickpeas aquafaba under ultrasound pre-processing. *Helvion*, 10(22).
- Sachko, A., Sema, O., Grinchenko, O., Gubsky, S. (2023). Canned beans aquafaba as an egg white substitute in the technology of low-fat mayonnaise. *Engineering Proceedings*, 56(1), p. 206.
- Serdaroğlu, M., Deniz, E. E. (2002). Sıvı yumurtaların dondurulması ve dondurma nedeniyle oluşan kalite problemleri. *Hayvansal Üretim*, 43(1).
- Stantiall, S. E., Dale, K. J., Calizo, F. S., Serventi, L. (2018). Application of pulses cooking water as functional ingredients: The foaming and gelling abilities. *European Food Research and Technology*, 244, pp. 97-104.
- Tavakoli, R., Karami, M., Bahramian, S., Emamifar, A. (2021). Production of Low-fat mayonnaise without preservatives: Using the ultrasonic process and investigating of microbial and physicochemical properties of the resultant product. *Food Science & Nutrition*, 9(5), pp. 2676–2685. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2227>.
- Tawalbeh, D., Ahmad, W. W., Sarbon, N. M. (2023). Effect of ultrasound pretreatment on the functional and bioactive properties of legumes protein hydrolysates and peptides: A comprehensive review. *Food Reviews International*, 39(8), pp. 5423-5445.
- Tian, L., You, X., Zhang, S., Zhu, Z., Yi, J., Jin, G. (2024). Enhancing functional properties and protein structure of almond protein isolate using high-power ultrasound treatment. *Molecules*, 29(15), 3590.
- Tiwari, B. K., Mason, T. J. (2012). Ultrasound processing of fluid foods. In: *Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods*, Academic press, pp. 135-165.

Wang, T., Wang, N., Li, N., Ji, X., Zhang, H., Yu, D., Wang, L. (2022). Effect of high-intensity ultrasound on the physicochemical properties, microstructure, and stability of soy protein isolate-pectin emulsion. *Ultrasonics Sonochemistry*, 82, 105871.

Yang, J., Duan, Y., Geng, F., Cheng, C., Wang, L., Ye, J., Zhang, H., Peng, D., Deng, Q. (2022). Ultrasonic-assisted pH shift-induced interfacial remodeling for enhancing the emulsifying and foaming properties of perilla protein isolate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 89, 106108.

Yüceer, M. (2020). Sıvı yumurta sarısının ultrases tekniğiyle işlenmesi ile yapısal özelliklerinin karakterizasyonu ve reolojik davranışının belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 18(4), pp. 402-410.

Zhu, Z., Zhao, C., Yi, J., Cui, L., Liu, N., Cao, Y., Decker, E. A. (2018). Ultrasound improving the physical stability of oil-in-water emulsions stabilized by almond proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), pp. 4323-4330.

**A FUNCTIONAL PROPERTY OF A DOMESTIC APPLE ISOLATE:
PULCHERRIMIN PRODUCTION BY *METSCHNIKOWIA PULCHERRIMA*
ELM-GS-3 VIA WASTE VALORIZATION**

Gamze Nur MUJDECI*

Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Hitit University, Çorum, Türkiye

Received /Geliş: 04.01.2025; Accepted /Kabul: 14.02.2025; Published online /Online baskı: 20.02.2025

Mujdeci, G. N. (2025). *A functional property of a domestic apple isolate: Pulcherrimin production by Metschnikowia pulcherrima ELM-GS-3 via waste valorization.* . GIDA (2025) 50 (2) 165-177 doi: 10.15237/ gida.GD25012

Mujdeci, G. N. (2025). Yerli bir elma izolatının fonksiyonel özelliği: atıkların değerlendirilmesi yoluyla Metschnikowia pulcherrima ELM-GS-3 tarafından pulcherrimin üretimi. GIDA (2025) 50 (2) 165-177 doi: 10.15237/ gida.GD25012

ABSTRACT

Metschnikowia pulcherrima ELM-GS-3 was isolated from damaged Granny Smith apples and identified via MALDI-TOF MS and ITS sequencing (97.89% similarity, NCBI database). Pulcherrimin production was confirmed on FeCl₃-supplemented media by maroon-red pigment formation and microscopic analysis. Food waste-derived media, including potato peel, onion skin, watermelon rind extracts, and diluted molasses, were evaluated for biomass and pigment production. Onion skin extract yielded the highest biomass (9.78±0.1 g/L) and pulcherrimin (7.63±0.6 g/L), followed by molasses and watermelon rind. FTIR analysis confirmed iron presence, while SEM revealed an amorphous microporous 3D structure. Absorbance peaked at 420 nm in alkali solution, consistent with low solubility except in alkaline conditions. The pigment's low solubility profile, except in alkali, aligns with its stability characteristics observed in the literature. This study demonstrates the potential of food waste in pulcherrimin production and the biotechnological relevance of *M. pulcherrima* ELM-GS-3.

Keywords: *Metschnikowia pulcherrima*, pulcherrimin, onion skin, waste, fermentation, ITS sequencing

**YERLİ BİR ELMA İZOLATININ FONKSİYONEL ÖZELLİĞİ: ATIKLARIN
DEĞERLENDİRİLMESİ YOLUYLA *METSCHNIKOWIA PULCHERRIMA* ELM-
GS-3 TARAFINDAN PULCHERRİMİN ÜRETİMİ**

ÖZ

Metschnikowia pulcherrima ELM-GS-3, hasar görmüş Granny Smith elmalarından izole edilmiş ve MALDI-TOF MS ile ITS dizileme yöntemleri kullanılarak tanımlanmıştır (%97.89 benzerlik, NCBI veritabanı). Pulcherrimin üretimi, FeCl₃ içeren besiyerinde bordo-kırmızı pigment oluşumu ve mikroskopik analiz ile doğrulanmıştır. Patates kabuğu, soğan kabuğu, karpuz kabuğu ekstraktları ve seyreltilmiş melas gibi gıda atıklarından türetilmiş besiyerleri, biyokütle ve pigment üretimi açısından değerlendirilmiştir. En yüksek biyokütle (9.78±0.1 g/L) ve pulcherrimin (7.63±0.6 g/L) üretimi soğan kabuğu ekstresinde gözlemlenmiş, bunu sırasıyla melas ve karpuz kabuğu takip etmiştir. FTIR analizi pigmentin demir içerdiğini doğrularken, SEM analizi amorf ve mikroporoz 3D bir yapı ortaya koymuştur. Pigmentin alkali çözeltide maksimum absorpsiyon dalga boyu 420 nm olarak belirlenmiş

* Corresponding author / Sorumlu yazar

✉: gnmujdeci1@gmail.com

☎: (+90) 544 696 3446

Gamze Nur Mujdeci; ORCID ID: 0000-0002-8741-0410

ve düşük çözünürlük profili, literatürde bildirilen stabilite özellikleriyle uyumlu bulunmuştur. Bu çalışma, gıda atıklarının pulcherrimin üretiminde potansiyelini ve *M. pulcherrima* ELM-GS-3'ün biyoteknolojik önemini ortaya koymaktadır.,

Anahtar kelimeler: *Metschnikowia pulcherrima*, pulkerimin, soğan kabuğu, atık, fermentasyon, ITS dizileme

INTRODUCTION

The increasing global focus on sustainability and environmental preservation has highlighted the need to find innovative ways to reduce food waste and utilize it as a resource for value-added products (Lin et al., 2014). Food waste and by-products are generated in significant quantities during food processing, and if not managed properly, they contribute to environmental pollution and greenhouse gas emissions (Gustavsson et al., 2011; Tiwari and Khawas, 2021; Sarker et al., 2024). In recent years, there has been growing interest in the valorization of such waste streams to produce value-added products (Galanakis, 2012; Mishra et al., 2023). Food wastes and by-products are rich in carbohydrates, fibers, and micronutrients that can serve as essential carbon and nitrogen sources for microbial growth. These substrate sources contain abundant polysaccharides, vitamins, and minerals, which promote microbial activities and can be harnessed in bioprocessing and biorefinery applications to produce value-added compounds such as biofuels, organic acids, and biopolymers (Kosseva, 2013; Kampen, 2014; Nair et al., 2017). Studies have reported that different types of agro-industrial wastes can serve as effective substrates for producing microbial pigments, thereby reducing production costs and promoting sustainable practices (Panesar et al., 2015; Ramesh et al., 2022). This approach aligns with the principles of a circular bioeconomy, which aims to create sustainable production systems while reducing environmental burdens (Koutinas et al., 2014; Veal et al., 2018).

Microbial pigments are of particular interest due to their diverse applications in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries, where natural colorants are preferred over synthetic alternatives (Dufossé, 2006; Kalra et al., 2020; Lyu et al., 2022; Di Salvo et al., 2023). Among the various microorganisms capable of pigment production, yeasts have emerged as promising

candidates due to their fast growth rate, ability to utilize diverse substrates, and stability under different environmental conditions (Bernard et al., 2024).

Pulcherrimin-producing *Metschnikowia* strains are widespread among yeast communities that colonize ripening fruits, floral nectar, and tree sap fluxes. They are also frequently detected in fruit juices and during the fermentation of wine (SlÁviková et al., 2009; Graça et al., 2015; Sipiczki, 2020). It is a non-pathogenic yeast species known for its ability to produce pulcherrimin, a maroon-red pigment formed by the chelation of iron with pulcherriminic acid (Tatay-Núñez et al., 2024). Pulcherrimin has demonstrated various biological activities, including antimicrobial effects, which are attributed to its ability to sequester iron, thereby inhibiting the growth of competing microorganisms and showing significant photoprotection against UVA-induced damage and cell death, antioxidant and cytoprotective activities (Sipiczki, 2006; Kántor et al., 2015; Pawlikowska et al., 2020; Charron-Lamoureux et al., 2023; Kregiel et al., 2024).

This study aims to explore the potential of using onion (*Allium cepa* L.) skin, watermelon (*Citrullus lanatus*) rinds, potato (*Solanum tuberosum* L.) peels, and molasses as substrates for pulcherrimin production by *Metschnikowia pulcherrima* ELM-GS-3. The study also involves a comprehensive characterization of the produced pulcherrimin to determine its structural and chemical properties. The specific objectives of the research include (i) identification of *M. pulcherrima* ELM-GS-3, (ii) evaluation of food waste and by-product substrates for microbial biomass and pigment production, and (iii) characterization of the produced pulcherrimin using various analytical techniques. By demonstrating the feasibility of using food by-products for pulcherrimin production, this study contributes to the

development of sustainable bioprocesses and supports the shift towards a bio-based economy.

MATERIALS AND METHODS

Isolation of *Metschnikowia pulcherrima* ELM-GS-3

The yeast strain *Metschnikowia pulcherrima* ELM-GS-3 was isolated from damaged Granny Smith apples showing black spots surrounded by a reddish halo which were obtained from a local producer in Çorum, Türkiye. The apples were first washed with sterile distilled water, and the damaged portions were excised under sterile conditions. The excised tissue was macerated in sterile 0.85% saline solution and allowed to incubate at 30°C for 24 hours to promote the growth of indigenous microorganisms. The resulting suspension was streaked onto Yeast Extract Peptone Dextrose (YPD) agar plates and incubated at 28°C for 48 hours. Colonies displaying characteristic white to cream coloration were selected and purified by repeated streaking on fresh YPD agar plates.

Identification of *Metschnikowia pulcherrima* ELM-GS-3 by MALDI-TOF MS

Sample preparation was conducted according to Karasu-Yalcin et al., (2021) by using protein extraction method. To extract the cells using this method, 1 mL aliquots of liquid culture were taken and centrifuged at 13 000 g for 2 minutes. The cell pellet was rinsed twice with sterile distilled water and air-dried for 20 minutes. Following this, the cells were lysed with 70% formic acid (volume used was proportional to the size of the cell pellet, approximately 30 L) and acetonitrile was added in an equal volume. The supernatant was spotted onto MTP 384 Ground Steel Target (#8280784 Bruker, Germany) following extensive vortexing and centrifugation (13 000 g, 2 minutes). For each aliquot, a total of four spots for sampling (1 L each) were analyzed. After the sample spot had air-dried, it was covered with 1 L of matrix (10 mg/mL α -cyano-4-hydroxy-cinnamic acid [α -CHCA], Bruker) and allowed to air-dry once more prior to being analyzed with the Autoflex Speed (Bruker Daltonik GmbH, Germany) using MALDI-TOF MS. The instrument is equipped with a 355 nm

nitrogen laser, which was discharged in linear positive mode at the sample spots at a frequency of 55 Hz. Each spectrum was generated by aggregating 100 samples' profiles.

MALDI TOF/TOF MS (Autoflex Speed from Bruker Daltonics, Germany) in combination with the MALDI Biotyper 3.1 software program was used for identification based on the analysis of mass spectra. The mass spectrometer was calibrated with a bacterial test standard from Bruker (Bruker Daltonics GmbH, Germany). This calibration kit comprises a typical protein extract of *E. coli* DH5 alpha spiked with two additional pure proteins (RNase A and myoglobin) to cover an overall mass range of 3.6 to 17 kDa. Before each analysis, the calibration procedure was performed again. MS-signals were acquired for each sample in linear positive mode between 2000 and 20 000 Da m/z by summing 500 laser-shot spectra in accordance with the manufacturer's automatic technique MBT_FC.par. The voltages of IS1 and IS2 ion sources were 19.99 kV and 19.80 kV, respectively. The lens had a voltage of 6500 kV and an extraction pulse of 200 nanoseconds. The laser intensity was between 50 and 60%.

Identification was conducted in Scientific Industrial and Technological Application and Research Center of Bolu Abant İzzet Baysal University, Turkey. Mass spectra were analyzed using Biotyper software (version 3.1; Bruker Daltonics) and the Biotyper database version DB-6903, which contained 6903 reference MALDI-TOF MS profiles (6120 of bacteria, 776 of fungi, and 7 of archaea). Using a score, the Biotyper software quantified the degree of similarity between experimental profiles obtained from microorganism isolates and reference profiles. The value of the score is determined by the similarity between the observed and stored datasets. A score greater than 2.3 (green) indicates an exceptional species-level identification, while a score greater than 2.0 indicates a good species-level identification. The score between 1.7 and 2.0 (yellow) indicates a reliable identification of the genus. In contrast, a score value of less than 1.7 (red color) indicates that there is no substantial

similarity between the unknown profile and the database (Karasu-Yalcin et al. 2021).

Identification of *Metschnikowia pulcherrima* ELM-GS-3 by Sequence Analysis of the Internal Transcribed Spacer (ITS) Regions

For DNA isolation, the EurX GeneMATRIX Plant & Fungi DNA isolation kit (Poland) was used. After DNA isolation, the quantity and purity of the obtained DNA were assessed using the Thermo Scientific Nanodrop 2000 (USA) spectrophotometer. For the PCR analysis, the universal primers ITS1 and ITS4 were used to amplify the target gene regions for species identification. The primer sequences were as follows:

ITS1 5' TCCGTAGGTGAACCTGCGG 3' and ITS4 5' TCCTCCGCTTATTGATATGC 3'. PCR conditions included an initial denaturation at 95°C for 5 minutes, followed by 40 cycles of denaturation at 95°C for 45 seconds, annealing at 57°C for 45 seconds, and extension at 72°C for 60 seconds. A final extension was performed at 72°C for 5 minutes, and the temperature was then lowered to 4°C to complete the PCR.

The amplification products obtained with the Kyrtec thermocycler were analyzed by electrophoresis on a 1.5% agarose gel prepared with 1x TAE buffer, run at 100 volts for 90 minutes, and visualized under UV light using ethidium bromide staining. A single-step PCR was performed to amplify a region of approximately 700 base pairs, using Solis Biodyne (Estonia) FIREPol® DNA Polymerase Taq polymerase enzyme. The presence of a single band on the agarose gel indicated successful PCR amplification. For PCR product purification, the single-band samples were purified using the MAGBIO "HighPrep™ PCR Clean-up System" (AC-60005) according to the manufacturer's procedures. Sanger sequencing was carried out at Macrogen's laboratory in the Netherlands, using the ABI3730XL Sanger sequencing device (Applied Biosystems, Foster City, CA) and the BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, Foster City, CA). The reads obtained with ITS1 and ITS4 primers were assembled into a contig to create a consensus

sequence using the CAP contig assembly algorithm in BioEdit software.

Inoculum Preparation

Inoculum was prepared in 100 mL of sterile Tryptic Soy Broth (Merck, Germany) medium in a cotton-plugged conical flask to prepare an inoculum from the strain grown on a YM agar slant, including (g L⁻¹): yeast extract, 3; malt extract, 3; peptone, 5; glucose, 10; and agar, 15, at 28°C for 48 hours. The flask was incubated for 48 hours at 30°C with 100 rpm agitation in a shaking incubator (Lab Companion, South Korea) (Mujdeci, 2021).

Fermentation Process

Fermentation was initially conducted in a synthetic fermentation medium to confirm pulcherrimin production by *M. pulcherrima* ELM-GS-3 strain. For this purposes, 150 mL of sterile synthetic minimal broth [1% glucose (w/v), 0.3% (NH₄)₂SO₄ (w/v), 0.1% KH₂PO₄ (w/v), 0.05% MgSO₄ × 7H₂O (w/v), 0.05% yeast extract (w/v), 0.05% FeCl₃ (w/v)] was inoculated with 5% (v/v) of the inoculum in cotton-plugged Erlenmeyer flasks. The flasks were then incubated at 28°C with 130 rpm agitation for 7 days (Kregiel et al., 2022).

The subsequent stage of the fermentation experiments involved the production of pulcherrimin using potato peels, watermelon rinds, and onion skins, as well as molasses, as substrate sources in the fermentation medium. For this purpose, the modified method described by Mujdeci (2022) was used. Molasses was sourced from a sugar factory in Corum City, Turkey, and diluted at a ratio of 1:10 (v v⁻¹). Watermelon rinds, onion skins, and potato peels were used as fermentation media after separate preprocessing. In this method, 2 L of distilled water were added to 1000 g of peel. After boiling the mixture at 100°C for 30 min, the extract was separated by filtration using cellulose filter papers. Before sterilization, 0.05% FeCl₃ (w/v) was added to each extract and the mixtures were used as fermentation media. Sterilization of the fermentation media was carried out at 121°C for 15 min using autoclave.

The fermentation was carried out in 500 mL Erlenmeyer flasks containing 200 mL of the fermentation medium. The medium was inoculated with a 10% (v/v) inoculum of *M. pulcherrima* ELM-GS-3, prepared by culturing the yeast in YPD broth for 24 hours at 28°C. The flasks were incubated at 28°C for 7 days with constant shaking at 150 rpm.

Extraction and Purification of Pulcherrimin

During the experiments, 10 mL of each culture was sampled from the fermentation medium for every 24 hours and centrifuged at 4°C and $2599 \times g$ for 20 minutes. The resulting precipitate containing yeast cells and red pigment was treated with 50 mL of 99.8% methanol per 10 g of wet yeast biomass at 4°C and incubated overnight. Following incubation, the yeast cells were centrifuged at 4°C and $2599 \times g$ for 20 minutes and washed twice with 25 mL of distilled water. The yeast biomass was then resuspended in 2M NaOH and centrifuged again (4°C, $2.599 \times g$, 20 minutes). The pH of the supernatant was adjusted to 1.0 using 4M HCl, followed by incubation at 100°C for 30 minutes. The resulting pigment precipitate was collected by centrifugation (4°C, $2599 \times g$, 30 minutes) and washed three times with 25 mL of distilled water. To obtain pure pulcherrimin, the steps of dissolution in NaOH and precipitation with HCl were repeated three times. Finally, the red pigment was collected by centrifugation and stored at -20°C, as described by Kregiel et al. (2022). The concentration of pulcherrimin in each fermentation medium was determined as the dry weight of pulcherrimin per liter of fermentation medium (Mujdeci, 2022).

Characterization of Pulcherrimin

For spectrophotometric analysis, the purified pulcherrimin was dissolved in methanol, and its wavelength spectrum was recorded using a UV-Vis spectrophotometer (Shimadzu UV-1800, Japan) over the range of 200-800 nm. The wavelength giving maximum absorption (λ_{max}) was determined to confirm the presence of pulcherrimin. The structural characteristics of the extracted pulcherrimin were further analyzed using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) (Thermo Scientific/Nicolet IS10, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). The

pigment was mixed with KBr to form pellets, and the spectra were recorded in the range of 4000-600 cm^{-1} , with 40 scans at a resolution of 4.0 cm^{-1} . The molecular structures of pulcherrimin particles were assessed using a scanning electron microscope (SEM) (Quanta FEG 450, FEI, Amsterdam, Netherlands).

For solubility assessment, 0.1 g of purified pulcherrimin samples was dissolved in 10 mL of distilled water, 1 mol L⁻¹ KOH, and 1 mol L⁻¹ NaOH solutions, as well as various organic solvents such as chloroform, ethyl acetate, ethanol, methanol, acetic acid, ether, petroleum ether, hexane, and acetone. After stirring at 25°C for 1 hour, the solutions were filtered through coarse filter paper. The absorbance measurements of the filtrates were carried out at λ_{max} , as described by Mujdeci (2021).

RESULTS

Identification of *Metschnikowia pulcherrima* ELM-GS-3

Among the yeast strains isolated from damaged Grany Smith apples (data not shown), pinkish, round colonies with smooth edges (ELM-GS-3) were identified as *M. pulcherrima* with a log score value of 1.954 as a result of identification by MALDI-TOF MS. Fig. 1 illustrates raw MALDI-TOF MS profile of *M. pulcherrima* (a) and matching result of experimental profiles and BioTyper database (b). Validation of the identified species was performed by sequence analysis. PCR products obtained by amplification from ITS regions were sequenced and compared with the DNA sequence databases of The National Center for Biotechnology Information (NCBI). The species was confirmed as *Metschnikowia pulcherrima* with 97.89% similarity.

To determine if the identified *M. pulcherrima* ELM-GS-3 strain produces pulcherrimin, cells were inoculated into FeCl₃ containing YM agar and the synthetic minimal broth described in Section 2.5. Maroon-red pigment formation was observed (Fig. 2a, b). Additionally, cells grown in the fermentation medium were examined under a light microscope, and intracellular red pigment formation was documented through photography (Fig. 2c).

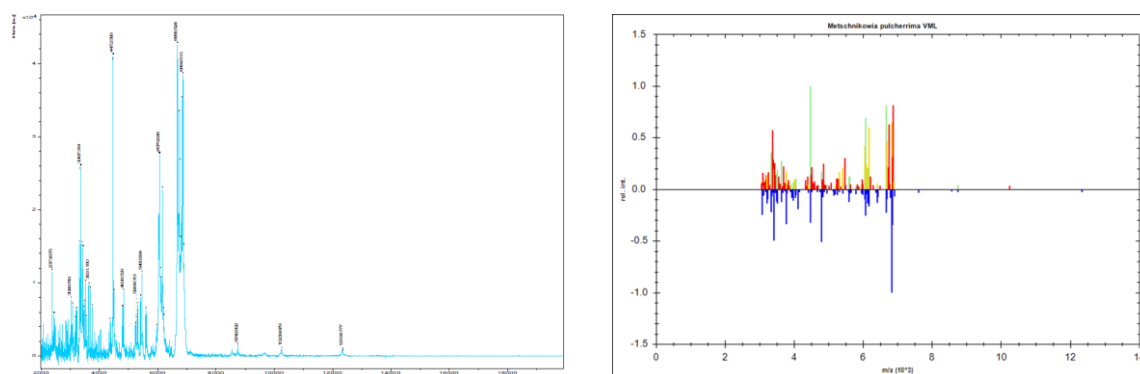


Figure 1. a: raw MALDI-TOF MS profile of *M. pulcherrima* ELM-GS-3, b: matching result of experimental profiles and BioTyper database

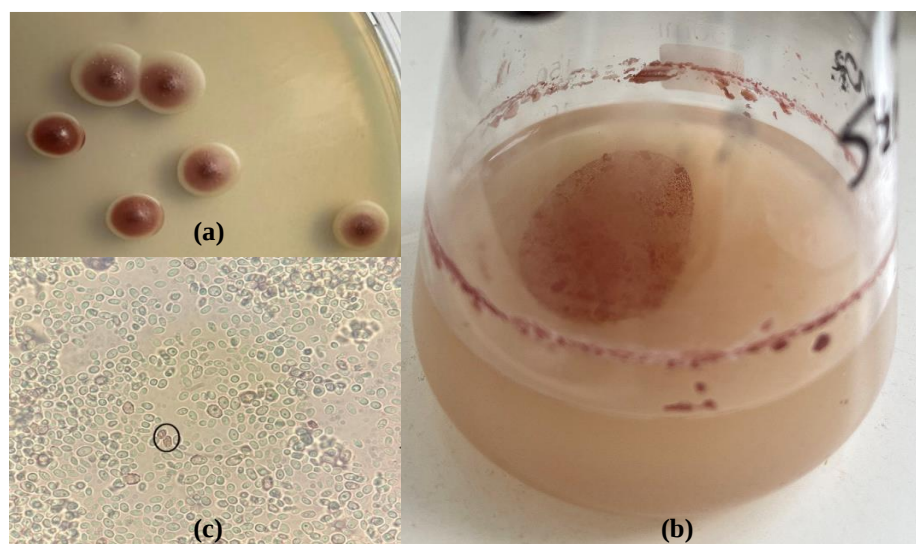


Figure 2. a: *M. pulcherrima* GS-3 colonies on YM Agar including 0.05% FeCl_3 (w/v), b: pigment production in synthetic minimal broth, c: light micrograph of the pulcherrimin produced *M. pulcherrima* ELM-GS-3 cells (in circle) at Day 7 of fermentation in glucose containing fermentation media (scale bar = 10 μm).

Valorization of Food Wastes and By-products for Pulcherrimin Production

The graph showing the change in biomass concentration of *Mechnikowia pulcherrima* ELM-GS-3 over time in potato peel, onion skin, and watermelon rind extracts, as well as diluted molasses medium, is presented in Fig. 3.

In experiments using potato peel extract and molasses solution as the fermentation medium, the highest biomass concentration was recorded as 3.70 ± 0.1 g/L and 7.67 ± 0.5 g/L, respectively.

When watermelon rind extract was used, the biomass concentrations of *M. pulcherrima* ELM-GS-3 were relatively higher, recorded as 9.60 ± 0.1 g/L. Onion skin extract was identified as the medium that most effectively supported the growth of *M. pulcherrima* ELM-GS-3, yielding 9.78 ± 0.1 g/L biomass. Fig. 4 shows the biomass obtained on the 7th day of fermentation. As seen in the photograph, the biomass obtained from onion skin was dark maroon due to intracellular pigment production. In watermelon rind, all cells did not produce the pigment, and the

pulcherrimin-producing cells were clustered in the center of the pellet. In potato peel extract and

molasses solution, a reddish color was observed due to pigment-producing cells.

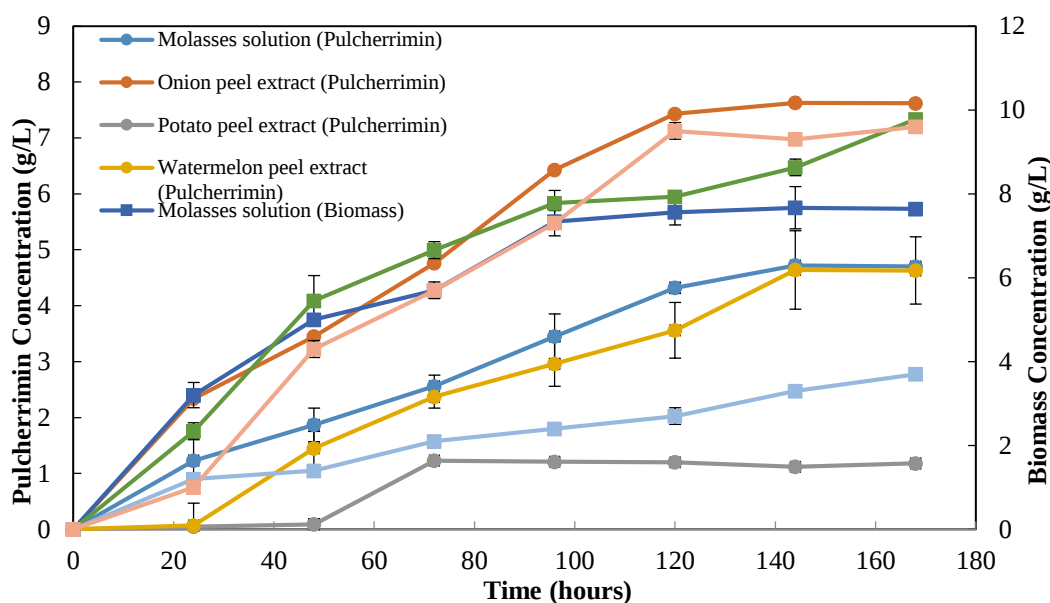


Figure 3. Variations of biomass and pulcherrimin concentrations with time

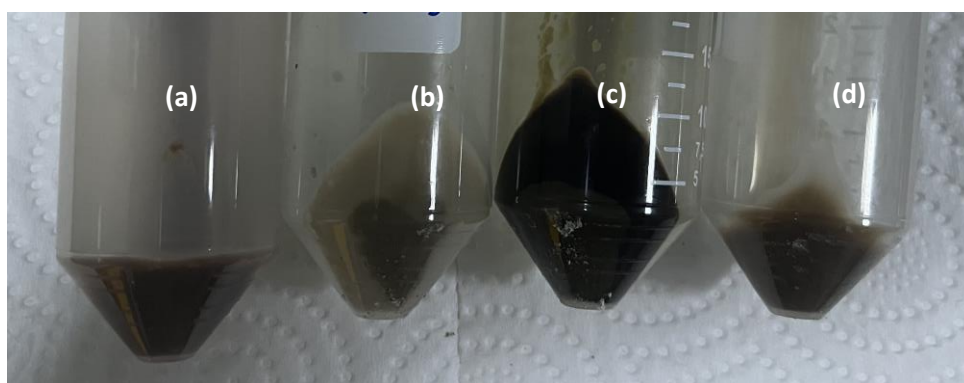


Figure 4. Biomass precipitated from cultures in a: potato peel extract, b: watermelon rind extract, c: onion skin extract, and d: molasses solution

The pulcherrimin concentrations produced by *M. pulcherrima* ELM-GS-3 over time are shown in Fig. 3. While it was found that potato peel extract was not suitable for pulcherrimin production, the highest pulcherrimin production (7.63 ± 0.6 g/L) was obtained with onion skin extract. The highest pulcherrimin concentrations obtained from molasses solution and watermelon rind extract were determined to be very close to each other and 4.72 ± 0.0 and 4.64 ± 0.7 g/L, respectively.

Characterization of Pulcherrimin

The first step in characterization of pulcherrimin included FTIR analysis. The FTIR transmittance spectra of the pulcherrimin obtained in this study and in the study by McDonald (1963) are demonstrated in Fig. 5. The indicated peaks ($700\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$) correspond to the absorption bands of pulcherrimin, consistent with those previously reported for *Candida pulcherrima* (McDonald, 1963). The peak at 580 cm^{-1} is attributed to the presence of the heaviest ion in the compound, iron (Fe) (Mažeika et al., 2021).

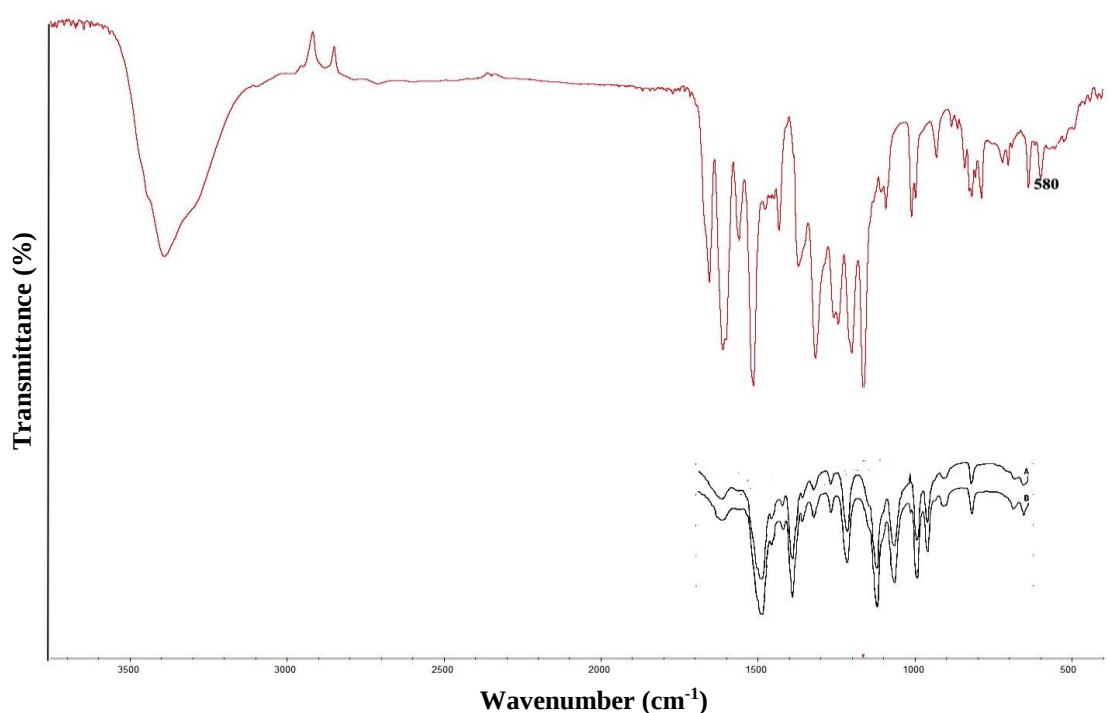


Figure 5. Fourier-transform infrared spectroscopy spectra of a: pulcherrimin produced by *M. pulcherrima* ELM-GS-3, b: pulcherrimin produced by *C. pulcherrima* (McDonald, 1963)

In this study, the second assay for pulcherrimin characterization involved investigating the molecular structure using SEM. The pulcherrimin sample exhibited an amorphous (irregular) shape with dimensions ranging from 75 to 150 nm. At higher magnification, the pulcherrimin sample

demonstrated a 3D network structure with the presence of microporosity. The pores in the pulcherrimin particles are indicated by arrows in Fig. 6.

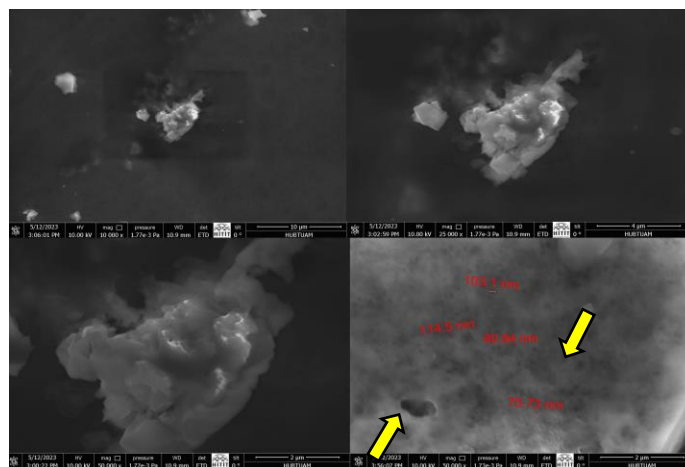


Figure 6. Scanning electronmicrograph of pulcherrimin nanoparticles at 10.0, 25.0, 50.0, and 100.0 K× magnifications

Maximum absorbance of alkali solution of pulcherrimin was observed at 420 nm. Pulcherrimin exhibits low solubility in distilled water and most organic and inorganic solvents, except aqueous alkali, and shows resistance to degradation in concentrated acids which are distinctive characteristics of this pigment. In this study, significant similarity was observed with the literature. The pulcherrimin sample was insoluble in water and a range of organic solvents, including chloroform, ethyl acetate, ethanol, methanol, acetic acid, ether, petroleum ether, hexane, and acetone, but was soluble only in alkali.

DISCUSSION

The present study demonstrated the potential to valorize food waste and by-products for pulcherrimin production using the yeast strain *Metschnikowia pulcherrima* ELM-GS-3, with successful isolation and characterization. The strain was identified through MALDI-TOF MS and ITS sequencing, confirming its identity as *M. pulcherrima*. This identification method, along with its pigmentation capability, aligns with previous studies reporting the natural ability of *M. pulcherrima* to produce pulcherrimin which is a pigment involved in microbial competition (Turkel and Ener, 2009; Sipiczki, 2020).

In this study, onion skin extract was the most favorable medium for biomass production and pulcherrimin synthesis, with the highest pulcherrimin yield compared to other substrates. Onion production, as one of the most widely consumed vegetable crops, is on the rise due to its valuable dietary, medicinal, and functional properties. According to the latest FAO data, global onion production has steadily increased, reflecting its high demand for dietary, medicinal, and functional uses. In recent years, China and India have led global production (FAOSTAT, 2022). Following these leaders are countries like the United States and Turkey, which also contribute significantly to global onion output. Given the vast global production of onions, finding ways to utilize onion skin is of great importance. In previous studies, onion skin was used as a substrate in fermentation media to produce some bio-products (Genemo et al., 2021;

Taşar and Taşar, 2022; Hsueh et al., 2023). Genemo et al. (2021) examined bioethanol production from cabbage and onion peels, highlighting how optimizing the fermentation process with *Saccharomyces cerevisiae* could yield a sustainable energy source from agro-waste. Similarly, Hsueh et al. (2023) evaluated the feasibility of transforming onion peels into value-added products within a circular economy framework, emphasizing onion peels' rich bioactive compounds that could be harnessed for a range of applications. Mushimiyimana and Tallapragada (2017) further demonstrated that acid hydrolysis and subsequent fermentation offer a viable pathway for bioethanol production from onion skin and similar agro-wastes. Beyond bioethanol, Kim et al. (2019) explored a biorefining process converting onion waste carbohydrates into acetic acid, revealing onion waste's versatility as a fermentation substrate. Additionally, Ramesh et al. (2022) discussed pigment production via submerged fermentation, highlighting the role of natural substrates such as onion skins in generating bio-pigments under optimized culture conditions. Together, these studies underscore the potential of onion skin valorization to produce bioethanol, acetic acid, and pigments, reinforcing its contribution to bio-based circular economy initiatives and waste reduction. However, this is the first study in the literature that used onion peel to produce pulcherrimin.

Other substrates, such as watermelon rind and potato peel extracts, as well as molasses, were also investigated. While watermelon rind extract resulted in relatively high biomass production, the pulcherrimin yield was limited, suggesting that although watermelon rind provides some nutrients for cell growth, it lacks sufficient factors required for efficient pulcherrimin synthesis. Comparatively, Joshi et al. (2003) also declared variability in pigment production depending on the nutrient composition of the substrate, indicating that the carbon and nitrogen ratios, as well as micronutrient availability, play a significant role in pigment biosynthesis.

Pulcherrimin was characterized using several analytical techniques, including FTIR, SEM, and UV-visible spectroscopy. The FTIR analysis showed characteristic absorption peaks similar to those reported in the literature (McDonald, 1963), which is indicative of the consistency of pulcherrimin's structure across different studies. The presence of an absorption peak at 580 cm^{-1} , attributed to iron, is also in agreement with the findings of Mažeika et al. (2021), highlighting the involvement of metal ions in stabilizing the pigment structure. The results obtained from the SEM analysis showed an amorphous structure with a 3D network and microporosity, which was consistent with studies conducted by Mažeika et al. (2021).

UV-visible absorbance spectra of the purified pulcherrimin showed characteristics that align with those previously reported in the literature, confirming its chemical properties (McDonald, 1963). The pigment's low solubility in water and most organic solvents, except for aqueous alkali, is a known property of pulcherrimin (Kregiel et al., 2022), which could pose challenges for certain applications but also suggests its suitability for stable formulations. The stability in concentrated acids was also observed, which is a valuable property for industrial applications where chemical resistance is required.

The utilization of food waste as substrates for microbial pigment production presents significant environmental and economic benefits. Studies have shown that *M. pulcherrima* is capable of utilizing a wide range of low-cost medium under unsterilized conditions, making it highly versatile for biotechnological applications (Abomohra et al., 2020). In comparison, our study supports these findings and further emphasizes that food by-products can serve as cost-effective substrates for valuable pigment production.

However, the observed differences in biomass and pigment production across substrates underline the importance of selecting appropriate waste materials for fermentation processes. This study suggests that optimizing the fermentation medium composition, including the carbon-to-

nitrogen ratio and the presence of trace elements, can significantly enhance pulcherrimin production.

CONCLUSION

In conclusion, this study provides valuable insights into the production of pulcherrimin using *Metschnikovia pulcherrima* ELM-GS-3, with a focus on using food waste substrates to enhance sustainability and cost-effectiveness. The comparison with literature indicates that onion skin is an excellent substrate for biomass and pigment production, with its nutrient content being favorable for both growth and secondary metabolite synthesis. The characterization of pulcherrimin was consistent with previous reports, confirming its structural and chemical properties. Future research should focus on optimizing fermentation conditions and investigating other types of food waste to improve pulcherrimin yield and reduce production costs. The valorization of food waste for pigment production aligns well with the goals of the bioeconomy and contributes to the development of sustainable bioprocesses.

DECLARATION OF INTEREST

The author declares that she has no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

FUNDING

The author declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

COMPETING INTERESTS

The author have no relevant financial or non-financial interests to disclose.

DATA AVAILABILITY

The datasets generated during and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

REFERENCES

Abomohra, A. E. F., Wang, Q., Huang, J., Saad-Allah, K. M. (2021). A sustainable approach for

- bioconversion of food and lignocellulosic wastes into liquid biofuel using a new *Metschnikowia pulcherrima* isolate. *International Journal of Energy Research* 45(2): 3430-3441, doi: 10.1002/er.6028.
- Bernard, A., Rossignol, T., Park, Y. K. (2024). Biotechnological approaches for producing natural pigments in yeasts. *Trends in Biotechnology* 42(12): 1644-1662, doi: 10.1016/j.tibtech.2024.06.012.
- Charron-Lamoureux, V., Haroune, L., Pomerleau, M., Hall, L., Orban, F., Leroux, J., Beauregard, P. B. (2023). Pulcherriminic acid modulates iron availability and protects against oxidative stress during microbial interactions. *Nature Communications* 14(1): 2536, doi: 10.1038/s41467-023-38222-0.
- Di Salvo, E., Lo Vecchio, G., De Pasquale, R., De Maria, L., Tardugno, R., Vadalà, R., Cicero, N. (2023). Natural pigments production and their application in food, health and other industries. *Nutrients*, 15(8): 1923, doi: 10.3390/nu15081923.
- Dufossé, L. (2006). Microbial production of food grade pigments. *Food technology and Biotechnology*, 44(3): 313-321, doi: 10.17113/ftb.
- FAOSTAT (2022). Food and Agriculture Organization <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (Accessed 15 October 2024).
- Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science and Technology*, 26(2): 68-87, doi: 10.1016/j.tifs.2012.03.003.
- Genemo, T. G., Erebo, D. L., Gabr, A. K. (2021). Optimizing bio-ethanol production from cabbage and onion peels waste using yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as fermenting agent. *International Journal of Life Science Research Archive*, 1(1): 24-35, doi: 10.53771/ijlsra.2021.1.1.0012.
- Graça, A., Santo, D., Esteves, E., Nunes, C., Abadias, M., Quintas, C. (2015). Evaluation of microbial quality and yeast diversity in fresh-cut apple. *Food Microbiology*, 51: 179-185, doi: 10.1016/j.fm.2015.06.003.
- FAO (2011). Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome, Italy.
- Hsueh, C. C., Roxas, T. J., Chan, Y. H., Juan, C. N., Tayo, L. L., Chen, Y. Y., Chen, B. Y. (2023). Feasibility study of value-added production from onion peel agricultural wastes for circular economy. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 145: 104851, doi: 10.1016/j.jtice.2023.104851.
- Joshi, V. K., Attri, D., Bala, A., Bhushan, S. (2003). Microbial pigments. *Indian Journal of Biotechnology*, 2: 362-369, doi: 10.1007/978-1-4020-9942-7_8.
- Kalra, R., Conlan, X. A., Goel, M. (2020). Fungi as a potential source of pigments: harnessing filamentous fungi. *Frontiers in Chemistry*, 8: 369, doi: 10.3389/fchem.2020.00369.
- Kampen, W.H. (2014). Nutritional requirements in fermentation processes. In: *Fermentation and Biochemical Engineering Handbook*, Vogel, H.C., Todaro, C.M. (eds.), William Andrew Publishing, Norwich New York, pp. 35-57.
- Kántor, A., Hutková, J., Petrová, J., Hleba, L., Kačániová, M. (2015). Antimicrobial activity of pulcherrimin pigment produced by *Metschnikowia pulcherrima* against various yeast species. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 5(3): 282-285, doi: 10.15414/jmbfs.2015/16.5.3.282-285.
- Karasu-Yalcin, S., Soylemez-Milli, N., Eren, O., Eryasar-Orer, K. (2021). Reducing time in detection of *Listeria monocytogenes* from food by MALDI-TOF mass spectrometry. *Journal of Food Science and Technology*, 58: 4102-4109, doi: 10.1007/s13197-020-04869-6.
- Kim, H. M., Choi, I. S., Lee, S., Yang, J. E., Jeong, S. G., Park, J. H., Park, H. W. (2019). Biorefining process of carbohydrate feedstock (agricultural onion waste) to acetic acid. *ACS Omega*, 4(27): 22438-22444, doi: 10.1021/acsomega.9b03093.
- Kosseva, M.R. (2013). Recovery of commodities from food wastes using solid-state fermentation, In: *Food Industry Wastes: Assessment and Recuperation of Commodities*, Kosseva, M.R., Webb, C. (eds.), Academic Press, Cambridge, USA, pp. 77-102.

- Koutinas, A. A., Vlysidis, A., Pleissner, D., Kopsahelis, N., Garcia, I. L., Kookos, I. K., Lin, C. S. K. (2014). Valorization of industrial waste and by-product streams via fermentation for the production of chemicals and biopolymers. *Chemical Society Reviews*, 43(8): 2587-2627, doi: 10.1039/c3cs60293a.
- Kregiel, D., Krajewska, A., Kowalska-Baron, A., Czarnecka-Chrebelska, K. H., Nowak, A. (2024). Photoprotective Effects of Yeast Pulcherrimin. *Molecules*, 29(20): 4873, doi: 10.3390/molecules29204873.
- Kregiel, D., Nowacka, M., Rygala, A., Vadkertiová, R. (2022). Biological activity of pulcherrimin from the *Metschnikowia pulcherrima* Clade. *Molecules*, 27(6): 1855, doi: 10.3390/molecules27061855.
- Lin, C. S. K., Koutinas, A. A., Stamatelatou, K., Mubofu, E. B., Matharu, A. S., Kopsahelis, N., Luque, R. (2014). Current and future trends in food waste valorization for the production of chemicals, materials and fuels: a global perspective. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 8(5): 686-715, doi: 10.1002/bbb.1506.
- Lyu, X., Lyu, Y., Yu, H., Chen, W., Ye, L., Yang, R. (2022). Biotechnological advances for improving natural pigment production: A state-of-the-art review. *Bioresources and Bioprocessing*, 9(1): 8, doi: 10.1186/s40643-022-00497-4.
- Mažeika, K., Šiliauskas, L., Skridlaitė, G., Matelis, A., Garjonytė, R., Paškevičius, A., Melvydas, V. (2021). Features of iron accumulation at high concentration in pulcherrimin-producing *Metschnikowia* yeast biomass. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*, 26: 299-311, doi: 10.1007/s00775-021-01853-z.
- MacDonald, J. C. (1963). The structure of pulcherriminic acid. *Canadian Journal of Chemistry*, 41(1): 165-172, doi: 10.1139/v63-021.
- Mishra, K., Siwal, S. S., Nayaka, S. C., Guan, Z., Thakur, V. K. (2023). Waste-to-chemicals: Green solutions for bioeconomy markets. *Science of the Total Environment*, 887: 164006, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164006.
- Mujdeci, G. N. (2021). Natural melanin synthesized by *Aureobasidium pullulans* using food wastes and its characterization. *Applied Food Biotechnology*, 8(4): 307-318, doi: 10.22037/afb.v8i4.34599.
- Mujdeci, G. N. (2022). Experimental modeling and optimization of melanin production by *Aureobasidium pullulans* NBRC 100716 in carrot peel extract. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 41(6): e13919, doi: 10.1002/ep.13919.
- Mushimiyimana, I., Tallapragada, P. (2016). Bioethanol production from agro wastes by acid hydrolysis and fermentation process. *CSIR-NIScPR*, 75(06): 383-388.
- Nair, R.B., Lennartsson, P.R., Taherzadeh, M.J. (2017). Bioethanol production from agricultural and municipal wastes, In: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, Wong, J.W.C., Tyagi, R.D., Pandey, A. (eds.), Elsevier, Amsterdam, Holland, pp. 157-190.
- Panesar, R., Kaur, S., Panesar, P. S. (2015). Production of microbial pigments utilizing agro-industrial waste: a review. *Current Opinion in Food Science*, 1: 70-76, doi: 10.1016/j.cofs.2014.12.002.
- Pawlikowska, E., Kolesińska, B., Nowacka, M., Kregiel, D. (2020). A new approach to producing high yields of pulcherrimin from *Metschnikowia* yeasts. *Fermentation*, 6(4): 114, doi: 10.3390/fermentation6040114.
- Ramesh, C., Prasastha, V. R., Venkatachalam, M., Dufossé, L. (2022). Natural substrates and culture conditions to produce pigments from potential microbes in submerged fermentation. *Fermentation*, 8(9): 460, doi: 10.3390/fermentation8090460.
- Sarker, A., Ahmmed, R., Ahsan, S. M., Rana, J., Ghosh, M. K., Nandi, R. (2024). A comprehensive review of food waste valorization for the sustainable management of global food waste. *Sustainable Food Technology*, 2: 48-69, doi: 10.1039/d3fb00156c.
- Sipiczki, M. (2006). *Metschnikowia* strains isolated from botrytized grapes antagonize fungal and bacterial growth by iron depletion. *Applied and*

- Environmental Microbiology*, 72(10): 6716-6724, doi: 10.1128/AEM.01275-06.
- Sipiczki, M. (2020). *Metschnikowia pulcherrima* and related pulcherrimin-producing yeasts: Fuzzy species boundaries and complex antimicrobial antagonism. *Microorganisms*, 8(7): 1029, doi: 10.3390/microorganisms8071029.
- SlÁviková, E., Vadkertiová, R., Vránová, D. (2009). Yeasts colonizing the leaves of fruit trees. *Annals of Microbiology*, 59: 419-424, doi: 10.1007/BF03175125.
- Taşar, Ö. C., Taşar, G. E. Use of onion peels as an economical substrate for microbial inulinase production under solid state fermentation. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5: 144-150, doi: 10.46239/ejbcs.1163946.
- Tatay-Núñez, J., Albi-Puig, J., Garrigós, V., Orejas-Suárez, M., Matallana, E., Aranda, A. (2024). Isolation of local strains of the yeast *Metschnikowia* for biocontrol and lipid production purposes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 40(3): 88, doi: 10.1007/s11274-024-03918-y.
- Tiwari, A., Khawas, R. (2021). Food waste and agro by-products: a step towards food sustainability. In: *Innovation in the food sector through the valorization of food and agro-food by-products*, Baros, A.N. (ed), IntechOpen.
- Türkel, S., Ener, B. (2009). Isolation and characterization of new *Metschnikowia pulcherrima* strains as producers of the antimicrobial pigment pulcherrimin. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 64(5-6): 405-410, doi: 10.1515/znc-2009-5-618.
- Vea, E. B., Romeo, D., Thomsen, M. (2018). Biowaste valorisation in a future circular bioeconomy. *Procedia CIRP*, 69: 591-596, doi: 10.1016/j.procir.2017.11.062.

FARKLI GLUTENSİZ UN KARIŞIMLARIYLA HAZIRLANMIŞ HAMURLARIN DÜŞÜK (SAOS), ORTA (MAOS) VE YÜKSEK (LAOS) GENLİKLİ SALINIMLI KAYMA ÖZELLİKLERİ

Gamze YAZAR*

University of Idaho, Department of Animal, Veterinary and Food Sciences, Moscow, ID, USA

Geliş / Received 22.08.2024; Kabul / Accepted: 17.02.2025; Online baskı / Published online: 20.02.2025

Yazar, G. (2025). Farklı glutensiz un karışımlarıyla hazırlanmış hamurların düşük (SAOS), orta (MAOS) ve yüksek (LAOS) genlikli salınımlı kayma özellikleri. GIDA (2025) 50 (2) 178-200 doi: 10.15237/gida.GD24087

Yazar, G. (2025). SAOS, MAOS and LAOS properties of gluten-free doughs from different flour blends. GIDA (2025) 50 (2) 178-200 doi: 10.15237/gida.GD24087

ÖZ

Glutensiz un karışımları (pirinç:soya unu, 8:2, w/w; karabuğday:soya unu, 8:2, w/w) ile hazırlanan hamurları yumuşak buğday unu hamuruyla reolojik bir açıdan kıyaslanarak soya unu ilavesinin glutensiz hamurların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi küçük (SAOS), orta (MAOS) ve yüksek (LAOS) deformasyonlar altında incelenmiştir. Frekans süpürme analizleri kullanılarak pirinç-soya ve karabuğday-soya hamurlarının optimum su kaldırma kapasiteleri sırasıyla %115 ve %105 olarak bulunmuştur. Pirinç ununa soya unu ilavesiyle, SAOS deformasyonlarında azalan G' ve artan $\tan\delta$ değerleri pirinç unu hamuruna kıyasla elastikiyetin azaldığını gösterirken, karabuğday unu hamuruna soya unu ilavesi tam tersi etki yaratmıştır. MAOS deformasyonları altında elastik Lissajous-Bowditch eğrilerindeki rotasyon ve $\tan\delta$ değerlerine göre yumuşama derecesi karabuğday-soya hamuru > buğday hamuru > pirinç-soya hamuru şeklindeyken, LAOS deformasyonları altında bu sıralama pirinç-soya hamuru > karabuğday-soya hamuru > buğday hamuru olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma glutensiz hamur formülasyonlarında yapılabilecek muhtemel değişikliklerin LAOS testleriyle analiz edilip daha gelişmiş işlenebilirlik özelliklerine sahip hamurlar ve dolayısıyla daha kaliteli glutensiz ürünler üretebilmenin mümkün olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: glutensiz hamur, pirinç unu, soya unu, karabuğday unu, dinamik reoloji, doğrusal olmayan reoloji

SAOS, MAOS AND LAOS PROPERTIES OF GLUTEN-FREE DOUGHS FROM DIFFERENT FLOUR BLENDS

ABSTRACT

Dough samples of two model gluten-free flour blends (rice:soy flour, 8:2, w/w; buckwheat:soy flour, 8:2, w/w) were compared to soft wheat flour dough from a rheological standpoint to reveal the contribution of soy flour to mechanical properties of these gluten-free doughs under small (SAOS), medium (MAOS), and large (LAOS) deformations. Frequency sweeps indicated %115 and %105 as optimum water levels for rice-soy and buckwheat-soy flour blends, respectively. Replacement with soy flour lowered the elasticity of rice flour dough as evidenced by decreasing G' and increasing $\tan\delta$; while the opposite was observed for buckwheat flour dough under SAOS deformations. The order

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: gamzey@uidaho.edu

☎: (+1) 208-885-6345

☎: (+1) 208-885-6420

Gamze Yazar; ORCID no: 0000-0002-9463-2425

of softening under MAOS deformations was buckwheat-soy dough>wheat dough>rice-soy dough as shown by the elastic Lissajous-Bowditch curves and $\tan\delta$, while it was rice-soy dough>buckwheat-soy dough>wheat dough under LAOS deformations. Ultimately, this study revealed the possibility to manipulate gluten-free formulations through LAOS tests for improved machinability and product quality.

Keywords: gluten-free doughs, rice flour, soy flour, buckwheat flour, dynamic rheology, non-linear rheology

GİRİŞ

Glutensiz fırın ürünlerinin çoğu buğday ununa alternatif teşkil edecek glutensiz un karışımları ve gluten proteinlerinin viskoelastik özelliklerini taklit edebilecek bileşenlerin kullanılmasıyla formüle edilmektedir (Yazar ve Demirkese, 2022). Farklı glutensiz unların son ürün kalitesi üzerinde doğrudan etkisi olacağı için doğru unların doğru oranlarda kullanılması önem taşımaktadır (Cappelli ve ark., 2020). Pirinç unu nötr tadı, beyaz rengi, düşük sodyum içeriği, kolay sindirilebilir karbonhidratları ve hipoalerjenik özellikleri ile glutensiz formülasyonlarda en fazla kullanılan glutensiz tahıl unudur (Cappelli ve ark., 2020; Villanueva ve ark., 2019). Pseudo tahıllar (amarant, kinoa, karabuğday, vb.) da çölyak hastalarının diyetini besin içeriği açısından zenginleştirmek amacıyla glutensiz fırın ürünlerinin formülasyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Cappelli ve ark., 2020; Hadnađev ve ark., 2013). Esansiyel aminoasitler, diyet lifi, B vitamini, E vitamini, magnezyum ve demir gibi mineraller açısından zengin olması nedeniyle ve diğer karbonhidratlara kıyasla daha yavaş sindirilen karbonhidrat içeriğiyle karabuğday unu sağlıklı bir glutensiz un alternatifi olarak kabul edilmektedir (Mariotti ve ark., 2008; Hadnađev ve ark., 2013).

Beslenme açısından fonksiyonel içeriklerine rağmen glutensiz unlarla kaliteli fırın ürünlerinin üretimi teknolojik açıdan çeşitli zorluklar yaratmaktadır (Yazar ve Demirkese, 2022). Gluten proteinleri hamurdaki viskoelastik ağ yapısının oluşmasında sorumludur. Bu sayede hamura gaz tutma kabiliyeti verirken çoğu fırın ürünü kalitesi açısından en önemli özelliklerden olan hacim ve gözenek yapısı gibi gelişmesine katkı sağlamaktadır (Yazar ve ark., 2017). O nedenle hamur yapısında gluten proteinlerinin eksikliği hamurun mekanik özellikleri (işlenebilirliği) ve son ürün kalitesi açısından sorun

teşkil etmektedir. Örneğin, pirinç unu yaklaşık olarak %8 oranında protein içermektedir ve bu proteinlerin yaklaşık %80' i glutelinlerden oluşmaktadır (Yazar ve ark., 2017; Amagliani ve ark., 2017). Fakat bu proteinler gluten proteinleri gibi viskoelastik bir ağ yapısı oluşturma fonksiyonuna sahip olmadıkları için sadece pirinç unu kullanılarak gelişmiş kalite özelliklerine sahip glutensiz fırın ürünü eldesi mümkün olmamaktadır (Demirkese ve ark., 2010; Amagliani ve ark., 2017; Yazar ve Demirkese, 2022). Diğer taraftan karabuğday yaklaşık %13 protein içermekte ve proteinlerinin yaklaşık yarısı albüminlerden, %4' lük küçük bir kısmı ise glütelinlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla karabuğday unu hamurunun buğday unu hamurunda olduğu gibi bir protein ağ yapısı oluşturmaya mümkün değildir (Mariotti ve ark., 2008; Yazar ve ark., 2017). Bu nedenle, glutensiz hamur sistemlerinde gluten proteinlerinin yapı oluşturma fonksiyonunu taklit edebilecek farklı glutensiz un veya nişasta karışımları (Hadnađev ve ark., 2013; Tsatsaragkou ve ark., 2014; Villanueva ve ark., 2021), hidrokolloidler (Demirkese ve ark., 2010; Vidaurre-Ruiz ve ark., 2019), diyet lifi (Korus ve ark., 2020; Özyiğit ve ark., 2020) ile zein (Tandazo ve ark., 2021), karubin (Yazar ve ark., 2023), soya proteini (Villanueva ve ark., 2018) ve süt proteinleri (Tandazo ve ark., 2021; Villanueva ve ark., 2018) gibi gluten olmayan proteinlerin kullanılması gerekmektedir.

Glutensiz hamurlarda gluten tarafından buğday unu hamuruna kazandırılmış olan viskoelastik davranışın yakalanması hedeflendiği için, bu hamurların reolojik karakterizasyonu önem taşımaktadır. Bu amaçla çoğunlukla hamurun üç boyutlu yapısını bozmadan küçük deformasyonlar uygulayarak doğrusal viskoelastik davranışı analiz eden küçük genlikli salınımlı kayma (SAOS) testleri uygulanmaktadır (Yazar ve Demirkese, 2022; Yazar ve ark., 2019). Ancak, SAOS

analizleri genellikle hamurların mikro yapıları ve molekül interaksiyonları hakkında fikir verirken, yüksek deformasyon testlerinin son ürün kalitesi hakkında daha doğru bilgi verdiği tespit edilmiştir (Kim ve ark., 2008; Yazar, 2023a). Glutensiz hamurların yüksek deformasyonlar altında göstermiş oldukları viskoelastik davranışlar ve bu davranışların son ürün kalitesi ile ilişkilendirilmesi amacıyla son yıllarda yüksek genlikli salınımlı kayma (LAOS) analizleri kullanılmaktadır (Yazar ve ark., 2017; Özyiğit ve ark., 2020; Alvarez-Ramirez ve ark., 2019). Diğer taraftan, LAOS parametrelerinin analizinde fazla sayıda harmonik dahil olmaktadır. LAOS taramasında daha az harmonik sayısının dahil olduğu orta genlikli salınımlı kayma (MAOS) rejiminde, materyal doğrusal viskoelastik davranışını kaybettikten hemen sonra, gerçek yapısal bozulma hakkında fikir elde edilebileceği belirtilmiştir. MAOS rejimi, SAOS ve LAOS rejimleri arasında bir geçiş bölgesi olarak tanımlanmaktadır (Ewoldt ve Bharadwaj, 2013; Bharadwaj ve Ewoldt, 2015; Ertürk ve ark., 2023). Dolayısıyla, materyallerin doğrusal olmayan viskoelastik davranışlarının değerlendirilmesinde LAOS analizinin yanı sıra son dönemde MAOS analizi de önem kazanmıştır.

Bu çalışmanın amacı glutensiz un karışımlarıyla elde edilen model hamur sistemlerinin üretim sırasında maruz kaldığı küçük ve artan deformasyonlar altında göstermiş oldukları viskoelastik davranışları SAOS, MAOS ve LAOS gerinimlerinde belirlemektir. Bu amaçla pirinç unu ve karabuğday unu hamurlarına aynı oranda soya unu (soya unu:glutensiz un, 2:8, w/w) eklenerek glutensiz un karışımları elde edilmiş ve bu un karışımlarından elde edilen model hamur karışımlarının mekanik özellikleri reolojik yöntemlerle incelenmiştir. Soya unu sahip olduğu 2S proteinleri suda çözünebilir globüler yapıları ile buğday unu albüminlerine, 7S proteinleri intramoleküler çapraz bağlı disülfid bağları içermeyle gliadinlere, 11S proteinleri ise intra- ve intermoleküler çapraz bağlı disülfid bağları içermeyle gluteninlere benzemektedir (Yazar ve ark., 2017; Morales ve Kokini, 1997). O nedenle bu çalışmada soya unu, pirinç ve karabuğday unu hamurlarında yapı oluşturuca etkisi incelenmek üzere seçilmiştir. Belirlenen reolojik davranışların

son ürün kalitesi üzerindeki etkisini anlayabilmek amacıyla glutensiz hamurların SAOS, MAOS, ve LAOS özellikleri buğday unu hamurunun viskoelastik davranışıyla karşılaştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyaller

Yumuşak kırmızı kışlık buğday unu [%12.17 nem, AACC metot 44-15.02 (AACC, 2010); %23.9 yaş gluten, AACC metot 38-10.01 (AACC, 2010); %60.2 su kaldırma, AACC metot 54-21.02 (AACC, 2010)] Siemer Milling Company (Hopkinsville, KY, ABD)' den temin edilmiştir. Pirinç unu [%6.48 nem, AACC metot 44-15.02 (AACC, 2010); ≈%6-7 protein (Amagliani ve ark., 2017)], ve karabuğday unu [%11.3 nem, AACC metot 44-15.02 (AACC, 2010); ≈%13 protein (Mariotti ve ark., 2008)] örnekleri ise General Mills (Minneapolis, MN, ABD) firmasından alınırken soya unu [%8.85 nem, AACC metot 44-15.02 (AACC, 2010); ≈%45-50 protein (Traynham et al., 2007)] National Soybean Research Center at UIUC (Urbana, IL, ABD) tarafından gönderilmiştir.

Yöntemler

Su kaldırma kapasitesi

Yumuşak buğday ununun optimum su kaldırma kapasitesi Farinograf testi (AACC 54-21.02 no'lu metot) ile belirlenmiştir. Fakat glutensiz un örnekleri Farinograf pedallarına tutunacak bir hamur kitlesi oluşturamadıkları için bu un örneklerinin optimum su kaldırma kapasitelerini Farinograf testi ile belirlemek mümkün olmamıştır. Bu amaçla, buğday unu hamurunun referans olarak kullanıldığı reolojik bir analize dayalı yeni bir yöntem kullanılmıştır. Yazar ve ark. (2017) tarafından ileri sürülen bu yöntemde, farklı oranlarda su verilerek hazırlanan glutensiz hamurların frekansa (ω : 0.1-100 rad/s) karşı elde edilen kompleks viskozite [η^* (Pa.s)] değerleri 500 BU konsistens değerinde elde edilmiş yumuşak buğday unu hamurunun frekansa karşı ölçülmüş η^* profili ile kıyaslanmıştır. Yumuşak buğday unu hamurunun η^* değerlerine en yakın η^* profilini gösteren su miktarı söz konusu glutensiz un örneği için optimum su kaldırma kapasitesi olarak kabul edilmiştir.

Glutensiz unların optimum su kaldırma miktarlarının belirlenmesinde kullanılan reolojik analizler DHR-3 Rheometer (TA Instruments, New Castle, DE, ABD) ile gerçekleştirilmiştir. Tüm reolojik analizlerde 40 mm çapındaki pürüzlü yüzeye sahip paralel plaka ve 2 mm ölçüm aralığı kullanılmıştır. Öncelikle, hamur örnekleri için doğrusal viskoelastik rejimin belirlenmesi amacıyla %0.01-200 gerinim aralığında, 10 rad/s frekans değerinde ve 25°C sıcaklıkta gerinim tarama testleri yapılmıştır. Gerinim tarama testleriyle belirlenen ve doğrusal rejime tekabül eden bir gerinim değeri kullanılarak, 0.1-100 rad/s frekans aralığında, frekans tarama analizleri gerçekleştirilmiştir. Reolojik analizlerin hepsi hamur örnekleri 1 N normal kuvvet değerine ulaşana kadar dinlendirildikten sonra yapılmıştır. Ölçüm sırasında nem kaybını önlemek için hamur örneklerinin etrafı vakum yağı ile kaplanmıştır. Zaman taraması testleri, bu şekilde hazırlanan hamur örneklerinin en az 12 saat boyunca nem değerini kaybetmeden muhafaza edilebildiğini göstermiştir.

Glutensiz un karışımlarının optimum su kaldırma değerlerinin belirlenmesi için üç farklı su miktarı (un miktarı üzerinden, v/w) kullanılmıştır. Pirinç-soya unu karışımı için 110:100, 115:100, 130:100 (su:un, v/w) oranlarında su ilavesi yapılarak hamur örnekleri hazırlanmıştır. Diğer taraftan, karabuğday-soya unu karışımı için 100:100, 105:100, 110:100 (su:un, v/w) oranları kullanılmıştır.

Hamur örneklerinin hazırlanması

Yumuşak buğday unu hamuru 300 g kapasiteli yoğurma haznesi olan Brabender Farinograf (Duisburg, Almanya) kullanılarak 54.21.02 no' lu AACC metoduna (AACC, 2010) göre hazırlanmıştır. Buğday unu hamuru 500 BU konsistens değerine ulaştığı noktada (pik noktası) yoğurma işlemi durdurulmuş ve elde edilen hamur örneği reolojik analizlerde kullanılmıştır. Glutensiz hamur örnekleri ise Farinograf mikserde yoğrulamadıkları için elde yoğurma işlemi ile hazırlanmıştır. Glutensiz un karışımları pirinç unu ve karabuğday ununa 8:2 (glutensiz un:soya unu, w/w) oranında soya unu ilave edilerek elde edilmiştir. Tüm hamur örneklerinin

hazırlanmasında kullanılan un örnekleri %14 nem miktarı baz alınarak tartılmıştır.

Yüksek Genlikli Salınımlı Kayma (LAOS) analizi

Glutensiz un karışımları ile hazırlanan hamur örnekleri ile yumuşak buğday unu ile hazırlanan hamurun doğrusal olmayan viskoelastik özellikleri DHR-3 Reometre (TA Instruments, New Castle, DE, ABD) kullanılarak LAOS (Yüksek Genlikli Salınımlı Kayma) test modunda gerçekleştirilmiştir. LAOS analizleri için %0.01-200 gerinim aralığı ve 10 rad/s frekans değeri kullanılmıştır. Kullanılan maksimum gerinim genliği (γ_0 : %200) duvar kayması olgusunun gerçekleşmediği en yüksek gerinim genliği olduğu için seçilmiştir. Artan gerinim genliği ile hamur örneklerinin LAOS analizleri sırasında duvar kayması olup olmadığı Yoshimura ve Prud'homme (1988) tarafından önerilen metot kullanılarak belirlenmiştir. Hamur örneklerinin LAOS davranışları 40 mm çapında pürüzlü yüzey (kumlanmış) paralel plaka geometri ve 2 mm ölçüm aralığı kullanılarak 25°C sabit sıcaklıkta analiz edilmiştir. LAOS analizleri öncesinde hamur örnekleri 1 N eksenel normal kuvvet değerine ulaşmaya kadar dinlendirilmiştir. LAOS testleri en az 3 kez tekrar edilmiş ve sonuçlar Ewoldt ve ark. (2008) tarafından geliştirilmiş olan Fourier dönüşümleri ile hesaplanan salınımlı verilerin ortalaması şeklinde sunulmuştur. LAOS veri analizleri TRIOS yazılımı (TA Instruments, New Castle, DE, ABD) kullanılarak yapılmış ve elde edilen veriler OriginPro 8.6 kullanılarak grafikler üzerinden ifade edilmiştir.

İstatistiksel analiz

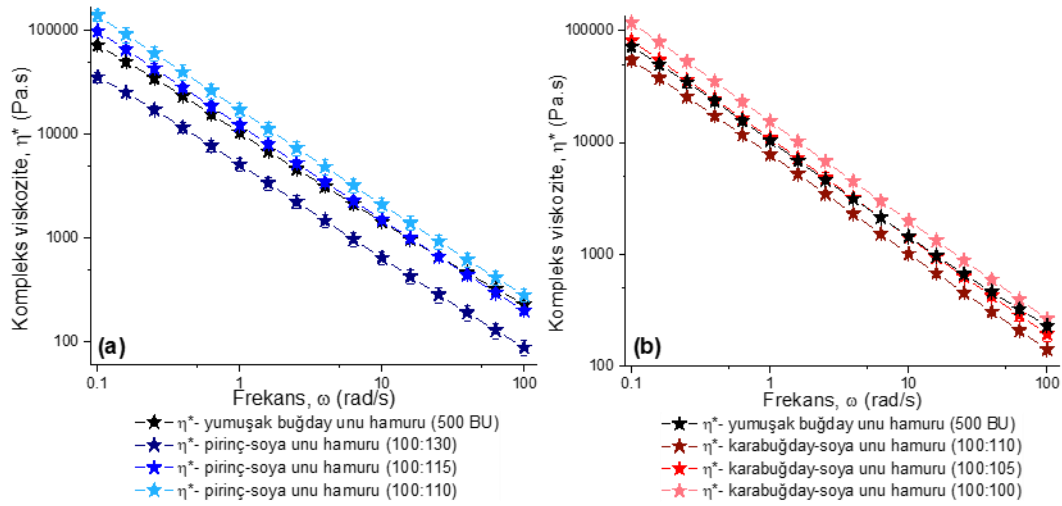
İstatistiksel analizler OriginPro 8.6 kullanılarak %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. Hamur örnekleri için elde edilen verilerin kıyaslanması amacıyla Tukey karşılaştırma testi ($P < 0.05$) kullanılmıştır. Reoloji verileri, analiz için seçilmiş olan her bir LAOS gerinimi için kıyaslanmıştır. Hamur örnekleri arasında reolojik olarak anlamlı bir fark olup olmadığını ifade etmek için harf sistemi kullanılmıştır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Glutensiz un karışımları ile hazırlanan hamurların optimum su kaldırma kapasiteleri

Farklı oranlarda su verilerek pirinç unu ve soya unu karışımından (8:2 pirinç unu:soya unu, w/w) hazırlanan hamur örnekleri üzerinde gerçekleştirilen frekans taraması analiz sonuçlarına göre (Şekil 1a), 500 BU konsistensdeki buğday unu hamuruna en yakın kompleks viskozite (η^*) değerleri 115:100 (su:glutensiz un

karışımı, v/w) oranında su ilavesiyle elde edilmiştir. Diğer taraftan, karabuğday unu ve soya unu karışımından (8:2 karabuğday unu:soya unu, w/w) hazırlanan hamur için 105:100 (su:glutensiz un karışımı, v/w) oranında su ilavesi, buğday unu hamuruna (500 BU konsistens) en yakın η^* değerlerini vermiştir (Şekil 1b). Dolayısıyla söz konusu su miktarları glutensiz un karışımları için optimum su kaldırma değerleri olarak kabul edilmiştir.



Şekil 1. Glutensiz un karışımlarının optimum su kaldırma kapasitelerinin belirlenmesi için kullanılan kompleks viskozite değerleri: a) Farklı miktarlarda su verilerek hazırlanan pirinç unu: soya unu karışımı (8:2, w/w), b) Farklı miktarlarda su verilerek hazırlanan karabuğday unu: soya unu karışımı (8:2, w/w)
 Figure 1. Complex viscosities used for determining the optimum water absorption capacities of gluten-free flour blends: a) rice:soy flour blend (8:2, w/w) with different levels of added water, b) buckwheat:soy flour blend (8:2, w/w) with different levels of added water

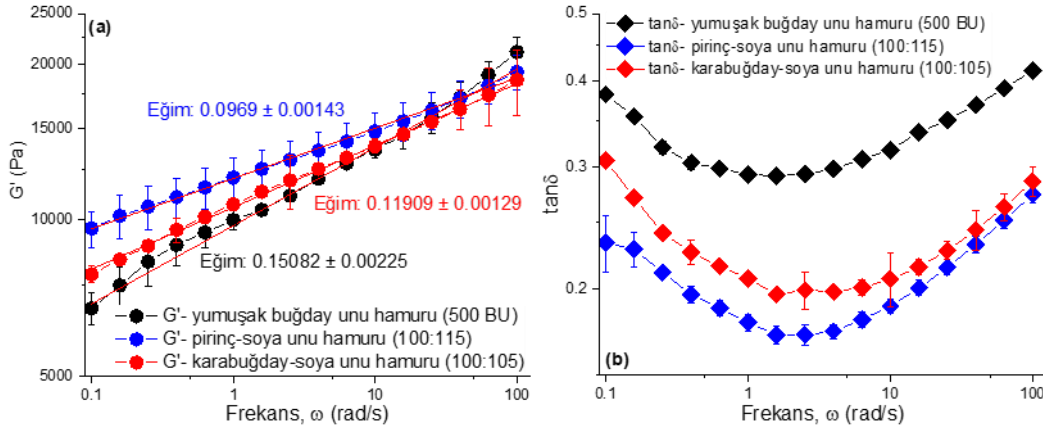
Daha önceki bir çalışmada, aynı yöntem kullanılarak, pirinç unu, karabuğday unu ve soya ununun optimum su kaldırma kapasiteleri sırasıyla %110, %90 ve %160 (v/w) olarak belirlenmiştir (Yazar ve ark., 2017). Yüksek protein miktarıyla soya unu, su ile etkileşim kurabilecek daha fazla aminoasit bağlantı noktasına sahip olduğu için daha yüksek bir su kaldırma kapasitesi değeri sergilemiştir (Traynham et al., 2007). Yapılan çalışmalar karabuğday ununun soya ununa kıyasla oldukça düşük su kaldırma kapasitesine sahip olduğunu bildirmiş (Tomotake et al., 2002) ve bu çalışmanın sonuçlarıyla uyum göstermiştir. Dolayısıyla karabuğday ununun %20' sinin soya unu ile değiştirilmesiyle elde edilen glutensiz un karışımının su kaldırma kapasitesi karabuğday

ununa kıyasla %15 artış göstererek %105 (v/w) olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan pirinç unu karabuğday ununa göre daha düşük protein miktarına sahip olmasına rağmen (Mariotti et al., 2008; Amagliani ve ark., 2017) daha yüksek su kaldırma kapasitesi sergilemiştir. Pirinç ununun, oldukça küçük boyutta (3-8 μ m) nişasta granüllerine sahip olması nedeniyle yüksek su kaldırma kapasitesine sahip olduğu belirtilmiştir (Huang ve Lai, 2010; Yazar ve Demirkese, 2022). Karabuğday unu için olduğu gibi, pirinç ununun %20' si soya unu ile değiştirildiğinde elde edilen glutensiz un karışımının su kaldırma kapasitesi pirinç ununa kıyasla %5 artarak %115 (v/w) değerine ulaşmıştır.

Glutensiz hamurların doğrusal viskoelastik özellikleri

Şekil 2a optimum su kaldırma kapasitesinde hazırlanmış pirinç unu- soya unu karışımı ile karabuğday unu- soya unu karışımı hamurlarının log-log ekseninde $G'(\omega)$ değerlerini gösterirken, Şekil 2b' de log-log ekseninde $\tan\delta(\omega)$ değerleri verilmiştir. Şekil 2a,b aynı zamanda yumuşak

buğday unu hamuruna ait doğrusal viskoelastik rejimde elde edilmiş frekans taraması verilerini de içermektedir. Bu hamur örneklerinin hepsi 0.1-100 rad/s frekans aralığında eşleşen η^* değerlerine sahiptir (Şekil 1a,b). Fakat buna rağmen, doğrusal rejimde gerçekleştirilen frekans tarama analizleri bu hamurların viskoelastik özelliklerinde farklılıklara işaret etmektedir.



Şekil 2. Optimum su miktarı ile hazırlanmış glutensiz un karışımları ve yumuşak buğday unu hamurlarının doğrusal viskoelastik özellikleri: a) log $G'(\omega)$ değerleri, b) log $\tan\delta(\omega)$ değerleri
Figure 2. Linear viscoelastic properties of gluten-free flour blend doughs and soft wheat flour dough prepared at their optimum water absorption levels: a) log $G'(\omega)$ values, b) log $\tan\delta(\omega)$ values

Logaritmik frekans değerlerine karşı çizilen log G' verilerine ait eğim değeri, Şekil 2a' da gösterildiği gibi, biyopolimerlerin mikro yapıları hakkında önemli bilgiler vermektedir (Georgopoulos ve ark., 2004). Log $G'(\omega)$ eğimi =0 ise söz konusu materyal kovalent bağlar içeren (çapraz bağlanmış) “kuvvetli jel” olarak sınıflandırılırken, eğim değeri >0 ise daha çok fiziksel bağlardan oluşan “zayıf jel” veya “yüksek konsantrasyonlu solüsyon” olarak tanımlanmaktadır (Georgopoulos ve ark., 2004; Zhang ve ark., 2017). Bu çalışmada glutensiz un karışımlarıyla hazırlanan hamurlar ve buğday unu hamuru sıfırdan büyük (>0) log $G'(\omega)$ eğim değerleri göstermiştir. En düşük eğim pirinç unu-soya unu hamuru için gözlenirken, en yüksek eğim buğday unu hamuru için bulunmuştur (Şekil 2a). Bu sonuç, glutensiz un karışımlarından hazırlanan hamurların küçük deformasyonlar altında buğday unu hamuruna kıyasla daha kuvvetli bir ağ yapısına sahip olduklarını ortaya koymuştur.

Ashokan ve Kokini (2005) yüksek log $G'(\omega)$ eğimi ve düşük G' değerinin birlikte görülmesini düşük oranda çapraz bağlanmanın göstergesi olarak ifade etmiştir. Bu çalışmada kullanılan frekans aralığında, özellikle düşük frekanslarda ($\omega < 10$ rad/s) gösterdiği en yüksek G' değerleri yanı sıra en düşük log $G'(\omega)$ eğim değeri ile pirinç unu-soya unu hamuru en kuvvetli doğrusal viskoelastik davranışı göstermiştir (Şekil 2a). Bu davranışın, pirinç ununda [%85 (Puncha-arnon and Uttapap, 2013)] karabuğday [%65-80 (Bhinder et al., 2020)] ve yumuşak buğday [%74 (Bian et al., 2015)] unlarına kıyasla daha yüksek olan nişasta miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Glutensiz nişasta örneklerine gluten eklenerek elde edilen hamurun reolojik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada (Shan et al., 2022), sadece glutensiz nişasta içeren kontrol hamurunun doğrusal rejimdeki G' değerleri gluten içeren nişasta hamurunun G' değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bunun sebebi de nişasta

moleküllerinde yüksek miktarda bulunan hidroksil gruplarının hidrofilik bir ortam yaratarak sistemin suya olan afinitesini artırdığı ve böylelikle doğrusal viskoelastik rejimde daha elastik bir davranışa neden olduğu şeklinde açıklanmıştır (Shan et al., 2022). Benzer şekilde, yumuşak buğday ve sert buğday unlarından elde edilen hamurların viskoelastik özellikleri incelendiğinde, yaş gluten miktarı düşük ve dolayısıyla nişasta miktarı fazla olan yumuşak buğday unu hamurunun SAOS rejimindeki G' değerlerinin buğday unu hamurunun G' değerlerinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Yazar, 2023b). Ayrıca, unlarda bulunan doğal nişasta granüllerinin yarı kristal ve sert yapısı SAOS rejimindeki viskoelastik davranışa yüksek elastisite olarak yansımaktadır (Shan et al., 2022).

Viskoelastik materyallerin fiziksel yapılarının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer reolojik parametre “kayıp tanjant” veya “ $\tan\delta$ ” değeridir. Bu boyutsuz parametre, deformasyonun her döngüsünde kaydedilen kayıp modülünün depolama modülüne olan oranı (G''/G') şeklinde ifade edilmektedir (Duvarcı ve ark., 2019). Bu çalışmada kullanılan frekans aralığında, tüm hamurların $\tan\delta$ değerlerinin 1’den küçük olduğu bulunmuştur (Şekil 2b). Diğer bir ifadeyle, G' değerleri G'' değerlerinden büyük seyretmiş ve dolayısıyla tüm hamur örnekleri katı-benzeri viskoelastik davranış göstermiştir. Benzer şekilde 1’den küçük $\tan\delta$ değerleri buğday unu hamuru (Edwards ve ark., 2003) ve glutensiz hamurlar (Gujral ve ark., 2003; Lazaridou ve ark., 2007) için de bulunmuştur. Fakat buğday unu hamurunun her iki glutensiz un karışımından elde edilen hamurun $\tan\delta$ değerlerinden daha yüksek $\tan\delta$ değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2b). Bu durum buğday unu hamurunun glutensiz hamurlara kıyasla daha az katı özellik gösterdiğine işaret etmektedir.

Glutensiz un karışımlarıyla hazırlanan hamurların doğrusal viskoelastik özellikleri frekans taraması analizi yanı sıra gerinim taraması analizleri ile de değerlendirilmiştir. Şekil 3a pirinç ununa soya unu ilave edilmesinin (pirinç unu:soya unu, 8:2, w/w) glutensiz hamurun G' ve G'' değerleri üzerindeki

etkisini kademeli olarak artan gerinim değerlerine karşı göstermektedir. Pirinç unu hamuru %0.25 gerinim değerinde doğrusal olmayan viskoelastik rejime geçiş yaparken [kritik gerinim (γ_{kri})], soya unu ilavesi ile elde edilen hamur için doğrusal olmayan viskoelastik rejimin başlangıcı γ_{kri} : %0.4 olarak bulunmuştur. Pirinç unu hamuruna soya unu ilavesiyle kritik gerinim değerinde gözlenen artış pirinç-soya unu hamurunun artan deformasyonlara karşı direncinin bir miktar arttığına işaret etmektedir. Glutensiz hamurların doğrusal viskoelastik özellikleri gerinim taraması verileri üzerinden belirlenen γ_{kri} değerlerinden düşük gerinim değerlerinde de incelenmiştir. Pirinç unu hamuru için doğrusal viskoelastik rejimde ($\gamma < \%0.25$) oldukça yüksek olan G' , soya unu ilavesi ile düşüş göstermiştir. Pirinç unu, soya unu, ve pirinç-soya unu karışımı hamurlarının G'' değerleri doğrusal viskoelastik rejimde benzer seyrettiği için (Şekil 3a) soya unu ilavesi doğrudan $\tan\delta$ değerinde anlamlı bir artışa ($P < 0.05$) neden olmuştur (Çizelge 1). Bu durumda soya unu ilavesinin pirinç ununun nispeten daha elastik olan doğrusal viskoelastik davranışını yumuşattığını söylemek mümkündür. Benzer şekilde, Hadnađev ve ark. (2013) pirinç unu hamurunun, buğday unu hamuruna kıyasla, küçük deformasyonlar altında daha düşük $\tan\delta$ değerleri ile daha elastik davranış gösterdiğini tespit etmiştir. Aynı zamanda pirinç unu hamurunun doğrusal viskoelastik rejimde ölçülen $\tan\delta$ değerinin glutensiz un, hidrokolloid veya gluten olmayan protein ilavesiyle artış gösterdiği belirlenmiş (Hadnađev ve ark., 2013; Dixit ve Bhattacharya, 2014) ve bu çalışmadaki sonuçla uyum göstermiştir (Çizelge 1).

Şekil 3b karabuğday ununa soya unu ilave edilmesinin (karabuğday unu:soya unu, 8:2, w/w) glutensiz hamurun G' ve G'' değerleri üzerindeki etkisini kademeli olarak artan gerinim değerlerine karşı göstermektedir. Karabuğday unu hamuru için kritik gerinim değeri γ_{kri} : %0.1 iken, soya unu ilavesiyle elde edilen hamur γ_{kri} : %0.15 gerinim değerine kadar doğrusal viskoelastik davranış göstermeye devam etmiştir. Pirinç unu hamurunda olduğu gibi (Şekil 3a), soya unu ilavesi karabuğday unu hamurunun da γ_{kri} değerini ve

dolayısıyla artan deformasyonlara karşı direncini az da olsa artırmıştır. Doğrusal viskoelastik rejimde ($\gamma_{kn} < 0.1$), karabuğday unu hamurunun G' değerleri soya unu ilavesi ile artış göstermiştir. Diğer taraftan karabuğday unu, soya unu ve karabuğday-soya unu karışımından elde edilen hamurların G'' değerleri SAOS rejiminde neredeyse aynı olduğu için karabuğday-soya unu

hamurunun $\tan\delta$ değeri karabuğday unu hamurunun $\tan\delta$ değerine kıyasla ($P < 0.05$) azalmıştır (Çizelge 1). Yani pirinç ununa soya unu ilavesinde görülenin tam aksine, karabuğday ununa soya unu ilavesi, elde edilen hamurun küçük deformasyonlar altında elastikiyetini artırmıştır (Şekil 3b).

Çizelge 1. Glutensiz hamurlar ile yumuşak buğday unu hamurunun SAOS, MAOS ve LAOS gerinimlerindeki tanjant delta ($\tan\delta$) değerler

Table 1. $\tan\delta$ values of gluten-free flour doughs and soft wheat flour dough at SAOS, MAOS, and LAOS strains

LAOS Gerinimleri (%)	Tanjant δ					
	Pirinç unu hamuru	Karabuğday unu hamuru	Soya unu hamuru	Pirinç-soya unu hamuru	Karabuğday-soya unu hamuru	Yumuşak buğday unu hamuru
SAOS rejimi	0.015	0.14±0.01 ^a	0.24±0.01 ^b	0.20±0.00 ^c	0.19±0.00 ^c	0.20±0.00 ^c
	0.06	0.14±0.01 ^a	0.24±0.00 ^b	0.20±0.00 ^c	0.19±0.00 ^c	0.20±0.00 ^c
MAOS rejimi	1.5	0.21±0.01 ^a	0.41±0.01 ^b	0.23±0.00 ^a	0.27±0.00 ^c	0.32±0.02 ^d
	4.5	0.30±0.02 ^{a,c}	0.52±0.03 ^b	0.26±0.00 ^a	0.35±0.01 ^c	0.43±0.02 ^d
	7.5	0.40±0.05 ^a	0.60±0.06 ^b	0.28±0.00 ^c	0.42±0.02 ^a	0.54±0.02 ^b
LAOS rejimi	25	1.08±0.11 ^{a,c}	1.02±0.12 ^{a,c}	0.48±0.02 ^b	1.00±0.00 ^{a,c}	1.15±0.01 ^a
	70	1.77±0.05 ^a	1.43±0.08 ^b	0.73±0.02 ^c	1.79±0.02 ^a	1.60±0.07 ^d
	110	2.43±0.07 ^a	1.88±0.09 ^b	0.92±0.03 ^c	2.44±0.02 ^a	2.02±0.13 ^b
	200	4.71±0.19 ^a	3.30±0.35 ^b	1.48±0.07 ^c	3.76±0.02 ^b	2.71±0.19 ^d

Glutensiz un ve un karışımlarıyla hazırlanmış hamurlar ile yumuşak buğday unu hamuruna ait $\tan\delta$ verileri seçilen her bir gerinim döngüsü için ayrıca değerlendirilmiştir.

Aralarında anlamlı fark bulunan ortalama veriler farklı harflerle ifade edilmiştir ($P < 0.05$).

Anlam düzeyi 0.05' tir.

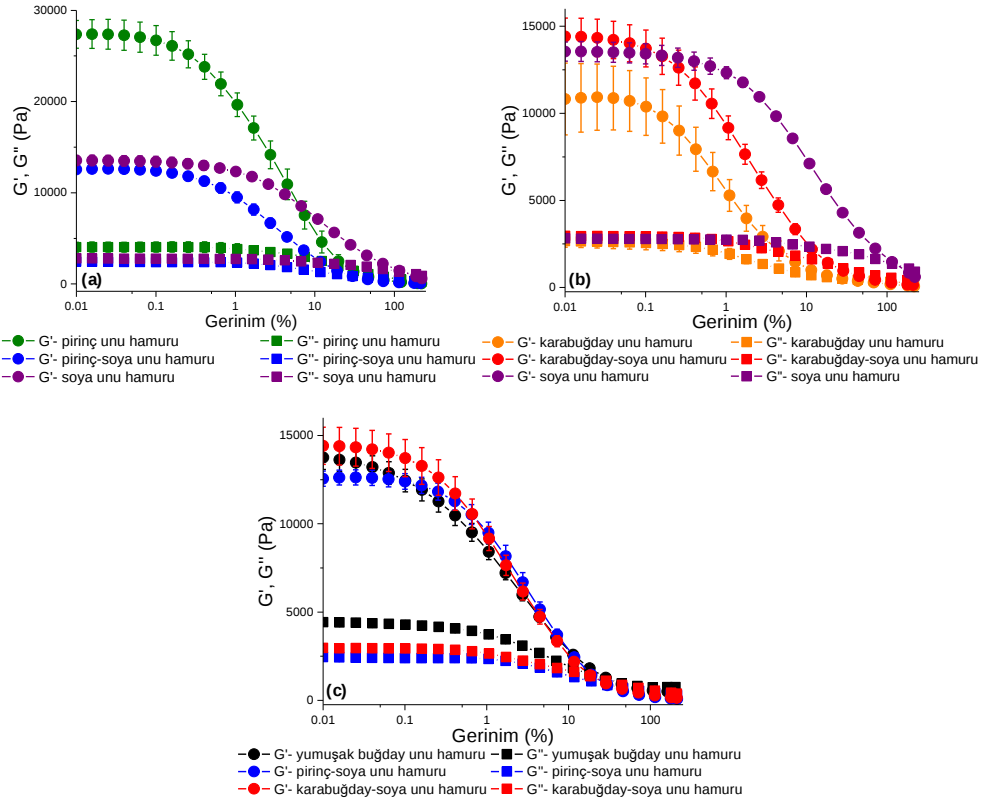
$\tan\delta$ values of doughs with gluten-free flour blends were compared to those of soft wheat flour dough at each strain amplitude for each frequency applied.

Means that do not share a letter are significantly different ($P < 0.05$).

Significance level is 0.05.

Soya unu ilavesiyle pirinç unu ve karabuğday unu hamurlarının SAOS rejiminde farklı viskoelastik davranış göstermesinin nedeninin bu iki glutensiz unun farklı protein kompozisyonlarına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Karabuğday proteinlerinin yaklaşık yarısı albuminlerden oluşmaktadır. Glütelin benzeri proteinler ise karabuğday proteinlerinin yaklaşık %4' ünü oluşturmaktadır. Dolayısıyla karabuğday unu hamurunun buğday unu hamurunda olduğu gibi bir protein ağ yapısı oluşturması mümkün değildir (Mariotti ve ark., 2008). Diğer taraftan pirinç proteinlerinin büyük bir bölümü (toplam proteinlerin %79-83' ü) glütelin proteinlerinden oluşurken; prolaminler (%2-7), albumin (%4-6) ve globülinler (%6-13) daha az miktarlarda

bulunmaktadır (Amagliani ve ark., 2017). Diğer protein fraksiyonlarına kıyasla daha yüksek moleküler ağırlığa sahip glütelin proteinlerinin pirinç ununda yüksek oranda bulunuyor olması, düşük deformasyonlar altında göstermiş olduğu elastik davranışı açıklamaktadır. Soya unu ise albumin ve globülinlere benzeyen suda çözünür ve globüler yapıdaki 2S proteinleri, gliadine benzeyen intramoleküler çapraz bağlar içeren 7S proteinleri, intramoleküler ve intermoleküler olarak bağlı 20 kat daha fazla disülfid bağları içeren 11S proteinlerinden oluşmaktadır (Morales ve Kokini, 1997). Soya unundaki 2S ve 7S proteinleri pirinç unu hamurundaki elastikiyeti azaltırken, 11S proteinleri ile glütelin içermeyen karabuğday hamurunun elastikiyetini artırmıştır.



Şekil 3. Hamur örneklerinin gerinim taraması verileri (ω : 10 rad/s): a) Pirinç unu, soya unu ve karışımından elde edilen hamurlar, b) Karabuğday unu, soya unu ve karışımından elde edilen hamurlar, c) Glutensiz un karışımı ile elde edilen hamurların yumuşak buğday unu hamuru ile kıyaslanması

Figure 3. Strain sweeps of dough samples (ω : 10 rad/s): a) Rice flour, soy flour, and rice-soy flour blend doughs, b) Buckwheat flour, soy flour, and buckwheat-soy flour blend doughs, c) Comparison of gluten-free flour blend doughs with soft wheat flour dough

Glutensiz un karışımlarıyla hazırlanmış hamurların SAOS rejimindeki G' ve G'' değerleri aynı kompleks viskozite değerine sahip buğday unu hamuruyla kıyaslandığında (Şekil 3c), G' değerleri arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır ($P>0.05$). G' ve G'' verileri birlikte incelenip $\tan\delta$ ($=G''/G'$) verileri değerlendirildiğinde (Çizelge 1), glutensiz un karışımlarından elde edilen hamurların benzer ($P>0.05$) ve buğday unu hamuruna kıyasla daha düşük ($P<0.05$) $\tan\delta$ değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Bu da küçük deformasyonlar altında glutensiz un karışımlarından hazırlanan hamurların buğday unu hamuruna kıyasla daha elastik davranış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Doğrusal viskoelastik rejimde gerinim taraması ile elde edilen $\tan\delta$ verileri (Çizelge 1), frekans taraması ile elde edilen $\tan\delta$ verileri (Şekil 2b) ile uyumlu bulunmuştur. Ayrıca, gerinim taraması testlerinde düşük deformasyonlarda elde edilen G' ve G'' verileri (Şekil 3c) incelendiğinde %0.1 gerinim değerinde doğrusal olmayan viskoelastik davranış göstermeye başlaması nedeniyle buğday unu hamurunun pirinç-soya unu hamuru (γ_{kri} %0.4) ve karabuğday-soya unu hamuruna (γ_{kri} %0.15) kıyasla daha düşük deformasyon değerinde ağ yapısının bozulmaya başladığı tespit edilmiştir.

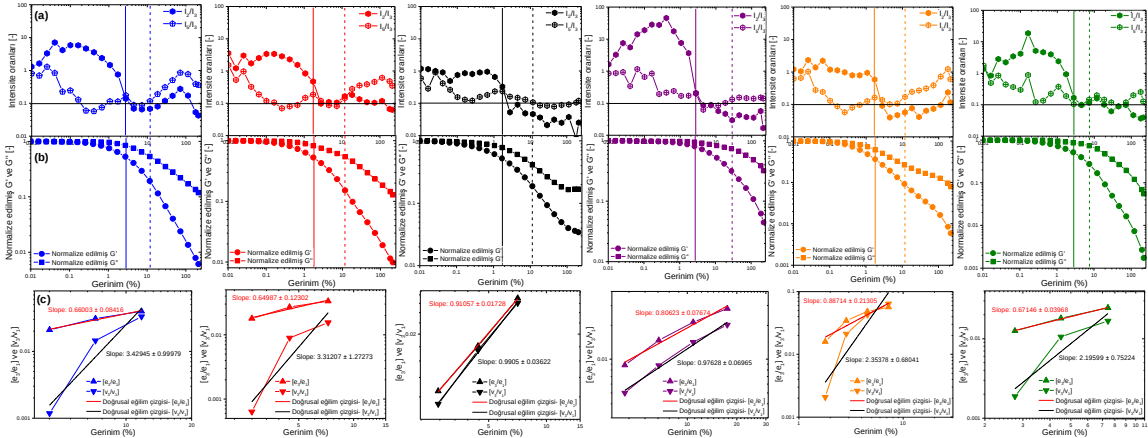
Küçük deformasyon (SAOS) testleri hamurların pişirme kaliteleri ile yüksek korelasyon göstermek yerine daha çok mikro yapıları hakkında fikir

vermek açısından faydalı olmaktadır (Yazar, 2023a; Lazaridou ve ark., 2007). Bu nedenle, glutensiz hamurların pişirme kaliteleri ile ilgili daha derinlemesine bilgi edinebilmek amacıyla, makalenin sonraki kısımlarında glutensiz hamurların orta (MAOS) ve yüksek (LAOS) deformasyonlar altında göstermiş oldukları viskoelastik davranışlar incelenmiş ve buğday unu hamurunun aynı deformasyonlar altındaki viskoelastik davranışı ile kıyaslanmıştır.

Glutensiz hamurların MAOS rejimindeki viskoelastik özellikleri

Hamur örneklerinin MAOS rejiminde viskoelastik davranışlarının analiz edilebilmesi için öncelikle MAOS rejiminin gerinim aralığı belirlenmelidir. Bu amaçla doğrusal olmayan viskoelastik davranışın başlangıcını ifade eden ve Fourier dönüşüm reolojisinden elde edilen üçüncü derece harmonik sayısından yararlanılmaktadır (Ewoldt ve Bharadwaj, 2013; Ertürk ve ark., 2023; Hyun ve Wilhelm, 2018). İkinci harmonik intensitenin üçüncü harmonik intensiteye oranı (I_2/I_3) çok gürültülü MAOS verisi için güvenli alana, başka bir ifadeyle $I_2/I_3 < 0.1$ MAOS rejimin başlangıç gerinim değerine işaret etmektedir. Diğer taraftan beşinci harmonik intensitenin üçüncü harmonik intensiteye oranı (I_5/I_3) çok fazla doğrusal

olmayan MAOS verisi için güvenli ölçüt kabul edilmekte ve $I_5/I_3 > 0.1$ MAOS rejiminin son bulunduğu gerinim değerini ifade etmektedir (Yazar, 2023a; Ertürk ve ark., 2023; Singh ve ark., 2018). Şekil 4a pirinç-soya unu, karabuğday-soya unu, buğday unu, soya unu, karabuğday unu, ve pirinç unu hamurları için %0.01-200 gerinim aralığında çizilmiş intensite oranları üzerinden MAOS haritasını göstermektedir. Şekil 4a'ya göre, MAOS rejiminin en düşük ($I_2/I_3 < 0.1$) ve en yüksek ($I_5/I_3 > 0.1$) gerinim değerleri pirinç-soya unu hamuru için %2.5-11, karabuğday-soya unu hamuru için %1.5-11, buğday unu hamuru için %1.5-11, soya unu hamuru için %2.5-18, karabuğday unu hamuru için %1.5-11, ve pirinç unu hamuru için %2.5-7.5 olarak belirlenmiştir. Glutensiz hamurların MAOS gerinim aralığı ilk kez bu çalışmada belirlenmiştir. Yumuşak buğday unu hamurunun MAOS özellikleri daha önce yine 10 rad/s frekansta çalışılmış ve %0.005-1 gerinim aralığındaki harmonik intensite oranlarının MAOS rejiminde olmak için çok gürültülü olduğu da belirtilmiştir (Ertürk ve ark., 2023). Bu çalışmada elde edilen harmonik intensite oranları da tüm hamur örnekleri için %1.5 gerinime kadar MAOS rejimi için çok gürültülü bulunmuştur (Şekil 4a).



Şekil 4. Glutensiz hamurlar ve yumuşak buğday unu hamurunun MAOS özellikleri (mavi: pirinç-soya unu hamuru, kırmızı: karabuğday-soya unu hamuru, siyah: yumuşak buğday unu hamuru, mor: soya unu hamuru, turuncu: karabuğday unu hamuru, yeşil: pirinç unu hamuru): a) MAOS haritası, b) Normalize edilmiş G' ve G'' , c) MAOS rejiminde e_3/e_1 ve v_3/v_1 mutlak değerlerindeki logaritmik değişim

Figure 4. MAOS behavior of gluten-free flour doughs and soft wheat flour dough (blue: rice-soy flour dough, red: buckwheat-soy flour dough, black: soft wheat flour dough, purple: soy flour dough, orange: buckwheat flour dough, green: rice flour dough): a) MAOS map, b) Normalized G' and G'' , c) The logarithmic change of the absolute values of e_3/e_1 and v_3/v_1 in the MAOS region

I_2/I_3 ve I_5/I_3 üzerinden belirlenen MAOS gerinim aralıkları incelendiğinde, soya unu hamurunun en geniş gerinim aralığına sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4a). MAOS rejiminin daha geniş olması hamurun artan gerinim genliği karşısında yapısal deformasyona çok fazla uğramadan daha dayanıklı kalabildiğinin göstergesi olarak ifade edilmiştir (Ertürk ve ark., 2023). Bu çalışmada analiz edilen glutensiz hamurlar arasında ve hatta buğday unu hamuruna kıyasla, MAOS deformasyonları altında en dayanıklı viskoelastik davranışı soya unu hamuru göstermiştir. Bunun nedeni olarak soya ununun %46 civarındaki yüksek protein içeriği (Yazar ve ark., 2017) ve bu proteinlerin farklı fonksiyonel özelliklere sahip fraksiyonları (Morales ve Kokini, 1997) gösterilebilmektedir. Dolayısıyla, pirinç ununun %20' sinin soya unu ile değiştirilmesi ile elde edilen hamurun MAOS gerinim aralığı pirinç unu hamuruna göre genişleme göstermiştir. En dar MAOS gerinim aralığı pirinç unu hamuru için görülmüştür. Pirinç unu hamuru en düşük gerinim genliğinde LAOS rejimine geçiş gösteren hamur olmuştur. Pirinç unu hamurunun yüksek nişasta içeriği ve gliadin benzeri uzayabilirlik yetisine sahip bir proteinden yoksun olması nedeniyle daha düşük gerinim değerlerinde LAOS rejimine girmiş olduğu düşünülmektedir. Doğrusal viskoelastik rejimde yüksek elastisite gösteren nişasta-su karışımının artan frekans karşısında bozulmaya uğradığı ve bunun sebebinin ise yarı akışkan bir viskoelastik hamur gibi akışkanlık özelliği gösterememesi olduğu belirtilmiştir (Shan ve ark., 2022). Sonuç olarak, soya unu ilavesi pirinç unu hamurunun deformasyonlar karşısındaki direncini MAOS rejiminde artırmıştır (Şekil 4a). Fakat karabuğday unu hamurunun MAOS gerinim aralığı 8:2 (w/w) oranında karabuğday unu:soya unu karışımı ile değişime uğramamıştır. Artan MAOS gerinim genliğinin neden olduğu deformasyonu aşabilmek için karabuğday ununun daha yüksek oranda (>%20) soya unu ile karıştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Hamur örneklerinin MAOS analizlerinin bir sonraki adımında normalize edilmiş G' ve G'' verileri incelenmiştir (Şekil 4b). Bu amaçla 0.01%-200% gerinim aralığında elde edilen G' ve G''

verileri SAOS rejimindeki (γ_0 : 0.1% gerinimde) G' ve G'' değerleri ile normalize edilmiş ve gerinim genliğine karşı log-log ekseninde sunulmuştur. MAOS rejimine denk gelen G' ve G'' (birinci harmonik MAOS modülleri) verilerine bakıldığında, tüm hamurlar için G' ve G'' değerlerinin düşüş gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4b). Hyun ve ark. (2002) tarafından ileri sürülen doğrusal olmayan materyal davranışı sınıflandırmasına göre, doğrusal olmayan viskoelastik rejimin başlangıcında normalize edilmiş G' ve G'' değerlerinin her ikisi de azalış gösteriyorsa, materyal "*gerinim incelmesi*" olarak da bilinen "tip I" doğrusal olmayan davranış gösteriyor demektir. Bu durumda, bu çalışmada analiz edilen tüm hamur örnekleri tip I davranış göstermiştir. Hyun ve ark. (2002) tarafından ileri sürülen bu sınıflandırmaya dayalı bir analiz daha önce hamur örnekleri üzerinde yapılmamıştır. Fakat gluten benzeri bir protein olarak keçiyoynuzu rüşeymi glutelin fraksiyonundan Farinograf yoğurma işlemi ile 500 BU konsistenste elde edilen hamurun da bu çalışmadaki hamur örnekleri gibi tip I davranış gösterdiği tespit edilmiştir (Yazar ve ark., 2023). Diğer taraftan, 500 BU konsistenste elde edilmiş gluten hamurunun (500 BU) ise tip III (*zayıf gerinim aşımı*) ve tip IV (*kuvvetli gerinim aşımı*) karışımı doğrusal olmayan davranış gösterdiği belirlenmiştir (Yazar ve ark., 2022).

Tip III doğrusal olmayan davranışta G' azalırken, G'' önce artış gösterip sonrasında azalarak devam eder. Tip IV davranışta ise G' ve G'' değerlerinin her ikisi de önce artış sonrasında azalma göstermektedir (Hyun ve ark., 2002; Song ve Hyun, 2019). Tip IV davranışın temelinde artan deformasyonlara direnç gösteren, hidrofobik gruplar arasındaki intermoleküler (moleküller arası) bağlantılardan oluşmuş ağ yapısı olduğu düşünülmektedir. Tip III davranış gösteren sistemlerde bu ağ yapısı biraz daha zayıftır. Tip I davranış ise daha çok kayma incelmeleri davranışına benzetilmektedir. Deformasyonun küçük olduğu doğrusal viskoelastik rejimde G' ve G'' sabittir. Gerinim genliği (deformasyon) arttıkça [MAOS rejimine girildikçe] polimer zincirleri ayrışır ve akış alanı yönünde hizalanmaya başlarlar. Bu şekilde

sistem, uygulanan deformasyon karşısında daha kolay akmaya başlar ve G' ve G'' değerlerinin azalma gösterdiği tip I doğrusal olmayan davranış gözlemlenir (Hyun ve ark., 2002).

Bu çalışmada buğday unu hamurunun tip I davranış göstermesinin arkasında yumuşak buğday ununun yüksek oranda nişasta içermesinin olduğu düşünülmektedir. Soya unu bu çalışmada kullanılan diğer glutensiz unlar ve buğday ununa kıyasla daha yüksek protein (%45-50) içermektedir (Traynham et al., 2007; Yazar ve ark., 2017). Fakat buna rağmen yine tip I davranış göstermesinin sebebi protein kalitesi ile açıklanabilmektedir. Yine gluten içermeyen keçiyoynuzu rüşeyminden ekstrakte edilen suda çözünmeyen protein fraksiyonu da aynı sebeple tip I davranış göstermiştir (Yazar ve ark., 2023). Glutensiz unlardaki genellikle yüksek nişasta miktarı ve protein yapılarının artan deformasyonlar karşısında gluten proteinine kıyasla daha az dayanıklı olmaları glutensiz hamurların tip I davranış göstermesinin (Şekil 4b) nedenleri olarak sıralanabilmektedir. MAOS deformasyonları altında hamur örnekleri için elde edilen normalize edilmiş G' ve G'' değerleri (Şekil 4b) MAOS rejiminde belirlenmiş $\tan\delta$ verileriyle (Çizelge 1) uyum göstermektedir. Çizelge 1' de verilen MAOS gerinimleri hamur örneklerinin çoğu için geçerli aralığı kapsamaktadır. Fakat, soya unu hamuru için MAOS rejimi daha geniş bir gerilim aralığını kapsadığı için (%2.5-18) Çizelge 1' de verilen gerinim değerlerinde $\tan\delta$ ve normalize edilmiş G' ve G'' değerleri (Şekil 4b) çok değişim göstermemiştir. SAOS rejimindeki $\tan\delta$ değerleri göz önüne alındığında, pirinç-soya unu hamurunun $\tan\delta$ değerleri pirinç unu hamuruna kıyasla daha az artmıştır (Çizelge 1). Bu da soya unu ilavesiyle pirinç unu hamurunun artmaya başlayan deformasyonlar karşısında daha dayanıklı bir yapı kazandığını göstermektedir. Aynı durum karabuğday ununa soya unu ilavesiyle elde edilen hamur için de belirlenmiştir (Çizelge 1). Fakat karabuğday-soya unu hamurunun MAOS rejiminde artan deformasyonlara karşı dayanıklılığı pirinç-soya unu hamuruna göre daha düşüktür. Buğday unu hamuru ise hem $\tan\delta$ (Çizelge 1) hem de normalize edilmiş G' ve G''

değerlerinden (Şekil 4b) anlaşıldığı üzere, MAOS deformasyonları altında pirinç-soya unu hamuruna kıyasla daha zayıf, karabuğday-soya unu hamuruna kıyasla daha dayanıklı bir yapı sergilemiştir.

Bir materyalin doğrusal viskoelastik rejimdeki gerilim yanıtı Fourier dönüşümü ile birinci harmonik üzerinden belirlenebilmektedir. Gerinim taraması analizinde gerinim genliği arttıkça, yani materyalin maruz kaldığı deformasyonun büyüklüğü arttıkça, gerilim yanıtını gösteren sinüzoidal dalganın şekli bozulmaya başlar ve bu noktada materyal gerilim yanıtına bağlı olarak tek sayılı daha büyük harmonikler (3., 5., 7., vb.) analiz sırasında elde edilir. İlk etapta 3. derece harmonik intensitesi belirlemeye başlar ve o nedenle doğrusal olmayan viskoelastik rejimin başlangıcındaki materyal davranışı daha çok 3. derece harmonik ile tanımlanmaktadır (Ertürk ve ark., 2023). Şekil 4b'de görüldüğü gibi 1. harmonik MAOS modülleri Hyun ve ark. (2002) tarafından ileri sürülmüş olan doğrusal olmayan davranışın belirlenmesinde kullanılmaktadır (Song ve Hyun, 2019). Diğer taraftan, 3. harmoniklerin doğrusal olmayan davranışın sinyallerini vermeye başladığı noktada Chebyshev sabitleri üzerinden materyallerin fiziksel analizinin yapılması, daha ileri dereceden harmoniklerin dahil olduğu LAOS rejimine kıyasla daha sağlıklı bilgi verebilmektedir (Ewoldt ve Bharadwaj, 2013). Şekil 4c' de 3. derece elastik (e_3) ve viskoz (v_3) Chebyshev sabitlerinin 1. derece sabitlere (e_1 ve v_1) oranlarının mutlak değerleri tüm hamur örnekleri için belirlenen MAOS gerinim aralığında log-log ekseninde verilmiş ve doğrusal olmayan rejimin başlangıcında deformasyonlar artarken bu sabitlerin sergilemiş olduğu artış eğimi tespit edilmiştir. Ewoldt ve ark. (2008) e_3/e_1 değerlerinin gerinim katılaşması (>0) veya gerinim yumuşaması (<0) davranışını tanımlarken, v_3/v_1 değerlerinin kayma incelmesi (<0) veya kayma kalınlaşması (>0) davranışını ifade etmekte kullanıldığını ileri sürmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar en düşük e_3/e_1 eğim değerini karabuğday hamuru için göstermiştir. En yüksek e_3/e_1 eğim değeri ise soya unu ve buğday unu hamurları için tespit edilmiştir. Karabuğday ununa

soya unu ilavesiyle elde edilen hamurda e_3/e_1 eğiminde azalma gözlenmiştir. Başka bir ifadeyle, doğrusal olmayan viskoelastik rejimin başlangıcında soya unu ilavesiyle karabuğday unu hamurunun gerinim katılaşmasında artış meydana gelmiştir. Pirinç unu hamuru ve pirinç-soya unu hamuruna ait e_3/e_1 eğim değerleri birbirine yakın bulunmuştur. Dolayısıyla pirinç ununa soya unu ilavesi sonucu elde edilen hamurda, pirinç unu hamuruna kıyasla, MAOS deformasyonlarında gerinim katılaşması davranışında bir değişiklik olmamıştır (Şekil 4c).

MAOS deformasyonları altında hamur örneklerinin gösterdiği v_3/v_1 eğim değerleri incelendiğinde (Şekil 4c) ise en düşük eğim değeri soya unu hamuru için belirlenmiştir. Bu da demek oluyor ki kademeli olarak artan gerinim genliği karşısında en az viskoz bozulma soya unu hamurunda meydana gelmiştir. En yüksek v_3/v_1 eğim değerleri ise glutensiz un karışımlarıyla hazırlanmış hamur örneklerinde görülmüştür. Soya unu ilavesine rağmen glutensiz un karışımlarıyla hazırlanan hamurların MAOS deformasyonlarında daha yüksek kayma incelenmesi göstermelerinin nedeninin farklı unların birleşimiyle elde edilen hamur ağ yapısının artan deformasyonlar karşısında ilk etapta daha kolay ayrışma göstermesi olduğu düşünülmektedir.

Glutensiz hamurların LAOS rejimindeki viskoelastik özellikleri

Lissajous-Bowditch eğrilerinin analizi

Glutensiz unların karışımı sonucu elde edilen hamurların artan deformasyonlar karşısında göstermiş oldukları doğrusal olmayan viskoelastik davranış hakkında kalitatif bilgi edinebilmek amacıyla glutensiz hamurlar ve buğday unu hamuruna ait elastik (Şekil 5a) ve viskoz (Şekil 6a) Lissajous-Bowditch eğrileri analiz edilmiştir. Lissajous-Bowditch eğrileri gerilimin gerinime karşı (elastik) veya gerilimin kayma gerilimine karşı (viskoz) çizilmesiyle elde edilen parametrik grafiklerdir (Yazar ve ark., 2019; Macias-Rodriguez ve ark., 2018). Bu grafikler kompleks akışkanların reolojik davranışlarının parmak izi olarak kabul edilmektedir (Ewoldt ve ark., 2007).

Şekil 5a, doğrusal rejimden doğrusal olmayan rejime geçişi ifade eden seçili gerilim değerlerinde

(%0.015, %1.5, %25, %70, %110, %200), glutensiz ve buğday unu hamur örneklerine ait elastik Lissajous-Bowditch eğrilerindeki değişimi göstermektedir. Gerilim değeri %1.5' tan düşükken ($\gamma_0 < \%1.5$) tüm hamur örnekleri için Lissajous-Bowditch eğrilerinin dar elips şeklinde olması gerilim yanıtı üzerinde doğrusal viskoelastik davranışın hakim olduğunu ifade etmektedir. Gerinim genliğinin artmasıyla birlikte ($\%1.5 \leq \gamma_0 \leq \%200$) dar elipslerin genişlemeye başladığı görülmektedir. Bu da tüm hamur örnekleri için elastisitenin hâkim olduğu viskoelastik davranışın yerini viskoz ağırlıklı viskoelastik davranışın aldığı göstergesidir (Ewoldt ve ark., 2007). Diğer bir ifadeyle, artan deformasyonlar karşısında hamur örnekleri daha akışkan davranış göstermeye başlamışlardır. %200 gerinim değerinde, elastik Lissajous-Bowditch eğrileri arasında en dar elips şekli soya unu hamuruna aitken, en geniş elips pirinç unu hamurunda görülmüştür. Dolayısıyla, LAOS deformasyonları karşısında en elastik davranışı soya unu hamuru gösterirken, en fazla elastik bozulmaya uğrayan hamur pirinç unu hamuru olmuştur (Şekil 5a). Hatta, pirinç unu hamuruna ait elastik Lissajous-Bowditch eğrileri yüksek gerinim değerlerinde elips şeklinden çıkıp dikdörtgen benzeri şekil almaya başlamıştır. Elastik Lissajous-Bowditch eğrilerinde görülen bu dikdörtgen şekil elastoviskoplastik davranışı ifade etmektedir (Vishal ve Ghosh, 2020). Pirinç-soya unu karışımından elde edilen hamura ait elastik Lissajous-Bowditch eğrisinde en yüksek LAOS gerinimde bile dikdörtgen şekil görülmemiştir (Şekil 5a). Bu da pirinç ununa soya unu ilavesinin hamurun yüksek deformasyonlar karşısındaki elastikiyetini artırdığını göstermektedir. Benzer şekilde, %200 gerinimde, karabuğday-soya unu hamuruna ait elastik Lissajous-Bowditch eğrisi karabuğday unu hamurununkine kıyasla daha dar elips şekli göstererek soya unu ilavesinin bu glutensiz un örneğinde de elastikiyeti artırdığını göstermiştir.

Her bir LAOS gerinim döngüsü için ham gerilim [$\sigma(t)$] verisinin gerinime [$\gamma(t)$] karşı çizilmesiyle, doğrusal olmayan davranış ile ilgili, G_1' ve G_1'' tarafından belirlenemeyen daha derinlemesine bilgi edinilebilmektedir (Ewoldt ve ark., 2008).

Gerinim arttıkça elastik Lissajous-Bowditch eğrilerinin saat yönünde dönmesi kademeli olarak artan bir yumuşamanın göstergesidir (Ewoldt ve ark., 2007). Şekil 5a' da verilen, seçili LAOS gerinimlerinde çizilmiş elastik Lissajous-Bowditch eğrileri, her bir hamur örneği için üst üste gelecek şekilde tek bir grafikte gösterilmiştir (Şekil 5b). Buna göre, artan LAOS gerinimlerinde en fazla yumuşama pirinç unu hamurunda görülmüştür. Soya unu ilavesiyle, elastik Lissajous-Bowditch eğrilerinin artan gerinim değerleriyle birlikte saat yönünde dönüşü azalmış ve pirinç unu hamuruna kıyasla yumuşama miktarında azalma kaydedilmiştir (Şekil 5b).

Tsatsaragkou ve ark. (2014) bu çalışmada olduğu gibi pirinç ununu belirli oranlarda keçiyoynuzu unuyla değiştirerek glutensiz un karışımı elde etmiş ve bu un karışımından elde edilen hamurun doğrusal olmayan viskoelastik rejimdeki davranışını incelemiştir. Keçiyoynuzu unu %50' nin üzerinde protein miktarıyla soya unu gibi yüksek protein içeren glutensiz bir un alternatifidir (Yazar ve ark., 2023). Dolayısıyla keçiyoynuzu unu ilavesiyle pirinç unu hamurunun doğrusal olmayan viskoelastik rejimde daha elastik bir davranış gösterdiği belirlenmiş (Tsatsaragkou ve ark., 2014) ve bu çalışmadaki sonuçla uyumlu bulunmuştur. Karabuğday unu hamurunda ise soya unu ilavesinin etkisi özellikle en yüksek LAOS geriniminde (%200) meydana gelmiştir. Daha düşük LAOS gerinimlerinde ($\gamma_0 < \%200$) karabuğday unu ve karabuğday-soya unu hamurlarına ait elastik Lissajous-Bowditch eğrileri benzer derecede yumuşamaya işaret etmektedir. LAOS gerinimlerinde elde edilen $\tan\delta$ değerleri (Çizelge 1) elastik Lissajous-Bowditch eğrilerinin (Şekil 5b) işaret ettiği yumuşama derecesiyle uyum göstermektedir. Pirinç ve karabuğday hamurlarına kıyasla, pirinç-soya ve karabuğday-soya hamurlarının $\tan\delta$ değerlerinde en bariz ve anlamlı azalma %200 LAOS deformasyonunda ($P < 0.05$) görülmüştür (Çizelge 1). Glutelin proteinlerince zayıf olan karabuğday ununa (Mariotti ve ark., 2008) soya unu ilavesinin SAOS rejiminde kazandırmış olduğu elastikiyet artan deformasyonlar tarafından gölgelenmiş olsa da (Çizelge 1) en yüksek LAOS deformasyonunda soya proteinleri karabuğday-soya hamur

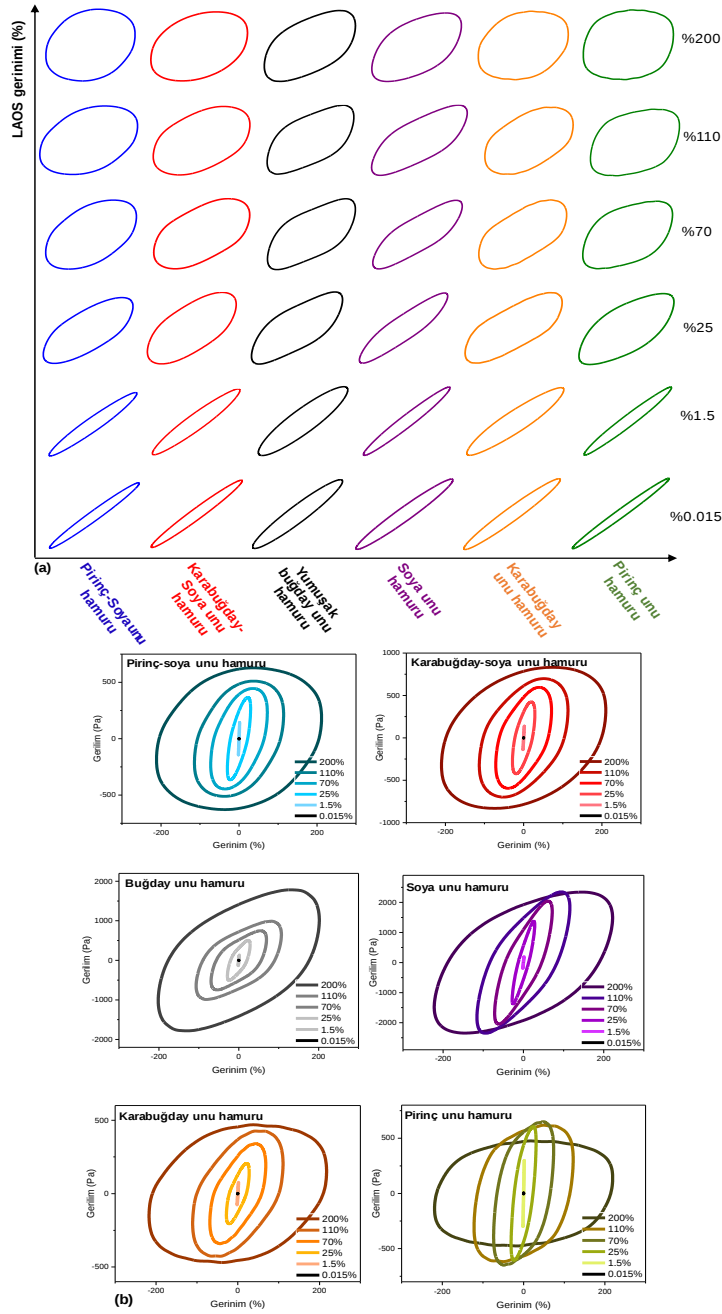
sisteminin deformasyon dayanıklılığını karabuğday hamuruna kıyasla artırmıştır (Şekil 5a,b). Diğer taraftan yüksek miktarda glutelin içermesine rağmen pirinç unu hamuru, SAOS rejiminin aksine (Şekil 3a), LAOS rejiminde en akışkan hamur yapısını sergilemiştir (Şekil 5a,b). Bunun nedeni ise pirinç glutelinlerinin fonksiyonel özelliklerinin zayıf olması ve yüksek molekül ağırlıklı suda çözünmeyen protein yapıları oluşturması ile açıklanmıştır (Amagliani ve ark., 2017). Dolayısıyla soya ununda bulunan 2S, 7S, ve 11S proteinleri pirinç unu hamurunun deformasyonlar karşısındaki elastikiyetini artırmıştır.

Elastik Lissajous-Bowditch eğrileri üzerinden gerinim katılaşması veya yumuşaması davranışı hakkında fikir edinmek de mümkün olmaktadır. LAOS gerinimi arttıkça eliptik şekilde meydana gelen bozulma gerinim katılaşmasının göstergesidir (Ewoldt ve ark., 2007). %25 gerinimde, ani gerilim artışı ile, hamur örneklerinin hepsinin elastik Lissajous-Bowditch eğrilerinin elips şeklinde bozulma meydana gelmiştir. Bu gerilim artışı söz konusu gerinim döngüsünde gerinim katılaşması davranışına işaret etmektedir. LAOS gerinimi arttıkça ($\gamma_0 > \%25$), elastik Lissajous-Bowditch eğrilerindeki gerilim artışına bağlı görülen gerinim katılaşması davranışı pirinç unu, soya unu, ve buğday unu hamurları için artarak devam ederken, glutensiz un karışımları ve karabuğday unu ile elde edilen hamur örneklerinde giderek yok olmuştur (Şekil 5a).

Glutensiz hamur örneklerine ait viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri ise buğday unu hamuruna ait eğrilerle birlikte Şekil 6a' da verilmektedir. Doğrusal viskoelastik rejimde ($\gamma_0 = \%0.015$), tüm hamur örneklerine ait viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri dairesel şekil göstermiştir. Daha önce benzer şekilde buğday unu hamurları (Yazar ve ark., 2016a; Yazar ve ark., 2016b) ve glutensiz hamurlar (Yazar ve ark., 2017) için doğrusal viskoelastik rejimde dairesel şekil gösteren viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri elde edilmiştir. LAOS gerinimleri artıp hamur örnekleri doğrusal olmayan viskoelastik rejime geçince ($\gamma_0 \geq \%1.5$), dairesel şeklindeki viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri daralma göstermiştir. Artan

deformasyonlar karşısında dairesel şeklindeki viskoz Lissajous-Bowditch eğrilerinde en fazla daralma pirinç unu hamurunda görülmüştür. Bu da elastik Lissajous-Bowditch eğrilerinin işaret

ettiği gibi (Şekil 5a) en fazla viskoz bozulmanın pirinç unu hamurunda görüldüğünü desteklemektedir.

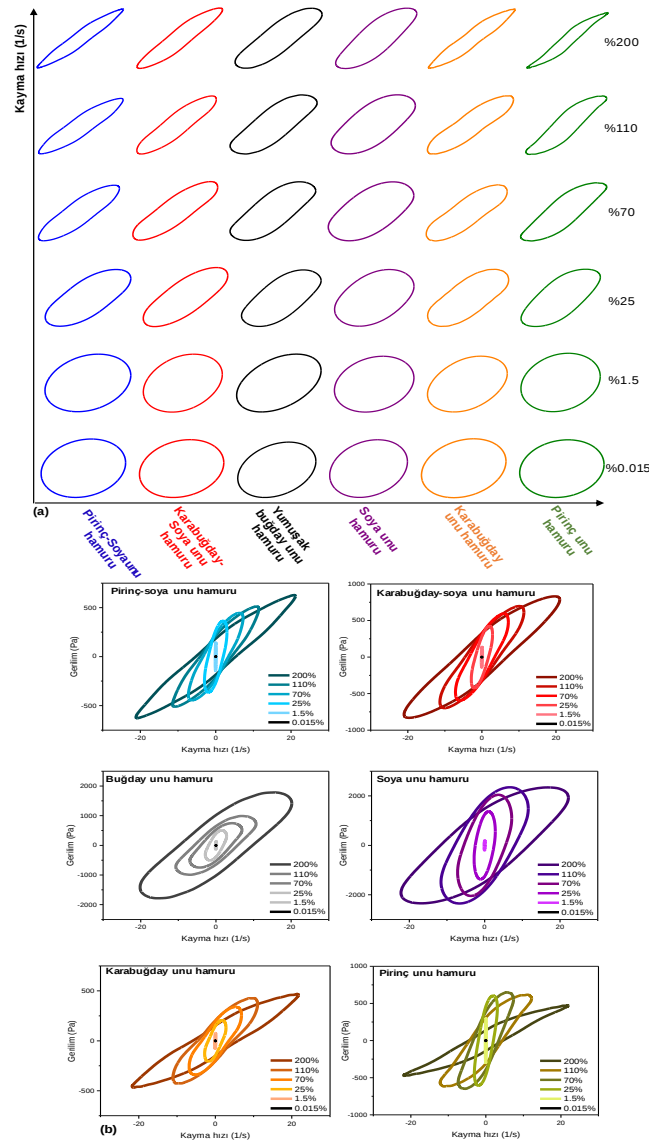


Şekil 5. Glutensiz hamur örnekleri ve yumuşak buğday unu hamuruna ait elastik Lissajous-Bowditch eğrileri: a) Eğrilerin seçili LAOS gerinimlerinde ayrı ayrı gösterimi, b) Seçili LAOS gerinimlerindeki eğrilerin tek grafikte gösterimi

Figure 5. Elastic Lissajous-Bowditch curves of gluten-free flour doughs and soft wheat flour dough: a) Separate plots of the curves at each selected LAOS strain, b) Overlay of the curves obtained at each selected LAOS strain

Pirinç unu hamurundan sonra, artan deformasyonlar karşısında en fazla daralma gösteren viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri karabuğday unu hamurunda görülmüştür. Bu iki glutensiz una soya unu ilavesiyle elde edilen hamurlara ait viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri LAOS deformasyonları arttıkça daralmadan daha çok şekil açısından değişime uğramıştır. Örneğin, yüksek deformasyonlarda pirinç unu hamuruna ait

viskoz Lissajous-Bowditch eğrilerinin uç kısımlarında sivrilme ve bükülme görülmektedir. Bu sivrilerek bükülme, pirinç ununa soya unu ilave edilmesiyle elde edilen hamurda azalmıştır (Şekil 6a). Maksimum kayma hızı değerinde viskoz Lissajous-Bowditch eğrilerinde görülen bükülmeler kayma incelenmesi davranışıyla ilişkilendirilmiştir (Macias-Rodriguez ve ark., 2018).



Şekil 6. Glutensiz hamur örnekleri ve yumuşak buğday unu hamuruna ait viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri: a) Eğrilerin seçili LAOS gerinimlerinde ayrı ayrı gösterimi, b) Seçili LAOS gerinimlerindeki eğrilerin tek grafikte gösterimi

Figure 6. Viscous Lissajous-Bowditch curves of gluten-free flour doughs and soft wheat flour dough: a) Separate plots of the curves at each selected LAOS strain, b) Overlay of the curves obtained at each selected LAOS strain

Şekil 6a' da tüm hamur örnekleri için seçili LAOS deformasyonlarında verilmiş olan viskoz Lissajous-Bowditch eğrileri, her hamur için tek bir grafikte üst üste gelecek şekilde ayrıca verilmiştir (Şekil 6b). Ewoldt ve Bharadwaj (2013) kademeli olarak artan LAOS deformasyonları karşısında viskoz Lissajous-Bowditch eğrilerinin saat yönünde dönmelerini akışkanlığın artışı ve incelmeye ile ilişkilendirmiştir. LAOS gerinimi arttıkça saat yönünde en az derecede dönüş soya unu ve buğday unu hamurlarında görülürken, en yüksek derecede dönüş pirinç unu hamuru ve sonrasında karabuğday unu hamurunda görülmüştür. Soya unu ilavesiyle elde edilen glutensiz un karışımlarıyla hazırlanan hamurlara ait viskoz Lissajous-Bowditch eğrilerinin artan deformasyonlar karşısında saat yönünde dönme derecesi pirinç ve karabuğday unu hamurlarına kıyasla azalmıştır (Şekil 6b). Şekil 6b' de verilen viskoz Lissajous-Bowditch eğrilerinin göstermiş olduğu saat yönünde dönme derecesiyle ifade edilen incelmeye davranışı Şekil 4b'de verilen normalize edilmiş G'' verileriyle uyumaktadır.

Chebyshev sabitlerinin analizi

Hamur örneklerinin MAOS davranışları analiz edilirken de belirtildiği gibi, 3. derece elastik (e_3) ve viskoz (v_3) Chebyshev sabitlerinin büyüklüğü doğrusal viskoelastik rejimden doğrusal olmayan viskoelastik rejime geçiş hakkında fikir vermektedir (Yazar ve ark., 2019). 3. derece elastik Chebyshev sabitinin 1. derece elastik Chebyshev sabitine oranının pozitif bir değere sahip olması ($e_3/e_1 > 0$) döngü içi (gerinim döngüsü) gerinim katılaşması davranışı, negatif bir değere sahip olması ($e_3/e_1 < 0$) ise gerinim yumuşaması davranışı ile ilişkilendirilmiştir (Ewoldt ve ark., 2008). Glutensiz hamur örneklerine ait e_3/e_1 verileri Şekil 7' de verilmektedir. Yaklaşık 0.25 e_3/e_1 değeri ile pirinç unu hamuru en yüksek gerinim katılaşması davranışını göstermiştir ve bu davranış LAOS gerinimleri arttıkça artış göstermiştir (Şekil 7a). Pirinç unu hamurunun LAOS gerinimlerinde göstermiş olduğu yüksek gerinim katılaşması davranışının pirinç unu protein kalitesinin deformasyonlar karşısındaki düşük kalitesine ve dolayısıyla doğrusal olmayan davranışı nişasta fraksiyonunun üstleniyor olmasına bağlı olduğu belirtilmektedir (Yazar ve

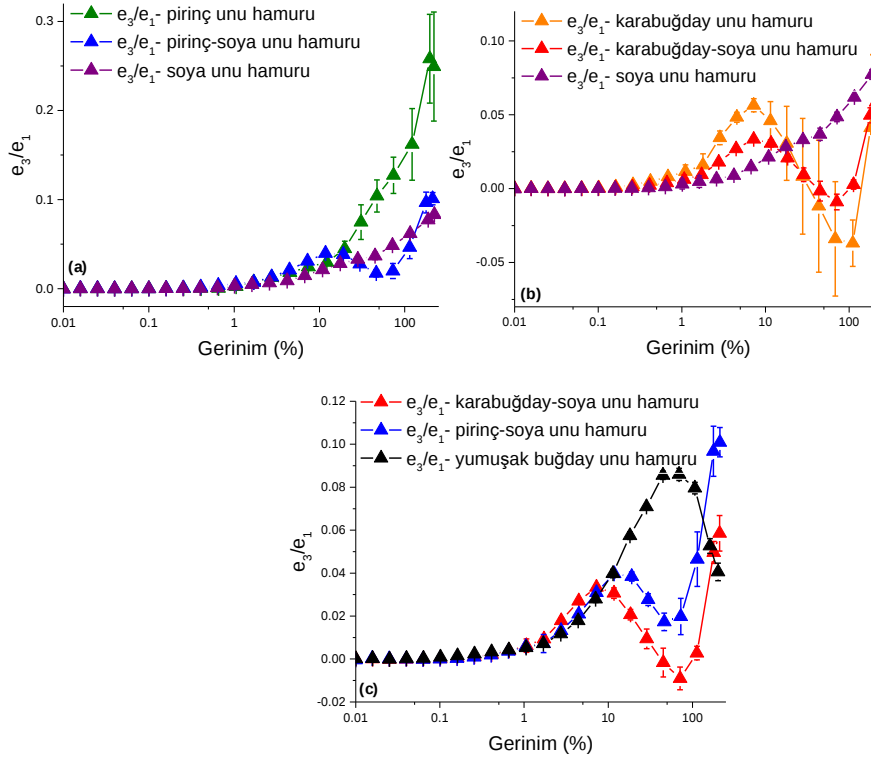
Demirkese, 2022; Yazar ve ark., 2017). Soya unu hamuru da benzer şekilde artan LAOS deformasyonları karşısında sürekli artan gerinim katılaşması davranışı göstermiştir; fakat bu davranışın derecesi pirinç unu hamuruna kıyasla daha küçüktür (Şekil 7a). Sonuç olarak pirinç-soya unu hamurunun e_3/e_1 değerleri pirinç unu hamuruna kıyasla büyük ölçüde azalmış ($P < 0.05$) ve soya unu hamuruna yakın derecede gerinim katılaşması davranışı göstermiştir. Fakat pirinç-soya unu hamurunun e_3/e_1 değerleri artan LAOS gerinimleri karşısında artan, azalan ve tekrar artan bir eğilim göstermiştir (Şekil 7a).

Karabuğday unu hamuruna ait e_3/e_1 değerleri de pirinç-soya unu hamurunda olduğu gibi artıp azalan karmaşık bir eğilim göstermiştir. Fakat karabuğday unu hamurunda e_3/e_1 %40-110 LAOS gerinim aralığında negatif değerler göstererek gerinim yumuşaması davranışına işaret etmiştir. Karabuğday-soya unu hamuruna ait e_3/e_1 de pozitif ve negatif değerler göstermiştir, fakat bu değerler karabuğday unu hamuruna kıyasla azalmıştır (Şekil 7b). Dolayısıyla soya unu ilavesinin karabuğday unu hamurunun yüksek deformasyonlar altındaki gerinim katılaşması ve yumuşaması davranışını dengelediğini söylemek mümkündür. Artan deformasyonlar karşısında bazı materyallerin öncelikle gerinim katılaşması gösterip, daha yüksek deformasyonlarda gerinim yumuşaması da gösterebileceği belirtilmiştir (Ewoldt ve ark., 2007). Söz konusu kompleks doğrusal olmayan davranış yanıtı glutensiz un karışımlarıyla elde edilen hamur örneklerinde görülmektedir.

Şekil 7c' de glutensiz un karışımlarıyla elde edilen hamurların e_3/e_1 değerleri buğday unu hamuru ile kıyaslanmıştır. Glutensiz hamurlar buğday unu hamuruna kıyasla daha düşük LAOS deformasyonlarında gerinim katılaşması davranışında azalma göstermiştir. Artan LAOS gerinimleri karşısında hamur örneklerinin gerinim katılaşması davranışında meydana gelen azalmanın ekmek hacminin artışına katkı sağladığı tespit edilmiştir (Yazar ve ark., 2017). Fakat bu azalmanın glutensiz hamurlarda buğday unu hamuruna kıyasla daha düşük gerinimlerde meydana gelmiş olması glutensiz hamurların artan

deformasyonlar karşısında daha dayanıksız olduğunu göstermektedir. Farklı oranlarda soya unu veya başka yapı oluşturu bileşenlerin ilavesiyle glutensiz hamurların yüksek

deformasyonlar altında gösterdiği gerinim katılaşması davranışını kontrol etmek mümkün olacaktır.



Şekil 7. Glutensiz hamur örnekleri ve yumuşak buğday unu hamurunun e_3/e_1 değerleri: a) Pirinç unu, soya unu ve karışımından elde edilen hamurlar, b) Karabuğday unu, soya unu ve karışımından elde edilen hamurlar, c) Glutensiz un karışımı ile elde edilen hamurların yumuşak buğday unu hamuru ile kıyaslanması

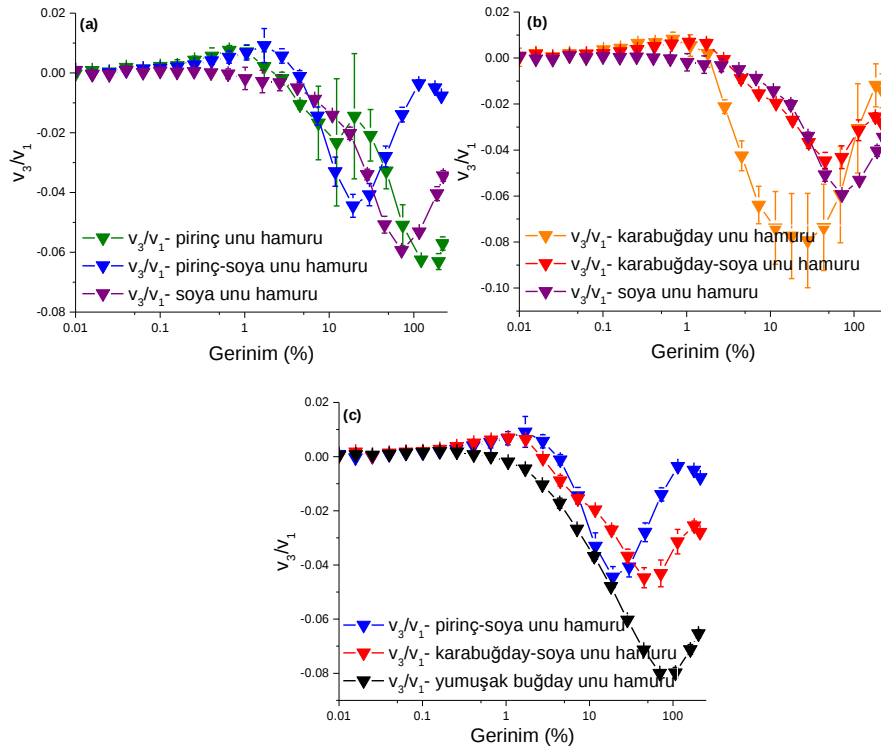
Figure 7. e_3/e_1 values of gluten-free flour doughs and soft wheat flour dough: a) Rice flour, soy flour, and rice-soy flour blend doughs, b) Buckwheat flour, soy flour, and buckwheat-soy flour blend doughs, c) Comparison of gluten-free flour blend doughs with soft wheat flour dough

3. derece viskoz Chebyshev sabitinin 1. derece viskoz Chebyshev sabitine oranının pozitif bir değere sahip olması ($v_3/v_1 > 0$) döngü içi kayma kalınlaşması, negatif bir değere sahip olması ($v_3/v_1 < 0$) ise kayma incilmesi davranışıyla ilişkilendirilmiştir (Ewoldt ve ark., 2008). Bu çalışmada, soya unu hamuru dışında, glutensiz hamurların MAOS rejiminde kayma kalınlaşması davranışı gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 8a,b). Soya unu hamuru gibi, buğday unu hamuru da doğrusal olmayan viskoelastik rejimde kayma kalınlaşması göstermemiştir (Şekil 8c). Soya unu hamuru dışındaki glutensiz hamurlarda görülen

kayma kalınlaşması sonrasında artan deformasyonlarla görülen kayma incilmesi davranışı (Şekil 8) nedeniyle bu hamurların v_3/v_1 değerleri MAOS rejiminde yüksek eğimle düşüş göstermiştir (Şekil 4c). Soya unu ilavesiyle her iki glutensiz un karışımı hamurunun da kayma incilmesi davranışının düzeyinde azalma meydana gelmiştir (Şekil 8a,b). Başka bir ifadeyle maksimum v_3/v_1 değerlerinde azalma görülmüştür. Diğer taraftan pirinç-soya unu hamuru pirinç unu hamuruna kıyasla daha düşük LAOS deformasyonlarında pik noktasına ulaşmıştır (Şekil 8a). Bu durumda, soya unu

ilavesiyle pirinç unu hamurunun kayma incelmeleri düzeyi azalsa da artan deformasyonlar karşısında kayma incelmeleri davranışı daha hızlı meydana gelmiştir. Karabuğday unu hamurunun kayma incelmeleri davranışı ise %25 LAOS geriniminde pik yaparken, karabuğday-soya unu hamurunun

kayma incelmeleri davranışı %45 LAOS geriniminde pik noktasına ulaşmıştır (Şekil 8b). Böylece soya unu ilavesiyle karabuğday unu hamurunun kayma incelmeleri davranışı açısından deformasyonlar karşısında dayanıklılığı artmıştır.



Şekil 8. Glutensiz hamur örnekleri ve yumuşak buğday unu hamurunun v_3/v_1 değerleri: a) Pirinç unu, soya unu ve karışımından elde edilen hamurlar, b) Karabuğday unu, soya unu ve karışımından elde edilen hamurlar, c) Glutensiz un karışımı ile elde edilen hamurların yumuşak buğday unu hamuru ile kıyaslanması

Figure 8. v_3/v_1 values of gluten-free flour doughs and soft wheat flour dough: a) Rice flour, soy flour, and rice-soy flour blend doughs, b) Buckwheat flour, soy flour, and buckwheat-soy flour blend doughs, c) Comparison of gluten-free flour blend doughs with soft wheat flour dough

Bu veriler buğday unu hamurunun v_3/v_1 değerleriyle kıyaslandığında ise %15 ile en düşük LAOS geriniminde kayma incelmeleri davranışında bir maksimum değere ulaşan hamur örneğinin pirinç-soya unu hamuru olduğu görülmektedir. Hem maksimum v_3/v_1 değerleri hem de en yüksek LAOS gerinimindeki (%200) v_3/v_1 değerleri kıyaslandığında her iki glutensiz hamurun da buğday unu hamuruna kıyasla daha düşük düzeyde kayma incelmeleri davranışı gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 8c).

SONUÇ

Glutensiz fırın ürünü üretiminde, üretimin ilk basamağında bir zorluk olarak karşımıza çıkan glutensiz unların optimum su kaldırma kapasitelerinin belirlenmesi, ampirik yöntemlere alternatif olarak temel bir yöntem olan frekans taraması testleri ile gerçekleştirilmiştir. Soya unu ilavesiyle elde edilen model glutensiz un karışımlarının su kaldırma kapasitelerinde artış belirlenmiştir. Glutensiz un karışımlarıyla elde edilen hamur örnekleri, Farinograf ile 500 BU konsistens değerinde elde edilen buğday unu

hamuruna denk kompleks viskozite (η^*) değerine sahip olsalar da LAOS testleri tüm hamur örneklerinin farklı deformasyonlar altında birbirinden farklı viskoelastik davranış gösterdiğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla bu çalışma, glutensiz unların optimum su kaldırma değerlerinin yanı sıra, düşükten yükseğe değişen üretim deformasyonları altında göstermiş oldukları viskoelastik davranışa bağlı olarak formülasyonların geliştirilmesinin son ürün kalitesi açısından daha faydalı olacağını göstermiştir. Ayrıca, literatürde glutensiz hamurların reolojik özellikleri çoğunlukla SAOS rejiminde incelenmiş ve küçük deformasyonlar altında elde edilen viskoelastik davranışlar son ürün kalitesi ile bağdaştırılmıştır. Ancak, bu çalışmada görüldüğü gibi, soya unu ilavesi pirinç unu hamurunun küçük deformasyonlar altında elastikiyetini azaltırken, yüksek deformasyonlarda elastikiyetini artırmıştır. Karabuğday unu hamurunda ise, soya unu ilavesi SAOS, MAOS ve LAOS gerinimlerinde genel olarak hamurun deformasyon dayanıklılığını artırmıştır. Bu sonuçlar glutensiz hamurların işlenebilirlik ve pişirme kalitelerinin daha doğru bir şekilde tahmin edilebilmeleri için doğrusal olmayan rejimdeki viskoelastik davranışlarının belirlenmesinin önemini vurgulamaktadır. Sonuç olarak bu çalışma, LAOS testleri ile elde edilen parametreler kullanılarak glutensiz hamur formülasyonlarının geliştirilebilmesi ve son ürün kalitesinin kontrol altında tutulabilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkıları olan ve desteklerini benden esirgemeyen sayın Prof. Dr. Kokini (Purdue University) ve Prof. Dr. Şebnem Tavman (Ege Üniversitesi)'a teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

AACC (2010). Approved Methods of Analysis. 11th Edition, AACC International, St. Paul, MN.

Alvarez-Ramirez, J., Escarela-Perez, R., Vernon-Carter, E.J., Carrillo-Navas, H. (2019). Large amplitude oscillatory shear (LAOS) rheology of nixtamalized corn masa. *Journal of Cereal Science*, 88, 31-37.

Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A.L., O'Mahony, J.A. (2017). The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 1-12.

Ashokan, B.K., Kokini, J.L. (2005). Determination of the WLF constants of cooked soy flour and their dependence on the extent of cooking. *Rheologica Acta*, 45, 192-201.

Bharadwaj, N.A., Ewoldt, R. (2015). Constitutive model fingerprints in medium amplitude oscillatory shear. *Journal of Rheology*, 59(2), 557-592.

Bhinder, S., Kaur, A., Singh, B., Yadav, M.P., Singh, N. (2020). Proximate composition, amino acid profile, pasting and process characteristics of flour from different Tartary buckwheat varieties. *Food Research International*, 130, 108946.

Bian, Q., Sittipod, S., Garg, A., Ambrose, R. K. (2015). Bulk flow properties of hard and soft wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 63, 88-94.

Cappelli, A., Oliva, N., Cini, E. (2020). A systematic review of gluten-free dough and bread: dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. *Applied Sciences*, 10, 6559.

Demirkesen, İ., Mert, B., Sumnu, G., Şahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96(2), 295-303.

Dixit, Y., Bhattacharya, S. (2014). Rheological and sensory behaviour of rice flour dough: effect of selected additives in relation to dough flattening. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 4852-4862.

Duvarcı, Ö.Ç., Yazar, G., Doğan, H., Kokini, J.L. (2019). Linear and nonlinear rheological properties of foods. In: *Handbook of Food Engineering*, Heldman, D.R., Lund, D.B., Sabllov, C., (chief eds.), 3rd edition, CRC Press, Boca Raton, pp. 1-152.

Edwards, N.M., Mulvaney, S.J., Scanlon, M.G., Dexter, J.E. (2003). Role of gluten and its components in determining durum semolina dough viscoelastic properties. *Cereal Chemistry*, 80(6), 755-763.

- Ertürk, M.Y., Le, A.N.M., Kokini, J.L. (2023). Advances in large amplitude oscillatory shear rheology of food materials. *Frontiers in Food Science and Technology*, 3, 1130165.
- Ewoldt, R.H., Hosoi, A.E., McKinley, G.H. (2007). Rheological fingerprinting of complex fluids using large amplitude oscillatory shear (Laos) flow. *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, 15, 3-8.
- Ewoldt, R.H., Hosoi, A.E., McKinley, G.H. (2008). New measures for characterizing nonlinear viscoelasticity in large amplitude oscillatory shear. *Journal of Rheology*, 52(6), 1427-1458.
- Ewoldt, R.H., Bharadwaj, N.A. (2013). Low-dimensional intrinsic material functions for nonlinear viscoelasticity. *Rheologica Acta*, 52, 201-219.
- Georgopoulos, T., Larsson, H., Eliasson, A.-C. (2004). A comparison of the rheological properties of wheat flour dough and its gluten prepared by ultracentrifugation. *Food Hydrocolloids*, 18, 143-151.
- Gujral, H.S., Guardiola, I., Carbonell, J.V., Rosell, C.M. (2003). Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3814-3818.
- Hadnadev, T.R.D., Torbica, A.M., Hadnadev, M.S. (2013). Influence of buckwheat flour and carboxymethyl cellulose on rheological behaviour and baking performance of gluten-free cookie dough. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1770-1781.
- Huang, Y.C., Lai, H.M. (2010). Noodle quality affected by different cereal starches. *Journal of Food Engineering*, 97(2), 135-143.
- Hyun, K., Kim, S.H., Ahn, K.H., Lee, S.J. (2002). Large amplitude oscillatory shear as a way to classify the complex fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 107(1-3), 51-65.
- Hyun, K., and Wilhelm, M. (2018). Nonlinear Oscillatory Shear Mechanical Responses. In: *Nonlinear Dielectric Spectroscopy*, Richert, R. (ed.), Springer, Cham, Switzerland, pp. 321-368.
- Kim, Y.-R., Cornillon, P., Campanella, O.H., Stroschine, R.L., Lee, S., Shim, J.-Y. (2008). Small and large deformation rheology for hard wheat flour dough as influenced by mixing and resting. *Journal of Food Science*, 73, E1-E8.
- Korus, J., Juszcak, L., Witczak, M., Ziobro, R. (2020). Effect of citrus fiber on the rheological properties of dough and quality of the gluten-free bread. *Applied Sciences*, 10(19), 6633.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047.
- Macias-Rodriguez, B.A., Ewoldt, R.H., Marangoni, A.G. (2018). Nonlinear viscoelasticity of fat crystal networks. *Rheologica Acta*, 57, 251-266.
- Mariotti, M., Lucisano, M., Pagani, M.A., Iametti, S. (2008). Macromolecular interactions and rheological properties of buckwheat-based dough obtained from differently processed grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 4258-4267.
- Morales, A., Kokini, J.L. (1997). Glass transition of soy globulins using differential scanning calorimetry and mechanical spectrometry. *Biotechnology Progress*, 13, 624-629.
- Özyiğit, E., Eren, İ., Kumcuoğlu, S., Tavman, Ş. (2020). Large Amplitude Oscillatory Shear (LAOS) analysis of gluten-free cake batters: The effect of dietary fiber enrichment. *Journal of Food Engineering*, 275, 109867.
- Puncha-arnon, S., Uttapap, D. (2013). Rice starch vs. rice flour: Differences in their properties when modified by heat-moisture treatment. *Carbohydrate Polymers*, 91(1), 85-91.
- Shan, S., Chen, D., Federici, E., Jones, O.G., Campanella, O.H. (2022). The effects of whey protein fibrils on the linear and non-linear rheological properties of a gluten-free dough. *Frontiers in Nutrition*, 9, 909877.
- Singh, P.K., Soulages, J.M., Ewoldt, R. (2018). Frequency-sweep medium amplitude oscillatory shear (MAOS). *Journal of Rheology*, 62(1), 277-293.

- Song, H.Y., Hyun, K. (2019). First-harmonic intrinsic nonlinearity of model polymer solutions in medium amplitude oscillatory shear (MAOS). *Korea-Australia Rheology Journal*, 31(1), 1-13.
- Tandazo, A.S., Öztürk, O.K., Hamaker, B.R., Campanella, O.H. (2021). Rice starch and co-proteins improve the rheological properties of zein dough. *Journal of Cereal Science*, 102, 103334.
- Tomotake, H., Shimaoka, I., Kayashita, J., Nakajoh, M., Kato, N. (2002). Physicochemical and functional properties of buckwheat protein product. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(7), 2125-2129.
- Traynham, T.L., Myers, D.J., Carriquiry, A.L., Johnson, L.A. (2007). Evaluation of water-holding capacity for wheat-soy flour blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(2), 151.
- Tsatsaragkou, K., Yiannopoulos, S., Kontogiorgi, A., Poulli, E., Krokida, M., Mandala, I. (2014). Effect of carob flour addition on the rheological properties of gluten-free breads. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 868-876.
- Vidaurre-Ruiz, J., Matheus-Diaz, S., Salas-Valerio, F., Barraza-Jauregui, G., Schoenlechner, R., Repo-Carrasco-Valencia, R. (2019). Influence of tara gum and xanthan gum on rheological and textural properties of starch-based gluten-free dough and bread. *European Food Research and Technology*, 245(7), 1347-1355.
- Villanueva, M., Pérez-Quirce, S., Collar, C., Ronda, F. (2018). Impact of acidification and protein fortification on rheological and thermal properties of wheat, corn, potato and tapioca starch-based gluten free bread doughs. *LWT- Food Science and Technology*, 96, 446-454.
- Villanueva, M., Harasym, J., Muñoz, J.M., Ronda, F. (2019). Rice flour physically modified by microwave radiation improves viscoelastic behavior of doughs and its bread-making performance. *Food Hydrocolloids*, 90, 472-481.
- Villanueva, M., Abebe, W., Collar, C., Ronda, F. (2021). Tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] variety determines viscoelastic and thermal properties of gluten-free dough and bread quality. *LWT- Food Science and Technology*, 135, 110065.
- Vishal, B., Ghosh, P. (2020). Rheological fingerprinting of complex fluids using Large Amplitude Oscillatory Shear (LAOS) flow. *Nihon Reorji Gakkaishi (Journal of the Society of Rheology, Japan)*, 48(1), 15-25.
- Weipert, D. (1990). The benefits of basic rheometry in studying dough rheology. *Cereal Chemistry*, 67, 311-317.
- Yazar, G., Duvarcı, O., Tavman, Ş., Kokini, J.L. (2016a). Effect of mixing on LAOS properties of hard wheat flour dough. *Journal of Food Engineering*, 190, 195-204.
- Yazar, G., Duvarcı, O., Tavman, Ş., Kokini, J.L. (2016b). Non-linear rheological properties of soft wheat flour dough at different stages of farinograph mixing. *Applied Rheology*, 26, 1-11.
- Yazar, G., Duvarcı, O., Tavman, Ş., Kokini, J.L. (2017). Non-linear rheological behavior of gluten-free flour doughs and correlations of LAOS parameters with gluten-free bread properties. *Journal of Cereal Science*, 74, 28-36.
- Yazar, G., Çağlar Duvarcı, Ö., Yıldırım Ertürk, M., Kokini, J.L. (2019). LAOS (Large Amplitude Oscillatory Shear) Applications for Semisolid Foods. In: *Rheology of Semisolid Foods*, Joyner, H. (ed.), Springer, Cham, Switzerland, pp. 97-131.
- Yazar, G., Kokini, J.L., Smith, B. (2022). Effect of endogenous wheat gluten lipids on the non-linear rheological properties of the gluten network. *Food Chemistry*, 367, 130729.
- Yazar, G., Demirkesen, İ. (2022). Linear and non-linear rheological properties of gluten-free dough systems probed by fundamental methods. *Food Engineering Reviews*, 15, 56-85.
- Yazar, G., Kokini, J.L., Smith, B. (2023). Comparison of mixing and non-linear viscoelastic properties of carob germ glutelins and wheat glutenin. *Food Hydrocolloids*, 143, 108922.
- Yazar, G. (2023a). Wheat flour quality assessment by fundamental non-linear rheological methods: A critical review. *Foods*, 12, 3353.

Yazar, G. (2023b). Impact of wet gluten content on non-linear viscoelastic properties of wheat flour doughs. *GIDA*, 48(6), 1276-1291.

Yoshimura, A.S., Prud'homme, R.K. (1988). Wall slip effects on dynamic oscillatory measurements. *Journal of Rheology*, 32, 575-584.

Zhang, D., Mu, T., Sun, H. (2017). Comparative study of the effect of starches from five different sources on the rheological properties of gluten-free model doughs. *Carbohydrate Polymers*, 176, 345-355.

EFFECT OF LAUREL EXTRACT AND COOKING TIME ON QUALITY AND OXIDATIVE STABILITY OF SOUS-VIDE COOKED TURKEY BREAST

Esra DERİN, Meltem SERDAROĞLU*

Ege University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, Izmir, Turkey

Received /Geliş: 19.01.2025; Accepted /Kabul: 23.02.2025; Published online /Online baskı: 26.02.2025

Derin, E., Serdaroğlu, M. (2025). Effect of laurel extract and cooking time on quality and oxidative stability of sous-vide cooked turkey breast. GIDA (2025) 50 (2) 201-222 doi: 10.15237/gida.GD25022

Derin, E., Serdaroğlu, M. (2025). Defne ekstraktı kullanımı ve pişirme süresinin sous-vide pişirilmiş hindi göğüs eti kalitesi ve oksidatif stabilitesi üzerine etkisi. GIDA (2025) 50 (2) 201-222 doi: 10.15237/gida.GD25022

ABSTRACT

This study investigates the effects of laurel extract (LE) and different sous-vide cooking durations on the quality parameters of marinated turkey breast meat. For this purpose, samples were cooked for 90 min (SP90) or 120 min (SP120) using the sous-vide method, with additional groups including laurel extract (SP90E, SP120E). The samples were stored at +4°C for 9 days, and analyzed at three-day intervals for marinade absorption, cooking loss, pH, color, lipid and protein oxidation, texture profile, sensory, and microbiological properties. Cooking duration did not affect cooking loss, while LE addition and prolonged cooking time led to darker color. At all storage stages, LE-treated samples showed lower TBARS and carbonyl values regardless of cooking time, whereas LE-free samples had decreased sulphhydryl content. Cooking duration, LE, and storage time influenced color, appearance, and flavor, but no significant differences were found in texture or overall acceptability at the end of storage. Microbiological analyses confirmed that all samples remained safe for consumption throughout storage.

Keywords: Sous-vide cooking, laurel extract, lipid oxidation, protein oxidation, turkey breast meat

DEFNE EKSTRAKTI KULLANIMI VE PIŞİRME SÜRESİNİN SOUS-VİDE PIŞİRİLMİŞ HİNDİ GÖĞÜS ETİ KALİTESİ VE OKSİDATİF STABİLİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışmada marinat uygulanan hindi göğüs etlerinin kalite parametreleri üzerine defne ekstraktı ve farklı sürelerde uygulanan sous-vide pişirmenin etkileri incelenmiştir. Bu amaçla örnekler, sous-vide yöntemi kullanılarak 90 dk. (SP90) veya 120 dk. (SP120) süreyle pişirilmiş olup, ek olarak her bir pişirme süresi için defne ekstraktı (LE) eklenen gruplar da değerlendirilmiştir (SP90E, SP120E). Marinat absorpsiyonu, pişirme kaybı, pH, renk parametreleri, lipid ve protein oksidasyonu, doku profili, duyu özellikleri ve mikrobiyolojik özellikler, +4°C’de 9 gün depolama süresi boyunca 3 günlük aralıklarla değerlendirilmiştir. Pişirme süresi, pişirme kayıpları üzerine etkili bulunmamıştır. Defne ekstraktı ilavesi ve pişirme süresinin uzatılması örneklerin renginin koyulaşmasına neden olmuştur. Depolamanın tüm aşamalarında, defne ekstraktı eklenen örnekler, pişirme süresinden

* Corresponding author / Sorumlu yazar

✉: meltem.serdaroglu@ege.edu.tr

☎: (+90) 232 311 1314

☎: (+90) 232 311 4831

Esra Derin; ORCID no: 0000-0003-4390-2453

Meltem Serdaroğlu; ORCID no: 0000-0003-1589-971X

bağımsız olarak daha düşük TBARS ve karbonil değerleri göstermiştir, buna karşın LE içermeyen örneklerde sülfhidril içeriği azalmıştır. Defne ekstraktı eklenmeyen örneklerde, sülfhidril miktarında azalma gözlenmiştir. Pişirme süresi, defne ekstraktı ve depolama süresi, hindi göğüs etinin renk, görünüm ve lezzet gibi duyuşal özelliklerini etkilemekle birlikte, depolama sonunda gruplar arasında doku veya genel kabul edilebilirlik açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Depolama sonunda yapılan mikrobiyolojik analizler, tüm örneklerin tüketim için uygun olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Sous-vide pişirme, defne ekstraktı, yağ oksidasyonu, protein oksidasyonu, hindi göğüs eti

INTRODUCTION

Turkey meat is considered a healthier alternative to red meat due to its high protein-to-calorie ratio, low cholesterol content, low fat level, and balanced n-6 to n-3 PUFA (polyunsaturated fatty acid) ratio, (Marangoni et al, 2015; Akoğlu et al., 2018). Turkey meat production in Türkiye increased by 16.7% from 2023 to 2024, rising from 44,540 tons to 52,000 tons (Anonymous, 2024). Also, the proportion of poultry in global meat consumption has been steadily increasing. This trend is attributed to economic and societal factors: in low-income developing countries, poultry is preferred over red meat due to its lower cost, whereas in high-income countries, poultry is favored for its perceived convenience and health benefits as a dietary choice (OECD-FAO, 2023).

With advancing technology and changing lifestyles, conscious consumers demand food that is not only highly nutritious but also easy to prepare, minimally processed, has an extended shelf life, and tastes good. Consequently, the food industry has been continuously striving to develop new poultry meat products, particularly ready-to-eat options, to meet consumer preferences for convenience and nutritional value (Resurreccion, 2004).

Sous-vide (SV) cooking is a precise and controlled method utilized for the production of ready-to-eat food products. This technique involves vacuum-sealing food and cooking it at accurately regulated low temperatures for extended periods, which enhances the retention of moisture, flavor, and nutritional value (Akoğlu et al., 2018, Jeong et al., 2018). The SV method is a gourmet cooking commonly used for preparing foods, particularly meat and fish. The sous-vide cooking is also employed in the production of ready-to-eat meat and fish products, ensuring consistency in texture

and doneness (Przybylski et al., 2021). SV cooked meats are typically marinated and /or seasoned and ready for consumption, requiring only reheating in their packaging in the consumer's kitchen. This technique typically involves low temperatures (50–80°C) and extended cooking times, depending on the type of meat (Pulgar et al., 2012). These relatively low temperatures help retain the meat's juiciness while enhancing its flavor and tenderness (Aguilera, 2018; Bıyıklı et al., 2020). In this method foods are placed into vacuum sealed plastic bags and submerged in water bath or steam oven (Ruiz-Carrascal et al., 2019). The temperature and time parameters used in SV cooking are crucial. Temperature, in particular, plays a critical role as it induces changes in the texture of meat products through protein denaturation (Zielbauer et al., 2016).

Turkey meat is prone to oxidation based on its PUFA content. Besides this, warmed-over flavour (WOF) develops in heat treated, refrigerated and reheated meats by oxidation of membrane phospholipids. These oxidative reactions occurring in fats during processing and storage cause significant changes in the flavor and nutritional value of the product (Mielnik et al., 2008). Protein oxidation is another quality problem, which eventuates loss in essential amino acids and functional properties of proteins via changing in protein or peptide structure (Mariutti and Bragagnolo, 2017). Protein oxidation can initiate with same oxidants catalyzed lipid oxidation but also associated with presence of secondary lipid oxidation products (Jiang and Xiong, 2016).

The *Laurus nobilis*, commonly known as laurel plant, is predominantly cultivated in the Mediterranean region. Its dried or fresh leaves are widely utilized in culinary applications due to their

aromatic properties, contributing to the sensory profile of various food products (Polovka and Suhaj, 2010; Ouchikh et al., 2011). The antioxidant compounds in laurel leaves are primarily include phenolic compounds, flavonoids, tannins, and essential oils such as 1,8-cineole, eugenol, and methyleugenol. Additionally, it contains bioactive compounds like quercetin, kaempferol, and catechins, which contribute to its strong antioxidant activity (Muñiz-Márquez et al., 2013).

In recent years, the food industry has shown a significant trend toward exploring the use of natural additives as alternatives to synthetic additives in food formulations. Antioxidants are widely used as additives to limit oxidative reactions (Falowo et al., 2014). Natural extracts act as a natural antioxidant by means of their phenolic compounds (Škerget et al., 2005; Shah et al., 2014). There are limited studies on using laurel extract as a natural antioxidant in sous-vide cooked meats. Besides this, as far as we can observe, there are no studies investigating the oxidative changes in marinated turkey meat cooked using the sous-vide method. The aim of this study was to investigate the effects of sous-vide cooking on marinated turkey breast with and without the addition of laurel extract (LE) by applying two different cooking durations at 61°C, with samples stored at +4°C for 9 days. Quality parameters and oxidative changes were evaluated throughout the storage period.

MATERIAL AND METHODS

Materials

Turkey breast muscles (*Pectoralis major*), from approximately 80-95 days old, 6-7 kg female hybrid turkey were kindly donated by Pınar Et Industry Co. (İzmir, Turkey). Marination ingredients (salt and food grade citric acid) were purchased from local market in İzmir, Turkey. Laurel leaves powder and sous-vide bags (thickness of $90 \pm 3 \mu\text{m}$, $160 \text{ cc/m}^2/\text{day}$ oxygen permeability, $<8 \text{ g/m}^2/\text{day}$ water vapor permeability) were granted by Defne Dış Ticaret ve Tarım Ürünleri AŞ (İzmir, Turkey) and Fitpak Ambalaj ve Kimya San. Tic. AŞ (Manisa, Turkey),

respectively. All other reagents were analytical grade.

Preparing laurel extract

The extraction process was performed based on the previously described by Akcan et. al (2017) with some modifications. Firstly, laurel leaves were grounded by using hammer mill (Brook Crompton, Series 2000, England) then were screened (Prüfsieb Jel 200, Germany) and particles which have more than $500 \mu\text{m}$ particle size were used for the extraction methods. 15 g screened leaves were weighed onto filter paper for each sample then samples with papers were folded and put into a jar. This was followed by the addition of 100 mL of a mixture of ethanol: water (80:20, v/v). The sample was heated in a shaking water bath for 4 h at 40° C. The combined supernatant was then filtered through a $0.45\text{-}\mu\text{m}$ Millipore nylon filter and evaporated in a rotary evaporator (IKA) until removed the alcoholic portions then stored at 80° C.

Experimental design and sous-vide cooking process

Figure 1 shows the experimental design and process progression. Fresh turkey breast meat, (71.36% moisture, 21.98% protein, 0.81% fat, and 1.17% ash), was portioned into approximately 240 g slices with an average thickness of 1.5–2 cm. The meat portions were perforated with needles to facilitate the penetration of a marinade solution containing 1.2% NaCl, 2% citric acid (w/v), and 150 mg/kg laurel extract (LE) for antioxidant-added groups.

The fillets were marinated for 1 h in a tumbler (Suhner Wastro MGH-20, Swiss model) at 8°C and 20 rpm. After the tumbling/marinating process, turkey breast meats were placed into sous-vide cooking bags ($90 \pm 3 \mu\text{m}$, oxygen permeability $160 \text{ cc/m}^2/\text{day}$, water vapor permeability $<8 \text{ g/m}^2/\text{day}$) and vacuum-sealed (Komet, Plusvac 24). The samples were subsequently sous-vide cooked at 61°C for 90 or 120 min using a Sous-vide Creative Series device (Poly Science, ÖRKA). After cooking, the samples were immediately cooled in ice water for 30 min and stored at +4 °C. Analyses were conducted at 3-day intervals for 9 days.

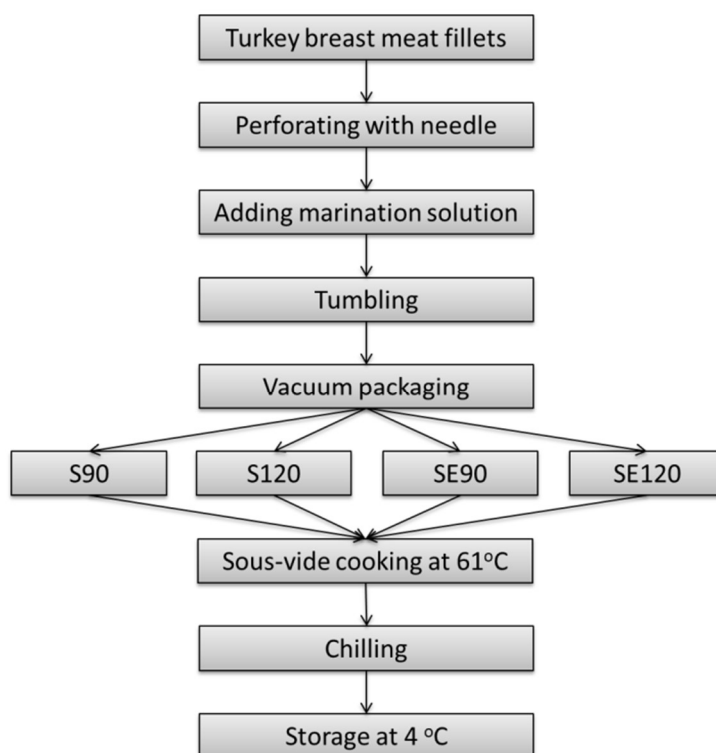


Figure 1. Production flow chart of sous-vide cooked turkey breast meat

S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min +LE

Methods

Total phenolic content analyses of Laurel extract

The Folin-Ciocalteu (FC) method, as described by Escarpa and González (2001) and modified by Akcan et al. (2017), was used to determine the total phenolic content of LE. A 30 µL of the extract and 150 µL of FC reagent were added sequentially to a test tube containing 2.37 mL of distilled water. After 8 min, 450 µL of saturated Na₂CO₃ was added to the mixture. The sample was then incubated for 30 min at 40°C, and the absorbance was measured at 750 nm using a Biochrom Libra S70 spectrophotometer (UK) against a blank. The results were expressed as milligrams of gallic acid equivalent per gram of extract.

DPPH analyses of Laurel extract

The DPPH radical scavenging activity of LE was assessed using the method described by Brand-

Williams et al. (1995) and modified by Yeşilsu and Özyurt (2019). Extract concentrations ranging from 0.1 to 0.15 mg/ml were utilized to determine the IC₅₀ value.

Marinade uptake

Marinade uptake was calculated by the following equation;

$$\text{Marinade uptake (g / 100g)} = 100 * (W_m - W_r) / W_r \quad (1)$$

Where W_m is marinated weight, W_r is raw weight of meat.

Cooking loss

The cooking loss was calculated by recording the weights of the samples before and after cooking using the following equation:

$$\% \text{ Cooking Loss} = [(\text{Raw sample weight} - \text{Cooked sample weight}) / \text{Raw sample weight}] \times 100 \quad (2)$$

pH

The pH value was measured at three different points on each sample using a portable penetration-type pH meter (WTW pH 3110 Set 2, Germany).

Instrumental colour

Color parameters were measured after blooming for 30 min using a portable color measurement device (Konica Minolta CM-5) based on the CIE Lab (L* for brightness, a* for redness, and b* for yellowness) color system. Before measurement, the colorimeter was calibrated using white and black standards. Measurements were performed at three different locations on the surface of each sample.

Peroxide value (PV)

The peroxide analysis was performed according to AOAC (2012) procedure. For this, 10 g of sample was blended with 60 mL of chloroform for 2 min. The mixture was filtered through Whatman No. 1 filter paper, and 25 mL of the filtrate was transferred into a 250 mL ground-glass Erlenmeyer flask. Then, 30 mL of glacial acetic acid and 2 mL of saturated potassium iodide solution were added, and the mixture was manually swirled for 2 min. The flask was sealed and kept in the dark for 5 min. Afterwards, 100 mL of distilled water and 2 mL of 1% freshly prepared starch solution were added. The samples were titrated with 0.1 N sodium thiosulfate solution until the blue-purple color disappeared. The peroxide value was calculated in milliequivalents (mEq)/kg of sample using the following equation:

$$PV \frac{(mEqO_2)}{kg} = \frac{S \times N}{WS} \times 100$$

S: Volume of sodium thiosulfate used for titration

N: The normality of sodium thiosulfate solution

WS: Weight of the sample

Thiobarbituric acid reactive substances

The 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) value was determined using a modified version of the extraction method described by Witte et al. (1970). Twenty grams of the sample was homogenized with Ultra-Turrax (6000 rpm, Ultra-Turrax® T25basic, UK) in 50 mL of a 4°C extracting solution containing 20% trichloroacetic

acid in 2 M phosphoric acid. The resulting slurry was quantitatively transferred to a 100 mL volumetric flask with 40 mL of water, diluted to 100 mL with water, and homogenized again. A 50 mL portion of the homogenate was filtered through Whatman No. 1 filter paper. Subsequently, 5 mL of the filtrate was mixed with 5 mL of 2-thiobarbituric acid (0.02 M in distilled water) in a test tube, which was stoppered, shaken, and heated in a boiling water bath for 35 min. The absorbance of the thiobarbituric extracts was measured at 532 nm, using 1,1,3,3-tetraethoxypropane as the standard. The results were expressed as TBARS values (mg malonaldehyde/kg sample), which was calculated by multiplying the absorbance by 5.2. Each sample was analyzed in triplicate at each storage time.

Total carbonyl content

Total carbonyl content analysed by using the method of Oliver et al., (1987). Sample (1g) was minced and homogenized in a 1:10 (w/v) ratio using 20 mM sodium phosphate buffer (pH 6.5) containing 6 M NaCl with an ultraturrax for 30 seconds. Two 0.2 mL aliquots were taken and placed in 2 mL Eppendorf tubes. Proteins were precipitated with 1 mL cold 10% TCA and centrifuged at 4200×g for 5 min. One pellet was treated with 1 mL of 2 M HCl for protein concentration, while the other was treated with 0.2% DNPH in 2 M HCl for carbonyl measurement. After 1-hour incubation at room temperature, samples were precipitated with 10% TCA and washed three times with ethanol acetate (1:1, v/v) to remove excess DNPH. The pellets were dissolved in 1.5 mL of 20 mM sodium phosphate buffer with 6 M guanidine HCl (pH 6.5), stirred, and centrifuged at 4200×g for 2 min. Protein concentration was determined by absorption at 280 nm using BSA as the standard, and carbonyl content was expressed as nmol carbonyl per mg of protein using an absorption coefficient of 21.0 nM⁻¹ cm⁻¹ at 370 nm for protein hydrazones.

Determination of sulphydryl groups

A modified version of the Ellman (1959) method was employed to determine the sulphydryl (thiol)

content in the samples. Initially, 0.5 g of the sample was homogenized with 10 mL of 0.05 M phosphate buffer (pH 7.2). Following homogenization, 1 mL of the mixture was taken and diluted with 9 mL of phosphate buffer containing 6 mM ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), 0.6 M NaCl, and 8 M urea. The resulting solution was centrifuged at 14,000 rpm for 15 min in a chilled centrifuge. A 3 mL aliquot of the supernatant was then treated with 0.01 M DTNB (5,5'-dithiobis 2-nitrobenzoic acid) prepared with sodium acetate (0.04 M) and incubated at 40°C for 15 min. After incubation, the absorbance of the sample was measured at a wavelength of 412 nm.

Texture profile analysis

Texture Profile Analysis (TPA) was performed using a texture analyzer (TA-XT2, Stable Micro Systems, Haslemere, UK) with four replications for each sample. Parameters such as hardness (N), adhesiveness, springiness (mm), cohesiveness, gumminess (N), and chewiness (N·mm) were determined based on the force and time curves generated during testing. The samples, prepared as cubes measuring 2 cm × 2 cm × 1 cm, were compressed twice to 50% of their original height. The testing conditions included a load cell of 30 kg, a crosshead speed of 2 mm/s, and a crosshead and test speed of 1 mm/s. An aluminum cylindrical probe with a diameter of 36 mm was used for the compression tests.

Sensory analysis

Sensory evaluation of sous-vide-cooked turkey breast was conducted by a group of 14 untrained volunteers (7 men and 7 women) from the Food Engineering Department. A nine-point hedonic scale was used to evaluate the samples in terms of color, appearance, juiciness, flavor, texture, and overall acceptability, where 9 indicated "like extremely" and 1 indicated "dislike extremely." For oxidized flavor, a separate 9-point scale was employed, where 9 indicated "very intense" and 1 indicated "not present at all."

The samples stored under refrigeration were heated at 61°C for in a sous-vide cooking device prior to sensory evaluation, then cut into

approximately 2x3x1.5 cm pieces and served. Samples were presented to the panelists on plates coded with randomly assigned three-digit numbers.

Microbiological analysis

For the determination of total aerobic mesophilic bacteria (TAMB), 1 mL from each prepared dilution was aseptically transferred to a sterile Petri dish containing Plate Count Agar (PCA) medium. The Petri dishes were then incubated at 30 °C for 24 h. At the end of the incubation period, colonies formed between 30 and 300 were counted and recorded as TAMB (BAM, 2001). *Salmonella spp.* detection was performed following the guidelines of TSI (2020), while the detection of *Listeria monocytogenes* was carried out using the Bio-Rad Real-Time PCR Method.

Statistical analysis

The entire experiment was independently repeated twice, and the analyses were carried out in triplicate. The data was assessed with General Linear Model (GLM) procedure in SPSS program (version 22.0, IBM, USA). SPSS for Windows version 25.0 (Armonk, NY: IBM Corp.) was used for statistical analysis. Four different treatments (S90, S90E, S120, S120E) and storage (0, 3, 6, and 9 days) were assigned as fixed effects while each replicate, day of sensory evaluation, panellist, and the number of sessions were supposed as random effects. The mean values of data obtained from treatments before and during storage were compared by one way and two way ANOVA respectively. Sensory scores among samples were settled by using MANOVA (multivariate analysis of variance). The significant differences (95% confidence level) between the treatments and storage time were observed by Duncan's Multiple Range Test when any factor effect was found.

RESULTS AND DISCUSSION

Total phenolic content and DPPH free radical scavenging activity of laurel extract

The antioxidant effect of LE is primarily attributed to its high content of phenolic compounds and flavonoids such as quercetin, luteolin, and kaempferol. These bioactive compounds neutralize free radicals and prevent

lipid peroxidation by acting as hydrogen donors, metal chelators, and radical scavengers (Škerget et al., 2005; Dias et al., 2014).

The total phenolic content of LE was calculated as 373.19 mg GAE/ g extract (87.9 mg GAE/ g laurel powder). Akcan et al. (2017) reported that the TP content of LE was 81.68 mg GAE/ 100 g extract while Fernández et al. (2019) measured it as 110.43 mg GAE/ g extract, even though using a similar solvent and extraction method. The reasons for the variability of total phenolic content may result from using different origins of laurel plant, diversity of extraction time, temperature and solvent, differences in phenolic acid equivalent and the extraction method (Vinha et al., 2015; Akcan et al., 2017).

The DPPH radical scavenging activity of LE was determined to be 23.79%, which is lower than the 76.11% reported by Vinha et al. (2015) as the lowest value among studies using different ethanol: water ratios as the solvent. In the same study, the total phenolic (TP) content of laurel powder was reported as 43.03 mg GAE/g, which is significantly lower than the TP content found in our study (87.9 mg GAE/g). Since antioxidant activity is closely linked to the total phenolic content, we believe this variation is due to differences in extract concentrations used during the analysis. To standardize comparisons, the IC50 value, representing the extract concentration required to achieve 50% inhibition of the DPPH radical, was calculated as 0.11 mg/ml in our study. Fernández et al. (2019), who used the same solvent concentration as ours, reported an IC50 value of 0.257 mg/ml, which is higher than our findings. This discrepancy is likely due to the additional steps in our method, such as re-treating the laurel powder with solvent to extract more phenolics and increasing the surface area accessible to the solvent. However, the oxidative stress index (OSI) is principally important in the assessment of antioxidant-oxidant loads of the plant extracts. As a result, LE exhibited higher antioxidant activity at lower concentrations, attributed to its higher phenolic content. In this regard, LE can be a good alternative as a natural

preservative against to synthetic antioxidants which have negative effects on human health.

Marinate uptake

Marinate uptake is a critical aspect of meat processing that influences both the sensory qualities and the overall quality of the final product. Marinade uptake is influenced by various factors, including the composition of the marinade, the method of application, and the inherent characteristics of the meat itself (Çimen et al., 2024). Understanding these factors is essential for optimizing the marination process and enhancing the quality of turkey breast meat. The marinade uptake was calculated as 5.85% in groups with extract incorporation and 7.21% in extract-free groups, indicating that the presence of LE in the marinade had no effect on marinade uptake. Previous studies have reported that the marinade uptake of tumbled poultry breast meat ranges from 3.51% to 31.94% (Lopez et al., 2012; U-chupaj et al., 2017). The variability in these findings may be attributed to differences in the marination process. While short-term marination was used in the referenced studies, the application of long-term marination in our study could lead to water release due to the formation of a more fragile structure in the meat. This structural change might explain the observed marinade uptake values in comparison to the broader range reported in the literature.

Cooking loss

During cooking, proteins undergo denaturation, water evaporates, and melted fat is lost, all of which contribute to the reduction in the cooked weight of meat products. Cooking procedure affects the juiciness of meat; longer cooking times and temperature applications result in more protein denaturation and muscle fiber shrinkage hence losing more moisture (Ayub and Ahmad, 2019).

The cooking loss ranged from 13.86% to 15.02% (Figure 2). Sous-vide cooking has been shown to result in lower cooking losses compared to traditional cooking methods (Hong et al., 2015; Rasinska et al., 2019). This study further demonstrates that marination effectively reduces cooking losses even more when combined with

sous-vide cooking. Hong et al. (2015) reported that cooking loss was 12.41% in sous-vide cooked chicken breast. In another study, it was found that cooking loss was 11.2% with the application of marination including %1 citric acid in chicken breast before sous-vide cooking (Hong et al., 2016).

Although some researchers have observed that increasing sous-vide cooking time induces cooking loss (Babür et al., 2019; Bıyıklı et al., 2020; Park et al., 2020), cooking time was found to have no significant effect on the cooking losses of the

samples. This finding may be attributed to the marinade application applied to the samples prior to cooking. Nyam et al. (2023) concluded that lower cooking losses were obtained when sous-vide cooking at 60 °C for a long time than at 70 °C for a shorter time. Moreover, Ayub and Ahmad (2019) were also stated that increase in cooking loss is associated with increasing cooking temperature. This consequent agreed with the results of a study carried out by Zhang et al. (2022) in sous-vide cooked duck legs at different temperatures (60-70-80 °C).

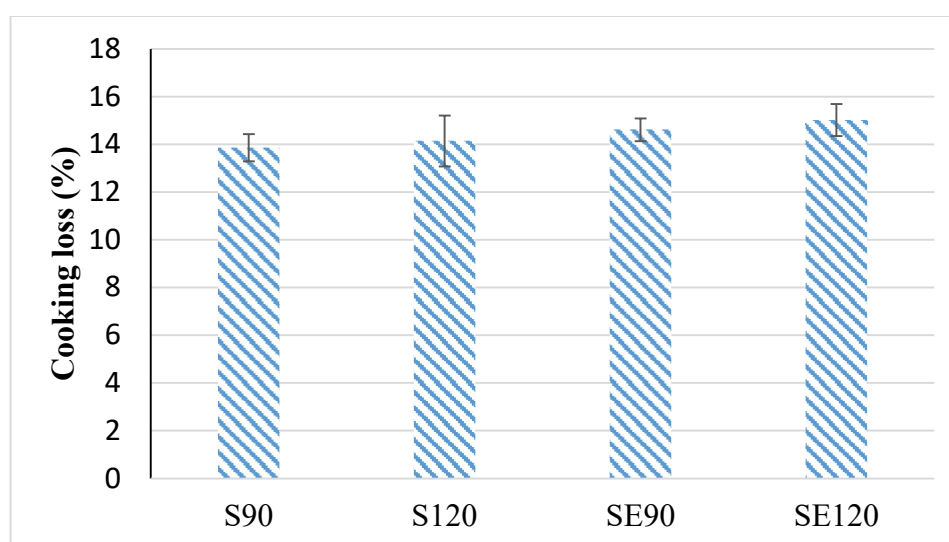


Figure 2. Cooking loss of sous-vide cooked turkey breasts

S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min +LE

pH

The changes in pH values of the samples during storage are shown in Figure 3. pH values of sous-vide cooked samples were measured between 5.52 and 5.94. Similarly, Park et al. (2020) recorded pH values between 5.89 and 6.07 in sous-vide cooked chicken breasts at different time and temperature treatments (60-70°C/1-2-3h). In sous-vide cooked chicken breast ham (60°C/2h) incorporated with brine solutions containing 1.5% and 0.75% NaCl, the pH values were measured as 5.83 and 5.89, respectively (Song et al., 2023).

Both cooking time and the use of LE were found to have a significant effect on pH value ($P < 0.05$). On day 0, S120 and SE120 treatments consistently showed higher pH values compared to the 90 min samples (S90 and SE90). This indicates that longer cooking times lead to greater protein denaturation, water loss, and concentration of soluble components, all of which contribute to higher pH levels. Moreover heating induces pH increase, generally associated with breaking bonds containing imidazole, hydroxyl and sulfhydryl groups (Oz and Seyyar, 2016). Similar results were stated in sous-vide cooked turkey cutlets (Bıyıklı et al., 2020) and chicken sausages (Naveena et al., 2017). The pH

values of 120 min samples increased more noticeably during storage, particularly in S120. S120's pH rose from approximately 6.00 on Day 0 to 6.20 on Day 6, before slightly decreasing or stabilizing by Day 9. The extended cooking time likely caused more significant protein breakdown and water evaporation, which accelerated changes in pH during storage. pH values tend to increase

slightly over time, particularly in the S120 and SE120 groups, likely due to ongoing biochemical changes. The laurel extract demonstrated a clear stabilizing effect on pH throughout the storage period. Samples treated with the extract (SE90 and SE120) consistently showed less variation in pH compared to the non-treated samples (S90 and S120) at all time points.

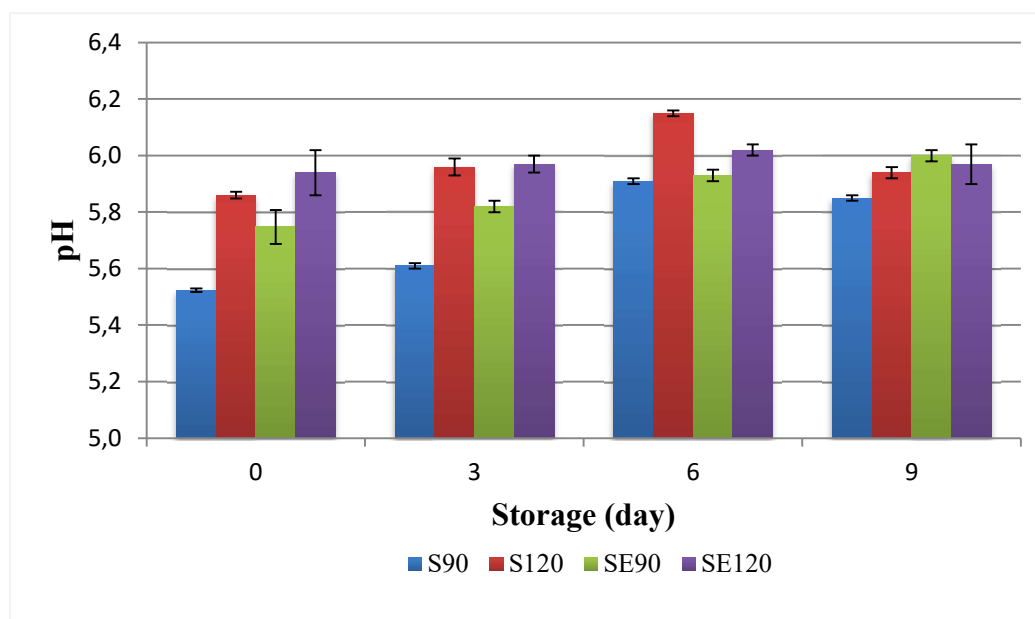


Figure 3. The pH values of sous-vide cooked turkey breast

S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min +LE

Color Parameters (L^* , a^* , b^*)

Color parameters are shown in Table 1. The sous-vide cooking time and the addition of LE extract had a significant impact on the color parameters ($P < 0.05$) of turkey breast meat during refrigerated storage. Notably, the L^* values (lightness) exhibited variations both between samples and over the storage period. In general, the SE groups (SE90 and SE120) exhibited significantly lower L^* values compared to the S groups (S90 and S120) ($P < 0.05$) due to the effect of the laurel extract. The L^* value (77.17) of S90 was the highest among all samples on Day 0 indicating a lighter color. In contrast, the SE90 group had a lower L^* value (74.47), suggesting a darker appearance, likely due to the pigments from the laurel extract. The L^* value of the S120 group (74.95) was higher than that of the SE120

group (72.47) on Day 0. This indicates that the longer cooking time contributed to a darker appearance in SE120 due to the laurel extract. Similar results were substantiated by Akcan et al., (2017) in meatballs covered by a film treated with laurel extract. Laurel extract contains natural pigments such as chlorophyll, flavonoids, and other phenolic compounds (Evert et al., 2013). These pigments impart a darker appearance to the samples which reduces the lightness. Moreover, during the marination and cooking process, the compounds in the laurel extract may interact with meat proteins, further enhancing the darker appearance by altering the surface light reflectance. In the S120 group, lightness remained relatively stable over time, with a slight increase on Day 9 (76.07) compared to Day 0 (74.95), indicating that longer sous-vide cooking may help

preserve or enhance lightness during storage. Similarly, Bıyıklı et al., (2020) in turkey cutlet and Babür et al., (2019) in beef revealed that the

increase in sous-vide cooking time decreased the L^* values.

Table 1. Color parameters of sous-vide cooked turkey breasts

L^*				
Sample	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9
S90	77.17 ^{a,x} ±0.82	76.13 ^{a,xy} ±0.1	75.20 ^{a,yz} ±0.11	74.16 ^{b,z} ±0.77
S120	74.95 ^{b,xy} ±0.79	74.67 ^{ab,xy} ±1.36	74.30 ^{a,y} ±0.18	76.07 ^{a,x} ±0.73
SE90	74.47 ^{b,x} ±0.34	72.82 ^{c,y} ±0.54	71.37 ^{b,z} ±0.57	74.80 ^{b,x} ±0.52
SE120	72.47 ^{c,y} ±0.58	73.76 ^{bc,x} ±0.21	71.68 ^{b,y} ±0.98	71.81 ^{c,y} ±0.4
a^*				
Sample	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9
S90	1.99 ^{b,y} ±0.64	2.69 ^{xy} ±0.37	3.02 ^x ±0.45	2.55 ^{xy} ±0.26
S120	2.36 ^{b,y} ±0.08	2.68 ^{xy} ±0.64	3.28 ^x ±0.35	2.81 ^{xy} ±0.36
SE90	1.66 ^{b,z} ±0.28	2.23 ^y ±0.05	2.94 ^x ±0.23	2.41 ^{xy} ±0.48
SE120	3.72 ^{a,x} ±0.78	2.39 ^y ±0.28	2.89 ^{xy} ±0.23	2.76 ^y ±0.44
b^*				
Sample	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9
S90	7.69 ^{c,z} ±0.47	11.16 ^y ±0.36	12.26 ^{a,x} ±0.19	10.35 ^{b,y} ±0.68
S120	11.59 ^{a,y} ±0.7	11.83 ^{xy} ±0.35	12.24 ^{a,xy} ±0.08	12.68 ^{a,x} ±0.42
SE90	11.50 ^a ±0.2	11.19±0.80	11.14 ^b ±0.61	11.95 ^a ±0.94
SE120	9.93 ^{b,y} ±1.26	11.78 ^x ±0.04	12.59 ^{a,x} ±0.59	12.56 ^{a,x} ±0.65

^{a,c} Means marked with different letters on the same column are significantly different ($P < 0.05$).

^{xy} Means marked with different letters on the same row are significantly different ($P < 0.05$).

S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min +LE

On Day 0, the a^* value of the SE120 samples was found to be higher than that of the other samples. However, on the subsequent storage days, there were no significant differences in the a^* values among the samples. a^* values increased during storage, peaking on Day 6, with a slight decrease by Day 9. The increase in a^* values during storage, peaking on Day 6, followed by a slight decrease by Day 9, reflects changes in color development potentially due to oxidative or biochemical processes. The initial increase observed may be attributed to factors such as the presence of natural antioxidants like laurel extract and/or marinade ingredients, which can enhance color stability.

On Day 0, the b^* value of S90 (7.69) was significantly lower than that of S120 (11.59) ($P <$

0.05). The increase in cooking time caused an increase in b^* values in the extract-free groups after cooking (Day 0), while it caused a decrease in SE120 group. These results can be explained by the increase in the b^* value in meat associated with the formation of metmyoglobin by heating (Roldán et al., 2013) and inhibition of metmyoglobin formation by extract treatment (Yu et al., 2002). Yellowness values increased during storage in S90, S120, and SE120 treatments but remained more stable in the SE90 treatment. Higher sous-vide temperatures (S120 and SE120) could alter protein structure and increase interactions between pigments and other compounds, enhancing yellow tones during storage. In contrast, the SE90 treatment's lower temperature may have preserved protein integrity and limited these interactions.

Peroxide value

Peroxide value (PV) is an important indicator of primary lipid oxidation in turkey meat. It measures the concentration of peroxides, which are initial oxidation products formed during the degradation of unsaturated fats (Rasinska et al., 2019). Peroxide value measured during +4 °C storage and after sous-vide cooking of turkey breast meats, was given Figure 4. The addition of LE and cooking time had no significant effect on the peroxide values of the samples on day 0 ($P > 0.05$). The PVs of the samples at the beginning of storage were found to be similar. On day 3, PV ranged between 0.39-0.95 meqO₂/kg. The peroxide values of SE90 and SE120 samples were similar across all storage days. The addition of laurel extract effectively inhibits lipid oxidation, reducing peroxide formation and maintaining lower values throughout storage. The PV of the samples with LE added (SE90 and SE120) were found to be lower than those of the samples with

no added LE. The flavonoids found in the structure of laurel extract exhibit antioxidant activity by acting as reducing agents, hydrogen donors, metal chelators, or radical scavengers due to the hydroxyl groups attached to their ring structure (Dias et al., 2014). The peroxide values decreased until day 6, but on day 9, the peroxide values of all samples increased. The peroxide values of all samples decreased starting from the 6th day of storage. This decline can be attributed to the breakdown of primary oxidation products (peroxides) into secondary oxidation compounds, such as aldehydes and ketones, as storage progresses (Echegaray et al., 2022). Changes in cooking time did not have a significant effect on the peroxide values of the groups on different storage days ($P > 0.05$). In a study where cooking temperatures of 65, 70 or 75°C were used, turkey chops were cooked sous-vide with time combinations of 20, 40 or 60 minutes, and it was found that changes in cooking time did not affect peroxide values (Bıyıklı et al., 2020).

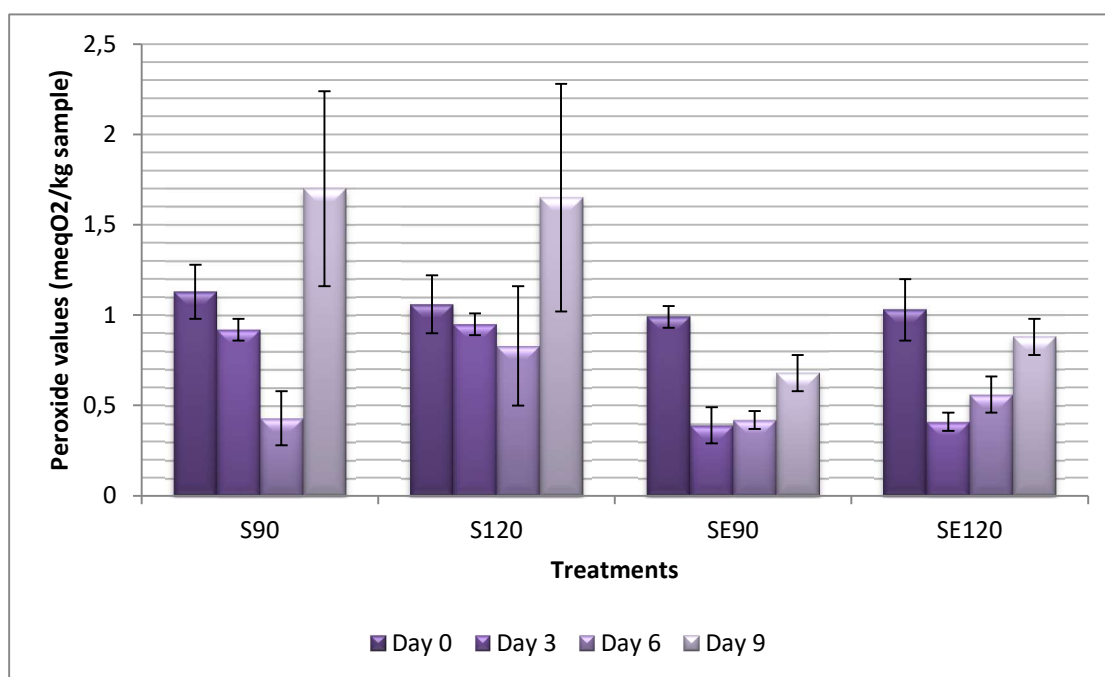


Figure 4. Peroxide values of sous-vide cooked turkey breasts
S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min +LE

Thiobarbituric acid reactive substances

TBARS values of samples are given in Figure 5. The TBARS values in meat and meat products cooked using the sous-vide method typically range from 0.5 to 2 mg malondialdehyde (MA)/kg sample (Can and Harun, 2015). Consistent with this range, TBARS values in the present study were found to be between 0.34 and 1.13 mg MA/kg sample after cooking (on day 0). On day 0, cooking time was found to significantly affect the TBARS value in samples without added LE ($P < 0.05$). Roldan et al. (2014) observed that an increase in sous-vide cooking time led to a decrease in TBARS values in lamb meat. In contrast, other studies have reported that sous-vide cooking time had no significant effect on TBARS values in various types of meat (Pulgar et al., 2012; Oz and Seyyar, 2016; Bıyıklı et al., 2020). Cooking time had no significant effect in samples with added LE ($P > 0.05$). This effect of LE was also observed at other stages of storage. At all stages of storage, the TBARS values of the samples with added LE were found to be lower than those of the other samples, regardless of the cooking time. Previous studies have shown that various natural extracts effectively delay MDA formation during storage. For instance, laurel and sage extracts in meatballs (Akcan et al., 2017), grape seed extract (Mielnik et al., 2006), and rosemary extract in sous-vide cooked minced turkey breasts (Yu et al., 2002) have all been reported to exhibit this protective effect. In the SE90, the TBARS value remained constant throughout the storage period, while the TBARS values of the S90 and S120 increased on day 3 and then decreased afterwards. During storage increasing TBARS values, as an indicator of advanced lipid peroxidation, was an expected result. The decrease in TBARS values is attributed to the reactions occurring at the later stages of storage, where lipid oxidation products such as malondialdehyde interact with primary amino groups, phospholipids, DNA, and amino acids in the meat. These interactions result in the binding or transformation of free MDA into more stable compounds, ultimately leading to a measurable reduction in TBARS values over time (Roldan et al., 2014; Bıyıklı et al., 2020). At the end of storage,

TBARS values ranged between 1.61 and 0.26 mg MDA/kg sample. The limit value for the rancid taste caused by lipid oxidation in cooked turkey breast meat, as perceived by consumers, is reported to be 3.4 mg MDA/kg sample (Sickler et al., 2013). In the present study, the TBARS values determined for all treatments were observed to remain below the limit of 3.4 mg MDA/kg sample throughout the storage period.

Total carbonyl content

Carbonyl formation, a key indicator of protein oxidation, can result from the oxidation of amino acids in the presence of reactive oxygen species or metals, the cleavage of polypeptide chains, or the binding of amino acids such as histidine, cysteine, and lysine to lipid peroxidation products (Ergezer et al., 2016; Papuc et al., 2016). The carbonyl content of sous-vide cooked samples during the storage is presented in Figure 6. Initially, the carbonyl content of the samples ranged between 0.17 and 0.37 nmol carbonyl/mg protein. In samples without the addition of LE, extending the cooking time from 90 minutes to 120 minutes led to a significant increase in carbonyl content throughout all storage periods ($P < 0.05$). In samples with added extract, this effect was observed only on days 0 and 3. Prolonged cooking time at a specific temperature has been reported to increase carbonyl content in bovine meat (Santé-Lhoutellier et al., 2008), pig meat (Traore et al., 2012), and sous-vide cooked lamb meat (Roldan et al., 2014). It was observed that at the end of the storage, the extract-incorporated groups had significantly lower carbonyl contents when a similar cooking time was applied. Al-Hijazeen et al. (2018) studied the effects of different ratios of oregano essential oil and tannic acid as antioxidants and reported that the carbonyl content of sous-vide cooked ground chicken breast and thigh meat ranged between 0.98 and 1.05 nmol carbonyl/mg protein. An increase in carbonyl content was detected in all samples throughout the storage period ($P < 0.05$). By the end of storage, the carbonyl levels were approximately 3 to 5 times higher compared to the levels measured initially (day 0).

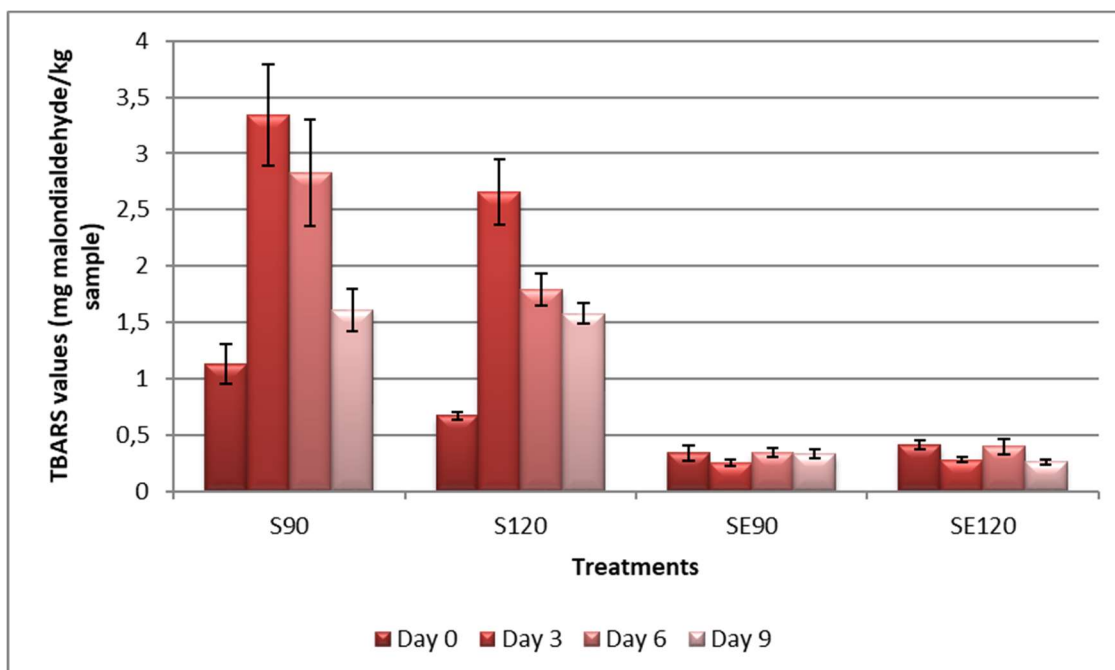


Figure 5. TBARS values of sous vide cooked turkey breasts
S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min

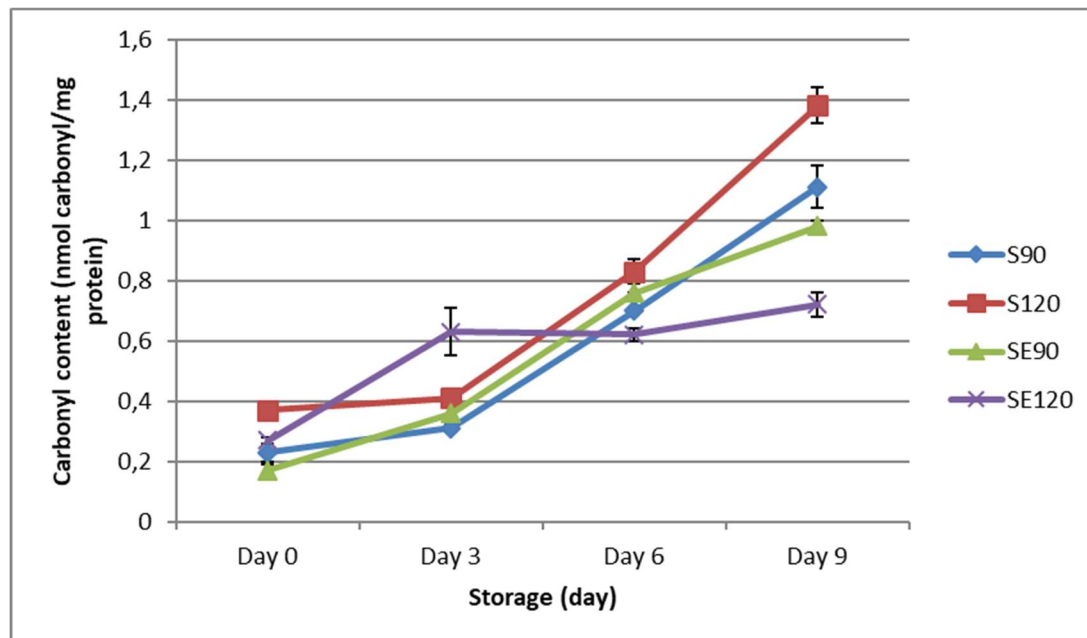


Figure 6. Carbonyl content of sous vide cooked turkey breasts
S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min

The reduction in sulfhydryl content due to their conversion into intra- and intermolecular disulfide bonds is another indicator of protein oxidation in meat and meat products (Zahid et al., 2020). Figure 7 shows the changes in sulfhydryl content of sous-vide cooked turkey breast meat during cold storage over a period of 9 days. The total sulfhydryl content is expected to decrease during storage due to oxidation, and supporting studies have been reported in the literature (Shi et al., 2014; Turgut et al., 2016; Zahid et al., 2020). Sulfhydryl content after sous-vide cooking ranged between 23.73 and 31.74 nmol sulfhydryl/mg sample, similar to a study which was performed on sous-vide cooked chicken (Silva et al., 2016). SE90 treatment had the highest sulfhydryl content on day 0 ($P < 0.05$). Present of LE and reduced cooking time may have prevented the

oxidation of sulfhydryl groups. At the end of storage, samples with added extract exhibited the highest sulfhydryl content ($P < 0.05$), indicating that LE functioned as an effective antioxidant regardless of cooking time during cold storage. The LE extract reduces the rate of sulfhydryl loss by inhibiting oxidative reactions through its phenolic compounds' free radical scavenging and metal-chelating properties (Fernandez et al., 2019). This protective effect preserves protein functionality and slows protein oxidation, as seen in SE90 and SE120. Similarly, previous studies have demonstrated the protective effect of antioxidants on sulfhydryl groups, such as pomegranate peel extract in beef meatballs (Turgut et al., 2016), grape seed and clove bud extracts in silver carp (Shi et al., 2014), and clove extract in cooked beef patties (Zahid et al., 2020).

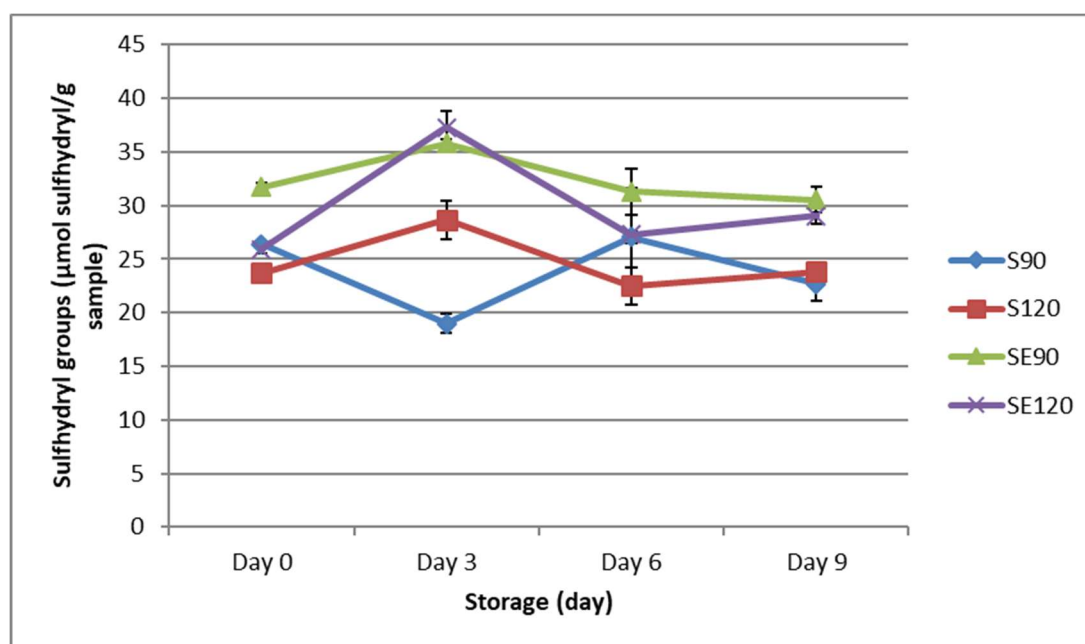


Figure 7. Sulfhydryl groups of sous vide cooked turkey breasts

S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min

Texture Profile Analysis

The results of the texture profile analysis are presented in Table 2. On day 0, the SE120 samples exhibited significantly higher hardness compared to the other groups ($P < 0.05$), correspondingly, the SE120 samples also

recorded the highest chewiness values ($P < 0.05$). Throughout storage, the hardness of the samples showed variation. Longer cooking time at a higher temperature likely led to greater protein denaturation and water loss, which can increase hardness and chewiness initially. Extended sous-

vide cooking can also cause the meat fibers to compact, contributing to a firmer texture (Bıyıklı et al., 2020). By the end of the storage period, the hardness values of the extract-incorporated samples were not significantly different from their initial values on day 0 ($P > 0.05$). Notably, the SE90 samples demonstrated the lowest hardness at the conclusion of storage ($P < 0.05$) Silva et al. (2016) reported that the prolonged sous-vide cooking time conduces to a decrease in the hardness of jerky chicken, while Pulgar et al. (2012) in pork ceeks and Roldán et al. (2013) in lamb loin observed the direct opposite effect. Similarly, we measured an increase in hardness values in laurel extract added samples by increasing cooking time ($P < 0.05$), but distinctively, extract-free samples had no significant alterations in hardness values ($P > 0.05$). It is obvious that, excluding the prolonged cooking time, some factors like meat source, meat type and presence of extract may cause variances in hardness value of sous-vide cooked meat.

Springiness means recovering the former shape of food when the effect that causes deterioration on shape disappears (Bıyıklı et al., 2020; Erdemir and Karaoğlu, 2021). Zhang et al. (2022) reported that the springiness values tended to decrease as the cooking time increased. In our study, the lowest springiness was measured in the SE90 sample, while the highest was in the S90 sample, both on the first and last day of storage ($P < 0.05$). Interestingly, the highest cohesiveness value was measured in SE90 sample ($P < 0.05$).

Cohesiveness is defined as a degree of difficulty in breaking down the internal structure of the food (Erdemir and Karaoğlu, 2021). Park et al. (2020) used different cooking temperature and times (60-70°/1-2-3 hours) on chicken breast sous-vide cooking and reported that springiness and cohesiveness values of samples were not statistically affected by cooking time.

Chewiness is related to required energy to make ready the food to swallow and related with the mastication quantity and time (Bıyıklı et al., 2020; Erdemir and Karaoğlu, 2021). It was shown that the addition of laurel extract in sous-vide cooked

turkey breast induces to decrease in chewiness with the storage, means less force is required to masticate the food. On the contrary, it was observed that the chewiness values of extract-free samples increased in the last day of storage. Similarly, Akoğlu et al. (2018) were mentioned that the chewiness of the sous-vide cooked turkey cutlet increased at the end of the 35 days of storage. Nevertheless, when the data was deeply investigated to compare with our results for similar storage days, there were no significant changes in chewiness values on the days until the 28th ($P > 0.05$). These results were in good agreement with the findings of our study for SE90 samples.

Sensory analysis

Addition of laurel extract not only increases product quality and shelf life, but also affects sensorial attributes, which obligates sensory analysis. The sensory scores were presented in

Color and appearance play a crucial role in assessing cooked meat quality and are among the most influential properties affecting consumer preferences (Ayub and Ahmad, 2019). The color scores of turkey breast meat ranged between 6.43 and 7.93. The lowest score after cooking was observed in SE90 group ($P < 0.05$), which increased by the end of storage ($P < 0.05$). It was determined that an increase in cooking time raised the color score in groups with extract, while the addition of extract reduced the color score in groups cooked for 90 minutes. No significant differences were observed between treatments on other storage days ($P > 0.05$). Cooking time and LE addition exhibited a similar effect on appearance scores as well. The addition of LE resulted in a decrease in flavor scores on days 0 and 3 of storage for both cooking durations, while this effect was not observed on the other storage days. It was stated that the increase in the amount of extract used affects the sensory quality (Akcan et al., 2017). The oxidative flavor scores of the samples showed no significant differences on the first and last days of storage ($P > 0.05$). Meat texture, which is closely related to its protein structure, is primarily evaluated based on tenderness and juiciness (Roldán et al., 2013).

Cooking time had no significant effect on texture, with similar texture scores recorded on days 6 and 9 ($P > 0.05$). Prolonged cooking time did not significantly influence overall acceptability scores ($P > 0.05$). Additionally, no significant differences were observed in extract-free samples throughout storage or among all treatments on the final day ($P > 0.05$). Cooking time, LE addition, and storage

duration influenced sensory attributes such as color, appearance, and flavor of turkey breast meat, but no significant differences were observed in texture or overall acceptability among treatments by the end of storage. At the end of storage, all sensory parameters were statistically insignificant ($P > 0.05$)

Table 2. Texture profile analysis of sous vide cooked turkey breast

	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9
Sample	Hardness (N)			
S90	53.64 ^{b,z} ±2.51	71.39 ^{a,y} ±13.9	77.00 ^{a,xy} ±4.93	90.12 ^{a,x} ±12.48
S120	51.25 ^{b,y} ±1.12	53.66 ^{b,y} ±6.5	52.11 ^{b,y} ±12.35	79.20 ^{ab,x} ±7.92
SE90	55.10 ^{b,yz} ±9.98	71.97 ^{a,xy} ±7.37	74.60 ^{a,x} ±17.67	52.60 ^{c,z} ±5.38
SE120	76.01 ^{a,x} ±2.67	51.84 ^{b,y} ±10.96	66.44 ^{ab,x} ±7.17	73.47 ^{b,x} ±4.25
Sample	Springiness(mm)			
S90	0.61 ^{a,x} ±0.01	0.58 ^{xy} ±0.08	0.52 ^y ±0.01	0.58 ^{a,xy} ±0.03
S120	0.58 ^b ±0.01	0.57±0.03	0.52±0.09	0.55 ^b ±0.03
SE90	0.53 ^{c,yz} ±0.02	0.59 ^x ±0.03	0.57 ^{xy} ±0.04	0.51 ^{c,z} ±0.02
SE120	0.57 ^{b,x} ±0.03	0.57 ^x ±0.04	0.54 ^{xy} ±0.01	0.51 ^{c,y} ±0.02
Sample	Cohesiveness			
S90	0.49 ^{b,z} ±0.01	0.51 ^z ±0.02	0.53 ^{b,y} ±0.01	0.60 ^{a,x} ±0.01
S120	0.52 ^{b,y} ±0.02	0.54 ^y ±0.02	0.58 ^{a,x} ±0.01	0.52 ^{c,y} ±0.01
SE90	0.54 ^a ±0.02	0.53±0.01	0.53 ^b ±0.02	0.55 ^b ±0
SE120	0.52 ^{b,x} ±0.01	0.53 ^x ±0.01	0.51 ^{b,xy} ±0.03	0.48 ^{d,y} ±0.01
Sample	Gumminess(N)			
S90	25.98 ^{b,z} ±0.69	36.12 ^{ab,y} ±5.44	40.84 ^{xy} ±2.38	48.33 ^{a,x} ±7.68
S120	24.52 ^{b,y} ±2.3	29.61 ^{bc,y} ±3.55	30.17 ^y ±6.84	38.18 ^{b,x} ±5.75
SE90	27.56 ^{b,y} ±6.54	41.75 ^{a,x} ±4.87	38.09 ^{xy} ±10.51	33.28 ^{b,xy} ±3.13
SE120	42.56 ^{a,x} ±2.59	26.78 ^{c,z} ±5.69	32.22 ^{yz} ±4.68	36.91 ^{b,xy} ±0.67
Sample	Chewiness(N)			
S90	16.14 ^{b,y} ±1.61	21.03 ^{ab,xy} ±5.35	22.01 ^{xy} ±1.65	23.79 ^{a,x} ±4.4
S120	15.23 ^{b,y} ±0.73	15.85 ^{b,xy} ±1.52	15.95 ^{xy} ±5.9	21.58 ^{ab,x} ±4.01
SE90	14.65 ^{b,y} ±3.4	24.21 ^{a,y} ±2.66	17.32 ^x ±4.52	17.06 ^{b,y} ±1.09
SE120	23.29 ^{a,x} ±1.79	17.34 ^{b,y} ±4.26	17.06 ^y ±2.69	18.70 ^{b,y} ±0.7

^{a,c} Means marked with different letters on the same column are significantly different ($P < 0.05$).

^{xy} Means marked with different letters on the same row are significantly different ($P < 0.05$).

S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min +LE

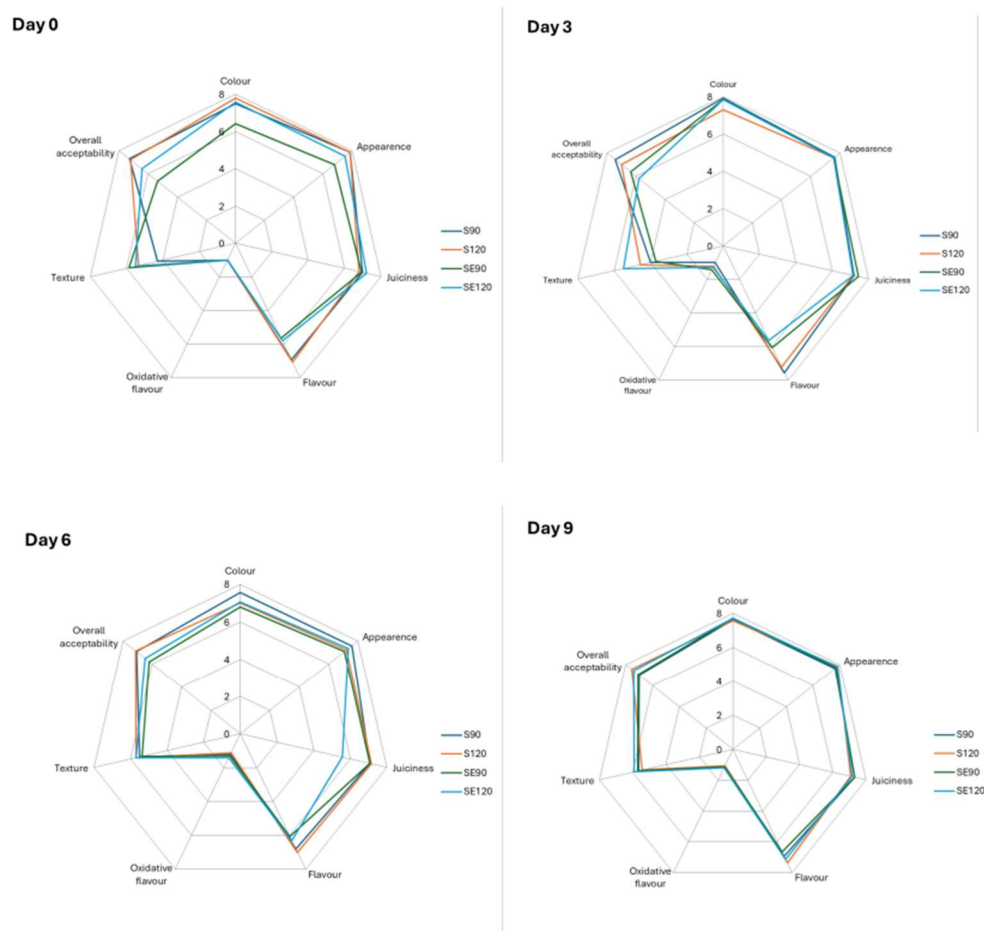


Figure 8. Sensory evaluation of sous vide cooked turkey breasts

S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min

Microbiological analysis

Neither *Salmonella* nor *Listeria monocytogenes* was detected in raw or sous-vide cooked samples on both day 0 and day 9. The total aerobic mesophilic bacteria (TAMB) counts of sous-vide cooked turkey breast during cold storage are presented in Table 3. According to the Turkish Food Codex Regulation on Microbiological Criteria (2011), the acceptable limit for TAMB counts is 5 log cfu/g. In raw turkey breast meat, TAMB was measured as 3 log cfu/g. After sous-vide cooking, an

increase in TAMB values was observed in all treatments except for the S120 treatment. This increase may have been caused by contamination from processing equipment such as chopping boards, knives, vacuum bags, tumblers, or water used in the marinade. Despite this, TAMB values in all samples remained below the regulatory limit. Additionally, the antimicrobial activity of laurel extract (LE) became evident by day 6 of storage.

Table 1. Total aerobic bacteria counts of sous-vide cooked turkey breast during cold storage

Treatments	Total Aerobic Bacteria (log cfu/g)			
	Day 0	Day 3	Day 6	Day 9
S90	3.38 ^{c,z} ±0.14	4.00 ^{b,y} ±0.35	4.30 ^{b,xy} ±0.15	4.60 ^{a,x} ±0.22
S120	2.65 ^{d,z} ±0.06	4.90 ^{a,x} ±0.04	4.78 ^{a,x} ±0.17	4.30 ^{b,y} ±0.03
SE90	4.65 ^{b,x} ±0.11	4.70 ^{a,x} ±0.08	3.92 ^{c,y} ±0.13	4.04 ^{c,y} ±0.07
SE120	4.92 ^{a,x} ±0.04	4.95 ^{a,x} ±0.04	4.30 ^{b,y} ±0.18	3.78 ^{d,z} ±0.08

^{a,c} Means marked with different letters on the same column are significantly different ($P < 0.05$).

^{x,y} Means marked with different letters on the same row are significantly different ($P < 0.05$).

S90: Sous-vide cooked at 90 min, S120: Sous-vide cooked at 120 min, SE90: Sous-vide cooked at 90 min +LE, SE120: Sous-vide cooked at 120 min +LE

In a previous study, turkey cutlets cooked using the sous-vide technique at 65°C for 40 minutes showed that total mesophilic bacteria counts exceeded 5 log cfu/g after 35 days of storage at 4°C and after 21 days at 12°C. The researchers also reported that *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* pathogens were absent in all samples, but long-term storage negatively impacted sensory quality (Akoğlu et al., 2018). Similarly, Bıyıklı et al. (2020) investigated sous-vide cooking of turkey cutlets at combinations of 65-70-75°C for 20-40-60 minutes. They found no *Salmonella* species in any samples; however, *Listeria* species were detected in raw meat and in sous-vide cooked samples processed at 65°C for 20 minutes. Their findings also indicated that sous-vide cooking reduced TAB counts by approximately 2 log cfu/g. Furthermore, Nyam et al. (2023) reported that the total mesophilic aerobic count of raw chicken breast meat was 6.36 log cfu/g. After sous-vide cooking, the counts ranged between 2.81 and 4.49 log cfu/g, which is consistent with our results.

CONCLUSIONS

This study highlights the potential of laurel extract as an effective antioxidant in improving the quality and stability of marinated turkey breast meat during sous-vide cooking and refrigerated storage. The incorporation of LE significantly reduced lipid and protein oxidation, as evidenced by lower TBARS and carbonyl values, regardless of cooking time. Furthermore, the use of LE did not negatively impact the sensory attributes of the meat, even with extended cooking durations. While cooking time alone had no significant effect on cooking losses, longer sous-vide durations

contributed to increased protein oxidation in samples without LE. Additionally, the microbiological analysis confirmed that all samples remained within safe consumption limits throughout the storage period.

The findings suggest that LE is a promising natural antioxidant for maintaining the quality, flavor, and oxidative stability of sous-vide cooked turkey breast, particularly for extended cold storage. This approach provides a practical and consumer-friendly solution for the food industry, catering to the growing demand for healthier, minimally processed, and ready-to-eat poultry products.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors are thankful to Ege University Scientific Research Projects Coordination for the funding they provided under the project ID: FYL-2019-20780 and Pınar Et Industry Co. for kindly donating beef meat as research material.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest with any individuals or institutions regarding this article.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Meltem Serdaroğlu: overall conceptualization, methodology, reviewing and editing the manuscript, supervision and administration. Esra Derin: formal analysis, drafting the original manuscript, visualization of data. We certify that the English in this manuscript has been carefully reviewed and corrected.

REFERENCES

- Aguilera, J. M. (2018). Relating food engineering to cooking and gastronomy. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17:1021–1039. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12361>
- Akcan, T., Estevez, M., Serdaroglu, M. (2017). Antioxidant protection of cooked meatballs during frozen storage by whey protein edible films with phytochemicals from *Laurus nobilis* L. and *Salvia officinalis* L. *LWT - Food Science and Technology*, 77:323–331. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.11.051
- Akoğlu, I., Bıyıklı, M., Akoğlu, A., Kurhan, S. (2018). Determination of the quality and shelf life of sous-vide cooked turkey cutlet stored at 4 and 12 °C. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 20(1): 1–8. DOI: 10.1590/1806-9061-2017-0571
- Al-Hijazeen, M., Mendonca, A., Lee, E. J., Ahn, D. U. (2018). Effect of oregano oil and annic acid combinations on the quality and sensory characteristics of cooked chicken meat. *Poultry Science*, 97(2): 676–683. DOI: 10.3382/ps/pex355
- Anonymous. (2024). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Haber bülteni Sayı No: 53569, Kümes Hayvancılığı Üretimi, Ağustos 2024.
- AOAC. (2012). *Official Methods of Analysis* (19th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, USA.
- Ayub, H., Ahmad, A. (2019). Physicochemical changes in sous-vide and conventionally cooked meat. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 17:1–8. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2019.100145'tir.
- Babür, T. E., Tekinşen, K. K., Gürbüz, U. (2019). Some quality qualifications of cooked meat sous-vide in the storage process. *Mediterranean Journal of Engineering and Natural Sciences*, 7(1): 34–41. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mjen/issue/45851/572170>
- BAM Online. (2001). *Bacteriological Analytical Manual*. Retrieved from <https://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/default.htm>
- Bıyıklı, M., Akoğlu, A., Kurhan, S., Akoğlu, I. T. (2020). Effect of different sous-vide cooking temperature-time combinations on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of turkey cutlet. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 20: 100204. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2020.100204
- Bio-Rad. (n.d.). *Detection of Listeria monocytogenes using the Bio-Rad Real-Time PCR method validated under AOAC 993.12 standard*. Hercules, CA: Bio-Rad Laboratories.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1) : 25–30. DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- Can, O. P., Harun, F. (2015). Shelf life of chicken meatballs submitted to sous-vide treatment. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 17(2) : 137–144. DOI: 10.1590/1516-635x1702137-144
- Çimen, N., Ünal, K., Alp, H. (2024). Effects of ultrasound-assisted marination on spent hen meats: Microstructure, textural and technological properties. *Food Bioscience*, 61(3):104563 DOI: 10.1016/j.fbio.2024.104563
- Daştan, T., Saraç, H., Durna Daştan, S., Demirbaş, A. (2024). Evaluation of bioactivity of ethanol and water extracts and determination of nutrient concentrations of laurel (*Laurus nobilis*) plants grown in İzmir province. *Cumhuriyet Science Journal*, 45(2) : 201–209. DOI: 10.17776/csj.1427594
- Dias, M. I., Barros, L., Dueñas, M., Alves, R. C., Oliveira, M. B. P. P., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R. (2014). Nutritional and antioxidant contributions of *Laurus nobilis* L. leaves: Would it be more suitable to use a wild or cultivated sample? *Food Chemistry*, 156 : 339–346. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.01.122. Epub 2014 Feb 12.
- Echegaray, N., Pateiro, M., Nieto, G., Rosmini, M. R., Munekata, P. E. S., Sosa-Morales, M. E., Lorenzo, J. M. (2022). Lipid oxidation of vegetable oils. In J. M. Lorenzo, P. E. S. Munekata, M. Pateiro, F. J. Barba, R. Domínguez (Eds.), *Food Lipids* (pp. 127–152). Academic Press.
- Ellman, G. L. (1959). Tissue sulphydryl groups. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 82(1) : 70–77.

- Erdemir, E., Karaoğlu, M. M. (2021). Et ve et ürünlerinin tekstürel özelliklerini enstrümental olarak tespit etme yöntemleri ve tekstür profil analizi üzerine bir derleme. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(4) : 2836–2848. DOI: 10.21597/jist.782149
- Ergezer, H., Gökçe, R., Hozer, S., Akcan, T. (2016). Et ve ürünlerinde protein oksidasyonu: Etki mekanizması, tespit yöntemleri ve etkileri. *Akademik Gıda*, 14(1) : 54–60.
- Escarpa, A., González, M. C. (2001). Approach to the content of total extractable phenolic compounds from different food samples by comparison of chromatographic and spectrophotometric methods. *Analytica Chimica Acta*, 427(1) : 119–127. DOI: 10.1016/S0003-2670(00)01188-0.
- Evert R.F., Eichhorn S.E. (2013). Raven biology of plants, 8th edn.. W.H. Freeman/Palgrave Macmillan. pp. 900. DOI:10.1093/aob/mcu090
- Falowo, A. B., Fayemi, P. O., Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, 64 : 171–181. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.06.022
- Fernández, N. J., Damiani, N., Podaza, E. A., Martucci, J. F., Fasce, D., Quiroz, F., Meretta, P. E., Quintana, S., Eguaras, M. J., Gende, L. B. (2019). *Laurus nobilis* L. extracts against *Paenibacillus larvae*: Antimicrobial activity, antioxidant capacity, hygienic behavior, and colony strength. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(5), 906–912. DOI: 10.1016/j.sjbs.2018.04.008
- Hong, G. E., Kim, J. H., Ahn, S. J., Lee, C. H. (2015). Changes in meat quality characteristics of the sous-vide cooked chicken breast during refrigerated storage. *Korean Journal of Food Science and Animal Resources*, 35(6), 757–764. DOI: 10.5851/kosfa.2015.35.6.757.
- Hong, G., Mandal, P. K., Kim, J., Park, W., Oh, J., Lim, K., Lee, C. (2016). Influence of lime juice on the pink discoloration and quality of sous-vide processed chicken breast during refrigerated storage. *Journal of Food Quality*, 39 : 726–731. DOI: 10.1111/jfq.12232
- Jeong, K., Hyeonbin, O., Shin, S. Y., Kim, Y. (2018). Effects of sous-vide method at different temperatures, times, and vacuum degrees on the quality, structural, and microbiological properties of pork ham. *Meat Science*, 143 : 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.010>
- Jiang, J., Xiong, Y. L. (2016). Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 12:107–117. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.04.005
- Kim, S., Li, J., Lim, N., Kang, B., Park, H. (2016). Prediction of warmed-over flavour development in cooked chicken by colorimetric sensor array. *Food Chemistry*, 211 : 440–447. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.05.084
- Lopez, K., Schilling, M. W., Armstrong, T. W., Smith, B. S., Corzo, A. (2012). Sodium chloride concentration affects yield, quality, and sensory acceptability of vacuum-tumbled marinated broiler breast fillets. *Poultry Science*, 91(5) : 1186–1194. DOI: 10.3382/ps.2011-01893
- Mariutti, L. R. B., Bragagnolo, N. (2017). Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: A review. *Food Research International*, 94:90–100. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.02.003
- Mielnik, M. B., Olsen, E., Vogt, G., Adeline, D., Skrede, G. (2006). Grape seed extract as antioxidant in cooked, cold-stored turkey meat. *LWT - Food Science and Technology*, 39(3) : 191–198. DOI: 10.1016/j.lwt.2005.02.003
- Mielnik, M. B., Sem, S., Egelanddsdal, B., Skrede, G. (2008). By-products from herbs essential oil production as ingredient in marinade for turkey thighs. *LWT - Food Science and Technology*, 41(1) : 93–100.
- Muñiz-Márquez, D. M., Martínez-Ávila, G. C., Wong-Paz, J. E., Belmares-Cerda, R., Rodríguez-Herrera, R., Aguilar, C. N. (2013). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Laurus nobilis* L. and their antioxidant activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(5) : 1149–1154. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.02.008
- Naveena, B. M., Khansole, P. S., Kumar, M. S., Krishnaiah, N., Kulkarni, V. V., Deepak, S.

- (2017). Effect of sous-vide processing on physicochemical, ultrastructural, microbial, and sensory changes in vacuum-packaged chicken sausages. *Food Science and Technology International*, 23(1) : 75–85. DOI: 10.1177/1082013216658580
- Nyam, K. L., Goh, K. M., Shu, Q. C., Chin, P. T., Cheong, L. Z. (2023). Effect of sous-vide cooking parameters on physicochemical properties and free amino acids profile of chicken breast meat. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115:105010. DOI: 10.1016/j.jfca.2022.105010
- OECD/FAO. (2023). OECD-FAO Agricultural Outlook 2023–2032. OECD Publishing, Paris. DOI: 10.1787/08801ab7-en.
- Oliver, C. N., Ahn, B. W., Moerman, E. J., Goldstein, S., Stadtman, E. R. (1987). Age-related changes in oxidized proteins. *Journal of Biological Chemistry*, 262 : 5488–5491. DOI: 10.1016/S0021-9258(18)45598-6
- Ouchikh, O., Chahed, T., Ksouri, R., Taarit, M. B., Faleh, H., Abdelly, C., Kchouk, M. E., Marzouk, B. (2011). The effects of extraction method on the measured tocopherol level and antioxidant activity of *Laurus nobilis* vegetative organs. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(1) : 103–110. DOI: 10.1016/j.jfca.2010.04.006
- Oz, F., Seyyar, E. (2016). Formation of heterocyclic aromatic amines and migration level of bisphenol-A in sous-vide cooked trout fillets at different cooking temperatures and cooking levels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(15):3070–3082. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b05716
- Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C. N., Nicorescu, V. (2016). Mechanisms of oxidative processes in meat and toxicity induced by postprandial degradation products: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1) : 96–123. DOI: 10.1111/1541-4337.12241
- Park, C. H., Lee, B., Oh, E., Kim, Y. S., Choi, Y. M. (2020). Combined effects of sous-vide cooking conditions on meat and sensory quality characteristics of chicken breast meat. *Poultry Science*, 99(6) : 3286–3291. DOI: 10.1016/j.psj.2020.02.040
- Polovka, M., Suhaj, M. (2010). Detection of caraway and bay leaves irradiation based on their extracts' antioxidant properties evaluation. *Food Chemistry*, 119(1):391–401. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.07.005
- Pulgar, J. S., Gázquez, A., Ruiz-Carrascal, J. (2012). Physico-chemical, textural, and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum, cooking temperature, and cooking time. *Meat Science*, 90(3) : 828–835. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.11.024
- Rasinska, E., Rutkowska, J., Czarniecka-Skubina, E., Tambor, K. (2019). Effects of cooking methods on changes in fatty acids contents, lipid oxidation, and volatile compounds of rabbit meat. *LWT - Food Science and Technology*, 110 : 64–70. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.04.067
- Roldán, M., Antequera, T., Martín, A., Mayoral, A. I., Ruiz, J. (2013). Effect of different temperature–time combinations on physicochemical, microbiological, textural, and structural features of sous-vide cooked lamb loins. *Meat Science*, 93(3):72–578. DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.11.014
- Roldán, M., Antequera, T., Armenteros, M., Ruiz, J. (2014). Effect of different temperature–time combinations on lipid and protein oxidation of sous-vide cooked lamb loins. *Food Chemistry*, 149 : 129–136. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.10.097
- Ruiz-Carrascal, J., Roldán, M., Refolio, F., Perez-Palacios, T., Antequera, T. (2019). Sous-vide cooking of meat: A Maillarized approach. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 16 : 1–5. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2019.100138
- Santé-Lhoutellier, V., Astruc, T., Marinova, P., Greve, E., Gatellier, P. (2008). Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(4) : 1488–1494. DOI: 10.1021/jf072999g
- Shah, M. A., Bosco, S. J. D., Mir, S. A. (2014). Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. *Meat Science*, 98 : 21–33. DOI: 10.1016/j.meatsci.2014.03.020
- Shi, C., Cui, J., Yin, X., Luo, Y., Zhou, Z. (2014). Grape seed and clove bud extracts as natural

- antioxidants in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets during chilled storage: Effect on lipid and protein oxidation. *Food Control*, 40:134–139. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.12.001
- Sickler, M. L., Claus, J. R., Marriott, N. G., Eigel, W. N., Wang, H. (2013). Reduction in lipid oxidation by incorporation of encapsulated sodium tripolyphosphate in ground turkey. *Meat Science*, 95 : 376–380. DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.05.033
- Silva, F. A. P., Ferreira, F. C. S., Madruga, M. S., Estévez, M. (2016). Effect of the cooking method (grilling, roasting, frying, and sous-vide) on the oxidation of thiols, tryptophan, alkaline amino acids, and protein crosslinking in jerky chicken. *Journal of Food Science and Technology*, 53(8) : 3137–3146. DOI: 10.1007/s13197-016-2287-8
- Škerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hraš, A. R., Simonič, M., Knez, Ž. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones, and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 89(2): 191–198. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.02.025
- Song, D. H., Yang, N. H., Seomoon, K. M., Jang, I. S., Chin, K. B., Kim, H. W. (2023). Sous-vide cooking as a practical strategy to improve quality attributes and shelf stability of reduced-salt chicken breast ham. *Poultry Science*, 102(3): 102444. DOI: 10.1016/j.psj.2022.102444
- Traore, S., Aubry, L., Gatellier, P., Przybylski, W., Jaworska, D., Kajak-Siemaszko, K., Santé-Lhoutellier, V. (2012). Effect of heat treatment on protein oxidation in pig meat. *Meat Science*, 91(1) : 14–21. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.11.037
- Turgut, S. S., Soyer, A., Işıkcı, F. (2016). Effect of pomegranate peel extract on lipid and protein oxidation in beef meatballs during refrigerated storage. *Meat Science*, 116 : 126–132. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.02.011
- Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği. (2011). T.C. Resmi Gazete, Sayı: 28157 (3. Mükerrer), 29 Aralık.
- Turkish Standards Institute. (2020). *TS EN ISO 6579-1/A1: Microbiology of the food chain – Detection of Salmonella spp. (Amendment 1)*. Ankara: TSE.
- U-chupaj, J., Malila, Y., Petracci, M., Benjakul, S., Visessanguan, W. (2017). Effect of tumbling marination on marinade uptake of chicken carcass and parts quality. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 19(1) : 61–68. DOI: 10.1590/1806-9061-2016-0270
- Vinha, A. F., Guido, L. F., Costa, A. S. G., Alves, R. C., Oliveira, M. B. P. P. (2015). Monomeric and oligomeric flavan-3-ols and antioxidant activity of leaves from different *Laurus* sp. *Food & Function*, 6 : 1944–1949. DOI: 10.1039/C5FO00310A
- Witte, V. C., Krauze, G. F., Bailey, M. E. (1970). A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *Journal of Food Science*, 35 : 582–585. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1970.tb04815.x
- Yeşilsu, A. F., Özyurt, G. (2019). Oxidative stability of microencapsulated fish oil with rosemary, thyme, and laurel extracts: A kinetic assessment. *Journal of Food Engineering*, 240: 171–182. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.07.021
- Young, L. L., Smith, D. P. (2004). Effect of vacuum on moisture absorption and retention by marinated broiler fillets. *Poultry Science*, 83(1) : 129–131. DOI: 10.1093/ps/83.1.129
- Yu, L., Scanlin, L., Wilson, J., Schmidt, G. (2002). Rosemary extracts as inhibitors of lipid oxidation and color change in cooked turkey products during refrigerated storage. *Journal of Food Chemistry and Toxicology*, 67(2) : 582–585. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb11429.x
- Zahid, M. A., Choi, J. Y., Seo, J., Parvin, R., Ko, J., Yang, H. (2020). Effects of clove extract on oxidative stability and sensory attributes in cooked beef patties at refrigerated storage. *Meat Science*, 161 : 107972. DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.107972
- Zhang, M., Mengfei, C., Fan, F., Cuncun, F., Suhui, X., Chunlu, Q., Jun, L., Juan, K., Changhai, J. (2022). Effect of sous-vide cooking treatment on the quality, structural properties, and flavor profile of duck meat. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 29: 100565. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2022.100565

**ANTIOXIDANT CAPACITY, PHENOLIC COMPOUND CONTENT, AND
MINERAL COMPOSITION OF ETHANOL EXTRACTS FROM *SORBUS
AUCUPARIA* AND *SORBUS KUSNETZOVII***

Kübra CİNAR TOPCU¹, Pınar ANLAR^{2*}, Özlem ÇAKIR³, Abdurrahman SEFALİ⁴

¹Bayburt University, Department of Food Processing, Aydıntepe, Bayburt, Türkiye

²Atatürk University, Department of Food Processing, Erzurum, Türkiye

³Bayburt University, Food Engineering, Bayburt, Türkiye

⁴Bayburt University, Primary Education Department, Bayburt, Türkiye

Received / Geliş: 19.12.2024; Accepted / Kabul: 24.02.2025; Published online / Online baskı: 27.02.2025

Cinar Topcu, K., Anlar, P., Çakır, Ö., Sefali, A. (2025). Antioxidant capacity, phenolic compound content, and mineral composition of ethanol extracts from *Sorbus aucuparia* and *Sorbus kusnetzovii*. GIDA (2025) 50 (2) 223-234 doi: 10.15237/gida.GD24118

Cinar Topcu, K., Anlar, P., Çakır, Ö., Sefali, A. (2025). *Sorbus aucuparia* ve *Sorbus kusnetzovii*’den elde edilen etanol ekstraktlarının antioksidan kapasitesi, fenolik bileşik içeriği ve mineral kompozisyonu. GIDA (2025) 50 (2) 223-234 doi: 10.15237/gida.GD24118

ABSTRACT

Ethanol extracts of *Sorbus aucuparia* L. and *Sorbus kusnetzovii* Zinserl. fruits, belonging to the Rosaceae family, were obtained using an ultrasonic-assisted extraction method. The total phenolic contents of *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* were 8.44 ± 0.66 mg GAE/g and 8.65 ± 2.18 mg GAE/g, respectively, while their total flavonoid contents were 2.30 ± 0.01 mg QE/g and 2.67 ± 0.13 mg QE/g, respectively. The fruits’ DPPH values were measured as 9.59 ± 0.00 mg TE/g and 9.28 ± 0.05 mg TE/g, FRAP values as 9.51 ± 0.42 mg TE/g and 13.38 ± 0.52 mg TE/g, and CUPRAC values as 13.43 ± 0.01 mg TE/g and 23.21 ± 0.74 mg TE/g. Furthermore, both *Sorbus* species were found to have a rich mineral content. Therefore, it can be concluded that *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* fruits contain potent antioxidants, abundant phenolic compounds, and valuable minerals. Furthermore, they have significant potential as functional foods and are strong candidates for further clinical research.

Keywords: *Sorbus aucuparia* L., *Sorbus kusnetzovii* Zinserl., antioxidant, phenolic, ICP-MS

***SORBUS AUCUPARIA VE SORBUS KUSNETZOVII’DEN ELDE EDİLEN
ETANOL EKSTRAKTLARININ ANTİOKSİDAN KAPASİTESİ, FENOLİK
BİLEŞİK İÇERİĞİ VE MİNERAL KOMPOZİSYONU***

ÖZ

Rosaceae familyasına ait *Sorbus aucuparia* L. ve *Sorbus kusnetzovii* Zinserl. meyvelerinin etanol ekstraktları, ultrasonik destekli ekstraksiyon yöntemi kullanılarak elde edildi. *S. aucuparia* ve *S. kusnetzovii*’nin toplam fenolik içerikleri sırasıyla 8.44 ± 0.66 mg GAE/g ve 8.65 ± 2.18 mg GAE/g iken, toplam

* Corresponding author/Sorumlu yazar

✉: pinar.anlar@atauni.edu.tr

☎: (+90) 442 231 6239

☎: (+90) 442 231 2503

Kübra Cinar Topcu; ORCID no: 0000-0002-3715-8739

Pınar Anlar; ORCID no: 0000-0001-9832-553X

Özlem Çakır; ORCID no: 0000-0002-5080-7721

Abdurrahman Sefali; ORCID no: 0000-0002-0092-0857

flavonoid içerikleri sırasıyla 2.30 ± 0.01 mg QE/g ve 2.67 ± 0.13 mg QE/g idi. Meyvelerin DPPH değerleri 9.59 ± 0.00 mg TE/g ve 9.28 ± 0.05 mg TE/g, FRAP değerleri 9.51 ± 0.42 mg TE/g ve 13.38 ± 0.52 mg TE/g ve CUPRAC değerleri 13.43 ± 0.01 mg TE/g ve 23.21 ± 0.74 mg TE/g olarak ölçüldü. Ayrıca, her iki *Sorbus* türünün de zengin mineral içeriğine sahip olduğu bulundu. Bu nedenle, *S. aucuparia* ve *S. kusnetzovii* meyvelerinin güçlü antioksidanlar, bol miktarda fenolik bileşik ve değerli mineraller içerdiği sonucuna varılabilir. Ayrıca, fonksiyonel gıda olarak önemli potansiyele sahiptirler ve daha ileri klinik araştırmalar için güçlü adaylardır.

Anahtar kelimeler: *Sorbus aucuparia* L., *Sorbus kusnetzovii* Zinserl., antioksidan, fenolik, ICP-MS

INTRODUCTION

The extraction of valuable components from plants has recently attracted considerable attention from consumers and academic and industrial circles. This interest focuses on compounds, such as phenolic acids, phenolic diterpenes, flavonoids, essential oils, and other bioactive molecules (Beya et al., 2021; Aimone et al., 2024). Such compounds are characterized by their anti-inflammatory, antibacterial, and antiviral effects and their potential to prevent inflammation, cancer, neurodegenerative, and cardiovascular diseases (Perron and Brumaghim, 2009; Beya et al., 2021). Therefore, these naturally derived compounds can be used as dietary supplements or food additives or to increase the antioxidant activity of foods (Pereira et al., 2022). Furthermore, compounds with rich bioactive properties can also be used to produce various drugs (AlAli et al., 2021). In this respect, wild berries (mountain ash, blueberries, raspberries, blackberries, cranberries, forest strawberries, and cherries) attract attention due to their abundant bioactive compounds and unique flavors (Aurori et al., 2024). With 121 genera and 5997 species, the *Rosaceae* family has medicinal, nutritional, ecological, and economic importance and is one of the important plant families whose bioactive properties have been studied (Bánki et al., 2022). This family includes various fruits, such as apple, pear, medlar, plum, cherry, peach, rosehip, hawthorn, and quince, and ornamental plants, such as rose, meadow hyacinth, mountain ash, and firethorn (Dönmez et al., 2022).

Sorbus L. is an important genus belonging to the *Rosaceae* family (Öz Atasever and Gerçekcioğlu, 2013). It is commonly called rowan berry,

mountain ash, or European fruit (Rutkowska et al., 2023). This genus, which is predominantly found in the Northern Hemisphere, typically consists of deciduous, thornless, small trees and/or shrubs (Lykholat et al., 2021). Its flowers are usually white, occasionally pink, and turn yellow, red, or orange upon ripening (Odunkiran, 2016). *Sorbus* species are recognized for their potential to protect against inflammation, rheumatism, diabetes, kidney disorders, and cardiovascular diseases. Additionally, they are valued for their appetite-stimulating properties and as a rich source of vitamins (Singh and Mijakovic, 2022). Due to their bitter and astringent taste, they are not commonly consumed fresh but are widely used to produce jellies, jams, and fruit juices (Aimone et al., 2024). Furthermore, in several European countries, e.g. Estonia, they are utilized in bread-making and to flavor, clarify, and preserve alcoholic beverages (Sulimanec et al., 2023). Eighty taxa worldwide and 18 taxa in Türkiye represent the *Sorbus* genus (Aksoy, 2013). In Türkiye, the regions with the highest species diversity are located in Eastern Anatolia, a part of the Caucasus region (Akyıldırım Beğen and Eminağaoğlu, 2022). The important *Sorbus* species found in Türkiye include *Sorbus aucuparia* (rowan) and *Sorbus kusnetzovii* (service tree).

S. aucuparia is one of the underutilized forest fruits, reaching a height of 15-20 m, and is a decorative plant with reddish-orange fruits (Aurori et al., 2024). *S. kusnetzovii* is another significant taxon belonging to the *Sorbus* genus. It is distributed across open rocky slopes at altitudes of 1200-2400 m above sea level in the middle and high mountain ranges of the Caucasus. This

species reaches a height of 4-5 m and has red, shiny, and slightly hairy fruits (Ibrahimov and Matsyura, 2018). The fruits of the *Sorbus* genus contain organic acids (ascorbic acid), polyphenols (phenolic, chlorogenic, and neochlorogenic acids), carotenoids, and trace elements (Aurori et al., 2023). The range of *Sorbus* phenolics, from simple phenolic acids to complex tannin-type proanthocyanidins, highlights the importance of their bioactive compound content (Olszewska and Michel, 2009). Moreover, these fruits have historically been utilized in the treatment of diverse gastrointestinal, pulmonary, renal, hepatic, and cardiovascular disorders (Eremeevaa and Makarova, 2022). Additionally, *Sorbus* fruits have antidiabetic, diuretic, anti-inflammatory, antibacterial, and antipyretic properties (Bobinaite et al., 2020). The pulp of *Sorbus* fruits and their seeds are nutritionally important since *Sorbus* seeds contain a high amount of unsaturated fatty acids (Şen, 2011).

In the literature, various studies have examined the bioactive impacts of *S. aucuparia* (Petkova et al., 2020; Sarv et al., 2021; Eremeevaa and Makarovab, 2022; Sulimanec et al., 2023; Krzywicka and Kobus, 2023; Ryszczyńska et al., 2024). However, few studies have focused on *S. kusnetzovii* (Ekin et al., 2016). Furthermore, few studies have investigated the mineral content of these fruits (Raspe et al., 2000; Aslantas et al., 2007; Sulimanec et al., 2023). Therefore, the current research determined the total phenolic content (TPC) and flavonoid content (TFC), as well as the DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), FRAP (ferric-reducing antioxidant power), and CUPRAC (cupric ion reducing capacity) of ultrasonic-assisted ethanol extracts of two *Sorbus* species (*S. aucuparia* and *S. kusnetzovii*). Additionally, the macro- and micro-mineral content of the fruits was analyzed with an ICP-MS (inductively coupled plasma-mass spectrometry) device. This study investigated in detail the bioactive properties of the two important *Sorbus* species, aiming to fill the gap in the literature in this area. Moreover, the high bioactive properties of these fruits, their potential

applications in food and traditional medicine, and the widespread occurrence of the *Sorbus* genus in Türkiye further highlight this study's significance.

MATERIAL AND METHODS

Material

S. aucuparia and *S. kusnetzovii* utilized in the study were collected from Bayburt province in August 2022. References, such as "Flora of Turkey and the Eastern Aegean Islands" (Davis, 1965-1985; Davis et al., 1988; Güner et al., 2000), "List of Plants of Turkey (Vascular Plants)" (Güner et al., 2012), and "Identification of Wild Fruits Growing in Bayburt Province and Some Studies" (Sefali, 2023), were taken as a basis when identifying the plants. The fourth author identified the plants. Afterward, the samples were brought to the Food Engineering Laboratory of Bayburt University, dried at 50°C for 2 days, and stored under appropriate conditions until being analyzed. The plants turned into herbarium specimens are preserved in the Science Laboratory of the Faculty of Education at Bayburt University.

Extraction

Extraction was carried out using an ultrasonic-assisted technique, modified from the method described by Meng et al. (2011). Ultrasonic-assisted extraction was performed in an ultrasonic bath (WiseClean WUC-D06H) with a solvent mixture of 80% ethanol and distilled water. Initially, 3 g of the sample was mixed with 30 mL of ethanol and sonicated. After extraction, the samples were centrifuged at 2282×g for a period of 30 min. The supernatants obtained were carefully separated, transferred into dark bottles, and stored at a temperature of -18°C until the subsequent analysis.

TPC

To determine the samples' TPC, a mixture of 5 mL of Folin-Ciocalteu reagent (Merck) (diluted 1:10 with water), 4 mL of 7.5% Na₂CO₃ solution, and 1 mL of the extract was prepared. After the mixture was incubated at room temperature in the dark for a period of 60 min, the absorbance was recorded with a spectrophotometer (Shimadzu

UV-1800) at 750 nm. The results were presented as gallic acid equivalents (GAE) (Fluka) in mg GAE per gram of extract (mg GAE/g) (McDonald et al., 2001).

TFC

To determine the TFC, 2 mL of 2% aluminum chloride solution was added to 2 mL of the diluted extract. The mixture was kept at room temperature for 15 min. Afterward, the samples' absorbance was read at a wavelength of 420 nm. The results were presented as quercetin equivalents (QE) in mg QE per gram of dry matter (mg QE/g) (Chandra et al., 2014).

Antioxidant capacity

For the purpose of evaluating the extracts' impacts on the DPPH radical scavenging activity assay radical (Fluka), 3.9 mL of DPPH solution (6×10^{-5} M) was added to 100 μ L of the diluted extract, and the mixture was kept in the dark for a period of 30 min. Afterward, the absorbance of the color formed as a result of the reaction between the extracts and DPPH was measured at 515 nm. The results were given as Trolox equivalents (TE) in mg TE per gram of dry matter (mg TE/g) (Bao et al., 2005; Zhou et al., 2009).

To determine the extracts' FRAP values, a working solution was prepared by mixing acetate buffer, TPTZ (Sigma-Aldrich), and $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and then heated to 37°C . A 150 μ L portion of the extract was reacted with 2850 μ L of FRAP solution in the dark for a period of 30 min. The colored product was measured at a wavelength of 593 nm, and the results were given as Trolox equivalents (mg TE/g) (Upadhyay et al., 2010).

To determine the extracts' CUPRAC values, 1.10×10^{-2} M $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ solution, 1 M ammonium acetate buffer (pH 7.0), and 7.5×10^{-3} M neocuproine solution were prepared. The copper solution, ammonium acetate buffer, neocuproine solution, water, and 0.1 mM extract were mixed at 1 mL each to achieve a total volume of 4.1 mL. The mixture was kept in the dark for a period of

30 min, and absorbance values were measured at 450 nm (Apak et al., 2009).

Mineral composition

The samples' macro- and micro-element contents were analyzed with an ICP-MS (Agilent Technologies 7800) instrument by making some modifications to the method described by Mayda et al. (2020). The results were expressed in mg/kg. The following macro- and micro-elements were identified within the scope of the current research: sodium (Na), magnesium (Mg), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), manganese (Mn), iron (Fe), zinc (Zn), aluminum (Al), copper (Cu), lithium (Li), beryllium (Be), chromium (Cr), cobalt (Co), nickel (Ni), arsenic (As), selenium (Se), ruthenium (Ru), rhodium (Rh), palladium (Pd), silver (Ag), cadmium (Cd), barium (Ba), and lead (Pb).

Statistical analysis

The results were subjected to analysis of variance using the IBM SPSS Statistics 27 package program. Afterward, Duncan's multiple comparison test compared the averages. Furthermore, Pearson's correlation test examined the relationship between the results for TPC, TFC, DPPH, FRAP, and CUPRAC. This study analyzed the differences between the mineral contents of two *Sorbus* genotypes using PCA (principal component analysis). The first principal component (PC1) was determined to represent 100% of the total variance.

RESULTS

TPC and TFC

The total phenolic contents of *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* fruits were 8.44 ± 0.66 and 8.65 ± 2.18 mg GAE/g, respectively (Figure 1). The results obtained agree with the literature. A similar study found the TPC of methanol extracts from *S. aucuparia* fruits collected from 12 populations in the Alpine-Dinaric region of Croatia to be 932 mg/100 g on average (Sulimanec et al., 2023). Another study evaluated the phenolic content in the fruits, juices, and pomaces of 16 sweet rowan berry varieties and wild rowan berries (*S.*

aucuparia). The samples' TPC values varied between 2.53-15.05 mg GAE/g dry weight for whole fruits, 0.53-14.8 mg GAE/g dry weight for juices, and 15.97-44.68 mg GAE/g dry weight for pomace fractions (Sarv et al., 2021). Another research examined the TPC values of aqueous and methanol extracts of *S. aucuparia* fruits. The study concluded that the TPC values of water extracts (2.07-3.33 mg GAE/g dry matter) were lower than those of methanol extracts (2.71-4.15 mg

GAE/g dry matter) (Ryszczyńska et al., 2024). Considering both the current work and the literature, it can be inferred that rowan berries are a good source of polyphenols. Therefore, these fruits are considered valuable functional components for food and non-food applications.

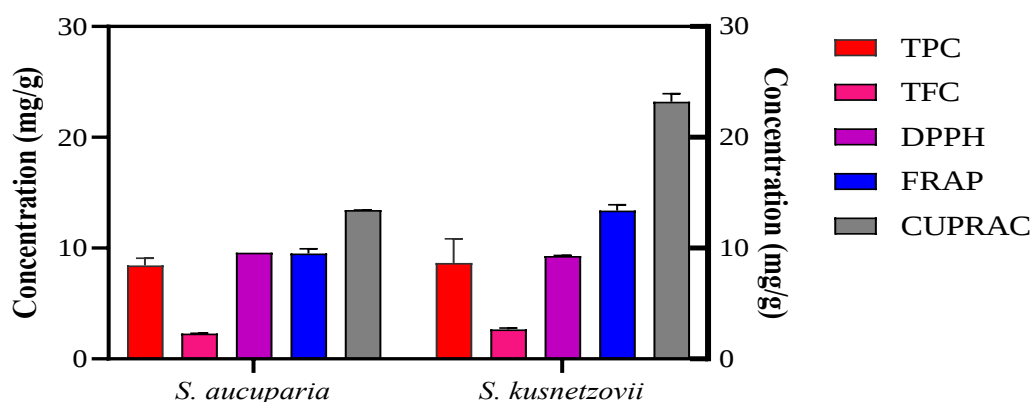


Figure 1. TPC, TFC, DPPH, FRAP, and CUPRAC contents of *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii*

Flavonoids are the most common polyphenols in foods, consisting of anthocyanidins, flavones, flavonols, flavanones, catechins, and proanthocyanidins (Kocaimamoğlu, 2014). Anthocyanidins and anthocyanins represent the most abundant groups of flavonoids in red, blue, and purple fruits. There are no anthocyanins in the content of rowan berry extracts, and other pigments determine their coloration (Eremeevaa and Makarovab, 2022). The TFC of *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* fruits was 2.30 ± 0.01 and 2.67 ± 0.13 mg QE/g, respectively (Figure 1). A study by Eremeevaa and Makarovab (2022) found the TFC value of *S. aucuparia* extract to be 1.92 ± 0.04 mol C/L, while Aurori et al. (2024) reported the TFC value of its ethanol extract as 537.58 ± 3.255 g QE/mL.

Antioxidant capacity

Substances with antioxidant properties are involved in delaying and/or preventing oxidation

by inhibiting the formation of free radicals or suppressing their propagation (Dorman et al., 2003). In this regard, butylated hydroxytoluene, butylated hydroxyanisole, ascorbic acid, tocopherol, and gallic acid are antioxidants commonly used in foods (García-Valencia et al., 2022). However, since these compounds are synthetic, they are not fully accepted by consumers due to their potential toxicity and carcinogenic effects (Mostafa and Azab, 2022). Hence plants, fruits, and their extracts with natural antioxidant properties have attracted considerable attention (Wang et al., 2022). Accordingly, research on natural antioxidants that could replace synthetic antioxidants that are utilized in the food industry at present is progressing rapidly.

Antioxidant activity determination methods depend on various parameters, such as the substrate in the studied system, reaction conditions, concentrations, and the structure of

the compound to be analyzed. Therefore, there is no standard method for determining a compound's antioxidant activity (Şen, 2011). For this reason, multiple antioxidant activity measurements should be performed to account for phenolics exhibiting various antioxidant mechanisms (Olszewska and Michel, 2009). In this respect, the current research determined the antioxidant capacity of rowan berries using the DPPH, FRAP, and CUPRAC methods, and Figure 1 displays the results. The DPPH radical represents a stable free radical commonly utilized to measure antioxidants' free radical scavenging activity (Sanchez-Moreno, 2002). The DPPH values of *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* fruits were 9.59 ± 0.00 and 9.28 ± 0.05 mg TE/g, respectively. A study by Olszewska and Michel (2009) obtained methanol extracts of *S. aucuparia*, *S. aria*, and *S. intermedia* fruits. The DPPH values of these fruits were determined to be 105.5, 181.1, and 86.9 $\mu\text{mol TE/g}$ dry matter, respectively. Another study analyzed the effects of final reactor sizes on the efficiency of ultrasound-assisted extraction of *S. aucuparia*. The study reported DPPH values between 23.63–73.28 $\mu\text{mol TE/g}$ for a 35-mm-diameter vessel and between 24.48–74.92 $\mu\text{mol TE/g}$ for a 25-mm-diameter vessel (Krzywicka and Kobus, 2023).

The FRAP assay, measuring the antioxidant activity of rowan berries, determined the FRAP values of *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* to be 9.51 ± 0.42 and 13.38 ± 0.52 mg TE/g, respectively (Figure 1). In the research by Raudonis et al. (2014), the FRAP values of different *Sorbus* species ranged from 7.34 to 42.66 $\mu\text{mol/g}$ dry matter, with the FRAP value of *S. aucuparia* identified as 11.83 $\mu\text{mol/g}$ dry matter. Another study reported the FRAP value of the methanol extract of *S. aucuparia* fruits to be 441.5 ± 5.8 $\mu\text{mol Fe(II)/g}$ dry matter (Olszewska and Michel, 2009). A study analyzing the effects of final reactor sizes on the efficiency of ultrasound-assisted extraction of *S. aucuparia* bioactive compounds found FRAP values to range from 59.46 to 119.00 $\mu\text{mol TE/g}$ for a 35-mm-diameter

vessel and from 52.98 to 154.27 $\mu\text{mol TE/g}$ for a 25-mm-diameter vessel (Krzywicka and Kobus, 2023). The research by Ekin et al. (2016) obtained ethanol extracts of 34 taxa from the genera *Amelanchier*, *Cotoneaster*, *Pyrus*, and *Sorbus*. The FRAP values of *S. aucuparia* collected from four cities (Rize, Erzincan, Artvin, and Trabzon) varied between 0.565 ± 0.03 and 0.974 ± 0.07 $\mu\text{g/mL}$. The FRAP value of *S. kusnetzovii* extract was determined to be 1.077 ± 0.02 $\mu\text{g/mL}$. Bozhuyuk (2011) reported that genetic factors affect the FRAP activity of *S. aucuparia*, with the FRAP values of 12 species ranging from 2.93 to 5.68 mM TE/100 g.

CUPRAC is another method used to determine reducing power. In the above-mentioned method, copper ions are reduced, and it serves as an antioxidant activity index for hydrophilic and lipophilic antioxidant compounds (Apak et al., 2009). In the current work, the CUPRAC values of *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* fruits were 13.43 ± 0.01 and 23.21 ± 0.74 mg TE/g, respectively (Figure 1). No studies in the literature have analyzed the CUPRAC values of *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* fruits. However, a study reported the CUPRAC value of *S. aria* fruits collected from Bulgaria to be 370.70 mM TE/100 g dry matter in fresh fruits and 783.17 mM TE/100 g dry matter in dried fruits (Petkova et al., 2020).

Pearson's correlation analysis

Table 1 contains the test results of Pearson's correlation analysis for the variables TPC, TFC, DPPH, FRAP, and CUPRAC. The table shows that the TPC variable does not correlate statistically significantly with the other variables. The TFC variable was found to correlate significantly ($P < 0.05$) with DPPH, FRAP, and CUPRAC. A highly significant correlation of DPPH ($P < 0.01$) with FRAP and CUPRAC was observed. Furthermore, a highly significant correlation was identified between FRAP and CUPRAC ($P < 0.01$), showing that both methods are based on a similar measurement of antioxidant capacity.

Table 1. The test results of Pearson's correlation analysis for the variables TPC, TFC, DPPH, FRAP, and CUPRAC

	TPC	TFC	DPPH	FRAP	CUPRAC
TPC	1				
TFC	0.402	1			
DPPH	-0.230	-0.981*	1		
FRAP	0.246	0.966*	-0.991**	1	
CUPRAC	0.162	0.961*	-0.997**	0.993**	1

*, $P < 0.05$, **, $P < 0.01$

ICP-MS

Minerals are important in plant metabolism. P is essential for vital growth processes in plants, while Ca and Mg are cell wall components. K is used in the formation of carbohydrates and proteins. S is a component of amino acids. Fe and Mn are necessary for the formation of chlorophyll, whereas Zn and Fe are cofactors. Na replaces K in regulating stomata opening and closing (Mishra et al., 2012). Furthermore, plants' macro- and micro-element content have a synergistic effect with other compounds, making the plant's elemental content important (Kremer et al., 2012).

The present study examined in detail the macro- and micro-element contents of rowan fruits (Table 2). In the literature, very few studies have investigated the mineral content of *S. aucuparia*. However, no study on *S. kusnetzovii* has been found. Na, Mg, P, K, Ca, and Al contents of *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* fruits were determined to be the highest. Moreover, the contents of minerals with antioxidant properties (Zn, Cu, Fe, and Mn) are also quite high (Shin et al., 2012). Additionally, minerals such as Li, Cr, Co, Ni, Pd, Ag, Ba, and Pb have been identified. The maximum permissible limits for the toxic elements Cd and Pb, set by the World Health Organization (WHO) in plant materials, are 0.3 and 10 mg/kg, respectively. The available fruits do not exceed these critical values and can, therefore, be considered safe (WHO 2007). A study determined the mineral content of *S. aucuparia* fruits collected from the Alpine-Dinaric region of Croatia. The study obtained the

following results: K 2485>Ca 459>P 206>Mg 193>Na 6.29>Fe 3.68>Mn 3.58>Zn 1.11>Cu 0.731>Mo 0.098>Co 0.003>Se 0.001 mg/kg (Sulimanec et al., 2023). The differences in some elements can be attributed to the differences in soil characteristics between Croatia and Türkiye. However, Aslantas et al. (2007) determined the K, P, Ca, Mg, Fe, Fe, Cu, Zn, and Mn contents of *S. aucuparia* fruits collected from Northeastern Anatolia to be 1540, 123, 299, 278.4, 24.2, 2.94, 8.61, and 5.03 mg/kg, respectively.

This study analyzed the differences between the mineral contents of the two *Sorbus* genotypes by PCA (Figure 2). The PCA plot shows the differences between *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* species in terms of mineral composition. PC1 component explained 100% of the variance in the entire data and clearly showed the distinction between the species. *S. aucuparia* species was found in negative PC1 values and was associated with Na mineral. *S. kusnetzovii* species was found in positive PC1 values and was associated with K mineral. Mg and Li minerals in the center were found in neutral positions between the species.

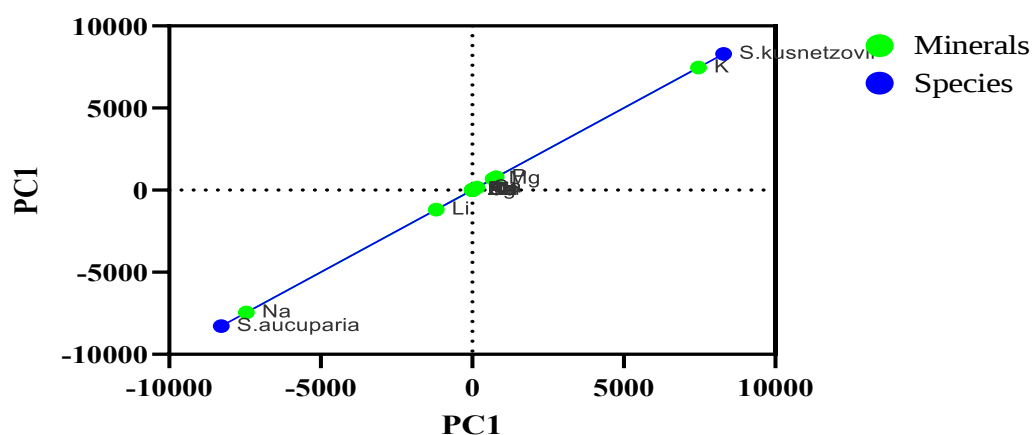
The results obtained and the findings of the current work are similar. In this respect, the results of the current work and the results obtained from the literature show that rowan fruits have valuable nutritional properties and can be used in the food industry.

Table 2. The concentration of macro and micro elements of *S. kusnetzovii* and *S. aucuparia*

Element	<i>S. kusnetzovii</i>		<i>S. aucuparia</i>		LOD	LOQ
	Content (ppm)	RSD	Content (ppm)	RSD		
Na	942.50	0.43	1322.72	0.92	0.227	0.758
Mg	1898.57	0.28	396.17	0.57	0.580	1.934
P	2279.93	0.96	560.14	0.63	3.702	12.341
K	18413.10	0.22	2002.18	1.99	9.582	31.938
Ca	500.12	0.92	176.18	0.59	1.896	6.321
Mn	14.27	1.82	8.05	0.15	0.015	0.050
Fe	46.60	0.21	26.12	0.97	0.126	0.422
Zn	15.95	0.19	4.58	0.98	0.434	1.448
Al	63.02	1.11	53.27	1.14	0.654	2.179
Cu	34.86	1.21	26.68	0.95	0.033	0.110
Li	1.52	0.84	62.45	1.25	0.048	0.161
Be	<LOQ	1.68	<LOQ	24.68	0.005	0.017
Cr	0.16	1.86	0.07	3.23	0.040	0.135
Co	0.09	1.09	<LOQ	5.06	0.011	0.037
Ni	1.45	0.71	0.43	1.61	0.064	0.214
As	<LOQ	10.66	<LOQ	14.09	0.014	0.045
Se	<LOQ	69.28	<LOQ	21.65	0.242	0.806
Ru	<LOQ	33.26	<LOQ	56.93	0.001	0.004
Rh	<LOQ	8.84	<LOQ	11.23	0.000	0.001
Pd	0.02	1.36	0.01	2.39	0.003	0.009
Ag	0.20	2.63	0.35	1.05	0.019	0.063
Cd	<LOQ	4.85	<LOQ	18.86	0.109	0.363
Ba	7.62	1.43	3.20	0.46	0.008	0.028
Pb	0.38	0.89	0.25	1.18	0.007	0.024

RSD: Relative standard deviation; LOD/LOQ: Limit of detection/limit of quantitation

Mineral composition

Figure 2. PCA analysis of mineral composition differentiating *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii*

CONCLUSION

This study demonstrates that *S. aucuparia* and *S. kusnetzovii* fruits are rich sources of antioxidants, phenolic compounds, and essential minerals, supporting their potential use as natural bioactive ingredients. Their nutritional profile suggests that rowan berries may contribute to functional food development and dietary supplementation.

Future research should focus on the key aspects to further explore their applications. Investigating the bioavailability and metabolic pathways of their bioactive compounds is essential to understanding their physiological effects. There is a need for clinical studies to validate their health benefits and assess long-term safety. Additionally, research on incorporating rowan berries into food formulations and optimizing processing methods could enhance their industrial applicability while preserving nutritional properties.

Overall, the findings above highlight the need for further interdisciplinary studies to determine the role of rowan berries in the pharmaceutical and food industries.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Kübra Cinar Topcu: Formal Analysis, writing – review and editing; Pınar Anlar: Statistical analysis, writing – original draft; Özlem Çakır: Formal Analysis, writing – review and editing; Abdurrahman Sefalı: Material collection, taxonomic description, writing – review and editing.

REFERENCES

Aimone, C., Gaudino, E.C., Brncic, M., Barba, F.J., Grillo, G., Cravotto, G. (2024). *Sorbus* spp. berries extraction in subcritical water: Bioactives recovery and antioxidant activity. *Applied Food Research*, 4: 100391. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100391>.

Aksoy, K.P. (2013). Ecological, morphological and anatomical study of *Sorbus* L. (*Rosaceae*) growing in province of Rize. Recep Tayyip Erdoğan University, MS Thesis, Rize.

Akyıldırım Beğen, H., Eminağaoğlu, Ö. (2022). Taxonomic contributions to the Turkey Rosaceae family with new genera (*Aria*, *Hedlundia*, *Torminalis*). *Turkish Journal of Biodiversity*, 5(1): 36-49. <https://doi.org/10.38059/biodiversity.1090331>.

AlAli, M., Alqubaisy, M., Aljaafari, M.N., AlAli, A.O., Baqais, L., Molouki, A., Abushelaibi, A., Lai, K-S., Lim S-H.E. (2021). Nutraceuticals: Transformation of conventional foods into health promoters/disease preventers and safety considerations. *Molecules*, 26: 2540. <https://doi.org/10.3390/molecules26092540>.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Bektaşoğlu, B., Çelik, S.E. (2009). A new method for determination of antioxidant capacity of foods: CUPRAC method, *Flora Final Meeting*, Istanbul Technical University, Istanbul, 25-26 May.

Aslantas, R., Pırlak, L., Gülerüz, M. (2007). The nutritional value of wild fruits from the northeastern Anatolia region of Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 19(4): 3072-3078.

Aurori, M., Niculae, M., Hanganu, D., Pall, E., Cenariu, M., Vodnar, D.C., Fit, N., Andrei, S. (2024). The antioxidant, antibacterial and cell-protective properties of bioactive compounds extracted from rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.) fruits in vitro. *Plants*, 13: 538. <https://doi.org/10.3390/plants13040538>.

Aurori, M., Andrei, S., Dreanca, A.I., Morohoschi, A.G., Cotul, M., Niculae, M., Nan, M.I., Codea, A. R., Gal, A.F. (2023). The nephroprotective effect of cornelian cherry (*Cornus mas* L.) and rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.) in gentamicin-induced nephrotoxicity on wistar rats with emphasis on the evaluation of novel renal biomarkers and the antioxidant capacity in correlation with nitro-oxidative stress. *Nutrients*, 15: 4392. <https://doi.org/10.3390/nu15204392>.

Bánki, O., Roskov, Y., Döring, M., Ower, G., Vandepitte, L., Hobern, D., Remsen, D., Schal, P., DeWalt, R.E., Keping, M., Miller, J., Orrell, T., Aalbu, R., Adlar, R., Adriaenssens, E.M., Aedo,

- C., Aesch, E., Akkari, N., Alfenas-Zerbini, P. (2022). Catalogue of Life Checklist (Version 2022-02-18). Catalogue of Life. <https://doi.org/10.48580/dfp4>.
- Bao, J., Cai, Y., Sun, M., Wang, G., Corke, H. (2005). Anthocyanins, flavonols, and free radical scavenging activity of Chinese Bayberry (*Myrica rubra*) extracts and their color properties and stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 2327-2332.
- Beya, M.M., Netzel, M.E., Sultanbawa, Y., Smyth, H., Hoffman, L.C. (2021). Plant-based phenolic molecules as natural preservatives in comminuted meats: A review. *Antioxidants*, 10: 263. <https://doi.org/10.3390/antiox10020263>.
- Bobinaitė, R., Grootaert, C., Camp, J.V., Šarkinas, A., Liaudanskas, M., Žvikas, V., Viškelis, P., Venskutonis, P.R. (2020). Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of the extracts isolated from the pomace of rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.). *Food Research International*, 136: 109310. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109310>.
- Bozhuyuk, M.R. (2021). Morphological and biochemical diversity in fruits of rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.) genotypes. *Erwerbs-Obstbau*, 63: 431-435. <https://doi.org/10.1007/s10341-021-00603-4>.
- Chandra, S., Khan, S., Avula, B., Lata, H., Yang, M.H., ElSohly, M.A., Khan, I.A. (2014). Assessment of total phenolic and flavonoid content, antioxidant properties, and yield of aeroponically and conventionally grown leafy vegetables and fruit crops: a comparative study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 253875.
- Davis, P.H. (1965-85). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, 1-9. Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
- Davis, P.H., Miller R.R., Tan K. (1988). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, 10. Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
- Dorman, H.J.D., Peltoketo, A., Hiltunen, R., Tikkanen, M.J. (2003). Characterisation of the antioxidant properties of deodorised aqueous extracts from selected Lamiaceae herbs. *Food Chemistry*, 83: 255-262.
- Dönmez, A.A., Uğurlu Aydın, A., Tuna, M. (2022). A new species from Turkey, *Sorbus erzincanica* (Rosaceae); inference from genomic data and morphometry. *Kew Bulletin*, 77: 787-798. doi: 10.1007/S12225-022-10021-8.
- Ekin, H.N., Gokbulut, A., Ugurlu Aydin, Z., Donmez, A.A., Orhan, I.E. (2016). Insight into anticholinesterase and antioxidant potential of thirty-four Rosaceae samples and phenolic characterization of the active extracts by HPLC. *Industrial Crops and Products*, 91: 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.029>.
- Eremeevaa, N.B., Makarova, N.V. (2022). Study of the content of antioxidants and their activity in concentrated extracts of cranberry (*Vaccinium oxycoccus*), sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.), blackberry (*Rubus fruticosus*), guelder rose (*Viburnum opulus* L.) and mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.). *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 48(7): 1392-1398.
- García-Valencia, S., Soto-Simental, S., Ocampo-López, J., Ayala-Martínez, M. (2022). Diet supplementation with dalbergia palo-escrito hexane extract in fattening rabbits: its effect on productive performance, carcass traits, meat characteristics and meatballs shelf-life. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1): 1533-1542.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T. (2012). (edlr.), List of Turkish Plants (Vascular Plants). Nezahat Gökyiğit Botanical Garden and Flora Research Association Publication. Istanbul.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T., Başer, K.H.C. (2000). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* 11, Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Ibrahimov, A.M., Matsyura, A.V. (2018). New species of *Sorbus* (Rosaceae) for the flora of the Nakhchivan Autonomous Republic (Azerbaijan).

- Biosystems Diversity*, 26(2): 92-97. doi: 10.15421/011814.
- Kocaimamoğlu, F. (2014). Elucidation of phenolic compounds of *Sorbus aucuparia* and *Sorbus caucasica* var. *yaltirikii* fruits by HPLC-UV. Recep Tayyip Erdoğan University, MS Thesis, Rize.
- Kremer, D., Müller, I.D., Stabentheiner, E., Vitali, D., Koprićane, M., Rušćić, M., Kosalec, I., Bezić, N., Dunkić, V. (2012). Phytochemical and micromorphological traits of endemic *Micromeria pseudocroatica* (Lamiaceae). *Natural Product Communications*, 7(12): 1667-1670.
- Krzywicka, M., Kobus, Z. (2023). Effect of the shape of ultrasonic vessels on the chemical properties of extracts from the fruit of *Sorbus aucuparia*. *Applied Science*, 13: 7805. <https://doi.org/10.3390/app13137805>.
- Lykholat, Y.L., Didur, O.O., Khromykh, N.O., Davydov, V.R., Borodai, Y.S., Kravchuk, K. V., Lykholat, T.Y. (2021). Comparative analysis of the antioxidant capacity and secondary metabolites accumulation in the fruits of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and some closely related species. *Ecology and Noospherology*, 32(1): 3-8. <https://doi.org/10.15421/032101>.
- Mayda, N., Özkök, A., Bayram, N.E., Gerçek, Y.C., Sorkun, K. (2020). Bee bread and bee pollen of different plant sources: Determination of phenolic content, antioxidant activity, fatty acid, and element profiles. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14: 1795-1809. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00427-y>.
- McDonald, S., Prenzler, P.D., Antolovich, M., Robards, K. (2001). Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. *Food Chemistry*, 73(1): 73-84.
- Meng, J., Fang, Y., Zhang, A., Chen, S., Xu, T., Ren, Z., Han, G., Liu, J., Li, H., Zhang, Z., Wang, H. (2011). Phenolic content and antioxidant capacity of Chinese raisins produced in Xinjiang Province. *Food Research International*, 44(9): 2830-2836.
- Mishra, B.K., Rastogi, A., Shukla, S. (2012). Regulatory role of mineral elements in the metabolism of medicinal plants. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, 1-23.
- Mostafa, H.B., Azab, E.F.E. (2022). Efficacy of green coffee as an antioxidant in beef meatballs compared with ascorbic acid. *Food Chemistry: X*, 14: 100336.
- Odunkiran, A. (2016). Chemical and physical properties of *Sorbus* fruit (*Sorbus aucuparia* L.) grown in Yusufeli town. Atatürk University, MS Thesis, Erzurum.
- Olszewska, M.A., Michel, P. (2009). Antioxidant activity of inflorescences, leaves and fruits of three *Sorbus* species in relation to their polyphenolic composition. *Natural Product Research*, 23(16): 1507-1521.
- Öz Atasever, Ö., Gerçekcioğlu, R. (2013). Some vegetative characteristics of service tree (*sorbus domestica* l.) genotypes, selected from Tokat ecology. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 6(2): 97-101.
- Pereira, C., Barros L., SantosBuelga, C., Prieto, M.A. (2022). Editorial: Natural bioactives used as additives in food applications. *Frontiers in Nutrition*, 9: 1063942. doi: 10.3389/fnut.2022.1063942.
- Perron, N.R., Brumaghim, J.L. (2009). A Review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *Cell Biochem Biophys*, 53: 75-100.
- Petkova, N.T., Ognyanov, M.H., Vrancheva, R.Z., Zhelev, P. (2020). Phytochemical, nutritional and antioxidant characteristics of whitebeam (*Sorbus aria*) fruits. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 19(2): 219-229. <http://dx.doi.org/10.17306/J.AFS.2020.0786>.
- Raspe, O., Findlayt, C., Jacquemart, A-L. (2000). *Sorbus aucuparia* L. *Journal of Ecology*, 88: 910-930.
- Raudonis, R., Raudonė, L., Gaivelytė, K., Viškelis, P., Janulis, V. (2014). Phenolic and antioxidant profiles of rowan (*Sorbus* L.) fruits. *Natural Product*

- Research*, 28(16): 1231-1240, <http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2014.895727>.
- Rutkowska, M., Owczarek-Januszkiewicz, A., Magiera A., Gieleta M., Olszewska M.A. (2023). Chemometrics-driven variability evaluation of phenolic composition, antioxidant capacity, and-glucosidase inhibition of *Sorbus aucuparia* L. fruits from Poland: Identification of variability markers for plant material valorization. *Antioxidants*, 12: 1967. <https://doi.org/10.3390/antiox12111967>.
- Ryszczynska, S., Gumulak-Woloszyn, N., Urbaniak, M., Stepień L., Bryła, M., Twaruzek, M., Waskiewicz, A. (2024). Inhibitory effect of *Sorbus aucuparia* extracts on the *Fusarium proliferatum* and *F. culmorum* growth and mycotoxin biosynthesis. *Molecules*, 29: 4257. <https://doi.org/10.3390/molecules29174257>.
- Sanchez-Moreno, C. (2002). Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems, *Food Science and Technology International*, 8: 121-127.
- Sarv, V., Venskutonis, P.R., Rätsep, R., Aluvee, A., Kazernaviciute, R., Bhat, R. (2021). Antioxidants characterization of the fruit, juice, and pomace of sweet rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.) cultivated in Estonia. *Antioxidants*, 10: 1779. <https://doi.org/10.3390/antiox10111779>.
- Sefali, A. (2023). Determination of wild fruits growing in Bayburt province and some examinations. *Osmaniye Korkut Ata University Journal of Natural and Applied Sciences*, 6 (1): 52-67.
- Shin, M-Y., Cho, Y-E., Park, C., Sohn, H-Y., Lim, J-H., Kwun, I-S. (2012). The supplementation of yam powder products can give the nutritional benefits of the antioxidant mineral (Cu, Zn, Mn, Fe and Se) intakes. *Preventive Nutrition and Food Science*, 17: 299-305. <http://dx.doi.org/10.3746/pnf.2012.17.4.299>.
- Singh, P., Mijakovic, I. (2022). Rowan berries: A potential source for green synthesis of extremely monodisperse gold and silver nanoparticles and their antimicrobial property. *Pharmaceutics*, 14: 82. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14010082>.
- Soetan, K.O., Olaiya, C.O., Oyewole, O.E. (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African Journal of Food Science*, 4(5): 200-222. <http://www.academicjournals.org/ajfs>.
- Sulimanec, A., Kragić, K., Sekovanić, A., Jurasović, J., Krbavčić, I. P., Vahčić, N., Vidaković, A., Poljak, I., Samarin, I.R. (2023). Chemical characterization and antioxidant potential of the rowan (*Sorbus aucuparia* L.) fruits from Alpine-Dinaric region of Croatia. *Food Technology and Biotechnology*, 61(4): 465-474. <https://doi.org/10.17113/ftb.61.04.23.8225>.
- Şen, M. (2011). Antioxidant Activity of *Sorbus* Fruits. MS Thesis, Istanbul University, Istanbul.
- Upadhyay, N.K., Kumar, M.Y. Gupta, A. (2010). Antioxidant, cytoprotective, and antibacterial effects of Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves. *Food Chemical Toxicology*, 48(12): 3443-3448.
- Wang, C., An, X., Gao, Z., Li, Z., Tian, S., Lu, Y. (2022). Effects of ethanolic extract from onion skin on the quality characteristics of beef patties during refrigerated storage. *Journal of Food Science and Technology*, 42: e118121.
- WHO, Guidelines for Assessment of Herbal Medicines With Reference to Contaminants and Residues, 2007. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241594448>.
- Zhou, S., Fang, Z., Lü, Y., Chen, J., Liu, D., Ye, X. (2009). Phenolics and antioxidant properties of bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) pomace. *Food Chemistry*, 112: 394-399.

MISIR UNUNUN YAĞ ASİTLERİ BİLEŞİMİ VE FİZİKOKİMYASAL KALİTESİ ÜZERİNE GAMA IŞINLAMANIN ETKİSİ

Demet APAYDIN*

Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Otel, Lokanta ve İkram Hizmetleri Bölümü, Çorum, Türkiye

Geliş / Received 18.01.2025; Kabul / Accepted: 17.03.2025; Online baskı / Published online: 20.03.2025

Apaydın, D. (2025). Mısır ununun yağ asitleri bileşimi ve fizikokimyasal kalitesi üzerine gama ışınlamanın etkisi. GIDA (2025) 50 (2) 235-244 doi: 10.15237/gida.GD25021

Apaydın, D. (2025). Effect of gamma irradiation on fatty acid composition and physicochemical quality of maize flour. GIDA (2025) 50 (2) 235-244 doi: 10.15237/gida.GD25021

ÖZ

Mısır (*Zea mays* L.) dünya çapında en çok tüketilen tahıllar arasında olup önemli bir temel gıdadır. Mevcut çalışmada, gama ışınlamanın mısır ununun besin bileşimi, renk değerleri ve yağ asitleri kompozisyonuna etkileri araştırılmıştır. Mısır unu örnekleri 0, 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 kGy dozlarında ⁶⁰Co kaynağı kullanılarak ışınlanmıştır. Gama ışınları mısır unu yağının oleik asit (18:1) ve linoleik asit (18:2) seviyelerinde önemli bir azalmaya ve stearik asit (18:0) seviyesinde artışa neden olup yağ asitlerini modifiye etmiştir. Ayrıca ışınlama dozunun artmasına paralel olarak, toplam tekli doymamış ve toplam çoklu doymamış yağ asitlerinin azaldığı saptanmıştır. Çalışmada incelenen besin bileşimi kuru madde, protein, kül ve yağ bileşenleridir. Gama ışınlama mısır ununun kuru madde, yağ ve protein oranlarında istatistiksel açıdan önemli değişikliklere yol açmaz iken ($P > 0.05$), kül değeri ve renk parametrelerini istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) düzeyde etkilemiştir. Işınlama ile L* değeri artarken, a* ve b* renk parametreleri ışınlama dozunun artırılmasına bağlı azalmıştır.

Anahtar kelimeler: Gama ışınlama, mısır unu, gıda güvenliği, renk, yağ asitleri

EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON FATTY ACID COMPOSITION AND PHYSICOCHEMICAL QUALITY OF MAIZE FLOUR

ABSTRACT

Maize is an important staple food and one of the most consumed grains worldwide. In the present study, γ -irradiation effects on nutritional composition, color values and fatty acids profile of maize flour were established. Maize flour samples were irradiated using ⁶⁰Co source at doses of 0, 2.5, 5.0, 7.5, and 10 kGy. Gamma irradiation modified the fatty acids, causing a significant decrease in the levels of oleic acid (18:1) and linoleic acid (18:2) and an increase in the level of stearic acid (18:0) in maize flour oil. Moreover, total monounsaturated and polyunsaturated fatty acids decreased with increasing dose. The examined nutrient contents were moisture, protein, ash and fat contents. Gamma irradiation did not cause statistically significant changes in dry matter, fat and protein composition of maize flour. While L* value increased due to gamma irradiation, a* and b* color parameters decreased with increasing irradiation dose.

Keywords: Gamma irradiation, maize flour, food safety, color, fatty acids

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: demetapaydin22@gmail.com

☎: (+90) 364 222 1555/3689

☎: (+90) 364 222 1558

Demet Apaydın; ORCID no: 0000-0002-7769-849X

GİRİŞ

Mısır, dünyada en yaygın kullanılan temel gıda ve yem bileşenlerinden biridir. İnsan beslenmesinde hayati bir yer tutan mısır, dünya çapında en çok tüketilen tahıl ürünleri arasındadır (FAO, 2019). Mısır Türkiye’de üretilen önemli tahıllardan biri olup, 2023 Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde yılda 9 milyon ton mısır üretilmektedir. Buna göre tahıl ve üretilen diğer bitkisel ürünler arasındaki payı %11.6’dır (TÜİK, 2024). Mısır tüketiminin önemli miktarda vitamin ve mineral sağladığı ve ayrıca sık mısır tüketiminin insan ve hayvan organizması üzerinde çeşitli sağlık yararları sağlayabildiği bilinmektedir (Kos vd., 2020).

Öte yandan, insan ve hayvan tüketimi için dünyanın her yerinde yetiştirilen ana tahıl ürünlerinden biri olan mısır, nem ve sıcaklık koşullarında toksijenik küfler tarafından kontaminasyona karşı hassastır. Gıda ve yem bileşenlerini küf oluşumundan uzak tutmak, özellikle nemli bölgelerde, ekili alanlarda karşılaşılan en büyük zorluklardan biridir. Mısır, belirli koşullar altında mikotoksin üretebilen *Aspergillus*, *Penicillium* ve *Fusarium* cinslerine ait bazı küf türlerinin neden olduğu küf kontaminasyonuna karşı oldukça hassastır (James ve Zikankuba, 2018; Reddy vd., 2009; Pitt, 2006). Mısır, insanlar ve hayvanlar için en tehlikeli maddelerden bazılarını üretebilen *Aspergillus flavus*, *Fusarium verticillioides* ve *Fusarium graminearum* gibi birçok mikotoksijenik küf türünün olası konakçısıdır (Leite vd., 2020). Bu mikotoksinler arasında aflatoksinler, okratoksin A, deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZEN) sıklıkla mısıra bulaşmaktadır (Mir vd., 2021; Tralamazza vd., 2016). Giresun ilinde pazarlardaki farklı satıcılardan temin edilen mısır unu örneklerinde aflatoksin seviyesi yüksek performanslı sıvı kromatografisi ile araştırılmıştır. Analiz edilen 69 örneğin 11’inde (%16) toplam aflatoksin değeri 0,379-24,54 µg/kg aralığında tespit edilmiştir (Şengül vd., 2016). Yapılan benzer çalışmalarda da ülkemizde mısır ununda aflatoksinin ciddi bir problem olduğunu göstermektedir (Algül ve Kara, 2014; Oruç vd., 2006; Giray vd., 2009).

Gıda maddelerinin mikotoksinlerle kirlenmesi dünya çapında büyük bir sorundur. Üretim koşulları, nem, sıcaklık, depolama koşulları, fiziksel hasar gibi bazı faktörler gıdalarda mikotoksin oluşumunu hızlandırmaktadır. Çeşitli kimyasal yapıya ve çeşitli toksisiteye sahip olan bu toksinlerin çoğu, birçok gıda işleme yöntemine karşı dayanıklıdır (Probst vd., 2014; Temba vd., 2017). Ayrıca, mısır gibi tahılların mikotoksijenik küfler tarafından kontaminasyonu, daha düşük kaliteli ürünlerle sonuçlanabilmekte ve tüketim için oldukça zararlı olabilmektedir. Tüm bu nedenlerle güvenli mısır elde etmek için mikotoksin oluşumunun önlenmesi, kontrol altına alınması ve dekontaminasyon stratejilerinin gıda güvenliği ilkelerine dayandırılması gerekmektedir (Alberts vd., 2017). Gıda işleme yöntemleri, başta tahıl zincirleri olmak üzere birçok gıda zincirinin önemli bir parçasıdır ve genellikle küf ve mikotoksinler de dahil olmak üzere kontaminantlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Küfleri ve mikotoksinleri etkisiz hale getirme ve yok etmede her ne kadar farklı gıda işleme yöntemlerinin potansiyeli araştırılmış olsa da, küf ve mikotoksin detoksifikasyonu için gıdanın besin değerini, lezzetini ve dokusunu bozmayan teknikler önerilmektedir (Spadaro ve Garibaldi, 2017). Gama ışınlama mikotoksijenik küflerin inhibe edilmesinde ve mikotoksinlerin detoksifikasyonunda etkili önemli bir tekniktir (Calado vd., 2018). Yapılan çalışmalarda gama ışınlamanın mısır ununda *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus ochraceus* inhibisyonunda ve aflatoksinler ve okratoksin A’nın detoksifikasyonunda etkili olduğu kanıtlanmıştır (Khalil vd., 2021).

Gıda ışınlaması, çeşitli gıdalardaki mikroorganizmaları ürüne zarar vermeden ortadan kaldırmak için etkili bir yöntemdir (Jeong vd., 2020). Gama ışınları, nüfuz etme yetenekleri ve çok çeşitli mikroorganizmaları etkisiz hale getirmedeki yüksek etkinlikleri nedeniyle gıda için tercih edilen radyasyon kaynağıdır (Calado vd., 2018). Soğuk pastörizasyon olarak da adlandırılan gama ışınlaması, yüzyıllardır gıdaların dekontaminasyonu için yaygın olarak kullanılan etkili bir yöntemdir (Apaydın vd., 2017). Gıda maddelerinin korunmasında kullanılan bu fiziksel

yöntemin, küf ve mikotoksinlerin kontrolüne katkısı birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Yapılan bazı çalışmalar gama ışınlamanın okratoksin A (OTA), fumonisin B1, zearalenon ve aflatoksinlerin oluşum riskinin azaltılmasında önemli rol oynadığını göstermektedir (Mohamed vd., 2015; Aquino vd., 2005; Aziz et vd., 2004). Ayrıca bu yeni teknoloji, potansiyel olarak tahılların besinsel özellikleri, kalite özellikleri ve duyuşal özellikleri üzerinde daha az olumsuz etkiye neden olmaktadır (Mir vd., 2021). Tüm bu nedenlerden dolayı kullanılan gama ışınlama uygulaması gıdalarda 10 kGy'ye kadar olan dozlar için güvenli olduğu kabul edilmekte ve çok sayıda ülkede ticari gıda işleme için uluslararası güvenli doz olarak 10 kGy'ye kadar ışınlamaya izin verilmektedir (Apaydin vd., 2017). 10 kGy'ye kadar ışınlama insan sağlığına yönelik hiçbir mikrobiyolojik, besinsel veya toksikolojik tehlikeye neden olmamaktadır (Mir vd., 2021). Türk Gıda Kodeksi Gıda Işınlama Yönetmeliği (2019/30907) 'ne göre hububat, öğütülmüş hububat ürünleri vb. ürünlerde soğurulan doz miktarı olarak en fazla 5 kGy'e izin verilmektedir (Anonim, 2025).

Bu çalışmayı yapma motivasyonu, gıda güvenliğini sağlamak amacıyla mısır ununun gama ışınlaması ve farklı dozlardaki gama ışınlamanın mısır unu kalitesi üzerindeki bazı değişimlerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda literatür çalışmaları incelendiğinde, gama ışınlamanın mısır unu numunelerinin yağ asitleri kompozisyonu ve çeşitli fizikokimyasal kalite parametrelerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile farklı dozlardaki (2.5, 5.0, 7.5 ve 10 kGy) gama ışınlama prosesinin mısır ununun fizikokimyasal özelliklerindeki ve yağ asidi profilindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Mısır unu örnekleri Edirne, Türkiye'deki yerel bir marketten satın alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan mısır unu örnekleri ticari bir markanın ürünü olmayıp açık olarak satışa sunulmaktadır. Mısır unu örnekleri beş pakete (her biri 100 g)

bölünmüştür ve ışınlama için polietilen torbalara sıkıca paketlenmiştir.

Gama ışınlama işlemi

Mısır unu örneklerinin gama ışınlarıyla ışınlaması Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK), Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (Ankara, Türkiye)'nde maksimum aktivitesi 12000Ci olan deneysel ışınlama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Işınlama işlemi Tarım ve Orman Bakanlığı'nın Gıda Işınlama Yönetmeliği (2019/30907)'ne göre gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2025). Gama ışınlaması, oda sıcaklığında (~25°C) yaklaşık 1168 Gy/saat doz oranına sahip ⁶⁰Co gama ışınlama kaynağı (Ob-Servo Sanguis, İzotop Enstitüsü, Macaristan) ile numunelere uygulanmıştır. Uygulanan dozlar 2.5, 5.0, 7.5 ve 10.0 kGy'dir. Işınlama esnasında kaynak sabit tutularak, numune sepetinin döndürülmesiyle doz dağılımı homojen olarak elde edilmektedir. Numune sepeti boyutları 220 mm x 250 mm olan yaklaşık 10 litre hacminde silindirik kap şeklindedir. Hedef dozun doğruluğunun sağlanması için numuneye bir dozimetre yerleştirilmiştir ve gerçek dozlar hedeflenen dozun %5'i içerisinde ölçülmüştür. Işınlanmayan numuneler kontrol partileri olarak ayrı şekilde tutulmuştur. Hem kontrol hem de ışınlanmış numuneler analizler bitinceye kadar dondurucuda bekletilmiştir.

Yöntem

Mısır ununun kimyasal bileşiminin belirlenmesi

Mısır ununun kimyasal bileşimi ışınlamadan hemen sonra belirlenmiştir. Kuru madde, ham protein, yağ ve kül içerikleri AOAC (2000) resmi metoduna göre belirlenmiştir.

Mısır ununun renk değerinin belirlenmesi

Mısır unu örneklerinin renkleri Konica Minolta CM-5 (Konica Minolta, Inc. Osaka, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümden önce cihaz beyaz yüzey kalibrasyon plakasına göre kalibre edilmiştir. Renk değerleri L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) olarak ifade edilmiştir. L*, a* ve b* değerleri CIELab renk skalasına göre tespit edilmiştir. Ölçüm başlığının alt yarısına üç gram numune yerleştirilmiştir. Kolorimetrenin başlığı kolorimetrenin üstüne yerleştirildikten

sonra rastgele üç yerden ölçümler alınmıştır (Kwon vd., 2009).

Yağ asitleri kompozisyonunun belirlenmesi

Ekstrakte edilen mısır unu yağı örneklerinin yağ asidi bileşimi, Gutiérrez ve Belkacemi (2008) tarafından belirtildiği gibi gaz kromatografisi ile belirlenmiştir. Ekstrakte edilen mısır unu yağlarının yağ asitleri alkali hidroliz ile esterleştirildikten sonra metanol ilaveli BF₃ (%14 boron trifluoride) içerisinde metilasyon yapılmıştır. Yağ asidi metil esterlerinin (FAME) son konsantrasyonu heptan içinde yaklaşık 7 mg/mL idi. Kısaca, FAME analizleri, bir alev iyonizasyon dedektörüne (FID) bağlı kapiler GLC (Agilent 6890 N) ve silika kapiler kolon (HP-88, 100 m x 0.25 mm iç çap, %100 dimetilpolisliokslen ile kaplanmış, 0.2 µm film kalınlıkta, Chrompack) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GC fırınının başlangıç sıcaklığı 120°C'ye ayarlanmıştır; sonrasında 10 °C/dk hızla 175 °C'ye çıkarılmıştır, 10 dakika bu sıcaklıkta tutulmuştur ve ardından 5 °C/dk hızla 175 °C'den 230 °C'ye çıkarılmıştır. Enjeksiyon hacmi 1:50 oranda 1 µL idi. Enjektör ve dedektör sıcaklıkları sırasıyla 250 ve 280 °C idi. Helyum taşıyıcı gaz olarak 0.5 mL/s akış hızıyla kullanılmıştır.

Yağ asidi metil esterleri profili, tek tek standart FAME'lerin (~%99 saf) (Supelco, ABD) tutulma sürelerine dayalı olarak tanımlanmıştır ve Total

Chrom Workstation Yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir.

İstatistiksel Analizler

Veriler SPSS 22.0 kullanılarak varyans analizi (ANOVA) kullanılarak analiz edilmiştir. Ortalama değerler arasındaki farklar, Duncan'ın çoklu aralık testi kullanılarak $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyiyle karşılaştırılmıştır. Tüm analizler üçer kez tekrarlanmıştır. Tüm veriler, tekrarlanan deneylerin ($N \geq 2$) ve tekrarlanan ölçümlerin ortalamasıdır (Snedecor ve Cochran, 1988).

SONUÇ VE TARTIŞMA

Gama ışınlama işleminin mısır ununun besin bileşimi ve renk değerlerine etkisi

Çizelge 1'de ışınlanmamış (kontrol grubu) ve ışınlanmış mısır unu örneklerinin % kuru madde, kül, protein, yağ değerleri gösterilmiştir. Işınlanmamış (kontrol grubu) mısır ununun kuru madde içeriği 89.44 ± 0.6 , kül içeriği 0.5576 ± 0.0068 , protein içeriği 6.44 ± 0.22 ve yağ içeriği 2.33 ± 0.21 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, mısır ununun nem içeriğini %10.53, yağ içeriğini %1.37, kül içeriğini %1.19 olarak tespit eden Sanni vd., (2008) ile benzerlik göstermektedir. Gama ışınlamanın mısır unu örneklerinin kimyasal bileşimine etkisi göz önüne alındığında (Çizelge 1), 0-10 kGy dozlarıyla ışınlama sonrasında önemli bir etki gözlenmemiştir ($P > 0.05$).

Çizelge 1. Işınlanmış ve ışınlanmamış mısır ununun kimyasal özellikleri

Table 1. Chemical properties of irradiated and non-irradiated maize flour

Örnek (Mısır Unu) Sample Maize flour	İşinlama Dozu (kGy) Irradiation Dose (kGy)	Kuru madde (%) Dry matter (%)	Protein (%) Protein (%)	Yağ (%) Oil (%)	Kül (%) Ash (%)
	Kontrol-Control	89.44 ± 0.34	6.44 ± 0.11	2.33 ± 0.12	$0.5576 \pm 0.0068b$
	2.5	89.69 ± 0.31	6.35 ± 0.17	2.24 ± 0.05	$0.6269 \pm 0.0214a$
	5.0	89.76 ± 0.1	6.37 ± 0.12	2.25 ± 0.06	$0.6553 \pm 0.0028a$
	7.5	89.8 ± 0.2	6.46 ± 0.31	2.24 ± 0.05	$0.6351 \pm 0.0227a$
	10.0	89.68 ± 0.42	6.39 ± 0.12	2.18 ± 0.05	$0.6233 \pm 0.0184a$
İşinlama Etkisi		NS	NS	NS	*

Aynı sütundaki aynı harfteki değerler Tukey testine göre %5 seviyesinde önemli ölçüde farklı değildir.

NS önemli değil,

* Önemli $P < 0.05$

Values with the same letter in the same column are not significantly different at the 5% level according to the Tukey test.

NS not significant,

* Significant $P < 0.05$

Bu sonuçlar Lee ve Kim (2018)'nın kahverengi pirinçlerin 5.0 ve 10.0 kGy dozlarında gama ışınlanma sonrasında protein, nem ve kül içeriklerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmediğini bildirdiği çalışmaları ile uyum içerindedir. Benzer şekilde Gecgel (2013) köftelere 1, 3, 5 ve 7 kGy dozlarında gama ışınlama işlemi uyguladığı çalışmasında 7 kGy ışınlama dozundan sonra bile köftelerin nem, yağ, protein ve kül içeriklerinde önemli bir farklılık olmadığını bildirmiştir. Sonuçlarımıza paralel şekilde Smita vd. (2023) ve Darfour vd. (2012), γ -ışınlamanın sırasıyla pirinç ununun ve börülce ununun protein ve nem içeriğini değiştirmediğini bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada benzer şekilde Liu vd. (2018) gama ışınlamanın yer fıstığının fizikokimyasal özellikleri ve besin içerikleri üzerine etkisini incelemişler ve ışınlamanın nem ve kül içeriğinde önemsiz bir değişime neden olduğunu bildirmişlerdir ($P > 0.05$). Apaydın vd. (2017) gama ışınlamanın üzüm çekirdeğinin kimyasal bileşimine etkisini inceledikleri çalışmada, 7 kGy gama ışınlamanın dahi üzüm çekirdeği yağında istatistiksel olarak önemli değişimlere yol açmadığını bildirmişlerdir. Öte yandan Liu vd. (2018) yüksek doz ışınlamanın (10 kGy) yer fıstığının yağ ve protein içeriğini önemli ölçüde azalttığını, su aktivitesini ise arttırdığını bildirmişlerdir.

Çizelge 2'de ışınlanmamış ve ışınlanmış mısır unu örneklerinin renk değerleri (L^* , a^* , b^*) gösterilmiştir. Gıda ürünlerinin renk özellikleri tüketici tercihi belirleyen önemli parametreler arasındadır. Renk analiz sonuçlarına göre örneklerin parlaklığını ifade eden L^* değeri kontrol grubunda 88.89 olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Örneklerin yeşillik-kırmızılık özelliğini gösteren a^* değeri kontrol grubunda 3.90 olarak belirlenmiştir. Renk özelliklerinden b^* değeri, örneklerin mavilik-sarılık özelliklerini ifade etmektedir. Kontrol grubu örneklerinin b^* değeri 29.52 olarak belirlenmiştir. Gama ışınlamanın renk parametrelerine (L^* , a^* ve b^*) etkisi değerlendirildiğinde, ışınlamanın renk parametreleri üzerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P < 0.05$) etkili olduğu tespit edilmiştir. Gama ışınlama ile L^* değeri artarken, a^* ve b^* renk parametreleri ışınlama dozunun

arttırılmasına bağlı azalmıştır ($P < 0.05$). Smita vd. (2023) 15 kGy'ye kadar artan ışınlama dozuyla pigmentli pirinç unlarının a^* değerindeki azalmaya ilişkin yaptıkları çalışmasında benzer bulgular bildirmişlerdir. Çalışmamız, ışınlamanın renk parametreleri üzerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P < 0.05$) etkili olduğunu tespit eden diğer çalışmalar ile uyum içerisindedir. Smita vd. (2023)'nın 15 kGy'ye kadar artan ışınlama dozuyla pigmentli pirinç unlarının a^* değerindeki azalmayı rapor ettikleri bulguları çalışmamız ile paralellik göstermektedir. Al-Bachir (2015), 1, 2 ve 3 kGy dozlarında gama ışınlamanın fıstığın fizikokimyasal özelliklerindeki değişimi incelediği çalışmasında, fıstık yağının renk değerlerinin gama ışınlamasından önemli ölçüde etkilendiğini ve L^* , a^* ve b^* değerlerinin 1 ve 2 kGy gama ışınlama dozlarında arttığını bildirmiştir. Öte yandan Sirisoontarak ve Noomhorm (2007) depolama sırasında ışınlanmış pirincin fizikokimyasal ve duyu özelliklerindeki değişimleri araştırdıkları çalışmalarında, ışınlanmış pirincin b^* değerinin ışınlanmamış pirince göre daha yüksek olduğunu bildirmişler, ancak ışınlanmış pirincin b^* değerinde bir yıllık depolama süresince önemsiz değişiklikler tespit etmişlerdir. Mexis ve Kontominas (2009), kaju fıstığının 3 kGy'in üzerindeki ışınlama dozlarında ışınlanmasıyla renk parametrelerinden L^* ve b^* nin değişmeden kaldığını, a^* renk parametresinin ise arttığını ($P < 0.05$) bildirmişlerdir. Mexis ve Kontominas (2009), renk parametresi b^* nin 5 kGy ışınlama dozunun üzerindeki uygulamalarda arttığını ($P < 0.05$), renk parametreleri L^* ve a^* nin ise ışınlamadan etkilenmediğini belirtmişlerdir. Elde edilen bu sonuçlar, gama ışınlama dozlarının gıdaları içerik ve yapılarına göre farklı şekilde etkileyebileceğini, dolayısıyla ışınlamanın gıdalar üzerindeki etkisinin ayrı ayrı araştırılması ve her bir ilgili gıda için ayrı ayrı ışınlama işleminin yapılması gerektiğini göstermektedir.

Gama ışınlama işleminin mısır ununun yağ asidi kompozisyonuna etkisi

Çizelge 3'te ışınlanmış ve ışınlanmamış mısır unu numunelerinin yağ asidi kompozisyonu verilmiştir. Görüldüğü gibi mısır unu yağında tespit edilen başlıca yağ asitleri %42.98 linoleik asit (18:2), %29.08 oleik asit (18:1), %11.90 stearik

D. Apaydın

asit (18:0) ve %11.74 palmitik asit (16:0) olmuştur. Işınlanmamış (kontrol) mısır unu örneğinden elde edilen yağdaki çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) ve doymuş yağ asitleri (SFA) sırasıyla yaklaşık

%44.49, %29.37 ve %26.13 olarak tespit edilmiştir. Bu yağ asidi profili önceki çalışmalarla uyum içerisindedir. Yüksek doymamış yağ asidi içeriği (%74), mısır unu yağının yüksek besin değerini göstermektedir.

Çizelge 2. Işınlanmış ve ışınlanmamış mısır ununun renk değerleri

Table 2. Color values of irradiated and non-irradiated maize flour

Örnek (Mısır Unu) Sample Maize flour	Işınlama Dozu (kGy) Irradiation Dose (kGy)	L* değeri L* value	a* değeri a* value	b* değeri b* value
	Kontrol- Control	88.89±0.27b	3.90±0.19a	29.52±0.70a
	2.5	89.20±0.08a	3.36±0.03b	26.62±0.32b
	5.0	89.37±0.07a	3.13±0.01c	25.66±0.01c
	7.5	89.36±0.01a	2.96±0.01d	24.34±0.0d
	10.0	89.41±0.02a	2.86±0.03d	23.87±0.09d
Işınlama Etkisi		*	*	*

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel açıdan farklıdır ($P < 0.05$)

Means with different letters in the same column are statistically different ($P < 0.05$)

Gama ışınlamasının mısır unu örneklerinin yağ asidi bileşimi üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, genel olarak mısır unu yağının yağ asidi bileşiminin gama ışınlamasından önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Doymuş yağ asidi stearik asit (18:0), 2.5 kGy ışınlama

dozundan sonra kontrole göre önemli ölçüde ($P < 0.05$) artmıştır. Liu vd. (2018) de benzer sonuçlar bildirmişler ve ışınlanmış fıstık çekirdeklerindeki palmitik asit C16:0 ve stearik asit C18:0 doymuş yağ asidi içeriklerinin ışınlama dozu arttıkça arttığını belirtmişlerdir.

Çizelge 3. Işınlanmış ve ışınlanmamış mısır ununun yağ asidi bileşimi

Table 3. Fatty acid composition of irradiated and non-irradiated maize flour

Yağ asitleri (% ağırlık) Fatty acids (wt%)	Kontrol Control	Işınlama Dozu (kGy) Irradiation Dose (kGy)				Işınlama Etkisi Irradiation Effect
		2.5	5.0	7.5	10.0	
C16:0	11.74±0.01a	11.72±0.0b	11.68±0.01c	11.63±0.01e	11.65±0.01d	*
C18:0	11.9±0.01e	12.63±0.01d	13.02±0.01c	13.44±0.01a	13.27±0.0b	*
C18:1	29.08±0.01a	28.73±0.01b	28.62±0.01c	28.55±0.01d	28.43±0.01e	*
C18:2	42.98±0.01a	42.86±0.01b	42.37±0.01c	42.19±0.01d	41.98±0.01e	*
C18:3	1.11±0.01a	1.01±0.01c	0.98±0.0d	0.97±0.01e	1.08±0.01b	*
SFA	26.13±0.01e	26.75±0.01d	27.37±0.01c	27.64±0.01b	27.88±0.01a	*
MUFA	29.37±0.01a	28.97±0.01b	28.88±0.01c	28.81±0.01d	28.65±0.01e	*
UFA	44.49±0.01a	44.29±0.01b	43.76±0.01c	43.55±0.01d	43.47±0.01e	*

Aynı satırdaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$)

Means with different letters in the same row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$)

SFA: Saturated fatty acids, MUFA: Monounsaturated fatty acids UFA: Unsaturated fatty acids

Doymamış yağ asitlerinden oleik asit (18:1) ve linoleik asit (18:2) düzeylerinin mısır unu örneklerinde gama ışınlama ile önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir. Mısır unu örneğinde 10 kGy dozundaki gama ışınlama sonrası linoleik asit (18:2) içeriği kontrol örneklerine göre %42.98'den %41.98'e düşmüştür. Mısır ununda linoleik asit (18:1) içeriği kontrol grubunda %29.08 iken ışınlama dozunun artmasıyla önemli ölçüde azalmış olup 10 kGy ışınlama sonrasında %28.43'e düşmüştür. Bu bulgular yağ asitlerinin ışınlamaya karşı oldukça hassas olduğunu ve gama ışınlamasının yağ asidi bileşimini değiştirebileceğini göstermektedir. Sonuçlarımızla uyumlu olarak, ışınlama dozu arttığında doymuş yağ asidi içeriğinin arttığı, doymamış yağ asidinin ise azaldığı rapor edilmiştir (Li vd., 2019). Benzer şekilde, Liu vd. (2018) yağ asidi bileşiminin ışınlama dozunun artırılmasıyla değiştiğini belirtmişlerdir. Benzer sonuçlar, soya fasulyesi, fıstık ve susam tohumu yağlarının yağ asidi profilleri üzerinde gama ışınlamasının etkisini araştıran Afify vd. (2013) tarafından bulunmuştur. Doymamış yağ asitlerinin (C18:1 ve C18:2) miktarının tüm dozlarda azaldığını bildirmişlerdir. Işınlama işlemi, doymamış yağ asitlerinin çift bağlarını yok eden serbest radikallerin oluşmasına yol açabilmektedir (Apaydın, 2024). Ayrıca lipit moleküllerinin gama ışınlalarıyla etkileşiminin bir sonucu olarak meydana gelen lipit oksidasyonu; oksidasyon, dekarboksilasyon, dehidratasyon ve polimerizasyon reaksiyonlarını tetikleyebilmektedir. Işınlama ile oluşan serbest radikallerle yağ asitlerinin doymamış bölgelerinin oksidasyonunun bir sonucu olarak doymamış yağ asitlerinde azalma görülebilmektedir (Slavovakazakova vd., 2025; Le vd., 2025; Xiang vd., 2025).

Öte yandan, bazı araştırma sonuçları çalışmamız ile uyumlu olmayan sonuçlar bildirmişlerdir. Di Stefano vd. (2014), 0,5-10 kGy radyasyon dozunun %95 güven düzeyinde bademlerin yağ asidi bileşiminde önemli bir değişikliğe neden olmadığını belirtmişlerdir. Barreira vd. (2012), 3 kGy gama ışınlamasının kestanelerin tekli doymamış (MUFA) ve çoklu doymamış (PUFA) yağ asitleri üzerinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığını bildirmişlerdir. Gama ışınlamalarının farklı

ürünlerin yağ asidi kompozisyonu üzerindeki farklı etkileri, ışınlama sürecinin her gıda ürünü için ayrı ayrı çalışması gerektiğini göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışma, gama ışınlama işleminin mısır ununun bazı kalite özelliklerinde değişikliklere yol açtığını göstermiştir. Gama ışınlama mısır ununun çalışmada incelenen besin içeriklerinden kuru madde, yağ ve protein bileşiminde istatistiksel açıdan önemli değişikliklere yol açmazken, kül değeri ve renk parametrelerini istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemiştir. Gama ışınlama ile L* değeri artarken, a* ve b* renk parametreleri ışınlama dozunun artırılmasına bağlı azalmıştır. Gama ışınlaması mısır ununun yağ asidi kompozisyonunun değişmesine yol açmıştır. Gama ışınlamaları, oleik asit (18:1) ve linoleik asit (18:2) seviyelerinde azalmaya ve stearik asit (18:0) seviyesinde artışa sebep olmuştur. Işınlama dozunun artmasıyla paralel olarak, toplam tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri azalmıştır. Gama ışınlamalarının farklı ürünlerin kimyasal bileşimi ve yağ asidi kompozisyonu üzerindeki farklı etkileri, ışınlama sürecinin her gıda ürünü için ayrı ayrı çalışması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak gama ışınlaması mısır ununda bazı fizikokimyasal değişikliklere yol açmaktadır. Öte yandan insan beslenmesinde hayati bir yer tutan, Türkiye'de ve dünyada yaygın olarak yetiştirilen mısır, mikotoksijenik küfler tarafından kontamine olabilmektedir. Bu nedenle gıda güvenliğini sağlamak, mikotoksin ve mikotoksijenik küf oluşumunu önlemesi, kontrol altına alınması için ve dekontaminasyon stratejileri kapsamında mısır ununun kimyasal bileşime zarar vermeden Türk Gıda Kodeksi Gıda Işınlama Yönetmeliği gereğince mısır unlarına 5 kGy'a kadar gama ışınlaması yapılması önerilebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarların makale ile ilgili herhangi bir kişi veya kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

Afify, A., Rashed, M., Ebtesam, A. M., El-Beltagi, H. (2013). Effect of gamma radiation on the lipid

- profiles of soybean, peanut and sesame seed oils. *Grasas y Aceites*, 64(4), 356–368. <https://doi.org/10.3989/gya.119712>
- Al-Bachir, M. (2015). Studies on the physicochemical characteristics of oil extracted from gamma irradiated pistachio (*Pistacia vera* L.). *Food Chemistry*, 167, 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.020>
- Alberts, J., Lilly, M., Rheeder, J., Burger, H., Shephard, G., Gelderblom, W. (2017). Technological and community-based methods to reduce mycotoxin exposure. *Food Control*, 73, 101–109, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713516302638>
- Algül, I., Kara, D. (2014). Determination and chemometric evaluation of total aflatoxin, aflatoxin B1, ochratoxin A and heavy metals content in corn flours from Turkey. *Food Chemistry*, 157, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.004>
- Anonim, (2025). Türk Gıda Kodeksi. Gıda Işınlama Yönetmeliği (2019/ 30907) <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/10/20191003-1-1.pdf> Erişim tarihi: 26.02.2025
- AOAC, Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Maryland, USA, 2000.
- Apaydın, D., Demirci, A.S., Gecgel, U. (2017). Effect of Gamma Irradiation on Biochemical Properties of Grape Seeds. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(1), 57–67. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2917-3>
- Apaydın, D. (2024). Effect of gamma irradiation on the nutritional composition , phenolic compounds and fatty acids profiles in raw cocoa (*Theobroma cacao* L .) beans. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 5305(18), 5297–5305.
- Aquino, S., Ferreira, F., Helena, D., Ribeiro, B., Corrêa, B., Greiner, R., Lucia, A., Haasis, C. (2005). Evaluation Of Viability Of *Aspergillus flavus* and Aflatoxins Degradation in Irradiated Samples of Maize. *Medical Microbiology*, 352–356.
- Aziz, N.H., Moussa, L.A.A., Far, F.M.E. (2004). Reduction Of Fungi And Mycotoxins Formation In Seeds By Gamma-Radiation. *Journal of Food Safety*, 24(202), 109–127.
- Barreira, J.C.M., Antonio, A.L., Günaydi, T., Alkan, H., Bento, A., Luisa Botelho, M., Ferreira, I. C.F.R. (2012). Chemometric characterization of gamma irradiated chestnuts from Turkey. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(9), 1520–1524. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.01.005>
- Calado, T., Fernández-Cruz, M. L., Cabo Verde, S., Venâncio, A., Abrunhosa, L. (2018). Gamma irradiation effects on ochratoxin A: Degradation, cytotoxicity and application in food. *Food Chemistry*, 240(April 2017), 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.136>
- Darfour, B., Wilson, D. D., Ofori, D. O., Ocloo, F. C. K. (2012). Physical, proximate, functional and pasting properties of flour produced from gamma irradiated cowpea (*Vigna unguiculata*, L. Walp). *Radiation Physics and Chemistry*, 81(4), 450–457. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.12.015>
- Di Stefano, V., Pitonzo, R., Bartolotta, A., D'Oca, M. C., Fuochi, P. (2014). Effects of γ -irradiation on the α -tocopherol and fatty acids content of raw unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*). *LWT-Food Science And Technology*, 59(1), 572–576. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.055>
- FAO (2019). Organisation for Economic Co-operation and Development/Food and Agriculture Organization of the United Nations, OECD-FAO agricultural outlook 2019-2028. Chapter 3, Cereals OECD Publishing/Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Paris. 2019, <http://www.fao.org/3/ca4076en/ca4076en.pdf>.
- Gecgel, U. (2013). Changes in some physicochemical properties and fatty acid composition of irradiated meatballs during storage. *Journal Of Food Science And Technology-Mysore*, 50(3), 505–513. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0375-3>

- Giray, B., Atasayar, S., Sahin, G. (2009). Determination of ochratoxin A and total aflatoxin levels in corn samples from Turkey by enzyme-linked immunosorbent assay. *Mycotoxin Research*, 25(2), 113–116. <https://doi.org/10.1007/s12550-009-0016-0>
- Gutiérrez, L.F. Belkacemi, K. (2008). Palmitoleic Acid Enrichment of Seabuckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) Pulp Oil by Crystallization Process. *Separation Science and Technology*, 43 (8), 2003–2022. <https://doi.org/10.1080/01496390802064091>.
- James, A., Zikankuba, V.L. (2018). Mycotoxins contamination in maize alarms food safety in sub-Saharan Africa. *Food Control*, 90, 372–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.03.018>
- Jeong, S.G., Yang, J.E., Park, J.H., Ko, S.H., Choi, I.S., Kim, H.M., Chun, H.H., Kwon, M.J., Park, H.W. (2020). Gamma irradiation improves the microbiological safety and shelf-life of kimchi seasoning mixture. *LWT-Food Science And Technology*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110144>
- Khalil, O.A.A., Hammad, A.A., Sebaei, A.S. (2021). *Aspergillus flavus* and *Aspergillus ochraceus* inhibition and reduction of aflatoxins and ochratoxin A in maize by irradiation. *Toxicon*, 198(January), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.04.029>
- Kos, J., Janić Hajnal, E., Malachová, A., Steiner, D., Stranska, M., Krska, R., Poschmaier, B., Sulyok, M. (2020). Mycotoxins in maize harvested in Republic of Serbia in the period 2012–2015. Part 1: Regulated mycotoxins and its derivatives. *Food Chemistry*, 312(May 2019), 126034. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126034>
- Kwon, J.H., Lee, J., Wajea, C., Ahn, J.J., Kim, G.R., Chung, H.W., et al. (2009). The quality of irradiated red ginseng powder following transport from Korea to the United States. *Radiation Physics and Chemistry*, 78, 643–646.
- Le, W., Zhang, Z., Li, X., Peng-fei, X., Li, C. (2025). An investigation of the physicochemical properties and bioactive components of oil extracted from gamma-irradiated tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19, 1313–1324.
- Lee, N.Y., Kim, J.K. (2018). Effects of gamma radiation on the physicochemical properties of brown rice and changes in the quality of porridge. *Radiation Physics and Chemistry*, 152, 89–92. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.07.021>
- Leite, M., Freitas, A., Silva, A. S., Barbosa, J., Ramos, F. (2020). Maize (*Zea mays* L.) and mycotoxins: A review on optimization and validation of analytical methods by liquid chromatography coupled to mass spectrometry. *Trends in Food Science and Technology*, 99(March), 542–565. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.023>
- Li, G., Zheng, X., Huang, D., Chen, X., Meng, F., Lin, M. (2019). Effect of 60Co γ -Irradiation on Physicochemical Properties of Adlay During Storage Period. *International Journal of Food Engineering*, 15(8), 20180329. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0329>.
- Liu, K., Liu, Y., Chen, F. (2018). Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties and nutrient contents of peanut. *LWT-Food Science And Technology*, 96, 535–542. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.009>
- Mexis, S. F., Kontominas, M. G. (2009). Effect of gamma-irradiation on the physicochemical and sensory properties of cashew nuts (*Anacardium occidentale* L.). *LWT-Food Science And Technology*, 42(9), 1501–1507. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.023>
- Mir, S.A., Dar, B.N., Shah, M.A., Sofi, S.A., Hamdani, A.M., Oliveira, C.A.F., Hashemi Moosavi, M., Mousavi Khaneghah, A., Sant’Ana, A. S. (2021). Application of new technologies in decontamination of mycotoxins in cereal grains: Challenges, and perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 148(January), 111976. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111976>
- Mohamed, N.F. El-Dine, R.S.S. Kotb, M.A.M. Saber, A. (2015). Assessing the possible effect of gamma irradiation on the reduction of aflatoxin B1, and on the moisture content in some cereal

- grains. *American Journal of Biomedical Science and Research*, 7, 33–39,
- Oruç, H.H., Cengiz, M.İ., Kalkanlı, O. (2006). Comparison of aflatoxin and fumonisin levels in maize grown in Turkey and imported from the USA. *Animal Feed Science and Technology*, 128, 337–341. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:85720537>
- Pitt, J.I. (2006). Fungal ecology and the occurrence of mycotoxins. Mycotoxins and phycotoxins. Advances in determination, toxicology and exposure management, *Brill*, 33–41.
- Probst, C., Bandyopadhyay R., Cotty, P. (2014). Diversity of aflatoxin-producing fungi and their impact on food safety in sub-Saharan Africa. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 113–122. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2013.12.010>.
- Reddy, K.R.N., Abbas, H.K., Abel, C.A., Shier, W.T., Oliveira, C.A.F., Raghavender, C.R. (2009). Mycotoxin contamination of commercially important agricultural commodities. *Toxin Reviews*, 28, 154–168.
- Sanni, S.A., Adebawale, A.A., Olayiwola, I.O. (2008). Chemical composition and pasting properties of iron-fortified maize flour. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6(3&4), 172–175.
- Şengül, Ü., Yalçın, E., Şengül, B., Çavuşoğlu, K. (2016). Investigation of aflatoxin contamination in maize flour consumed in Giresun, Turkey. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 8(3), 385–391. <https://doi.org/10.3920/QAS2015.0672>
- Sirisoontarak, P., Noomhorm, A. (2007). Changes in physicochemical and sensory-properties of irradiated rice during storage. *Journal of Stored Products Research*, 43(3), 282–289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.06.008>
- Slavova-kazakova, A., Taneva, S., Kamenova-Nacheva, M., Momchilova, S. (2025). Effects Of Gamma -Irradiation On Fatty Acids And Oxidative Stability Of Oil From Treated Walnuts . Impact Of Antioxidant Compositions On Oil Autoxidation. *Bioorganic Chemistry*, 78(1), 27–35.
- Smita, M., Meera, K., Sundaramoorthy, H., Jha, D., Mohan, B. C., Pavithraa, G., Reddy, C. K. (2023). Influence of γ -irradiation on physicochemical, functional, proximate, and antioxidant characteristics of pigmented rice flours. *Journal of Food Science and Technology*, 60(5), 1621–1632. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05709-z>
- Snedecor, G., Cochran, W. (1988). Statistical methods. Ames, Iowa: The Iowa State University Press, pp. 221–221.
- Spadaro, D., Garibaldi, A. (2017). Containment of mycotoxins in the food chain by using decontamination and detoxification techniques. In M. Gullino, J. Stack, J. Fletcher, & J. Mumford (Eds.), Practical tools for plant and food biosecurity (pp. 163e177). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46897-6_8.
- Temba, M.C. Njobeh B.P., Kayitesi, E. (2017). Storage stability of maize- groundnut composite flours and an assessment of aflatoxin B1 and ochra- toxin A contamination in flours and porridges. *Food Control*, 71, 178–186.
- Tralamazza, S.M., Bemvenuti, R.H., Zorzete, P. de Souza Garcia, F. Corrêa, B. (2016). Fungal diversity and natural occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in freshly harvested wheat grains from Brazil. *Food Chemistry*, 196: 445–450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.063>
- TÜİK (2024). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2023-49535>. Erişim: 12.07.2024
- Xiang, P., Zhang, Z., Le, W., Wei, Y., Li, B. (2025). Effect of thermal pretreatments on the quality attributes and irradiation markers of sesame oil extracted from sesame seeds without and with gamma irradiation. *Food Chemistry*, 463(June 2024). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141401>

EFFECT OF DIFFERENT CULTURE MEDIA, INITIAL pH, INCUBATION TEMPERATURE, AND CARBON SOURCES ON GROWTH AND BACTERIOCIN PRODUCTION OF *ENTEROCOCCUS MUNDtii* YB6.30

Selma KÜÇÜKÇİFTÇİ, Burak GENİŞ, Yasin TUNCER*

Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Food Engineering, Isparta, Türkiye

Received /Geliş: 14.02.2025; Accepted /Kabul: 24.03.2025; Published online /Online baskı: 03.04.2025

Küçükçiftçi, S., Geniş, B., Tuncer, Y. (2025). Effect of different culture media, initial pH, incubation temperature, and carbon sources on growth and bacteriocin production of *Enterococcus mundtii* YB6.30. GIDA (2025) 50 (2) 245-259 doi: 10.15237/ gida.GD25029

Küçükçiftçi, S., Geniş, B., Tuncer, Y. (2025). Farklı kültür besiyeri, başlangıç pH'sı, inkübasyon sıcaklığı ve karbon kaynaklarının *Enterococcus mundtii* YB6.30'un gelişimi ve bakteriyosin üretimi üzerine etkisi. GIDA (2025) 50 (2) 245-259 doi: 10.15237/ gida.GD25029

ABSTRACT

This study investigated the effects of various factors on the production of mundticin-KS in the *Enterococcus mundtii* YB6.30 strain, previously isolated from Sucuk, a dry-fermented sausage. The examined factors included the culture medium (de Man, Rogosa, and Sharpe broth; Brain Heart Infusion broth; M17 broth; Luria-Bertani broth; and Trypticase Soy Broth), initial medium pH (4.5, 5.5, 6.2, 7.4, and 8.5), incubation temperature (25°C, 30°C, 37°C, and 40°C), carbon source (glucose, fructose, lactose, or sucrose), and sucrose concentration (1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7.5%, and 10%). A one-factor-at-a-time (OFAT) approach was employed to determine the factors influencing bacteriocin production. Statistical analysis revealed that optimal mundticin-KS production by *E. mundtii* YB6.30 was achieved after 6 and 8 hours of incubation at 30°C in modified MRS broth medium, adjusted to an initial pH of 6.2 with the addition of 1% (w/v) sucrose. The bacteriocin activity under these conditions was measured at 1495.62±29.93 AU/mL at the 6th hour and 1567.21±26.27 AU/mL at the 8th hour ($P>0.05$).

Keywords: *Enterococcus mundtii*, mundticin-KS, bacteriocin production, culture medium, incubation temperature, carbon source

FARKLI KÜLTÜR BESİYERİ, BAŞLANGIÇ PH'SI, İNKÜBASYON SICAKLIĞI VE KARBON KAYNAKLARININ *ENTEROCOCCUS MUNDtii* YB6.30'UN GELİŞİMİ VE BAKTERİYOSİN ÜRETİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışma, daha önce kuru fermente sucuklardan izole edilen *Enterococcus mundtii* YB6.30 suşunda mundticin-KS üretimi üzerine çeşitli faktörlerin etkilerini incelemiştir. İncelenen faktörler arasında kültür ortamı (de Man, Rogosa ve Sharpe broth; Brain Heart Infusion broth; M17; Luria-Bertani broth; ve Tryptic Soy broth), başlangıç pH'ı (4.5, 5.5, 6.2, 7.4 ve 8.5), inkübasyon sıcaklığı (25°C, 30°C, 37°C ve 40°C), karbon kaynağı (glukoz, fruktoz, laktoz veya sakkaroz) ve sakkaroz

*Corresponding Author / Yazışmalardan sorumlu yazar

✉: yasintuncer@sdu.edu.tr

☎: (+90) 246 211 1713

☎: (+90) 246 237 0437

Selma Küçükçiftçi; ORCID no: 0000-0002-5429-2585

Burak Geniş; ORCID no: 0000-0002-7204-2176

Yasin Tuncer; ORCID no: 0000-0002-2075-5027

konsantrasyonu (%1, %2, %3, %4, %5, %7.5 ve %10) yer almaktadır. Bakteriyosin üretimini etkileyen faktörleri belirlemek için one-factor-at-a-time (OFAT) yaklaşımı kullanılmıştır. İstatistiksel analiz, *E. mundtii* YB6.30 tarafından optimal mundtisın-KS üretiminin, 1% (w/v) sakkaroz eklenmiş başlangıç pH'ı 6.2'ye ayarlanmış modifiye MRS broth besiyerinde 30°C'de 6 ve 8 saatlik inkübasyon sonrası elde edildiğini ortaya koymuştur. Bu koşullar altında bakteriyosin aktivitesi 6. saatte 1495.62 ± 29.93 AU/mL ve 8. saatte 1567.21 ± 26.27 AU/mL olarak ölçülmüştür ($P > 0.05$).

Anahtar kelimeler: *Enterococcus mundtii*, mundtisın-KS, bakteriyosin üretimi, kültür besiyeri, inkübasyon sıcaklığı, karbon kaynağı

INTRODUCTION

Lactic acid bacteria (LAB) play a pivotal role in the development of the distinct flavor, aroma, scent, and texture of fermented foods (Laranjo et al., 2019; de Souza et al., 2023). Moreover, LAB are commonly employed as protective starter cultures in fermented foods due to their production of lactic acid, hydrogen peroxide, and bacteriocins, which possess antibacterial properties (Garneau et al., 2002; Gök Charyyev et al., 2019; de Souza et al., 2023). The use of bacteriocin-producing strains for food preservation is increasingly widespread, driven by growing consumer demand for foods preserved with natural preservatives and minimal processing, as opposed to those containing synthetic additives (Oliveira et al., 2018; Ren et al., 2021; Kasimin et al., 2022; Karnwal and Malik, 2024; Bisht et al., 2025). *Enterococcus*, a genus of LAB, is adapted to extreme environmental conditions, including wide pH ranges, elevated temperatures, and high salt concentrations (Álvarez-Cisneros and Ponce-Alquicira, 2019; Sakoui et al., 2024). These bacteria are naturally present in the gastrointestinal tracts of humans and animals, as well as in soil, plants, surface waters, feeds, and a variety of raw and fermented foods, such as milk, red meat, cheese, sausage, seafood, and poultry (Schelegueda et al., 2015; Hanchi et al., 2018; Akpınar Kankaya and Tuncer, 2020; Graham et al., 2020; Sakoui et al., 2024). Enterococci are also utilized as natural starter cultures that enhance the sensory characteristics and extend the shelf life of fermented foods such as cheeses and sausages. They contribute to the formation of flavor, odor, aroma, and texture through acidification, citrate degradation, and the production of volatile aromatic compounds (Graham et al., 2020). The bacteriocins produced by enterococci, called enterocins, exhibit strong antilisterial activity (Franz et al., 2007; Gök

Charyyev et al., 2019; Graham et al., 2020; Kasimin et al., 2022; Öztürk et al., 2023). Among the enterocins, the most extensively studied strains are *E. faecium* and *E. faecalis* (Almeida-Santos et al., 2021), although there have been reports indicating that *E. mundtii* also produces bacteriocins (Kawamoto et al., 2002; Altunkaynak and Tuncer, 2020; Öztürk et al., 2023). Bacteriocins can be employed in the food industry as additives, incorporated into food packaging and coating materials, and integrated into starter culture formulations using producer strains (Ahmad et al., 2017; Bisht et al., 2025). Given their potential applications and the benefits they offer in terms of food safety, large-scale production of bacteriocins is essential for commercial and economic viability (Reuben and Torres, 2024). Consequently, investigating optimal fermentation conditions to maximize the growth and bacteriocin production of bacteriocin-producing strains is critical for achieving cost-effective production (Jawan et al., 2020). The efficiency of bacteriocin production in LAB is influenced by several factors. Cultural conditions, such as the type of culture medium, initial pH, incubation temperature and time, and carbon and nitrogen sources, have significant effects on bacterial growth and bacteriocin production, with these factors varying across different strains (Todorov et al. 2012; Abbasiliasi et al., 2017; Oliveira et al., 2024).

In this study, we examined the effects of various commercial culture media, initial pH levels, incubation temperatures, and carbon sources on the growth and bacteriocin production of the *E. mundtii* YB6.30 strain. The objective was to identify the optimal conditions for bacteriocin production using a one-factor-at-a-time (OFAT) method.

MATERIAL AND METHODS

Bacteria and growth conditions

In this study, the mundticin KS-producing *E. mundtii* YB6.30 strain, which was isolated from Sucuk -a dry fermented Turkish sausage (Altinkaynak and Tuncer, 2020- and obtained from the culture collection of the Süleyman Demirel University Food Engineering Department Bacterial Genetics Laboratory, was used. The *E. mundtii* YB6.30 stock culture, stored at -32°C, was introduced into de Man, Rogosa, and Sharpe (MRS) broth (Biokar Diagnostics, BK070HA, Beauvais, France) at a 1% (v/v) concentration for activation and incubated at 37°C for 18 h. Before use in experiments, the activated culture was subcultured twice in MRS broth. The working culture was stored at +4°C, while the stock culture was preserved at -32°C with 20% (v/v) sterile glycerol.

Control of bacteriocin activity

The activity of the bacteriocin produced by the *E. mundtii* YB6.30 was evaluated using the agar-spot method (Todorov and Dicks, 2009) and the agar-well diffusion method (Jawan et al., 2020). To obtain the cell-free supernatant (CFS), an overnight culture of *E. mundtii* YB6.30 was transferred into 10 mL sterile centrifuge tubes (Thermo Scientific, Oak Ridge Centrifuge Tube 3114-0010, United States) and centrifuged at 10.000 x g for 5 minutes at +4°C (Sigma 2-16KL, rotor no. 12141, Germany). Following centrifugation, the supernatant was transferred to a beaker glass, and its pH was adjusted to 6.0 using 1 N NaOH. The neutralized culture supernatant was then sterilized by filtration through a 0.45 µm pore-diameter membrane filter (Sartorius Stedim Biotech, Minisart® 16555-K, Germany). Next, 100 µL of *E. faecium* ATCC 51559 (vancomycin-resistant) was inoculated into 5 mL of MRS soft agar (0.5% agar), vortex-mixed, and spread on MRS agar plates to serve as the indicator bacterium. Bacteriocin activity was assessed using the agar-well diffusion and agar-spot methods. For the agar-well diffusion assay, a 6 mm-diameter probe was used to create a well in an MRS agar plate, which was then filled with 100 µL of neutralized CFS. In the agar-spot method, 10 µL of neutralized CFS was deposited onto an

empty spot on the same MRS agar plate. The plates were incubated at 37°C for 18 h. Following incubation, bacteriocin activity of the *E. mundtii* YB6.30 was evaluated by measuring the zones of inhibition surrounding the well and the CFS application site.

Factors affecting cell growth and bacteriocin production

A one-factor-at-a-time (OFAT) method was employed to identify the variables affecting bacteriocin production. The most influential factors were selected for subsequent experiments based on their contribution to maximizing bacteriocin yield (Jawan et al., 2020).

Culture medium

The effects of various commercial media on cell growth and bacteriocin production were examined using MRS broth (Biokar, France), M17 broth (Biokar, K012HA, France), Luria Bertani broth (LB, Sigma-Aldrich, 28713, St. Louis, MO, USA), Brain Heart Infusion broth (BHI, Neogen Culture Media, NCM0016A, England), and Tryptone Soy Broth (TSB, Acumedia LabM, LAB004, England). *E. mundtii* YB6.30 was cultured overnight in MRS broth at 37°C and subsequently inoculated into 50 mL of MRS, M17, LB, BHI, and TSB broths at a 2% (v/v) concentration (Todorov and Dicks, 2009).

Initial pH of culture medium

In experiments conducted to determine the effect of the initial pH of the culture medium on cell growth and bacteriocin production, the initial pH values of MRS broth were adjusted to 4.5, 5.5, 6.2, 7.4, and 8.5 using 0.5 N HCl or NaOH (Yang et al., 2018). *E. mundtii* YB6.30 was then inoculated into 50 mL of MRS broth at a 2% (v/v) ratio and cultured at 37°C for 24 h (Todorov and Dicks, 2009).

Cultivation temperature

To determine the effect of different incubation temperatures on cell growth and bacteriocin production, the *E. mundtii* YB6.30 was inoculated at a rate of 2% (v/v) into 50 mL of MRS broth with a pH adjusted to 6.2. The medium was then

incubated for 24 h at 25°C, 30°C, 37°C, and 40°C (Malheiros et al., 2015).

Carbone source

To investigate the impact of various carbon sources on cell growth and bacteriocin production, *E. mundtii* YB6.30 was cultured in modified MRS broths, which were prepared by adding 2% (w/v) glucose, fructose, lactose, or sucrose to basal MRS broth (peptone 20 g, yeast extract 5 g, Tween 80 1.08 g, dipotassium phosphate 2 g, sodium acetate 5 g, ammonium citrate 2 g, magnesium sulfate 0.2 g, manganese sulfate 0.05 g), with the pH adjusted to 6.2. *E. mundtii* YB6.30 was then inoculated into 50 mL of modified MRS broth at a 2% (v/v) inoculum concentration, and the media were incubated at 30°C for 24 h.

Sucrose concentration

To assess the effect of varying sucrose concentrations on cell growth and bacteriocin production in *E. mundtii* YB6.30, sucrose was incorporated into basal MRS broth at concentrations of 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7.5%, and 10%, with the initial pH adjusted to 6.2. The YB6.30 strain was inoculated into the modified MRS broth at a 2% (v/v) inoculum, and the media were incubated at 30°C for 24 h.

Determination of pH, optical density and bacteriocin activity

During the incubation, samples were collected from the cultures at the 0th, 6th, 8th, 10th and 24th h to measure pH, optical density, and bacteriocin activity. Each experiment was performed in duplicate. The pH of *E. mundtii* YB6.30 cultures was measured using a WTW pH 3110 model pH meter (Germany). The optical density was measured with a Soif UV5100 UV/VIS spectrophotometer (Türkiye) at a wavelength of 600 nm, using cuvettes with a 1 cm light path. Bacteriocin activity was determined in AU/mL, using Petri dishes prepared according to Todorov and Dicks (2009), as described above. *E. faecium* ATCC 51559 was used as the indicator bacterium. A well was created in the Petri dish using a 6 mm-diameter probe, and 100 µL of the neutralized CFS, prepared as described above,

was transferred with a pipette. The Petri plate was stored in the refrigerator at 4°C for two h, then incubated at 37°C for 18 hours. After the incubation, the activity zone formed around the well was measured with calipers, and bacteriocin activity was calculated using the formula below. A_z represents the clear zone area (mm²) around the well, A_w is the well area (mm²), and V is the volume of the sample (mL) (Jawan et al., 2020).

Bacteriocin activity (AU/mL): $(A_z - A_w)/V$ (1)

Statistical analysis

The data were analyzed using factorial designs with the repeated measures analysis of variance (ANOVA). Repeated measurements were conducted at different levels of the time factor, with each subgroup containing two observations. Following the analysis of variance, the Tukey test, a method for multiple comparisons, was employed to determine the differences between the factor level averages (Mendes, 2019).

RESULTS AND DISCUSSION

Control of bacteriocin activity

The bacteriocin production capacity of *E. mundtii* YB6.30 was re-evaluated to assess whether any loss in bacteriocin production occurred during its storage in the culture collection. Altınkaynak and Tuncer (2020) reported that the sterile toothpick method revealed the *E. mundtii* YB6.30 strain produced a 19-mm zone of inhibition against *E. faecium* ATCC 51559. In the present study, the *E. mundtii* YB6.30 demonstrated efficacy against *E. faecium* ATCC 51559 using both the agar spot and well diffusion methods (Figure 1).

The genes responsible for bacteriocin production are located on chromosomal DNA, plasmids, or conjugative transposons (Fguira et al., 2014; Miljkovic et al., 2018). Accordingly, this study primarily examined the bacteriocin activity of *E. mundtii* YB6.30, which was reactivated from a stock culture stored at -20°C. Previous research has demonstrated that bacteriocins AS-48 (Martínez-Bueno et al., 1990) and enterocin 416K1 (Sabia et al., 2002), produced by *Enterococcus* strains, were plasmid-encoded, with

this trait being lost in mutant strains that underwent plasmid loss. Additionally, Kawamoto et al. (2002) reported that the genetic determinants of mundticin-KS were encoded on the 50 kb pML1 plasmid in *E. mundtii* NFRI 7393. Similarly, Feng et al. (2009) found that mundticin L production was plasmid-encoded in *E. mundtii*

CUGF08. After evaluating the antibacterial activity of *E. mundtii* YB6.30, this study further investigated the effects of various commercial media, initial pH values, incubation temperatures, and different carbon sources on cell growth and bacteriocin activity.

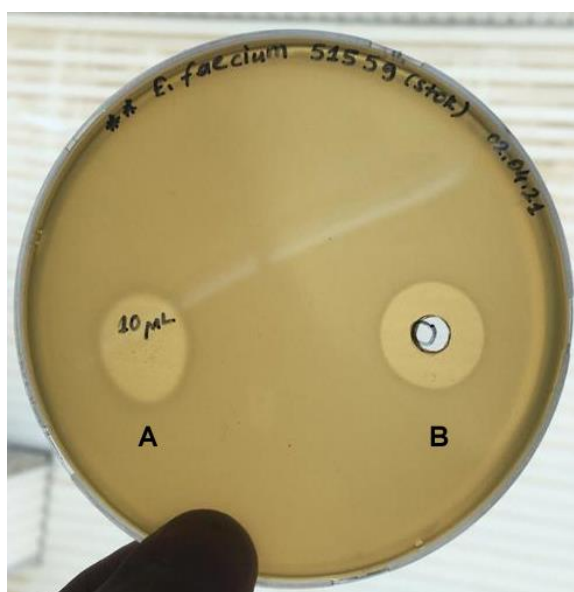


Figure 1. Antibacterial activity of *E. mundtii* YB6.30 against the indicator bacterium *E. faecium* ATCC 51559 (vancomycin-resistant). A: agar-spot method, B: agar-well diffusion method.

Effect of culture medium

The increasing importance of bacteriocins in the food industry has created a need for their production to be more cost-effective and yield higher quantities (Olivera et al., 2004; Garsa et al., 2014). Studies addressing this need primarily investigate the effect of culture media on bacteriocin production. The *E. mundtii* YB6.30 strain was observed to grow in all of the media used in the experiment and exhibited bacteriocin production (Table 1). At the end of the 24-hour incubation period, the lowest pH value was recorded in MRS broth. A statistically significant difference ($P < 0.05$) was observed in the pH values across all media during the incubation period. The highest optical density values were recorded at the 6th and 8th hours of incubation in BHI broth, measuring 2.08 ± 0.006 and 2.06 ± 0.008 , respectively ($P < 0.05$). However, no statistical difference was observed between the optical densities in BHI and MRS broth at the

10th hour of incubation, and in MRS, M17, and BHI broth media at the 24th hour of incubation ($P > 0.05$). As expected, the effect of medium type on bacteriocin activity at hour 0 was not statistically significant ($P > 0.05$). After 6 hours of incubation, MRS broth was found to be more effective for bacteriocin production (1322.96 ± 46.67 AU/mL) ($P < 0.05$) compared to the other media, followed by BHI broth (876.26 ± 46.67 AU/mL). Bacteriocin activity in M17, TSB, and LB media did not differ significantly ($P > 0.05$). Throughout all incubation periods, the highest bacteriocin activity was detected in MRS broth ($P < 0.05$). The peak bacteriocin activity (1739.60 ± 14.09 AU/mL) was observed at the 24th hour of incubation. Based on these results, MRS medium was determined to be the most suitable for the production of mundticin-KS by the *E. mundtii* YB6.30.

Table 1. pH, optical density, and bacteriocin activity values of *E. mundtii* YB6.30 culture measured at 0, 6, 8, 10, and 24 hours of incubation in MRS, M17, TSB, BHI, and LB broth media.

Incubation time (hour)	Media*	Culture pH	Optical density	Bacteriocin activity (AU/mL)
0.	MRS	5.94±0.009 ^{Ad**}	0.04±0.005 ^{Cb}	332.41±26.99 ^{Da}
	M17	6.44±0.009 ^{Ac}	0.10±0.005 ^{Da}	291.44±26.99 ^{Ca}
	TSB	6.84±0.009 ^{Aa}	0.09±0.005 ^{Ba}	291.27±26.99 ^{Ca}
	BHI	6.85±0.009 ^{Aa}	0.09±0.005 ^{Ba}	326.01±26.99 ^{Ca}
	LB	6.55±0.009 ^{Ab}	0.10±0.005 ^{Ba}	343.81±26.99 ^{Ca}
6.	MRS	4.88±0.014 ^{Be}	1.82±0.006 ^{Bb}	1322.96±46.67 ^{Ca}
	M17	5.89±0.014 ^{Ba}	1.48±0.006 ^{Cc}	643.12±46.67 ^{Bc}
	TSB	5.28±0.014 ^{Bc}	1.84±0.006 ^{Ab}	737.66±46.67 ^{ABc}
	BHI	5.06±0.014 ^{Bd}	2.08±0.006 ^{Aa}	876.26±46.67 ^{Bb}
	LB	5.55±0.014 ^{Bb}	0.83±0.006 ^{Ad}	633.73±46.67 ^{Bc}
8.	MRS	4.62±0.010 ^{Cd}	2.00±0.008 ^{Ab}	1591.24±22.82 ^{Ba}
	M17	5.49±0.010 ^{Ca}	1.84±0.008 ^{Bc}	895.41±22.82 ^{Ac}
	TSB	5.27±0.010 ^{Bb}	1.85±0.008 ^{Ac}	829.12±22.82 ^{Ac}
	BHI	5.05±0.010 ^{Bc}	2.06±0.008 ^{Aa}	1044.36±22.82 ^{Ab}
	LB	5.46±0.010 ^{Ba}	0.86±0.008 ^{Ad}	829.12±22.82 ^{Ac}
10.	MRS	4.47±0.009 ^{Ce}	2.02±0.008 ^{Aa}	1664.87±38.40 ^{Ba}
	M17	5.22±0.009 ^{Dc}	1.97±0.008 ^{ABb}	811.14±38.40 ^{Abc}
	TSB	5.26±0.009 ^{Bb}	1.87±0.008 ^{Ac}	746.73±38.40 ^{ABcd}
	BHI	5.05±0.009 ^{Bd}	2.06±0.008 ^{Aa}	885.87±38.40 ^{Bb}
	LB	5.41±0.009 ^{Ba}	0.86±0.008 ^{Ad}	642.01±38.40 ^{Bd}
24.	MRS	4.04±0.007 ^{De}	2.03±0.015 ^{Aa}	1739.60±14.09 ^{Aa}
	M17	5.04±0.007 ^{Ed}	2.01±0.015 ^{Aa}	658.65±14.09 ^{Bc}
	TSB	5.31±0.007 ^{Bb}	1.82±0.015 ^{Ab}	650.06±14.09 ^{Bc}
	BHI	5.09±0.007 ^{Bc}	2.03±0.015 ^{Aa}	934.19±14.09 ^{ABb}
	LB	5.48±0.007 ^{Ba}	0.91±0.015 ^{Ac}	658.81±14.09 ^{Bc}

*MRS: de Man, Rogosa, and Sharpe broth; M17; M17 broth; TSB: Tryptone soy broth; BHI: Brain heart infusion broth; LB: Luria Bertani broth.

** Capital letters denote distinctions between time periods within each medium, while lowercase letters represent differences between media within each time period.

Consistent with previous research on other bacteriocin-producing *Enterococcus* strains, MRS broth has been identified as the most efficient medium for bacteriocin production compared to other commercially available media (Zendo et al., 2005; De Kwaadsteniet et al., 2005; Yang et al., 2018). Zendo et al. (2005) evaluated various media, including MRS broth, APT medium, M17 broth, BHI broth, Elliker broth, and tryptic soy broth, for bacteriocin production by *E. mundtii* QU2. Their results showed that MRS broth yielded the highest bacteriocin production (102.400 AU/mL), while APT medium supported the greatest cell growth. Similarly, De Kwaadsteniet et al. (2005) reported that *E. mundtii* ST15 exhibited the highest bacteriocin activity (51.200 AU/mL) when grown in MRS broth, compared to BHI broth, M17 broth, soymilk

(10% w/v, soy flour), and molasses (8% and 10% w/v). Yang et al. (2018) also identified MRS broth as the optimal medium for bacteriocin production by *E. faecium* JR-1 compared to BHI broth. Furthermore, they found that MRS broth was also the optimal medium for the bacteriocin activity in other LAB species, including *Lactobacillus curvatus* Arla-10, *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* JFR-5, and *Streptococcus thermophilus* TSB-8. In another study, Parlindungan et al. (2021) reported that *Lactiplantibacillus plantarum* B21 exhibited higher cell growth and bacteriocin production in MRS broth than in M17 broth. Oliveira et al. (2024) found that *Pediococcus pentosaceus* ST65ACC produced higher levels of bacteriocin when grown in MRS broth compared to BHI broth, meat broth, and reconstituted skim milk. Conversely, other studies have reported that media other than

MRS broth support maximum bacteriocin production in LAB (Sidek et al., 2018; Jawan et al., 2020; Valledor et al., 2022). Sidek et al. (2018) identified M17 as the optimal medium for the growth and bacteriocin activity of *Pediococcus acidilactici* kp10. Jawan et al. (2020) reported that *Lactococcus lactis* Gh1 exhibited the highest bacteriocin production activity in BHI broth. Valledor et al. (2022) found that among two enterocin-producing *E. faecium* isolates from kimchi, the ST20Kc strain exhibited the highest bacteriocin activity (25.600 AU/mL) when cultured BL and M17 (containing 0.5% glucose) broths, while the ST41Kc strain showed the highest activity in BL broth.

Effect of initial pH of culture medium

It was determined that *E. mundtii* YB6.30 exhibited growth and bacteriocin activity at all initial pH values, although at varying levels (Table

2). The highest optical densities of the culture, observed at the 6th, 8th, and 10th hours of incubation, were recorded in MRS broth with an initial pH of 6.2 ($P<0.05$). However, by the end of the 24th hour of incubation, no statistically significant difference was found between the optical densities in MRS broth with initial pH values of 6.2 and 8.5 ($P>0.05$). The highest bacteriocin activity, measured at 1790.31 ± 24.56 AU/mL, occurred at the 6th hour of incubation in MRS broth with an initial pH of 6.2 ($P<0.05$). Bacteriocin activity decreased during the later hours of incubation. Conversely, the highest bacteriocin activity (1358.09 ± 51.00 AU/mL) was recorded at the 10th hour of incubation in MRS broth with an initial pH of 8.5. By the end of the 24th hour of incubation, the highest bacteriocin activity values were found to be 1777.63 ± 27.76 AU/mL and 1777.87 ± 27.76 AU/mL in MRS broth adjusted to pH 5.5 and 8.5, respectively.

Table 2. pH, optical density, and bacteriocin activity values of *E. mundtii* YB6.30 culture measured at 0, 6, 8, 10, and 24 hours of incubation in MRS broth, with pH levels adjusted to 4.5, 5.5, 6.2, 7.4, and 8.5

Incubation time (hour)	Initial pH of the medium	Culture pH	Optical density	Bacteriocin activity (AU/mL)
0.	4.5	$4.58\pm0.012^{Ac*}$	0.08 ± 0.006^{Ca}	118.73 ± 12.06^{Bc}
	5.5	5.37 ± 0.012^{Ad}	0.10 ± 0.006^{Da}	346.38 ± 12.06^{Ca}
	6.2	5.86 ± 0.012^{Ac}	0.07 ± 0.006^{Ba}	201.16 ± 12.06^{Cb}
	7.4	6.44 ± 0.012^{Ab}	0.08 ± 0.006^{Ba}	396.43 ± 12.06^{Ca}
	8.5	6.96 ± 0.012^{Aa}	0.05 ± 0.006^{Ba}	367.46 ± 12.06^{Da}
6.	4.5	4.56 ± 0.017^{Ab}	0.16 ± 0.017^{Cd}	130.04 ± 24.56^{Bd}
	5.5	4.98 ± 0.017^{Ba}	1.25 ± 0.017^{Cc}	1391.02 ± 24.56^{Bc}
	6.2	4.75 ± 0.017^{Bb}	1.93 ± 0.017^{Aa}	1790.31 ± 24.56^{Aa}
	7.4	4.69 ± 0.017^{Bb}	1.85 ± 0.017^{Ab}	1579.19 ± 24.56^{Ab}
	8.5	5.02 ± 0.017^{Ba}	1.84 ± 0.017^{Ab}	1425.29 ± 24.56^{BCc}
8.	4.5	4.53 ± 0.027^{Aa}	0.21 ± 0.017^{Cd}	107.58 ± 27.45^{Bd}
	5.5	4.69 ± 0.027^{Ba}	1.72 ± 0.017^{Bc}	1367.94 ± 27.45^{Bc}
	6.2	4.56 ± 0.027^{Ba}	2.03 ± 0.017^{Aa}	1689.67 ± 27.45^{Aa}
	7.4	4.55 ± 0.027^{Ba}	1.93 ± 0.017^{Ab}	1531.14 ± 27.45^{Ab}
	8.5	4.62 ± 0.027^{Ca}	1.94 ± 0.017^{Ab}	1495.62 ± 27.45^{Bb}
10.	4.5	4.53 ± 0.026^{Aa}	0.29 ± 0.009^{Bd}	213.72 ± 51.00^{Bc}
	5.5	4.55 ± 0.026^{Ba}	1.90 ± 0.009^{ABc}	1311.46 ± 51.00^{Bab}
	6.2	4.43 ± 0.026^{Ba}	2.05 ± 0.009^{Aa}	1300.59 ± 51.00^{Bab}
	7.4	4.44 ± 0.026^{Ba}	1.94 ± 0.009^{Abc}	1245.05 ± 51.00^{Bb}
	8.5	4.48 ± 0.026^{Ca}	1.97 ± 0.009^{Ab}	1358.09 ± 51.00^{Ca}
24.	4.5	4.35 ± 0.104^{Aa}	0.90 ± 0.007^{Ad}	418.60 ± 27.76^{Ad}
	5.5	4.11 ± 0.104^{Ba}	1.95 ± 0.007^{Ab}	1777.63 ± 27.76^{Aa}
	6.2	4.10 ± 0.104^{Bb}	2.05 ± 0.007^{Aa}	1289.17 ± 27.76^{Bc}
	7.4	4.31 ± 0.104^{Bab}	1.86 ± 0.007^{Ac}	1483.65 ± 27.76^{Ab}
	8.5	4.12 ± 0.104^{Cb}	2.03 ± 0.007^{Aa}	1777.87 ± 27.76^{Aa}

*Capital letters denote differences between times at each pH level, while lowercase letters indicate differences between pH values at each time point.

Similar to our findings, Yang et al. (2018) reported that an initial pH of 6.2 in MRS broth was optimal for bacteriocin production in several LAB strains. Additionally, Cladera-Olivera et al. (2004) examined the effect of initial pH on bacteriocin activity in *Bacillus licheniformis* and found that activity was highest between pH 6.5 and 7.5. Conversely, Jawan et al. (2020) observed that *Lactococcus lactis* Gh1 exhibited maximum bacteriocin activity in BHI broth at initial pH values of 7.4 and 8.5. Furthermore, bacteriocin activity declined when the initial pH dropped below 6.0. These studies collectively highlight the crucial role of initial pH in cell growth and bacteriocin production, while also indicating that the optimal pH varies by strain (Cladera-Olivera et al., 2004; Yang et al., 2018; Jawan et al., 2020).

Effect of incubation temperature

The results of pH, optical density, and bacteriocin activity measurements, taken at 0, 6, 8, 10 and 24

hours of incubation at different temperatures, are presented in Table 3. It was found that the differences in pH values measured at all incubation temperatures from the 6th hour of incubation was statistically significant ($P<0.05$). The YB6.30 strain exhibited the greatest increase in cell density during the 6th hour of incubation at 37°C, with an optical density measurement of 1.92 ± 0.018 . However, at the 6th hour of incubation, no statistically significant difference was detected in bacteriocin activity between cultures incubated at 30°C, 37°C, and 40°C ($P>0.05$). At the 8th hour of incubation, the highest cell density was measured in the culture incubated at 37°C ($P<0.05$), while the maximum bacteriocin activity (1752.28 ± 30.49 AU/mL) was observed in the culture incubated at 30°C ($P<0.05$). When evaluating bacteriocin activity in the culture incubated at 30°C, no statistical difference was found between the values measured at 6 and 8 hours of incubation ($P>0.05$).

Table 3. pH, optical density, and bacteriocin activity values of *E. mundtii* YB6.30 culture measured at 0, 6, 8, 10, and 24 hours of incubation in MRS broth (initial pH 6.2) at 25°C, 30°C, 37°C, and 40°C.

Incubation time (hour)	Incubation temperature (°C)	Culture pH	Optical density	Bacteriocin activity (AU/mL)
0.	25	$5.94\pm0.011^{Aa*}$	0.06 ± 0.002^{Ea}	271.37 ± 15.89^{Dab}
	30	5.94 ± 0.011^{Aa}	0.08 ± 0.002^{Ca}	339.28 ± 15.89^{Cab}
	37	5.96 ± 0.011^{Aa}	0.07 ± 0.002^{Ba}	245.31 ± 15.89^{Cb}
	40	5.94 ± 0.011^{Aa}	0.07 ± 0.002^{Ba}	389.24 ± 15.89^{Ca}
6.	25	5.80 ± 0.008^{Ba}	0.42 ± 0.018^{Dc}	1169.34 ± 44.00^{Cb}
	30	5.29 ± 0.008^{Bb}	1.44 ± 0.018^{Bb}	1690.46 ± 44.00^{Aa}
	37	4.74 ± 0.008^{Bc}	1.92 ± 0.018^{Aa}	1714.48 ± 44.00^{Aa}
	40	4.62 ± 0.008^{Bd}	1.87 ± 0.018^{Aa}	1603.36 ± 44.00^{Aa}
8.	25	5.64 ± 0.012^{Ba}	0.88 ± 0.017^{Cc}	1356.68 ± 30.49^{Bc}
	30	4.92 ± 0.012^{Cb}	1.88 ± 0.017^{Ab}	1752.28 ± 30.49^{Aa}
	37	4.54 ± 0.012^{Cc}	1.99 ± 0.017^{Aa}	1640.22 ± 30.49^{Aab}
	40	4.46 ± 0.012^{Cd}	1.93 ± 0.017^{Ab}	1507.36 ± 30.49^{Ab}
10.	25	5.36 ± 0.013^{Ca}	1.41 ± 0.019^{Bc}	1379.28 ± 37.04^{Ba}
	30	4.72 ± 0.013^{Db}	2.03 ± 0.019^{Aa}	1437.18 ± 37.04^{Ba}
	37	4.44 ± 0.013^{Cc}	2.01 ± 0.019^{Aa}	1413.99 ± 37.04^{Ba}
	40	4.31 ± 0.013^{Cd}	1.93 ± 0.019^{Ab}	1223.38 ± 37.04^{Bb}
24.	25	4.53 ± 0.004^{Da}	2.09 ± 0.010^{Aa}	1591.23 ± 35.81^{Aa}
	30	4.27 ± 0.004^{Eb}	2.08 ± 0.010^{Aa}	1677.39 ± 35.81^{Aa}
	37	4.09 ± 0.004^{Dc}	2.01 ± 0.010^{Aa}	1322.73 ± 35.81^{Bb}
	40	3.99 ± 0.004^{Dd}	1.96 ± 0.010^{Ab}	1322.96 ± 35.81^{Bb}

* Capital letters denote the differences between times at each temperature, while lowercase letters indicate the differences between temperatures at each time.

Studies conducted in previous years have demonstrated that incubation temperature significantly affects bacteriocin production and that optimal incubation conditions for cell growth and bacteriocin production may vary depending on the strain (Cladera-Olivera et al., 2004; De Kwaadsteniet et al., 2005; Bayram and Yildirim, 2016; Mohd Rasid et al., 2023). Cladera-Olivera et al. (2004) found that *Bacillus licheniformis* produced bacteriocins most effectively at 26°C and 37°C. Similarly, De Kwaadsteniet et al. (2005) reported that *E. mundtii* ST15 exhibited the highest bacteriocin activity at 30°C compared to 37°C, a finding consistent with our study. Bayram and Yildirim (2016) examined the effects of various incubation temperatures (25°C, 30°C, and 37°C) on bacteriocin production in the *E. faecium* BP strain and concluded that 30°C and 37°C were optimal. Likewise, Mohd Rasid et al. (2023) found that the cell growth and nisin activity of *Lactococcus lactis* ATCC 11454 were higher at 30°C than at 37°C.

Effect of using different carbon sources in culture medium

The results of the culture pH, optical density, and bacteriocin activity of the YB6.30 strain, cultured in modified MRS broth with different carbon sources, measured at 0, 6, 8, 10, and 24 hours of incubation, are presented in Table 4. Statistically significant differences ($P < 0.05$) were observed between the culture pHs measured at the 6th and 8th hours of incubation. However, no statistically significant difference was found between the culture pHs measured in MRS broth containing sucrose and fructose at the 10th and 24th hours of incubation ($P > 0.05$), while the culture pHs measured in MRS broth containing glucose or lactose were statistically significant ($P < 0.05$). The lowest pH values were observed in *E. mundtii* YB6.30 cultures grown in MRS broth containing sucrose or fructose at the 24th hour of incubation. It was found that the highest cell density at each hour of the incubation occurred in samples cultured in MRS broth containing sucrose ($P < 0.05$). Regarding bacteriocin activity, the highest activity (1507.36 ± 21.94 AU/mL) was measured in the sample cultured in MRS broth containing sucrose at the 6th hour of incubation ($P < 0.05$). At the 8th hour of incubation, the

highest bacteriocin activity (1652.66 ± 39.39 AU/mL) was observed in the sample cultured in MRS broth containing sucrose. However, at this time, no statistically significant difference was found between the bacteriocin activity of the sample cultured in MRS broth containing sucrose and that cultured in MRS broth containing glucose ($P > 0.05$). At the 10th and 24th hours of incubation, no statistical difference was observed between the bacteriocin activities of all samples cultured in modified MRS broth ($P > 0.05$). Based on these findings, sucrose was determined to be the optimal carbon source for inducing high bacteriocin activity in *E. mundtii* YB6.30 when cultivated in MRS broth.

Consistent with our findings, Saraiva et al. (2020) reported that sucrose was the most effective carbon source for bacteriocin production in *Lactococcus lactis*, a nisin Z producer isolated from Brazilian fermented sausage. Conversely, Todorov and Dicks (2009) examined the effects of various carbon sources on bacteriocin production in *E. mundtii* ST4SA and found that the highest bacteriocin activity (102.400 AU/mL) achieved when fructose (20 g/L) was used as the carbon source in MRS broth. They also reported that when the same concentration of glucose was used, bacteriocin activity decreased to 51.200 AU/mL. Similarly, other studies have demonstrated that different carbon sources influence bacteriocin production across various LAB genera (Turgis et al., 2016; Jawan et al., 2020; Kuhan Sreedharan et al., 2021; Tareq and Luti, 2022). Turgis et al. (2016) found that the highest nisin production in *Lactococcus lactis* MM19 occurred in the presence of glucose and lactose, while the highest pediocin production in *Pediococcus acidilactici* MM33 was observed with galactose and fructose. Jawan et al. (2020) reported that fructose was the most effective carbon source for bacteriocin production in *L. lactis* Gh1. Kuhan Sreedharan et al. (2021) found that *Lactobacillus brevis* C23 exhibited the highest production of bacteriocin-like antibacterial substances when cultured with lactose. Tareq and Luti (2022) determined that glucose was the most suitable carbon source for enhancing both cell growth and bacteriocin production in *Lactobacillus crispatus* IS30.

Table 4. pH, optical density, and bacteriocin activity values of *E. mundtii* YB6.30 culture measured at 0, 6, 8, 10, and 24 hours of incubation at 30°C in MRS broth (initial pH 6.2) supplemented with glucose, lactose, sucrose, or fructose.

Incubation time (hour)	Carbone sources	Culture pH	Optical density	Bacteriocin activity (AU/mL)
0.	Glucose	5.69± 0.008 ^{Ac}	0.07± 0.002 ^{Cb}	298.06± 14.40 ^{Da}
	Lactose	5.90± 0.008 ^{Ab}	0.08± 0.002 ^{Cab}	339.28± 14.40 ^{Ea}
	Sucrose	6.12± 0.008 ^{Aa}	0.09± 0.002 ^{Ba}	291.43± 14.40 ^{Ea}
	Fructose	5.62± 0.008 ^{Ad}	0.08± 0.002 ^C	304.78± 14.40 ^{Ca}
6.	Glucose	5.43± 0.007 ^{Bc}	1.09± 0.005 ^{Bb}	1472.07± 21.94 ^{Bab}
	Lactose	5.83± 0.007 ^{Aa}	1.06± 0.005 ^{Bc}	1289.17± 21.94 ^{Bab}
	Sucrose	5.61± 0.007 ^{Bb}	1.40± 0.005 ^{Aa}	1507.36± 21.94 ^{Ba}
	Fructose	5.33± 0.007 ^{Bd}	0.94± 0.005 ^{Bd}	1234.10± 21.94 ^{Bb}
8.	Glucose	4.94± 0.008 ^{Cd}	1.67± 0.006 ^{ABb}	1615.73± 39.39 ^{Aa}
	Lactose	5.48± 0.008 ^{Ba}	1.42± 0.006 ^{ABd}	1333.91± 39.39 ^{Ab}
	Sucrose	4.95± 0.008 ^{Cb}	1.90± 0.006 ^{Aa}	1652.66± 39.39 ^{Aa}
	Fructose	4.87± 0.008 ^{Cc}	1.48± 0.006 ^{ABc}	1555.32± 39.39 ^{Aab}
10.	Glucose	4.74± 0.004 ^{Db}	1.82± 0.005 ^{ABb}	1158.70± 19.60 ^{Ca}
	Lactose	5.20± 0.004 ^{Ca}	1.65± 0.005 ^{ABd}	983.53± 19.60 ^{Da}
	Sucrose	4.70± 0.004 ^{Dc}	1.98± 0.005 ^{Aa}	1095.74± 19.60 ^{Da}
	Fructose	4.69± 0.004 ^{Dc}	1.70± 0.005 ^{Ac}	1148.14± 19.60 ^{Ba}
24.	Glucose	4.26± 0.003 ^{Eb}	1.97± 0.010 ^{Ab}	1158.70± 25.35 ^{Ca}
	Lactose	4.49± 0.003 ^{Da}	1.98± 0.010 ^{Aab}	1054.45± 25.35 ^{Ca}
	Sucrose	4.18± 0.003 ^{Ec}	2.00± 0.010 ^{Aa}	1223.38± 25.35 ^{Ca}
	Fructose	4.19± 0.003 ^{Ec}	1.83± 0.010 ^{Ac}	1148.14± 25.35 ^{Ba}

* Capital letters denote the differences between times at each carbone sources, while lowercase letters indicate the differences between carbon sources at each time.

Effect of adding different rates of sucrose in culture medium

The effects of adding different sucrose concentrations (1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7.5%, and 10%) to MRS broth on cell growth and bacteriocin production by *E. mundtii* YB6.30 are presented in Table 5. The pH values of cultures grown in MRS broth with varying sucrose concentrations differed significantly over incubation time ($P<0.05$); however, no statistically significant differences were observed at each measurement time ($P>0.05$). Similarly, the optical densities of cultures containing 1%, 2%, and 3% sucrose did not differ significantly at the 6th and 8th hours of incubation ($P>0.05$). Nevertheless, the highest bacteriocin activity was observed in the medium containing 1% sucrose during both incubation times ($P<0.05$). Specifically, bacteriocin activity was measured at 1495.62±29.93 AU/mL at the 6th hour and 1567.21±26.27 AU/mL at the 8th hour ($P>0.05$). Bacteriocin activity declined at later incubation times compared to the 6th and 8th hours. These

findings indicate that a 1% sucrose concentration is optimal for maximizing bacteriocin activity in *E. mundtii* YB6.30.

Consistent with our findings, previous studies have reported greater bacteriocin activity with a low-rate carbon source than with a high-rate carbon source (Pattnaik et al., 2005; Todorov & Dicks, 2009; Valledor et al., 2022). Pattnaik et al. (2005) tested glucose at concentrations of 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% as a carbon source for the production of lichenin, a bacteriocin produced by *Bacillus licheniformis* 26L-10/3RA, and found that higher carbon source concentrations negatively affected bacteriocin activity. Similarly, Todorov and Dicks (2009) reported that enterocin production in *E. mundtii* ST4SA peaked with the addition of 1.5% or 2% fructose to the culture medium. Valledor et al. (2022) also observed that enterocin-producing *E. faecium* ST20Kc and ST41Kc exhibited higher bacteriocin activity in MRS broth with 0.5% glucose than in MRS broth with 5% glucose.

Table 5. pH, optical density, and bacteriocin activity values of *E. mundtii* YB6.30 culture, measured at 0, 6, 8, 10, and 24 hours of incubation at 30°C in MRS broth (initial pH 6.2), supplemented with different concentrations of sucrose.

Incubation time (hour)	Sucrose concentration (%)	Culture pH	Optical density	Bacteriocin activity (AU/mL)
0.	1	6.14±0.002 ^{Aa*}	0.11±0.008 ^{Ca}	226.12±13.25 ^{Ca}
	2	6.19±0.002 ^{Aa}	0.11±0.008 ^{Ca}	232.52±13.25 ^{Ca}
	3	6.19±0.002 ^{Aa}	0.11±0.008 ^{Ca}	264.90±13.25 ^{Ca}
	4	6.18±0.002 ^{Aa}	0.10±0.008 ^{Ca}	271.37±13.25 ^{Da}
	5	6.15±0.002 ^{Aa}	0.08±0.008 ^{Da}	170.89±13.25 ^{Ca}
	7.5	6.11±0.002 ^{Aa}	0.08±0.008 ^{Ca}	176.98±13.25 ^{Ca}
	10	6.13±0.002 ^{Aa}	0.09±0.008 ^{Da}	219.80±13.25 ^{Da}
6.	1	5.54±0.010 ^{Ba}	1.51±0.013 ^{Ba}	1495.62±29.93 ^{Aa}
	2	5.53±0.010 ^{Ba}	1.53±0.013 ^{Ba}	1413.79±29.93 ^{Aab}
	3	5.55±0.010 ^{Ba}	1.50±0.013 ^{Ba}	1402.36±29.93 ^{Aab}
	4	5.51±0.010 ^{Ba}	1.44±0.013 ^{Bb}	1311.62±29.93 ^{ABb}
	5	5.79±0.010 ^{Ba}	1.12±0.013 ^{Cc}	1322.73±29.93 ^{Bb}
	7.5	5.76±0.010 ^{Ba}	1.04±0.013 ^{Bd}	1334.07±29.93 ^{Bb}
	10	5.80±0.010 ^{Ba}	0.94±0.013 ^{Ce}	1367.94±29.93 ^{ABb}
8.	1	5.02±0.008 ^{Ca}	1.90±0.008 ^{Aa}	1567.21±26.27 ^{Aa}
	2	5.02±0.008 ^{Ca}	1.91±0.008 ^{Aa}	1425.44±26.27 ^{Abc}
	3	5.03±0.008 ^{Ca}	1.88±0.008 ^{Aa}	1345.18±26.27 ^{Ac}
	4	4.99±0.008 ^{Ca}	1.83±0.008 ^{Ab}	1425.44±26.27 ^{Abc}
	5	5.18±0.008 ^{Ca}	1.73±0.008 ^{Bc}	1483.73±26.27 ^{Aab}
	7.5	5.18±0.008 ^{Ca}	1.73±0.008 ^{Ac}	1483.73±26.27 ^{Aab}
	10	5.18±0.008 ^{Ca}	1.53±0.008 ^{Bd}	1483.65±26.27 ^{Aab}
10.	1	4.77±0.010 ^{Da}	2.00±0.012 ^{Aa}	1256.08±27.91 ^{Ba}
	2	4.76±0.010 ^{Da}	1.99±0.012 ^{Aa}	1234.18±27.91 ^{Ba}
	3	4.77±0.010 ^{Da}	1.97±0.012 ^{Aab}	1148.06±27.91 ^{Ba}
	4	4.76±0.010 ^{Da}	1.94±0.012 ^{Abc}	1201.72±27.91 ^{BCa}
	5	4.88±0.010 ^{Da}	1.91±0.012 ^{Ac}	1223.38±27.91 ^{Ba}
	7.5	4.89±0.010 ^{Da}	1.83±0.012 ^{Ad}	1234.18±27.91 ^{Ba}
	10	4.90±0.010 ^{Da}	1.76±0.012 ^{Ae}	1234.41±27.91 ^{Ca}
24.	1	4.24±0.006 ^{Ea}	2.00±0.006 ^{Aa}	1245.21±27.85 ^{Ba}
	2	4.25±0.006 ^{Ea}	1.98±0.006 ^{Aa}	1212.67±27.85 ^{Bab}
	3	4.27±0.006 ^{Ea}	1.97±0.006 ^{Aa}	1127.26±27.85 ^{Bb}
	4	4.27±0.006 ^{Ea}	1.92±0.006 ^{Abc}	1116.47±27.85 ^{Cb}
	5	4.30±0.006 ^{Ea}	1.96±0.006 ^{Aab}	1212.43±27.85 ^{Bab}
	7.5	4.31±0.006 ^{Ea}	1.89±0.006 ^{Ac}	1278.06±27.85 ^{Ba}
	10	4.32±0.006 ^{Ea}	1.82±0.006 ^{Ad}	1289.17±27.85 ^{BCa}

*Capital letters represent the variation between different times in the proportion of each carbon source, while lowercase letters represent the variation between different carbon source proportions at each time.

CONCLUSION

In the food industry, antibacterial proteins known as enterocins, produced by enterococci, are gaining significant attention as alternatives to chemical food additives, aligning with consumer health concerns and demands. In this context, optimizing fermentation conditions is crucial for

enhancing the cost-effective production of these bacteriocins in greater quantities. This study employed the one-factor-at-a-time (OFAT) method to investigate various commercial media, initial pH values, incubation temperatures, and carbon sources to determine the optimal conditions for producing mundticin-KS by

Enterococcus mundtii YB6.30. The highest yield of mundticin-KS was achieved by incubating the culture at 30°C for 6 to 8 hours in MRS broth supplemented with 1% (w/v) sucrose and an initial pH of 6.2. Future research should explore additional nutritional components or food-grade agricultural byproducts to further enhance cost-effective bacteriocin production by *E. mundtii* YB6.30.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Assoc. Prof. Dr. Özgür Koşkan (Isparta University of Applied Sciences, Department of Biometry and Genetics, Isparta, Türkiye) for the statistical analysis of the research data.

CONFLICT OF INTEREST

The authors have declared no conflicts of interest for this article.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Selma Küçükçiftçi: investigation, data curation, writing – original draft; Burak Geniş: data curation, writing – review & editing; Yasin Tuncer: methodology, conceptualization, investigation, resources, supervision, writing – review & editing. All authors read and approved the final manuscript.

REFERENCES

- Abbasiliasi, S., Tan, J.S., İbrahim, T.A.T., Ramanan, R.N., Vakhshiteh, F., Mustafa, S., Ling, T.C., Rahim, R.A., Ariff, A.B. (2012). Isolation of *Pediococcus acidilactici* Kp10 with ability to secrete bacteriocin-like inhibitory substance from milk products for applications in food industry. *BMC Microbiology*, 12: 260. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-12-260>
- Ahmad, V., Khan, M.S., Jamal, Q.M.S., Alzohairy, M.A., Karaawi, M.A., Siddiqui, S.D. (2017). Antimicrobial potential of bacteriocins: in therapy, agriculture and food preservation. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 49(1): 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2016.08.016>
- Akpınar Kankaya, D., Tuncer, Y. (2020). Antibiotic resistance in vancomycin-resistant

lactic acid bacteria (VRLAB) isolated from foods of animal origin. *Journal of Food Processing and Preservation*, e14468. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14468>

Almeida-Santos, A.C., Novais, C., Peixe, L., Freitas, A.R. (2021). *Enterococcus* spp. as a producer and target of bacteriocins: a double-edged sword in the antimicrobial resistance crisis context. *Antibiotics*, 10: 1215. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10101215>

Altınkaynak, T., Tuncer, Y. (2020). Fermente sucuktan izole edilen antilisterial *Enterococcus mundtii* YB6.30 tarafından üretilen bakteriyosinin karakterizasyonu. *Gıda/The Journal of Food*, 45(5): 963-976. <https://doi.org/10.15237/gida.GD20081>

Álvarez-Cisneros, Y.M., Ponce-Alquicira, E. (2019). Antibiotic resistance in lactic acid bacteria. In: *Antimicrobial Resistance - A Global Threat*. Kumar, Y. (ed), IntechOpen, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80624>.

Bayram, M., Yıldırım, Z. (2016). Beyaz peynirden bakteriyosin üreten bakterinin (*Enterococcus faecium*) izolasyonu ve bakteriyosinin karakterizasyonu. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 13: 103-115.

Bisht, V., Das, B., Navani, N.K. (2025). Bacteriocins sourced from traditional fermented foods for ensuring food safety: the microbial guards. *Journal of the Science of Food Agriculture*, <https://doi.org/10.1002/jsfa.13783>

Cladera-Olivera, F., Caron, G.R., Brandelli, A. (2004). Bacteriocin production by *Bacillus licheniformis* strain P40 in cheese whey using response surface methodology. *Biochemical Engineering Journal*, 21(1): 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2004.05.002>

De Kwaadsteniet, M., Todorov, S.D., Knoetze, H., Dicks, L.M.T. (2005). Characterization of a 3944 Da bacteriocin, produced by *Enterococcus mundtii* ST15, with activity against Gram-positive and Gram-negative bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 105(3): 433-444. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.03.021>

- De Souza, E.L., de Oliveira, K.Á.R., de Oliveira, M.E.G. (2023). Influence of lactic acid bacteria metabolites on physical and chemical food properties. *Current Opinion in Food Science*, 49: 100981. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100981>.
- Feng, G., Guron, G.K.P., Churey, J.J., Worobo, R.W. (2009). Characterization of mundticin I, a class IIa anti-listeria bacteriocin from *Enterococcus mundtii* CUGF08. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(17): 5708-5713. <https://doi.org/10.1128/AEM.00752-09>
- Fguira, I.B., Fourati, Z., Kamoun, F., Tounsi, S., Jaoua, S. (2014). Isolation of the *Bacillus thuringiensis* plasmid carrying bacthuricin F4 coding genes and evidence of its conjugative transfer. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 8(6): 727-732. <https://doi.org/10.3855/jidc.3552>
- Franz, C.M.A.P., Van Belkum, M.J., Holzapfel, W.H., Abriouel, H., Gálvez, A. (2007). Diversity of enterococcal bacteriocins and their grouping in a new classification scheme. *FEMS Microbiology Reviews*, 31(3): 293-310. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00064.x>
- Garneau, S., Martin, N.I., Vederas, J.C. (2002). Two-peptide bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *Biocchimie*, 84(5-6): 577-592. [https://doi.org/10.1016/s0300-9084\(02\)01414-1](https://doi.org/10.1016/s0300-9084(02)01414-1)
- Garsa, A.K., Kumariya, R., Sood, S.K., Kumar, A., Kapila, S. (2014). Bacteriocin production and different strategies for their recovery and purification. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 6(1): 47-58. <https://doi.org/10.1007/s12602-013-9153-z>
- Gök Charyyev, M., Özden Tuncer, B., Akpınar Kankaya, D., Tuncer, Y. (2019). Bacteriocinogenic properties and safety evaluation of *Enterococcus faecium* YT52 isolated from Boza, a traditional cereal based fermented beverage. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 14(1): 41-53. <https://doi.org/10.1007/s00003-019-01213-9>
- Graham, K., Stack, H., Rea, R. (2020). Safety, beneficial and technological properties of enterococci for use in functional food applications—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 10: 1-26. <https://doi.org/10.1007/s00003-019-01213-9>
- Hanchi, H., Mottawea, W., Sebei, K., Hammami, R. (2018). The genus *Enterococcus*: between probiotic potential and safety concerns-an update. *Frontiers in Microbiology*, 9: 1791. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01791>
- Jawan, R., Abbasiliasi, S., Tan, J.S., Mustafa, S., Halim, M., Ari, A.B. (2020). Influence of culture conditions and medium compositions on the production of bacteriocin-like inhibitory substances by *Lactococcus lactis* Gh1. *Microorganisms*, 8(10): 1454. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101454>
- Karnwal, A., Malik, T. (2024) Exploring the untapped potential of naturally occurring antimicrobial compounds: novel advancements in food preservation for enhanced safety and sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8: 1307210. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1307210>
- Kasimin, M.E., Shamsuddin, S., Molujin, A.M., Sabullah, M.K., Gansau, J.A., Jawan, R. (2022). Enterocin: promising biopreservative produced by *Enterococcus* sp. *Microorganisms*, 10: 684. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040684>
- Kawamoto, S., Shima, J., Sato, R., Eguchi, T., Ohmomo, S., Shibato, J., Horikoshi, N., Takeshita, K., Sameshima, T. (2002). Biochemical and genetic characterization of mundticin KS, an antilisterial peptide produced by *Enterococcus mundtii* NFRI 7393. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(8): 3830-3840. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.8.3830-3840.2002>
- Kuhan Sreedharan, D., Abbasiliasi, S., Mohamed, M.S., Ng, Z.J., Ariff, A.B., Lee, C.K., Tan, J.S. (2021). Fermentation strategies for improving the production of bacteriocin-like inhibitory substances by *Lactobacillus brevis* C23 with nutrient supplementation, pH, and temperature variations. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(11): 5914. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15914>
- Laranjo, M., Potes, M.E., Elias, M. (2019). Role of starter cultures on the safety of

- fermented meat products. *Frontiers in Microbiology*, 10: 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00853>
- Malheiro, P.S., Sant'Anna, V., Todorov, S.D., Franco, B.D.G.M. (2015). Optimization of growth and bacteriocin production by *Lactobacillus sakei* subsp. *sakei* 2a. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(1): 825-834. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-838246320140279>
- Martínez-Bueno, M., Galvez, A., Valdivia, E., Maqueda, M. (1990). A transferable plasmid associated with AS-48 production in *Enterococcus faecalis*. *Journal of Bacteriology*, 177(5): 2817-2818. <https://doi.org/10.1128/jb.172.5.2817-2818.1990>
- Mendes, M. (2019). İstatistiksel yöntemler ve deneme planlanması. Kriter Yayınevi, 636s., İstanbul.
- Mohd Rasid, N.H., Abdul Halid, N., Song, A. A.-L., Sabri, S., Saari, N., Hasan, H. (2023). Effects of individual and combined fermentation factors on antimicrobial activity of nisin by *Lactococcus lactis* ATCC 11454. *Molecular Biotechnology*, 65: 861–870. <https://doi.org/10.1007/s12033-022-00584-z>
- Miljkovic, M., Lozo, J., Mirkovic, N., O'Connor, P.M., Malesevic, M., Jovcic, B., Cotter, P.D., Kojic, M. (2018). Functional characterization of the lactolisterin BU gene cluster of *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* BGBU1-4. *Frontiers in Microbiology*, 9: 2774. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02774>
- Oliveira, F.S., da Silva Rodrigues, R., Cavicchioli, V.Q., de Carvalho, A.F., Nero, L.A. (2024). Influence of different culture media on the antimicrobial activity of *Pediococcus pentosaceus* ST65ACC against *Listeria monocytogenes*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 55: 2539–2545. <https://doi.org/10.1007/s42770-024-01391-1>
- Oliveira, M., Ferreira, V., Magalhães, R., Teixeira, P. (2018). Biocontrol strategies for mediterranean-style fermented sausages. *Food Research International*, 103: 438-449. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.048>
- Öztürk, H., Geniş, B., Özden Tuncer, B., Tuncer, Y. (2023). Bacteriocin production and technological properties of *Enterococcus mundtii* and *Enterococcus faecium* strains isolated from sheep and goat colostrum. *Veterinary Research Communications*, 47: 1321–1345. <https://doi.org/10.1007/s11259-023-10080-7>
- Parlindungan, E., Dekiwadia, C., Fones, O.A.H. (2021). Factors that influence growth and bacteriocin production in *Lactiplantibacillus plantarum* B21. *Process Biochemistry*, 107: 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2021.05.009>
- Pattanaik, P., Grover, S., Batish, V.K. (2005). Effect of environmental factors on production of ichenin, a chromosomally encoded bacteriocin-like compound produced by *Bacillus licheniformis* 26L-10/3RA. *Microbiological Research*, 160(2): 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.01.006>
- Ren, B., Wu, W., Soladoye, O.P., Bak, K.H., Fu, Y., Zhang, Y. (2021). Application of biopreservatives in meat preservation: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 56: 6124-6141. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15307>
- Reuben, R.C., Torres, C. (2024). Bacteriocins: potentials and prospects in health and agrifood systems. *Archives of Microbiology*, 206: 233. <https://doi.org/10.1007/s00203-024-03948-y>
- Sabia, C., Manicardi, G., Messi, P., de Niederhäusern, S., Bondi, M. (2002). Enterocin 416K1, an antilisterial bacteriocin produced by *Enterococcus casseliflavus* IM 416K1 isolated from Italian sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 75(1-1): 163-170. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00741-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00741-3)
- Sakoui, S., Derdak, R., Pop, O.L., Vodnar, D.C., Jouga, F., Teleky, B.-E., Addoum, B., Simon, E., Suharoschi, R., Soukri, A., El Khalfi, B. (2024). Exploring technological, safety and probiotic properties of *Enterococcus* strains: impact on rheological parameters in fermented milk. *Foods*, 13: 586. <https://doi.org/10.3390/foods13040586>
- Saraiva, M.A.F., Birri, D.J., Brede, D.A., Baracat-Pereira, M.C., de Queiroz, V.M., Nes, I.F., de

- Moraes, A.C. (2020). Nisin Z production by wild strains of *Lactococcus lactis* isolated from Brazilian (Italian Type) fermented sausage. *International Journal of Microbiology*, ID9309628. <https://doi.org/10.1155/2020/9309628>
- Schelegueda, L.I., Vallejo, M., Gliemmo, M.F., Marguet, E.R., Campos, C.A. (2015). Synergistic antimicrobial action and potential application for fish preservation of bacteriocin produced by *Enterococcus mundtii* isolated from *Odontesthes platensis*. *LWT-Food Science and Technology*, 64(2): 794-801. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.017>
- Sidek, N.L.M., Halim, M., Tan, J.S., Abbasiliasi, S., Mustafa, S., Ariff, A.B. (2018). Stability of bacteriocin-like inhibitory substance (BLIS) produced by *Pediococcus acidilactici* kp10 at different extreme conditions. *BioMed Research International*, 27: 5973484 <https://doi.org/10.1155/2018/5973484>
- Tareq, I., Luti, K.J.K. (2022). Anapplication of bacteriocin-producing vaginal *Lactobacillus crispatus* IS30 in a gel formula against some vaginal pathogens. *Iraqi Journal of Science*, 63(2): 491-507. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2022.63.2.7>
- Todorov, S.D., Dicks, L.M.T. (2009). Effect of modified MRS medium on production and purification of antimicrobial peptide ST4SA produced by *Enterococcus mundtii*. *Anaerobe*, 15(3): 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2008.11.002>
- Todorov, S.D., Oliveira, R.P.S., Vaz-Velho, M. (2012). Media optimization of bacteriocin ST22Ch production by *Lactobacillus sakei* ST22Ch isolated from Salpicão, a traditional meat-product from Portugal. *Chemical Engineering Transactions*, 27: 283–288. <https://doi.org/10.3303/CET1227048>
- Turgis, M., Vu, K.D., Millette, M., Dupont, C., Lacroix, M. (2016). Influence of environmental factors on bacteriocin production by human isolates of *Lactococcus lactis* MM19 and *Pediococcus acidilactici* MM33. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 8(1): 53–59. <https://doi.org/10.1007/s12602-015-9204-8>
- Valledor, S.J.D., Dioso, C.M., Bucheli, J.E.V., Park, Y.J., Suh, D.H., Jung, E.S., Kim, B., Holzapfel, W.H., Todorov, S.D. (2022). Characterization and safety evaluation of two beneficial, enterocin-producing *Enterococcus faecium* strains isolated from Kimchi, a Korean fermented cabbage. *Food Microbiology*, 102: 103886. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103886>
- Yang, E., Fan, L., Yan, J., Jiang, Y., Doucette, C., Fillmore, S., Walker, B. (2018). Influence of culture media, pH and temperature on growth and bacteriocin production of bacteriocinogenic lactic acid bacteria. *AMB Express*, 8: 10. <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0536-0>
- Zendo, T., Eunggruttanagorn, N., Fujioka, S., Tashiro, Y., Nomura, K., Sera, Y., Kobayashi, G., Nakayama, J., Ishizaki, A., Sonomoto, K. (2005). Identification and production of a bacteriocin from *Enterococcus mundtii* QU2 isolated from soybean. *Journal of Applied Microbiology*, 99(5): 1181-1190. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02704.x>

**ENRICHMENT OF ŞEKERPADE DESSERT WITH SPENT COFFEE GROUND:
PHYSICOCHEMICAL, NUTRITIONAL, SENSORY AND TEXTURE
CHARACTERISTICS**

**Kübra TOPALOĞLU GÜNAN^{1,2}, Tuğçe BOĞA¹,
Didem BERBER¹, Özlem AKTÜRK GÜMÜŞAY^{*}**

¹Maltepe University, Faculty of Fine Arts, Department of Gastronomy and Culinary Arts, Maltepe, Istanbul, Türkiye

²Uludağ University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering, Bursa, Türkiye

Received /Geliş: 03.02.2025; Accepted /Kabul: 08.04.2025; Published online /Online baskı: 10.04.2025

Topaloğlu Günan, K., Boğa, T., Berber, D., Aktürk Gümüşay, Ö. (2025). Enrichment of şekerpare dessert with spent coffee ground: Physicochemical, nutritional, sensory and texture characteristics. GIDA (2025) 50 (2) 260-274 doi: 10.15237/gida.GD25025

Topaloğlu Günan, K., Boğa, T., Berber, D., Aktürk Gümüşay, Ö. (2025). Şekerpare tatlısının kullanılmış kahve telvesi ile zenginleştirilmesi: Fizikokimyasal, besinsel, duyuşal ve dokusal özellikleri. GIDA (2025) 50 (2) 260-274 doi: 10.15237/gida.GD25025

ABSTRACT

Spent coffee grounds (SCG) were used as a flour substitute at different ratios (5, 10, 15, 20 and 25%) in the production of the şekerpare. Baking and textural properties, nutritional content (moisture, fat, ash, protein, dietary fiber amount, total phenolic content, and antioxidant activity), color and sensory properties were investigated. SCG-added şekerpare samples had higher moisture, protein, and ash than the control samples. The highest dietary fiber content (6.96 g/100 g) was observed in samples with a 25% SCG addition. With increasing SCG addition, hardness decreased and, fracturability increased. The microbial count did not increase during the storage period in samples containing 5 to 20% SCG. As the amount of SCG increased, the total phenolic content and the DPPH radical scavenging activity increased. The sensory analysis results indicated that şekerpare with 5% SCG addition was found to be the most appealing product in terms of flavor, softness, chewiness, and swallowing.

Keywords: Dietary fiber, phenolics, bakery products, natural antioxidants

**ŞEKERPADE TATLISININ KULLANILMIŞ KAHVE TELVESİ İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ: FİZİKOKİMYASAL, BESİNSEL, DUYUSAL VE
DOKUSAL ÖZELLİKLERİ**

ÖZ

Kullanılmış kahve telvesi (KKT) şekerpare üretiminde farklı oranlarda (%5, 10, 15, 20 ve 25) un ikamesi olarak kullanılmıştır. Pişirme ve dokusal özellikler, besin içeriği (nem, yağ, kül, protein, diyet lifi miktarı, toplam fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivite), renk ve duyuşal özellikler araştırılmıştır. KKT ilaveli şekerpare örnekleri kontrol örneklerine göre daha yüksek nem, protein ve

^{*} Corresponding author/ Sorumlu yazar

✉: ozlemgumusay@maltepe.edu.tr

☎: (+90) 216 626 1050

Kübra Topaloğlu Günan; ORCID no: 0000-0001-9384-6862

Tuğçe Boğa; ORCID no: 0000-0003-2539-4176

Didem Berber; ORCID no: 0000-0001-5813-160X

Özlem Aktürk Gümüşay; ORCID no: 0000-0001-9106-3151

kül içeriğine sahiptir. En yüksek diyet lifi içeriği (6.96 g/100 g), %25 KKT ilaveli örneklerde gözlenmiştir. KKT ilavesi arttıkça, sertlik azalmış ve kırılabilirlik artmıştır. %5-20 KKT içeren örneklerde depolama süresi boyunca belirgin mikrobiyal yük artışı gözlenmemiştir. KKT miktarı arttıkça, toplam fenolik madde içeriği ve DPPH radikalı temizleme aktivitesi artmıştır. Duyusal analiz sonuçları, %5 SCG ilaveli şekerparenin lezzet, yumuşaklık, çiğnenebilirlik ve yutma açısından en beğenilen ürün olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Diyet lif, fenolik, fırıncılık ürünleri, doğal antioksidanlar

INTRODUCTION

The taste/aroma and health benefits of coffee make it one of the world's most popular beverages (FAOSTAT, 2016; Torga and Spers, 2020). It is mainly sourced from Brazil (Arabica and Robusta), Vietnam (Robusta), Colombia (Arabica) and Indonesia (Robusta). Brazil is the largest coffee producing country, accounting for 40% of the world's coffee supply. Vietnam is the second largest coffee producing country accounting for around 20% of world production. Colombia and Indonesia are also significant contributors to the coffee market (ICO, 2017; Statista, 2024). Global daily coffee consumption has been reported to be three billion cups (ICO, 2022).

The bioactivities of coffee such as antioxidant, antibacterial, anti-inflammatory, anti-obesity, and neuroprotective properties due to various components have been reported in the literature (Carneiro et al., 2021; Castaldo et al., 2021; Bramantoro et al., 2022; Díaz-Hernández et al., 2022; Liczbiński and Bukowska, 2022; Rawangkan et al., 2022; Wang et al., 2024). In addition, coffee has been shown to be high in fibre, which has a significant effect on cardiovascular health, reducing the risk of heart attack and preventing diseases such as diabetes, obesity and hypertension (Salazar-López et al., 2020). The daily intake of dietary antioxidants from coffee consumption has been indicated to be greater than that from tea, fruit and vegetables (Elhussein et al., 2018). In a study conducted by Agudelo-Ochoa et al. (2016), it was reported that the plasma antioxidant capacity exhibited a significant increase in the groups one hour after coffee consumption compared to the control group. Tunnicliffe and Shearer (2008) demonstrated that the ability of coffee to reduce blood glucose possibly due to chlorogenic acid. Agudelo-Ochoa Gloria et al. (2016) showed an

increase in the caffeic and ferulic acid concentrations after coffee consumption.

The processing of coffee cherries and the brewing of coffee using various techniques generate large quantities of by-products (Scully et al., 2016). Spent coffee grounds (SCG) are a by-product of coffee production (45%) which is the insoluble residue formed during the preparation of coffee beverages (Cruz et al., 2012; Murthy and Naidu, 2012; Ballesteros et al., 2014). Approximately 6 million tonnes kg of SCGs are generated annually from 1 tonnes of green coffee (Mussatto et al., 2011). The adverse environmental impact of SCG has been emphasized due to their high organic load (Balzano et al., 2020). Most researchers have focused on the composition of SCG for their potential utilization to contribute to the circular economy of countries. One of these alternative ways could be the use of SCG in the food industry. Following the European Commission policy on food waste management (Directive 2008/98/EC, 2008; EU Publication (2012), it was reported that they could be used in new functional foods (Balzano et al., 2020). It has been reported that SCG contain 54% insoluble dietary fibre, about 6% resistant starch, high antioxidant activity and DPPH radical scavenging capacity (Salazar-López et al., 2020; Franca and Oliveira, 2022).

SCG have been formulated in various bakery products and beverages (Bevilacqua et al., 2023). Hussein et al. (2019) evaluated sponge cakes with wheat flour replaced by SCG (2%, 4, and 6) and found higher dietary fiber content and the rheological properties. Severini et al. (2020) utilized SCG as a flour substitute at 15% and 30% in muffin cakes and they found higher total phenolic content and dietary fibre content. Martinez-Saez et al. (2017) reported that the addition of SCG to biscuit formulations was

effective in providing microbiological safety in addition to antioxidant insoluble fiber, essential amino acids. According to Vázquez-Sánchez et al. (2018), the use of SCG-derived antioxidant compounds in bakery foods increased the antioxidant potential of the food sample, total dietary fiber and phenolic bioaccessibility of the samples, as these criteria are expected from fortified/formulated functional foods. Castaldo et al. (2021) found high levels of polyphenols, melanoidins, and caffeine, and observed high antioxidant activity and the total phenolic compounds in SCG used in baked foods.

In this study, we aimed to use SCG which are generated by the production of instant and granulated coffee, for the functionalization of şekerpare. Şekerpare is a traditional Turkish dessert made by kneading flour, eggs, oil and various flavours or yoghurt into a smooth dough, which is then baked and served with sherbet. Due to the high availability and quantity of SCG and its beneficial effects on human health, its evaluation in a functional food can be an alternative approach to both waste management and sustainability issues. The composition, color, and textural properties, microbial load and antioxidant capacity of şekerpare dessert containing varying amounts of SCG were investigated and sensory analyses of samples were performed.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Except for the spent coffee grounds specified in the recipe, all other ingredients were sourced from local markets in Istanbul. SCG samples were obtained from a third-wave coffee shop in Istanbul, using espresso-based beverages prepared exclusively from Arabica coffee beans. Plate count agar and potato dextrose agar used in microbiological analysis were purchased from Neogen (Neogen Corporation, Lansing, MI, USA). Gallic acid, Trolox, Folin-Ciocalteu reagent, 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and all chemicals used in the determination of chemical composition were analytical grade and supplied from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA).

Preparation of SCG

The SCG samples were dried in a laboratory oven (at $50 \pm 5^\circ\text{C}$) until their moisture content ranged between 12% and 14.5%. After drying, the samples were sieved through a 60-mesh sieve. Subsequently, they were stored in glass jars at a temperature of -18°C (Vázquez-Sánchez et al., 2018).

Preparation of Şekerpare Samples

In this study, the şekerpare samples were prepared by modifying the method of Ertürk (2015). Wheat flour was the primary ingredient for producing şekerpare, a traditional Turkish dessert. The wheat flour was partially replaced with SCG at substitution rates of 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%. The added SCG ratios were determined based on the study of Aguilar-Raymundo et al. (2019). The dough was prepared using butter, powdered sugar, eggs, wheat flour, SCG, semolina, and baking powder. The syrup was prepared by 1200 ml boiling water and 700 g sugar, followed by adding 5 ml lemon juice after achieving the desired consistency. The syrup was cooled before use. The ingredients and their proportions used in the recipes are detailed in the accompanying Table 1. Using a stand mixer (KitchenAid) with a paddle attachment, butter and powdered sugar were mixed for three minutes. Eggs were then added, and mixing continued for another three minutes. Flour was added in three increments while mixing, followed by the addition of semolina, resulting in the şekerpare dough. The dough was portioned into 35 g pieces, shaped into round forms by hand, and placed on baking trays. The şekerpare dough was baked in an industrial convection oven (Inoksan) at $180 \pm 2^\circ\text{C}$ for 20 minutes. The images of control and SCG added samples shown in Figure 1. After baking, they were allowed to rest on the trays for five minutes. Baked samples were soaked in room-temperature syrup for three hours before removal, while others were unsweetened. Sensory analysis was conducted exclusively on şekerpare samples soaked in syrup, while all other analyses were performed on unsweetened şekerpare samples. Color analysis was conducted on unsweetened samples the same day after cooling, while texture analysis was performed on

unsweetened samples after 24 hours. The remaining samples were portioned, packed in plastic bags, and stored at -18°C for further

analyses. Sensory analysis was conducted on the same day for syrup-soaked samples.

Table 1. Ingredients used for the dough of şekerpare dessert samples.

Ingredients ¹	DOUGH						SCG ²
	Butter (25 °C)	Powdered sugar	Semolina	Egg	Wheat Flour ²	Sodium bicarbonate	
Control	250 g	90 g	40 g	120 g	350 g	5 g	-
SGC5	250 g	90 g	40 g	120 g	332.5 g	5 g	17.5 g
SCG10	250 g	90 g	40 g	120 g	315 g	5 g	35 g
SCG15	250 g	90 g	40 g	120 g	297.5 g	5 g	52.5 g
SCG20	250 g	90 g	40 g	120 g	280 g	5 g	70 g
SCG25	250 g	90 g	40 g	120 g	262.5 g	5 g	87.5 g

¹ Ingredients at 21±1°C,

² Based on 14% moisture content.

(SCG5: Şekerpare sample with 5% SCG addition, SCG10: Şekerpare sample with 10% SCG addition, SCG15: Şekerpare sample with 15% SCG addition, SCG20: Şekerpare sample with 20% SCG addition, SCG25: Şekerpare sample with 25% SCG addition)

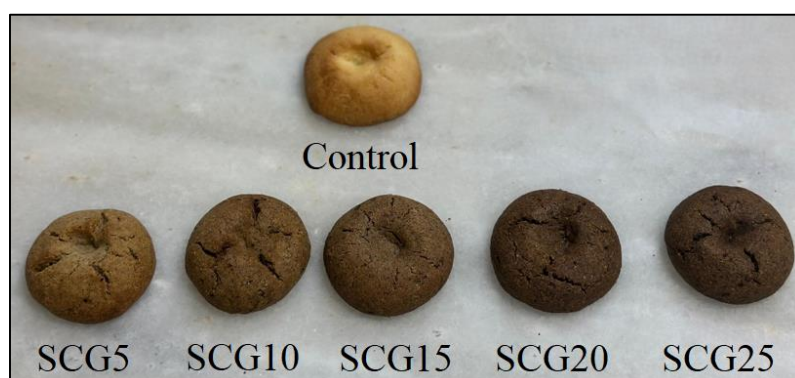


Figure 1. Şekerpare dessert produced from wheat flour (control) and its supplement with different SCG ratios. (SCG5: Şekerpare sample with 5% SCG addition, SCG10: Şekerpare sample with 10% SCG addition, SCG15: Şekerpare sample with 15% SCG addition, SCG20: Şekerpare sample with 20% SCG addition, SCG25: Şekerpare sample with 25% SCG addition)

Chemical Analyses

Moisture content was determined according to AOAC Official Methods 990.19 (AOAC, 2016). The ground samples were spread as thinly as possible in pre-weighed aluminium drying trays and dried at 105±5°C to constant weight. Moisture content was calculated based on the difference between the pre-and post-drying weights. The samples were incinerated at 550 °C in a muffle furnace to determine ash content (Nabertherm LV 9/11, Germany) according to NMKL No. 173 (2005). Protein content was

analyzed using the Dumas method (Velp Dumas Nitrogen Analyzer – NDA 701, Italy) according to AOAC (2016). Total dietary fiber was measured enzymatically and gravimetrically following AOAC (2016). Total fat content was determined using the acid hydrolysis method with petroleum ether extraction and solvent evaporation, based on NMKL No. 160 (1998). An automated fat extraction device (Velp SER 148/6, Italy) was used. The energy and carbohydrate values of the şekerpare samples were calculated

using equations (1) and (2) (FAO, 2003). Every analysis was carried out in triplicate.

$$\% \text{ Total Carbonhydrate} = 100 - (\% \text{ Moisture} + \% \text{ Ash} + \% \text{ Protein} + \% \text{ Fat}) \quad (1)$$

$$\text{Energy (kcal)} = 9 \times \text{Fat (g)} + 4 \times \text{Protein (g)} + 4 \times [\text{Carbonhydrate (g)} - \text{Dietary fiber (g)}] \quad (2)$$

Spread Factor of Şekerpare Samples

Standard calipers were used to measure the şekerpare samples' diameter and thickness by AACCI Approved Method No. 10.54. The spread ratio was calculated as the diameter-to-thickness ratio for each sample (AACCI, 1995).

Color Analysis

The CIE LAB* scale was used to measure color properties using the Minolta Chroma Meter CR-400 (Minolta Camera, Osaka, Japan). L* represents lightness, a* red-green values, and b* yellow-blue values.

Texture Profile Analysis

A TA-XT Plus texture analyzer (Stable Micro Systems, UK) with a heavy-duty platform (HDP/90) and a three-point bending probe (HDP/3BP) was used to conduct the texture profile analysis (TPA). The settings included a trigger force of 25 g and a load cell capacity of 50 kg. The analysis was carried out at 1.0 mm/s for the pre-test, 3.0 mm/s for the test, and 10 mm/s for the post-test. The test parameters included a travel distance of 10 mm, with the gap between the two bottom supports set to 5 mm. The maximum force (g) recorded at the point where the cookies fractured into two primary pieces was noted as the hardness (g). The deformation of a sample until it breaks during compression was recorded as fracturability (mm) of sample. Measurements were taken after the cookies had been baked and allowed to cool to room temperature for 24 hours (Büyük and Dulger Altiner, 2024).

Extract preparation for antioxidant activity and total phenolic content analysis

Extracts were prepared according to the literature procedure with a few modifications (Wojdyło et al., 2007). Three grams of baked şekerpare samples were weighed and the methanol extract

was prepared by adding 15 ml of methanol solution (75%). The test tubes were kept in an ultrasonic water bath at 25°C for 15 minutes. The supernatants were used for analysis of antioxidant activity and total phenolic content after centrifugation at 8000 rpm for 10 minutes.

Determination of Total Phenolic Content

The Folin–Ciocalteu colorimetric method was carried out for the determination of total phenolic content according to Wojdyło et al. (2007). Briefly, 0.1 ml of extract was treated with 2 ml of Folin–Ciocalteu reagent and 1 ml of sodium carbonate solution was added after 3 minutes. Then, the samples were kept in the dark at room temperature for 1 hour. The absorbance values were recorded at 765 nm with a spectrophotometer (Shimadzu UV-1240, USA). Gallic acid standard curve ($y=0.003x+0.0796$ and $R^2=0.9985$) was used to express the data as mg gallic acid equivalent (GAE) /kg sample.

Determination of DPPH Radical Scavenging Activity

The evaluation of the DPPH activity of the samples was in accordance with the colourimetric method of Brand-Williams et al. (1995) with minor modifications. 50 µL of extract and 150 µL of methanol solution (75%) were put into the test tube and, 3 ml of DPPH solution (0.051 mmol/L) was added to the mixture and incubated in the dark place at room temperature for 30 minutes. The absorbance was measured at 517 nm with a spectrophotometer (Shimadzu UV-1240, USA). The results were expressed as mg Trolox equivalent (TE) /kg sample, using a trolox standard curve ($y=-0.0053x+0.4766$ and $R^2=0.9983$).

Microbiological Analysis

The samples were stored at room temperature conditions in double-layer plastic bags for 30 days. The assessment of the microbial load was performed on days 0, 15, and 30. A microbiologic load analysis was conducted, which included counting the total aerobic mesophilic bacteria, yeast, and mold. Each sample of şekerpare (10 g) was taken aseptically and placed in a sterile 90 ml peptone saline solution. A series of three fold

dilutions was performed using the sample homogenates for the inoculation of the experimental setup. The total number of mesophilic aerobic bacterial colonies was enumerated on PCA following incubation at $30\pm 2^\circ\text{C}$ for 48 hours, while the fungal colonies were counted on PDA at $25\pm 2^\circ\text{C}$ for five days.

Sensory Analysis

Şekerpare samples were analyzed by sensory evaluation via a semi-trained panel of 38 participants, including students and faculty lecturers from the Department of Gastronomy and Culinary Arts. The evaluation criteria included color, aroma, taste, appearance, softness, mouthfeel, chewability, and overall acceptability. A 9-point hedonic scale was used, with scores ranging from 1 ("disliked extremely") to 9 ("liked extremely"). This sensory analysis in this study was reviewed and approved by the Ethics Committee of Maltepe University (Approval Number: 2024/22-14).

Statistical Analysis

SPSS software (version 16; SPSS Inc., Chicago, IL, USA) was used for data analysis. The mean values were presented with standard deviations. One-way ANOVA and Tukey's multiple comparison test were used to determine statistical differences at the 0.05 level.

RESULTS AND DISCUSSION

Nutritional Composition of Şekerpare Dessert Samples

The nutritional composition of the şekerpare samples is presented in Table 2. The moisture content ranged from 7.9% to 9.4%, ash content from 0.6% to 1.1%, protein content from 8.8% to 9.3%, and fat content from 29.3% to 31.0%. As the SCG substitution level increased, carbohydrate content (from 53.4% to 49.1%) decreased, and dietary fiber content (from 0.8% to 7.0%) increased. Adding SCG significantly increased moisture, protein, ash, fat, and fiber content compared to the control group ($P<0.05$). The increase in moisture content was attributed to the water holding capacity of SCG during kneading, a property linked to its soluble dietary fiber content, as reported in the literature (Song et

al., 2021). This moisture enhancement may contribute to a softer and more acceptable texture in syrup-soaked şekerpare.

SCG is rich in unsaturated fatty acids, phytosterols, and tocopherols (Sakouhi et al., 2024), which explains the increase in fat content (29.3% to 31.0%) with SCG addition. The rise in ash content (0.6% to 1.1%) is due to the mineral composition of SCG, which includes essential minerals such as potassium, calcium, magnesium, sulfur, phosphorus, iron, manganese, boron, and copper (Ballesteros et al., 2014). According to Ali et al. (2018), nutraceutical biscuits with higher SCG additions (2, 4, and 6%) showed a good increase in ash content compared to the control. In a different study, Aguilar-Raymundo et al. (2019) reported that the ash content of cookies prepared with 25% SCG addition was 1.4 g per 100 g of sample. The results from our research showed that the 25% SCG added şekerpare sample had a similar ash content (1.10 ± 0.05 g/100 g sample).

With SCG substitution levels of 15%, 20%, and 25%, the dietary fiber content reached 3.7%, 5.5%, and 7.0%, respectively. This classifies the şekerpare samples as "fiber source" and "fiber-rich" products, according to thresholds of 3.0 g/100 g and 6.0 g/100 g, respectively (Giuberti et al., 2018). Coffee has high cellulose, lignin, and hemicellulose content (Campos-Vega et al., 2020; Arya et al., 2022). The addition of coffee grounds increases the fiber content of şekerpare, which may contribute to enhanced satiety and a reduced risk of diabetes and obesity (Vázquez-Sánchez et al., 2018; Hosseini and Pazhouhandeh, 2023). The energy content of şekerpare samples, ranging from 485.3 to 509.1 kcal/100 g (dry basis), decreased with increasing SCG levels due to the high dietary fiber content of SCG. This trend aligns with findings in the literature. A study found that the control sample without SCG had the highest calorie content, while the shortbread containing 10% SCG had a reduced calorie content, approximately 10% lower. The study suggested that as the SCG percentage increased, the energy content decreased, likely due to the high dietary fiber content of SCG, which is

associated with a low glycemic index and lower calorie content in foods (Koay et al., 2023). Another study reported that SCG was incorporated into biscuit formulations along with low-calorie sweeteners and oligofructose. The results indicated that SCG could be used as a

direct food ingredient in biscuits (up to 4% w/w) without negatively affecting the final nutritional or sensory quality of the product (Franca and Oliveira, 2022).

Table 2. Nutritional composition of şekerpare dessert samples, (g/100g şekerpare).

Samples	Moisture	Ash	Protein	Fat	Total Carbohydrate	Total Dietary Fiber	Energy (kcal/100g)
Control	7.9±0.04 ^f	0.61±0.04 ^d	8.82±0.02 ^e	29.30±0.12 ^e	53.35±0.06 ^a	0.83±0.05 ^f	509.10±0.98 ^a
SGC5	8.15±0.06 ^e	0.75±0.06 ^c	8.95±0.02 ^d	30.33±0.11 ^d	51.82±0.09 ^b	2.06±0.04 ^c	507.78±0.61 ^{ab}
SCG10	8.37±0.07 ^d	0.87±0.04 ^b	9.00±0.04 ^{cd}	30.61±0.04 ^c	51.15±0.16 ^c	2.42±0.13 ^d	506.41±0.71 ^b
SCG15	8.61±0.04 ^c	0.92±0.02 ^b	9.07±0.04 ^c	30.77±0.02 ^{bc}	50.63±0.03 ^d	3.73±0.10 ^c	500.83±0.38 ^c
SCG20	8.82±0.07 ^b	0.98±0.04 ^b	9.19±0.05 ^b	30.90±0.06 ^{ab}	50.11±0.13 ^c	5.49±0.11 ^b	493.34±0.68 ^d
SCG25	9.41±0.07 ^a	1.10±0.05 ^a	9.33±0.03 ^a	31.03±0.06 ^a	49.13±0.13 ^f	6.96±0.06 ^a	485.30±0.79 ^e

Data are presented as mean ± standard deviation.

Letters that are different in the same column are considered to be significantly different ($P<0.05$).

(SCG5: Şekerpare sample with 5% SCG addition, SCG10: Şekerpare sample with 10% SCG addition, SCG15: Şekerpare sample with 15% SCG addition, SCG20: Şekerpare sample with 20% SCG addition, SCG25: Şekerpare sample with 25% SCG addition)

Physical Properties of Şekerpare

The baking and textural properties of the şekerpare samples are given in Table 3. Sample diameters ranged from 5.85 to 6.2 cm, with increasing SCG addition levels leading to larger diameters. Replacing wheat flour with SCG enhanced the spread ratio compared to the control group. This may result from a lowering in dough viscosity, influenced by SCG, and increased fat content in the samples (Oliveira Batista et al., 2023). Regarding hardness and fracturability, SCG addition reduced hardness and increased fracturability. Factors such as moisture content, baking conditions, partial substitution of wheat proteins, and high fiber content likely

contributed to the softer texture of SCG-enriched şekerpare. The high fiber content of SCG may have enhanced water retention capacity, improving the softness of the cookies (Papageorgiou et al., 2024). The fracturability has a strong effect on the crispiness of the bakery products. Singh et al. (2015) observed that fracturability increased in biscuits enriched with dietary fiber. They reported that fracturability may have increased due to reduced resistance for snapping during texture analysis. Similarly, in this study, the high fiber content of SCG also enhanced the fracturability of SCG-added samples.

Table 3. Baking and textural properties.

Samples	Diameter (mm)	Thickness (mm)	Spread Ratio	Hardness (g)	Fracturability (mm)
Control	58.54±0.72 ^c	33.87±1.46 ^a	1.73±0.09 ^d	6719.51±690.64 ^a	2.66±0.34 ^b
SGC5	58.89±0.70 ^c	33.28±0.68 ^a	1.77±0.04 ^d	5514.20±567.99 ^{ab}	4.45±0.84 ^{ab}
SCG10	59.03±0.65 ^c	30.98±0.66 ^b	1.91±0.04 ^c	5547.88±601.43 ^{ab}	5.29±0.77 ^b
SCG15	60.13±0.36 ^{bc}	30.30±0.60 ^b	1.99±0.04 ^{bc}	5436.18±503.60 ^{ab}	5.23±0.34 ^b
SCG20	61.34±1.13 ^{ab}	29.28±1.08 ^b	2.10±0.07 ^b	5306.69±238.76 ^{ab}	6.54±0.86 ^b
SCG25	61.95±1.44 ^a	24.85±0.39 ^c	2.49±0.08 ^a	4091.06±1979.81 ^b	6.36±1.71 ^b

Data are presented as mean ± standard deviation.

Letters that are different in the same column are considered to be significantly different ($P<0.05$).

(SCG5: Şekerpare sample with 5% SCG addition, SCG10: Şekerpare sample with 10% SCG addition, SCG15: Şekerpare sample with 15% SCG addition, SCG20: Şekerpare sample with 20% SCG addition, SCG25: Şekerpare sample with 25% SCG addition)

In Table 4, the color analysis results are presented. Measurements were conducted for the outer and inner sections, reporting L^* , a^* , and b^* values. The control sample exhibited a lighter color (L^*_{inner} : 68.5, L^*_{outer} : 72.2). With increasing SCG levels, the samples darkened (L^*_{inner} : 36.8–68.5, a^*_{inner} : -1.3–4.3, b^*_{inner} : 9.1–25.3; L^*_{outer} : 39.2–72.2, a^*_{outer} : 4.9–6.4, b^*_{outer} : 11.5–31.8). These changes are attributed to the dark color of SCG and the caramelization of sugars during baking (Desai et al., 2020; Oliveira Batista et al., 2023). The a^* value of şekerpare samples increased with an

increased amount of SCG. In contrast with a^* value, b^* value of the şekerpare samples with SCG addition decreased significantly. Color characteristics are mainly affected by the degree of browning during baking. At the beginning of non-enzymatic browning, which occurs as a result of the interaction of proteins or amino acids and sugars, an increase in a^* value can be observed due to increased browning (Azuan et al., 2020). It is also known that the Maillard reaction during baking creates brown pigments (Petrović et al., 2016).

Table 4. Color properties of şekerpare samples.

Samples	L^*_{outer}	a^*_{outer}	b^*_{outer}	L^*_{inner}	a^*_{inner}	b^*_{inner}
Control	72.19±1.30 ^a	4.89±0.93 ^b	31.78±0.36 ^a	68.46±1.94 ^a	-1.25±0.37 ^c	25.31±1.27 ^a
SGC5	54.27±2.27 ^b	6.38±1.23 ^a	22.67±0.85 ^b	52.37±1.26 ^b	2.97±0.23 ^d	15.00±0.40 ^b
SCG10	48.76±1.89 ^c	6.05±0.79 ^{ab}	18.35±0.62 ^c	44.41±1.89 ^c	3.57±0.24 ^c	12.63±0.65 ^c
SCG15	45.49±1.04 ^d	6.06±0.67 ^{ab}	16.40±1.25 ^d	41.26±0.81 ^d	3.82±0.19 ^{bc}	10.86±0.67 ^d
SCG20	40.79±1.28 ^c	6.65±0.45 ^a	13.45±0.90 ^c	40.27±1.99 ^d	4.07±0.19 ^{ab}	9.10±1.06 ^c
SCG25	39.21±0.44 ^c	6.19±0.18 ^{ab}	11.54±0.72 ^f	36.78±1.79 ^c	4.30±0.27 ^a	10.36±0.88 ^d

Data are presented as mean ± standard deviation.

Letters that are different in the same column are considered to be significantly different ($P<0.05$).

(SCG5: Şekerpare sample with 5% SCG addition, SCG10: Şekerpare sample with 10% SCG addition, SCG15: Şekerpare sample with 15% SCG addition, SCG20: Şekerpare sample with 20% SCG addition, SCG25: Şekerpare sample with 25% SCG addition)

Phenolic Content and Antioxidant Activity

The variations in antioxidant activity and total phenolic content of şekerpare samples at different ratios of SCG are shown in Table 5. When increasing the SCG ratio in the şekerpare samples, the total phenolic content and DPPH scavenging activity statistically increased ($P<0.05$). Similar results were found in the study by Aguilar-Raymundo et al. (2019), who added SCG to

cookies at three different ratios. Flavonoids, chlorogenic acid, and protocatechuic acid is the most important phenolic compounds of SCG (Mussatto et al., 2011; Han and Lee, 2021). As phenolic compounds such as flavonoids and phenolic acids are known as the main antioxidants in plant-based foods, adding SCG is expected to increase the phenolic content and antioxidant activity and consequently improve the functionality of the şekerpare samples.

Table 5. Antioxidant activity and total phenolic content of şekerpare samples.

Samples	Total Phenolic Content (mg GAE/kg sample)	DPPH Scavenging Activity (mg Trolox/kg sample)
Control	191.65±5.09 ^a	118.10±7.56 ^a
SGC5	516.86±12.60 ^b	520.22±13.36 ^b
SCG10	965.11±20.97 ^c	912.96±22.11 ^c
SCG15	1248.03±32.45 ^d	1149.78±19.94 ^d
SCG20	1446.92±12.28 ^e	1545.64±44.19 ^e
SCG25	1641.26±28.31 ^f	1828.51±34.54 ^f

Data are presented as mean ± standard deviation.

Letters that are different in the same column are considered to be significantly different ($P<0.05$).

(SCG5: Şekerpare sample with 5% SCG addition, SCG10: Şekerpare sample with 10% SCG addition, SCG15: Şekerpare sample with 15% SCG addition, SCG20: Şekerpare sample with 20% SCG addition, SCG25: Şekerpare sample with 25% SCG addition)

Microbiological Properties of Şekerpare Dessert Samples

The total number of mesophilic aerobic bacteria in the control group was 0.84 log CFU/g and 0.98 log CFU/g on days 0 and 15, respectively. On day 30, the total number of bacteria was highest in the control group (1.39 log CFU/g) compared to the SCG groups with substitution ratios of 5%, 10%, 15%, 20% and 25%. The total number of bacteria in the other SCG groups ranged from 0.20 to 0.75 log CFU/g. Total molds/yeasts were also evaluated in all samples. On day 0, no mold or yeast was detected in any of the samples. The total mould/yeasts in the control group were found to be 0.93 and 0.77 log CFU/g at the end of day 15

and 30. The highest number of mold/yeast between the SCG groups was found in the 25% SCG group (0.93 log CFU/g) at the end of day 30. Although there were fewer molds in the other groups (5%, 10%, 15% and 20% substitution), there was no notable difference and the number of mold/yeast ranged from 0.15 log CFU/g to 0.85 log CFU/g (Table 6). Similar results were also found in a study conducted by Ahmet et al. (2023) with cakes enriched with spent coffee and tea powder. Researchers reported that after 7 and 14 days of storage, cakes fortified with spent coffee and tea powders had considerably higher levels of total bacterial account, total mold, and yeast than cakes stored for 0 days.

Table 6. Microbiological shelf life analysis

	Total plate count (log CFU/g)			Mold and yeast count (log CFU/g)		
	Day 0	Day 15	Day 30	Day 0	Day 15	Day 30
Control	0.85 ^{aC}	0.98 ^{aB}	1.39 ^{aA}	n.d.	0.93 ^{aA}	0.77 ^{cB}
SGC5	0.63 ^{bB}	n.d.	0.75 ^{bA}	n.d.	0.49 ^{bB}	0.85 ^{bA}
SCG10	n.d.	n.d.	0.20 ^{cA}	n.d.	n.d.	0.15 ^{cA}
SCG15	0.63 ^{bA}	0.30 ^{cB}	n.d.	n.d.	0.43 ^{bA}	0.49 ^{dA}
SCG20	0.53 ^{bA}	n.d.	0.30 ^{cB}	n.d.	n.d.	0.56 ^{dA}
SCG25	0.30 ^{cB}	0.65 ^{bA}	0.33 ^{cB}	n.d.	0.50 ^{bB}	0.93 ^{aA}

n.d.: not determined

Different lower case letters (a, b, c) in the same column indicate the difference between samples.

Different capital letters (A, B, C) on the same row indicate the difference between days ($P < 0.05$).

(SCG5: Şekerpare sample with 5% SCG addition, SCG10: Şekerpare sample with 10% SCG addition, SCG15: Şekerpare sample with 15% SCG addition, SCG20: Şekerpare sample with 20% SCG addition, SCG25: Şekerpare sample with 25% SCG addition)

Given the high concentration of organic compounds, including fatty acids, amino acids, polyphenols, minerals, polysaccharides and dietary fiber present SCG, there is increased potential for mold/yeast growth. The higher proportion of spent ground coffee in a sample may provide favorable conditions for the growth of mold/yeast. Some researchers have also reported that SCG did not show antifungal activity against some species (Vítězová et al., 2019; Calheiros et al., 2023). Belokurova et al. (2021) indicated that some osmophilic yeasts and xerophilic mycelial molds in food samples may multiply slowly through water activity.

The increase in microbial load of SCG groups with substitution ratios of 25% as compared to control may be due to increase in moisture

content with increasing SCG supplementation level. Overall the value of microbial load has been found to be within acceptable limit in accordance with microbiological standards of fortified blended products which were found that total plate count less than 10^5 CFU/g (Wani et al., 2015).

The antibacterial activity of coffee extracts has been reported in the literature. In one of these studies, Monente et al. (2015) showed antibacterial effect of coffee extracts against *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* and *Candida albicans*. Almeida et al. (2006) evaluated that three different brands of roasted coffee extracts and chemical compound (caffeic acid, chlorogenic acid, and protocatechuic acid) against nine Enterobacteria and reported the

antimicrobial activity. Moreover, melanoidins were reported that antibacterial activity against Gram-negative and Gram-positive bacteria (Rufián-Henares and de la Cueva, 2009). Furthermore, it has been reported in the literature that SCG has antibacterial activity. From this respect, we suggest that the number of bacteria is lower in SCG groups because of potential antibacterial activity of SCG.

The compounds of coffee such as chlorogenic acid, caffeine, quinic acid, malic acid, phenolic acids, tannin and other hydroxycinnamic acids suggested to contribute to its antimicrobial activity (Duangjai et al., 2016). It has been reported that phenolic compounds may cause alterations the cell membrane causing disruption in the permeability or in the intracellular functions. They also affect cell wall rigidity, disrupting membrane interactions and causing irreversible cytoplasmic membrane damage and coagulation of contents, resulting in the cessation of enzyme activities and cell death (Cushnie and Lamb, 2011; Khochapong et al., 2021). These compounds are likely to be involved in the underlying mechanism of antibacterial activity of SCG supplementation. As a result, adding 5% to 20% SCG in the şekerpare formulation is acceptable for the microbiological quality of the

food product because the şekerpare formulation did not increase the microbial count.

Sensory Analysis

A hedonic test was conducted to evaluate the sensory properties of şekerpare samples with varying SCG concentrations, and the results are summarized in Table 7. The scores for evaluated attributes ranged from 4.71 to 7.42, indicating that some formulations were neither liked nor disliked, while others received mild to moderate levels of preference. There was a significant difference between control samples and SCG added samples in terms of color acceptance amongst the panelists. Koay et al. (2023) observed that the SCG ratio added to shortbreads reduced color acceptance in sensory analysis. According to softness results in Table 7, the addition of SCG in şekerpare is acceptable without adverse effect on the softness which is one of the significant characteristic for bakery products. Higher SCG concentrations reduced flavor and overall acceptability, likely due to the intense coffee taste, which was not well-received by the panelists (Aguilar-Raymundo et al., 2019). Bitter xanthines, such as caffeine found in SCG may have contributed to the formation of bitter taste and, consequently, SCG-added şekerpare samples may have received lower scores in terms of taste, flavor and overall acceptability.

Table 7. Sensory analysis results.

Sensory properties	Control	SCG5	SCG10	SCG15	SCG20	SCG25
Color	6.82±1.87 ^a	4.92±2.29 ^b	4.71±2.14 ^b	4.79±2.38 ^b	4.87±2.40 ^b	5.16±2.68 ^b
Odor	6.82±1.78 ^a	6.00±1.90 ^{ab}	5.55±2.02 ^{ab}	5.16±2.05 ^b	5.21±2.20 ^b	5.08±2.24 ^b
Flavor/Taste	6.74±1.67 ^a	6.03±2.16 ^{ab}	5.50±2.12 ^{ab}	5.53±2.31 ^{ab}	4.92±2.44 ^b	4.95±2.58 ^b
Appearance	7.26±1.64 ^a	5.24±1.97 ^b	5.26±2.26 ^b	5.21±2.21 ^b	5.00±2.27 ^b	5.50±2.46 ^b
Softness	6.76±1.94 ^a	6.47±1.83 ^a	6.05±2.22 ^a	6.11±2.13 ^a	6.21±1.76 ^a	6.00±2.05 ^a
Mouthfeel	7.05±1.75 ^a	6.58±1.95 ^a	6.66±2.02 ^a	6.68±1.96 ^a	6.47±1.62 ^a	6.08±2.02 ^a
Crumbly	6.55±2.24 ^a	6.24±2.09 ^a	6.21±2.15 ^a	6.61±1.91 ^a	6.16±2.01 ^a	5.71±2.18 ^a
Chewing and swallowing	7.42±1.43 ^a	6.95±1.83 ^{ab}	6.66±1.96 ^{ab}	6.42±1.86 ^{ab}	6.40±1.76 ^{ab}	5.71±2.47 ^b
General acceptability	7.13±1.51 ^a	6.18±1.83 ^{ab}	5.87±2.15 ^{ab}	5.82±2.24 ^{ab}	5.55±2.17 ^{ab}	5.24±2.40 ^b

Data are presented as mean ± standard deviation.

Letters that are different in the same row are considered to be significantly different ($P<0.05$).

(SCG5: Şekerpare sample with 5% SCG addition, SCG10: Şekerpare sample with 10% SCG addition, SCG15: Şekerpare sample with 15% SCG addition, SCG20: Şekerpare sample with 20% SCG addition, SCG25: Şekerpare sample with 25% SCG addition)

CONCLUSION

In this study, SCG powder was a valuable source of fiber and phenolic ingredients and demonstrated high antioxidant activity. The addition of SCG to the şekerpare dessert formulation improved the textural property, hardness decreased and, fracturability increased. The protein, ash, and fiber content of şekerpare samples increased with the increase of SCG addition, compared to the control group. The highest dietary fiber content (6.96 g/100 g) and the lowest energy value (485.30 kcal) were observed in samples with a 25% SCG addition. Sensory acceptance revealed that the most acceptable product in terms of taste, softness, chewiness, and swallowing was şekerpare with 5% SCG addition. The microbial count did not increase when 5% to 20% SCG was added to the şekerpare formulation, suggesting that the food product has acceptable microbiological quality. Considering these findings, SCG is a potentially valuable and functional ingredient that can be utilized to develop different bakery products with enhanced nutritional value. It can also be recommended as a beneficial flour substitute for energy-reduced food formulations. However, the incorporation of SCG in large quantities can negatively impact sensory characteristics, leading to a reduction in overall acceptability, which restricts its potential applications. Therefore, future research could focus on exploring various extraction methods for the preparation of SCG extract or investigating the use of different solvents to effectively remove bitter compounds.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Kübra Topaloğlu Günan: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Writing – original draft, Writing – review and editing. Tuğçe Boğa: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Writing – original draft, Writing – review and editing. Didem Berber: Conceptualization, Formal analysis, Investigation, Methodology, Writing – original draft, Writing – review and editing. Özlem Aktürk Gümüşay: Conceptualization, Formal analysis, Funding acquisition,

Investigation, Methodology, Writing – original draft, Writing – review and editing, Supervision.

DECLARATION OF CONFLICTING INTERESTS

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

FUNDING

This study was supported by Maltepe University Scientific Research Projects (grant number 2023HDAP02).

ETHICAL CONSIDERATIONS

Sensory analysis in this study was reviewed and approved by the Ethics Committee of Maltepe University (Approval Number: 2024/22-14).

REFERENCES

- AACCI (1995) Approved Methods of the AACCI, 10th ed. St. Paul, MN, USA: Method 10.54. American Association of Cereal Chemists (AACCI).
- Agudelo-Ochoa, G.M., Pulgarín-Zapata, I.C., Velásquez-Rodríguez, C.M. (2016). Coffee consumption increases the antioxidant capacity of plasma and has no effect on the lipid profile or vascular function in healthy adults in a randomized controlled trial. *The Journal of Nutrition*, 146(3): 524-531, doi:10.3945/jn.115.224774.
- Aguilar-Raymundo, V.G., Sánchez-Páez, R., Gutiérrez-Salomón, A.L., Barajas-Ramírez, J.A. (2019). Spent coffee grounds cookies: Sensory and texture characteristics, proximate composition, antioxidant activity, and total phenolic content. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12): e14223, doi: 10.1111/jfpp.14223.
- Ahmed, A.R., Alqahtani, N.K., Ramadan, K.M., Mohamed, H.I., Mahmoud, M.A., Elkatry, H.O. (2023). The bioactive substances in spent black tea and arabic coffee could improve the nutritional value and extend the shelf life of sponge cake after fortification. *ACS Omega*, 8(37): 33593-33609, doi: 10.1021/acsomega.3c03747.

- Akash, M.S.H., Rehman, K., Chen, S. (2014). Effects of coffee on type 2 diabetes mellitus. *Nutrition*, 30(7-8): 755-763, doi:10.1016/j.nut.2013.11.020.
- Ali, H.S., Mansour, A.F., Kamil, M.M., Hussein, A.M.S. (2018). Formulation of nutraceutical biscuits based on dried spent coffee grounds. *International Journal of Pharmacology*, 14(4): 584-594, doi: 10.3923/ijp.2018.584.594.
- Almeida, A.A.P., Farah, A., Silva, D.A., Nunan, E. A., Glória, M.B.A. (2006). Antibacterial activity of coffee extracts and selected coffee chemical compounds against enterobacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(23): 8738-8743, doi: 10.1021/jf0617317.
- AOAC (2016). Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th ed. Rockville, USA: Association of Official Agricultural Chemists (AOAC).
- Arya, S.S., Venkatram, R., More, P.R. (2022). The wastes of coffee bean processing for utilization in food: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 59: 429–444, doi: 10.1007/s13197-021-05032-5.
- Azuan, A.A., Mohd, Z.Z., Hasmadi, M. (2020). Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies supplemented with different levels of spent coffee ground extract. *Food Research*, 4(4): 1181 – 1190, doi: 10.26656/fr.2017.4(4).058.
- Ballesteros, L.F., Teixeira, J.A., Mussatto, S.I. (2014). Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, 7(12): 3493–3503, doi: 10.26656/fr.2017.4(4).05810.1007/s11947-014-1349-z.
- Balzano, M., Loizzo, M.R., Tundis, R. (2020). Spent espresso coffee grounds as a source of anti-proliferative and antioxidant compounds. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59: 102254, doi: 10.1016/j.ifset.2019.102254.
- Belokurova, E.S., Pankina, I.A., Sevastianova, A.D., Asfondiarova, I.V., Katkova, N. M. (2021, February). The effect of functional additives on the indicator “water activity” of biscuit semi-finished products. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 640, No. 2, p. 022022). IOP Publishing.
- Bevilacqua, E., Cruzat, V., Singh, I. (2023). The potential of spent coffee grounds in functional food development. *Nutrients*, 15: 994, doi: 10.3390/nu15040994.
- Bramantoro, T., Zulfiana, A.A., Amir, M.S., Irmaliye, W.R., Nor, N.A.M. (2022). The contradictory effects of coffee intake on periodontal health: a systematic review of experimental and observational studies. *F1000 Research*, 11: 924, doi: 10.12688/f1000research.124547.3.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology* 28(1), 25-30, doi: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
- Büyük, Z., Dulger Altiner, D. (2024). Investigation of antioxidant and sensory properties and *in vitro* bioaccessibility of low-fat functional cookies substituted with wheat germ flour and coffee silverskin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (104): 1322-1334, doi: 10.1002/jsfa.13013.
- Calheiros, D., Dias, M. I., Calhelha, R. C., Barros, L., Ferreira, I. C., Fernandes, C., Gonçalves, T. (2023). Antifungal activity of spent coffee ground extracts. *Microorganisms*, 11(2): 242, doi: 10.3390/microorganisms11020242.
- Campos-Vega, R., Arreguín-Campos, A., Cruz-Medrano, M.A. (2020). Spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds promote satiety and attenuate energy intake: A pilot study. *Journal of Food Biochemistry*, 44(6): e13204, doi: 10.1111/jfbc.13204.
- Carneiro, S.M., Oliveira, M.B.P., Alves, R.C. (2021). Neuroprotective properties of coffee: An update. *Trends in Food Science & Technology*, 113: 167-179, doi: 10.1016/j.tifs.2021.04.052.
- Castaldo, L., Lombardi, S., Gaspari, A. (2021). In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of polyphenolic compounds from spent coffee grounds-enriched cookies. *Foods*, 10(8): 1837, doi: 10.3390/foods10081837.

- Castaldo, L., Toriello, M., Sessa, R., Izzo, L., Lombardi, S., Narváez, A., Ritieni, A., Grosso, M. (2021). Antioxidant and anti-inflammatory activity of coffee brew evaluated after simulated gastrointestinal digestion. *Nutrients*, 13(12): 4368, doi: 10.3390/nu13124368.
- Cruz, R., Cardoso, M.M., Fernandes, L. (2012). Espresso coffee residues: a valuable source of unextracted compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(32): 7777-7784, doi: 10.1021/jf3018854.
- Cushnie, T.T., Lamb, A.J. (2011). Recent advances in understanding the antibacterial properties of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 38(2): 99-107, doi: 10.1016/j.ijantimicag.2011.02.014.
- Desai, N.M., Mallik, B., Sakhare, S.D. (2020). Prebiotic oligosaccharide enriched green coffee spent cookies and their nutritional, physicochemical and sensory properties. *LWT*, (134): 109924, doi: 10.1016/j.lwt.2020.109924.
- Díaz-Hernández, G.C., Alvarez-Fitz, P., Maldonado-Astudillo, Y.I., Jiménez-Hernández, J., Parra-Rojas, I., Flores-Alfaro, E., Salazar, R., Ramírez, M. (2022). Antibacterial, antiradical and antiproliferative potential of green, roasted, and spent coffee extracts. *Applied Sciences*, 12(4): 1938, doi: 10.3390/app12041938.
- Duangjai, A., Suphrom, N., Wungrath, J., Ontawong, A., Nuengchamnong, N., Yosboonruang, A. (2016). Comparison of antioxidant, antimicrobial activities and chemical profiles of three coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extracts. *Integrative Medicine Research*, 5(4): 324-331, doi: 10.1016/j.imr.2016.09.001.
- Elhussein, E.A.A., Kurtulbaş, E., Bilgin, M. (2018). Screening of the most consumed beverages and spices for their bioactive non-nutrient contents. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12: 2289-2301, doi: 10.1007/s11694-018-9846-9.
- Ertürk, N. (2015). Türk Tatlı Sanatı. İstanbul: Remzi Kitabevi.
- FAO (2003) Rome: FAO (Food and Agriculture Organization) Food energy: methods of analysis and conversion factors: report of a technical workshop (FAO Food and Nutrition, No. 77). Available: <https://www.fao.org/3/Y5022E/y5022e00.htm> [16 September 2024].
- FAOSTAT Statistical Database (2016) Publisher: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Rome, Italy.
- Franca, A.S., Oliveira, L.S. (2022). Potential uses of spent coffee grounds in the food industry. *Foods*, 11(14): 2064, doi: 10.3390/foods11142064.
- Giuberti, G., Rocchetti, G., Sigolo, S., Fortunati, P., Lucini, L., Gallo, A. (2018). Exploitation of alfalfa seed (*Medicago sativa* L.) flour into gluten-free rice cookies: Nutritional, antioxidant and quality characteristics. *Food Chemistry*, 239: 679-687, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.004.
- Gómez-Ruiz, J.Á., Leake, D.S., Ames, J.M. (2007). In vitro antioxidant activity of coffee compounds and their metabolites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(17): 6962-6969, doi: 10.1021/jf0710985.
- Han, I., Lee, C.S. (2021). Quality properties and bioactivities of American cookies with coffee extract residues. *LWT*, 151: 112173, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112173.
- Hosseini, A., Pazhouhandeh, F. (2023). Production of enriched cakes by apple pulp and peel powder and evaluation of chemical, functional and textural properties. *Vitae*, 30(1): 1-12, doi: 10.17533/udea.vitae.v30n1a349519.
- Hussein, A., Ali, H., Bareh, G., Faoruk, A. (2019). Influence of spent coffee ground as fiber source on chemical, rheological and sensory properties of sponge cake. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PjBS*, 22 (6): 273-282, doi: 10.3923/pjbs.2019.273.282.
- ICO International Coffee Association (2022). Available from: <http://www.ico.org/prices/new-consumption-table.pdf>
- ICO International Coffee Organization (2017) Trade Statistics. Available from: http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics.

- Jia, H., Aw, W., Egashira, K., Takahashi, S., Aoyama, S., Saito, K., Kishimoto, Y., Kato, H. (2014). Coffee intake mitigated inflammation and obesity-induced insulin resistance in skeletal muscle of high-fat diet-induced obese mice. *Genes & Nutrition*, 9: 1-10, doi: 10.1007/s12263-014-0389-3.
- Khochapong, W., Ketnawa, S., Ogawa, Y., Punbusayakul, N. (2021). Effect of in vitro digestion on bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extract. *Food Chemistry*, 348: 129094, doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129094.
- Koay, H.Y., Azman, A.T., Zin, Z.M., Portman, K.L., Hasmadi, M., Rusli, N.D., Aidat, O., Zainol, M.K. (2023). Assessing the impact of spent coffee ground (SCG) concentrations on shortbread: A study of physicochemical attributes and sensory acceptance. *Future Foods*, 8: 100245, doi: 10.1016/j.fufo.2023.100245.
- Liczbiński, P., Bukowska, B. (2022). Tea and coffee polyphenols and their biological properties based on the latest in vitro investigations. *Industrial Crops and Products*, 175: 114265, doi: 10.1016/j.indcrop.2021.114265.
- Martínez-Saez, N., García, A.T., Pérez, I.D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chemistry*, 216: 114-122, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.173.
- Meckelburg, N., Pinto, K.C., Farah, A., Iorio, N.L.P., Pierro, V.S.S., Dos Santos, K.R.N., Maia, L.C., Antonio, A.G. (2014). Antibacterial effect of coffee: calcium concentration in a culture containing teeth/biofilm exposed to *Coffea Canephora* aqueous extract. *Letters in Applied Microbiology*, 59(3): 342-347, doi: 10.1111/lam.12281.
- Monente, C., Bravo, J., Vitas, A. I., Arbillaga, L., De Peña, M. P., Cid, C. (2015). Coffee and spent coffee extracts protect against cell mutagens and inhibit growth of food-borne pathogen microorganisms. *Journal of Functional Foods*, 12: 365-374, doi: 10.1016/j.jff.2014.12.006.
- Murthy, P.S., Naidu, M.M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66: 45-58, doi: 10.1016/j.resconrec.2012.06.005.
- Mussatto, S.I., Ballesteros, L.F., Martins, S., Teixeira, J. (2011). Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology*, 83: 173-179, doi: 10.1016/j.seppur.2011.09.036.
- Natella, F., Nardini, M., Giannetti, I., Dattilo, C., Scaccini, C. (2002). Coffee drinking influences plasma antioxidant capacity in humans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(21): 6211-6216, doi: 10.1021/jf025768c.
- NMKL (1998) Fat determination in foods. 2nd ed. Oslo, Norway, Nordic Committee on Food Analysis, no. 160.
- NMKL (2005) ASH, gravimetric determination in foods. 2nd ed. Oslo, Norway, Nordic Committee on Food Analysis, no. 173.
- Oliveira Batista, J., Car Cordeiro, C., Klososki, S.J., Mongruel Eleutério Dos Santos, C., Leão, G.M.C., Pimentel, T.C., Rosset, M. (2023). Spent coffee grounds improve the nutritional value and technological properties of gluten-free cookies. *Journal of Culinary Science & Technology*, 21(6): 994-1004, doi: 10.1080/15428052.2022.2026266.
- Papageorgiou, C., Dermesonlouoglou, E., Tsimogiannis, D., Taoukis, P. (2024). Enrichment of bakery products with antioxidant and dietary fiber ingredients obtained from spent coffee ground. *Applied Sciences*, 14(16): 6863, doi: 10.3390/app14166863.
- Petrović, J., Lončarević, I., Šaponjac, V.T., Pajin, B., Zarić, D. (2016). Physical characteristics of cookies enriched with microencapsulated cherry pomace extract. *International Journal of Nutrition and Food Engineering*, 10(4): 223-226, doi: 10.5281/zenodo.1123742.
- Rawangkan, A., Siriphap, A., Yosboonruang, A., Kiddee, A., Pook-In, G., Saokaew, S., Suthikul, O., Duangjai, A. (2022). Potential antimicrobial properties of coffee beans and coffee by-products against drug-resistant *Vibrio cholerae*. *Frontiers in Nutrition*, 9: 865684, doi: 10.3389/fnut.2022.865684.

- Rufián-Henares, J. A., de la Cueva, S. P. (2009). Antimicrobial Activity of Coffee Melanoidins. A Study of Their Metal-Chelating Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(2): 432-438, doi: 10.1021/jf8027842.
- Sakouhi, F., Saadi, C., Omrani, I., Boukhchina, S., Solana, R.R. (2024). Quality parameters and lipid composition of oil extracted from spent coffee grounds: A promising alternative to vegetable oils used for consumption and cosmetic purposes. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 126(4): 2300230, doi: 10.1002/ejlt.202300230.
- Salazar-López, N.J., López-Rodríguez, C.V., Hernández-Montoya, D.A. (2020). Health benefits of spent coffee grounds. In: *Food Wastes and By-products*, R. Campos-Vega, B.D. Oomah and H.A. Vergara-Castañeda (Eds.), 327-351.
- Scully, D.S., Jaiswal, A.K., Abu-Ghannam, N. (2016). An investigation into spent coffee waste as a renewable source of bioactive compounds and industrially important sugars. *Bioengineering*, 3(4): 33, doi: 10.3390/bioengineering3040033.
- Severini, C., Caporizzi, R., Fiore, A.G., Ricci, I., Onur, O.M., Derossi, A. (2020). Reuse of spent espresso coffee as sustainable source of fibre and antioxidants. A map on functional, microstructure and sensory effects of novel enriched muffins. *LWT*, 119: 108877, doi: 10.1016/j.lwt.2019.108877.
- Singh, P., Singh, R., Jha, A., Rasane, P., Gautam, A.K. (2015). Optimization of a process for high fibre and high protein biscuit. *Journal of Food Science and Technology*, 52: 1394-1403, doi: 10.1007/s13197-013-1139-z.
- Song, L., Qi, J., Liao, J., Yang, X.Q. (2021). Enzymatic and enzyme-physical modification of citrus fiber by xylanase and planetary ball milling treatment. *Food Hydrocolloids*, 121: 107015, doi: 10.1016/j.foodhyd.2021.107015.
- Statista (2024) Available from: <https://www.statista.com/statistics/277137/world-coffee-production-by-leading-countries/>
- Torga, G.N., Spers, E.E. (2020). Perspectives of global coffee demand. In: *Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil*, Woodhead Publishing, 21-49.
- Tunnichliffe, J.M., Shearer, J. (2008). Coffee, glucose homeostasis, and insulin resistance: physiological mechanisms and mediators. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 33: 1290-1300, doi: 10.1139/H08-123.
- Vázquez-Sánchez, K., Martínez-Saez, N., Rebollo-Hernanz, M., Del Castillo, M. D., Gaytán-Martínez, M., Campos-Vega, R. (2018). In vitro health promoting properties of antioxidant dietary fiber extracted from spent coffee (Coffee arabica L.) grounds. *Food Chemistry*, 261: 253-259, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.04.064.
- Vítězová, M., Jančíková, S., Dordević, D., Vítěz, T., Elbl, J., Hanišáková, N., Jampilek, J., Kushkevych, I. (2019). The possibility of using spent coffee grounds to improve wastewater treatment due to respiration activity of microorganisms. *Applied Sciences*, 9(15): 3155, doi: 10.3390/app9153155.
- Wang, Q., Hu, G. L., Qiu, M. H., Cao, J., Xiong, W. Y. (2024). Coffee, tea, and cocoa in obesity prevention: Mechanisms of action and future prospects. *Current Research in Food Science*, 8: 100741, doi: 10.1016/j.crfs.2024.100741.
- Wani, S. H., Gull, A., Allaie, F., Safapuri, T. A. (2015). Effects of incorporation of whey protein concentrate on physicochemical, texture, and microbial evaluation of developed cookies. *Cogent Food & Agriculture*, 1(1): 1092406, doi: 10.1080/23311932.2015.1092406.
- Wojdyło, A., Oszmiański, J., Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 105(3): 940-949, doi: 10.1016/j.foodchem.2007.04.038.

EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON WHEAT HARDNESS: AN SKCS-BASED STUDY

Oğuz ACAR*

Department of Quality and Technology, Central Research Institute for Field Crops, Ankara, Türkiye

Received /Geliş: 24.02.2025; Accepted /Kabul: 04.04.2025; Published online /Online baskı: 10.04.2025

Acar, O. (2025). Effect of moisture content on wheat hardness: An SKCS-based study. GIDA (2025) 50 (2) 275-283 doi: 10.15237/ gida.GD25034

Acar, O. (2025). Buğday Sertliği Üzerine Rutubet İçeriğinin Etkisi: SKCS Tabanlı Bir Çalışma. GIDA (2025) 50 (2) 275-283 doi: 10.15237/ gida.GD25034

ABSTRACT

This study aimed to analyze wheat hardness at varying moisture (10%–18%) using SKCS equipment and to establish regressions for relationship between moisture content and hardness index (HI). For this purpose, three bread wheat cultivars, Kınacı, Altay, and Selimiye, each with different hardness, were used. Differences between cultivars in terms of various physical and chemical properties were significant ($P < 0.05$). HI for Kınacı, Altay, and Selimiye decreased significantly from 18.7%, 31.5%, and 66.4% at 10% moisture to 10.9%, 16.5%, and 41.3% at 18% moisture, respectively ($P < 0.05$). In the regression equations, moisture content was used as the independent variable and HI as the dependent variable. Determination coefficients (R^2) of equations were 0.9669 for soft wheat Kınacı, 0.9906 for medium wheat Altay and 0.9278 for hard wheat Selimiye. Consequently, regression equations are feasible and can be used to determine HI based on moisture for different hardness groups in wheat.

Keywords: Wheat, hardness, SKCS, quality, tempering, regression

BUĞDAY SERTLİĞİ ÜZERİNE RUTUBET İÇERİĞİNİN ETKİSİ: SKCS TABANLI BİR ÇALIŞMA

ÖZ

Bu çalışma, SKCS cihazı kullanarak farklı nem içeriklerinde (%10–18) buğday sertliğini analiz etmeyi ve nem içeriği ile sertlik indeksi (HI) arasındaki ilişki için regresyon denklemleri belirlemeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda, farklı sertlik değerlerine sahip üç ekmeklik buğday çeşidi, Kınacı, Altay ve Selimiye kullanılmıştır. Çeşitler arasındaki bazı fiziksel ve kimyasal özellikler açısından farklar önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Kınacı, Altay ve Selimiye'nin HI değerleri, sırasıyla %10 nemde %18.7, %31.5 ve %66.4 iken, %18 nemde sırasıyla %10.9, %16.5 ve %41.3'e önemli derecede azalmıştır ($P < 0.05$). Regresyon denklemlerinde nem içeriği bağımsız değişken olarak, HI ise bağımlı değişken olarak kullanılmıştır. Eşitliklerin determinasyon katsayıları (R^2) sırasıyla yumuşak buğday Kınacı için 0.9669, orta sertlikteki buğday Altay için 0.9906 ve sert buğday Selimiye için 0.9278 olmuştur. Sonuç olarak, regresyon denklemleri uygulanabilir olup, buğdaydaki farklı sertlik gruplarına göre nem içeriğine dayalı olarak HI'yi belirlemek için kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Buğday, sertlik, SKCS, kalite, tavlama, regresyon

*Corresponding author / Yazışmalardan sorumlu yazar

✉: oguz.acar@tarimorman.gov.tr

☎: (+90) 312 343 0904 – 1182

☎: (+90) 312 327 2893

Oğuz Acar, ORCID no: 0000-0003-2686-1530

INTRODUCTION

Wheat, along with rice, corn, barley, and oats, are grains cultivated worldwide for human consumption (Liu, 2007; Gani et al., 2012). These cereals, which are also rich in components called plant bioactive substances or phytochemicals with positive effects on health, are the main components of human nutrition and the main foods that meet the needs of people's carbohydrates, proteins, vitamins and minerals (Slavin, 2003; Madhujith et al., 2006; Goldberg, 2008). Wheat comes to the forefront among all cereals in terms of processing features and is used as the raw material of many products (Hrušková and Švec, 2009; Pasha et al., 2010).

Quality is a complex concept in wheat and is a phenomenon that can be defined as compliance with a specific purpose or use, which differs according to the soil structure and climatic conditions of the grown area and climatic conditions. (Finney et al., 1987; Pasha et al., 2010). In general, for flour, bread, and pasta industries, high protein content and good gluten quality are important, while for consumers, sensory and textural properties define quality wheat that produces a healthy final product (Çetiner et al., 2021).

Grain hardness or endosperm structure has a significant effect on technological properties such as milling and shelf life of wheat and is one of the key parameters that determine its quality (Nirmal et al., 2016). It is a feature that affects physical properties such as endosperm hardness, starch damage, particle size and distribution of flour and semolina and grinding efficiency (Brites et al., 2008). Therefore, grain hardness is one of the important distinctive factors in the evaluation of wheat for commercial purposes and plays an important role in the suitability of grinding in a commercial mill. Hardness and softness are related to the disintegration of the endosperm. In hard wheat, grain disintegration tends to occur along the cell boundaries. According to one view, grain hardness is related to the degree of adhesion between starch and protein, while another view suggests that hardness depends on the continuity of the protein matrix (Hrušková and Švec, 2009).

In wheat, grain hardness is largely controlled by genetic factors and is believed to be influenced by the presence of friabilin in the endosperm during the intermediate phase, as well as by water-soluble proteins. On the other hand, it may be affected by environmental factors and other factors such as fat, humidity and pentosane content. Friabilin, a sign protein that shows grain hardness, consists of two proteins: Puroindolin A (Pina) and Puroindolin B (Pinb) (Martin et al., 2006). Lipid binding proteins are defined as responsible for determining the differences between Pina and Pinb, hard and soft uniform properties (Szabó et al., 2016). Friabilin is present in large amounts in soft wheat, in small amounts in hard wheat, and at an almost negligible level in durum wheat (Szabó et al., 2016). The presence of friabilin in the wheat kernel weakens the bond between protein and starch, making the endosperm texture softer (Köksel et al., 2000).

Grain hardness is an important factor in determining the functional properties of wheat. Wheat is classified as soft, medium soft, hard, medium hard and extra hard according to grain hardness (Kent and Evers, 1994; Hansen and Poll, 1997; Pasha et al., 2010). In general, hard wheats are expected to be good in terms of bread quality depending on high gluten quality and protein amount. Baljeet et al., (2017) reported that hard wheat cultivars have higher dough stability and lower dough softening values. Hard bread wheat cultivars are the main source of flour used in bread production. Hard wheats generally use it in the production of breads and similar products with high quality requirements. Soft wheat varieties are a good raw material for the production of flour to be used in cookies and cakes (Delcour and Hoseney, 2010). Along with evaluating the quality of wheat, the hardness of the grain plays a crucial role in the grinding process and needs to be measured prior to milling. This feature affects the use of power during milling. Hard wheat cultivars consume more power than soft wheat types during grinding (Dziki and Laskowski, 2005). In the tempering process performed before the grinding, water is added to wheat samples according to the specified

grain hardness. In the tempering, hard wheat should be given more water and more waiting time should be applied than soft wheats.

Grain hardness determination involves several methods, such as the Particle Size Index (PSI), Pearling Index (PI), and Single-Kernel Characterization System (SKCS), which are based on different principles. In the PSI method, the hardness value, wheat breaking is based on the percentage calculation of the amount that passes under the sieve as a result of shaking for a certain period of time in a fixed sieve. In the PI method, it is determined by determining the abrasion amount on the surface of the peeled grains in a special peeling (Çetiner et al., 2021). In the SKCS method, the hardness value is based on the determination of the resistance of the grains to crushing (Szabó et al., 2016). In addition to the grain hardness, the weight, size and moisture content of the grains are determined in the SKCS method (Sissons et al., 2000; Osborne and Andersen, 2003).

The objective of the present study was to determine the behavior of grain hardness values, determined using the SKCS equipment, for wheat samples with different hardness properties at varying moisture contents, and to establish the regression equations between the SKCS hardness index values and moisture content.

MATERIALS AND METHODS

Material

In the study, three bread wheat (*Triticum aestivum*) cultivars with different grain hardness, Kınacı-97, Altay-2000, and Selimiye were used. Cultivar (cv) Kınacı is a soft wheat with red kernel color, cv Altay-2000 is a medium hard wheat with white kernel color beside these cv Selimiye is a hard wheat with a red kernel color. The names of cultivars Kınacı-97, Altay-2000 were shortened as Kınacı and Altay respectively, in the text for convenience.

Methods

Firstly, wheat samples were first cleaned to eliminate broken and severely damaged kernels using laboratory-grade wheat cleaning equipment

(Labofix 90, Brabender, Beilngries, Germany). The kernels remaining on 2.0 mm sieve were used in the study. For the purpose of eliminating the differences between wheat samples in terms of the moisture content, samples were kept in the air circulation cabin (Protech, Ankara, Türkiye) at 45°C for 24 hours. Wheat samples were ground by using the sieve laboratory type mill (Retsch ZM 200, Germany) with a 500 µm eye opening for moisture, ash and protein analyses. Wheat samples were tempered to 10%, 12%, 14%, 16%, and 18% moisture content by adding water, according to the determined moisture content, to determine the SKCS hardness index at those moisture contents. Unless otherwise noted, all of the compounds employed in the investigation were analytical grade.

Physical and Chemical Characteristics

Thousand kernel weight of wheat samples were determined according to ISO 520 (2010) method using Tripette & Renaud Numigral II (Villeneuve, France) while the hectoliter weight of them were determined according to the ISO 7971-3 (2019) method using the nilemalitre device (Bastak, Ankara, Türkiye). The kernel size distribution of wheat samples was determined by weighing the samples in each range after the shaking of 100 g sample in the sieve device (Pfeuffer Sortimat, Kitzingen, Germany) for 180 second. The color values (L^* , a^* and b^*) of wheat samples were measured by using a colorimeter (BYK Gardner Color-View, USA). The weight, length, moisture and hardness values of the samples were determined by a single characterization system (SKCS 4100, Springfield Illinois, USA) according to approved method 55-31.01 (AACC International, 2010). Pearling index (PI) of wheat samples was described as in Acar et al. (2019). Moisture, ash and protein contents of the samples were determined according to approved methods 44-15.02, 08-01.01 and 46-30.01, respectively (AACC International, 2010).

Statistical analysis

The results were expressed as the average of measurements of at least twice. In order to determine the significant differences between the results, variance analysis (ANOVA) was

performed using JMP software (version 13.0.0, SAS Institute Inc., 2013). When significant differences ($P < 0.05$) were found, the least significant difference (LSD) method was used to determine the differences between the averages. Linear regression analysis was performed using the MS Excel (Microsoft Office Professional Plus 2016) was used for deriving the regression equations and coefficient of determination (R^2) values.

RESULTS AND DISCUSSION

Various physical properties of the wheat cultivars are presented in Table 1. The differences between the samples were significant in terms of thousand kernel weight (TKW), hectoliter weight (HLW), hardness index (HI), pearling index (PI), and sieve classes (2.8>, 2.8-2.5 and 2.5-2.0 mm). The cv Selimiye had higher HLW, HI, and lower PI than other cultivars ($P < 0.05$). The TKW of Kınacı and Selimiye were same and also significantly higher than that of cv Altay ($P < 0.05$). Furthermore, the highest ratio of kernels bigger than 2.8 mm was obtained from cv Kınacı

(76.1%) while the lowest was obtained from the cv Altay (42.5%) according to the results of sieve analysis ($P < 0.05$). Besides these, cv. Altay had the highest ratio (50.3%) for the 2.8-2.5 mm kernel length, while cv. Selimiye had the highest ratio (7.9%) for the 2.5-2.2 mm kernel length, significantly ($P < 0.05$). In the present study, the hardness values of wheat cultivars were determined by SKCS whereas the PI values of those were determined by using grain pearling equipment as indicated. In wheat samples, the high HI value and the low PI value indicate that wheat is hard, while the low HI value and the high PI value indicate that wheat is soft (Acar et al., 2019). Therefore, cv Selimiye was the hardest wheat, with a significantly high HI and low PI, while cv. Kınacı was the softest wheat, with a significantly low HI and high PI ($P < 0.05$). The original HI distributions of wheat cultivars, before being placed in the air circulation cabin at 45°C for 24 hours to eliminate moisture content differences between the wheat samples, are also presented in Figure 1.

Table 1: Various physical properties of wheat samples

Cultivars	TKW (g, db)	HLW (kg/hl)	HI (%)	PI (%)	Sieve Analysis (%)		
					2.8> mm	2.8-2.5 mm	2.5-2.0 mm
Kınacı	37.6±0.2 a	78.8±0.1 c	20.6±0.1 c	36.1±0.1 a	76.1±1.1 a	23.2±0.7 b	0.7±0.1 c
Altay	36.7±0.2 b	79.1±0.1 b	36.9±0.0 b	27.6±0.1 b	42.5±0.6 c	50.3±7.1 a	7.1±0.1 b
Selimiye	37.6±0.2 a	81.4±0.0 a	73.7±0.3 a	20.9±0.0 c	69.9±0.1 b	22.2±7.9 b	7.9±0.1 a

TKW: Thousand kernel weight; HLW: Hectoliter weight; HI: Hardness index; PI: Pearling index, db: Dry basis; Means followed by different letters in columns are significantly different at $P < 0.05$.

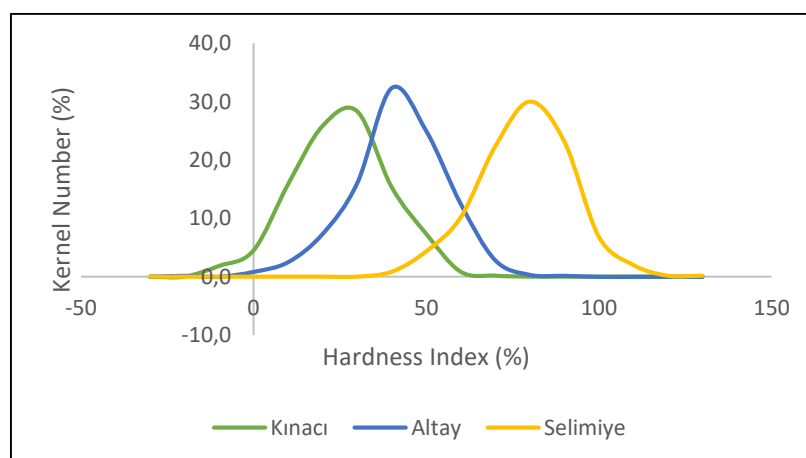


Figure 1. Hardness index distributions (%) of wheat cultivars

Several chemical properties and kernel color values of wheat cultivars are given in Table 2. The differences between the samples were significant in terms of moisture, protein and ash content, L* and b* (except a*) values. The moisture content of the cv Selimiye was the significantly highest while that of Kınacı was the significantly lowest ($P < 0.05$). The protein content of cv Kınacı was

higher as compared to other cultivars while the ash content of cv Selimiye was higher and cv Altay was lower ($P < 0.05$). On the other hand, the L* and b* color values of cv. Altay was also the highest ($P < 0.05$). This means that the kernels of cv Altay were yellower and brighter than the other cultivars.

Table 2: Various chemical properties and color values of wheat samples

Cultivars	Moisture (%)	Protein (% db)	Ash (% db)	Color Values		
				L*	a*	b*
Kınacı	11.2±0.0 c	12.8±0.1 a	1.73±0.00 b	53.6±0.3 b	10.8±0.3 a	27.7±0.7 b
Altay	12.0±0.0 b	10.6±0.0 b	1.22±0.00 c	58.6±0.9 a	10.2±0.1 a	31.9±0.4 a
Selimiye	12.2±0.1 a	11.0±0.2 b	1.78±0.00 a	44.2±0.2 c	10.9±0.1 a	23.8±0.1 c

db: Dry basis; Means followed by different letters in columns are significantly different at $P < 0.05$.

The HI values of wheat cultivars according to the different theoretical moisture content are given in Table 3. The cv Selimiye was the hardest wheat cultivar while the cv Kınacı was the softest and the Altay was the medium ones. According to the increasing moisture content the HI values were significantly decreased. The HI of cvs Kınacı, Altay and Selimiye were decreased from 18.7, 31.5 and 66.4 at 10% moisture content to 10.9, 16.5 and 41.3 at 18% moisture content, respectively. Therefore, the samples with 18% moisture content were softest, while those with 10% moisture content were the hardest for all wheat samples.

The Single-Kernel Characterization System (SKCS) assesses the crushing resistance of

individual kernels. For this purpose, it analyzes 300 individual kernels by crushing them to determine the HI (Gaines et al., 1996; Osborne and Anderssen, 2003). The HI distributions (%) of these individual kernels of wheat samples at different moisture contents are also shown in Figure 2. The changes in grain hardness in different moisture content of the cv Selimiye were clearly realized as compared to the other cultivars. The reason for this was that the maximum decrease in grain hardness value with increasing moisture content occurred in cv Selimiye. The decrease in grain hardness values with the increase of moisture content from theoretically 10% to 18%, were determined as 7.8, 15.0 and 25.1 respectively for the cvs Kınacı, Altay and Selimiye (Table 3).

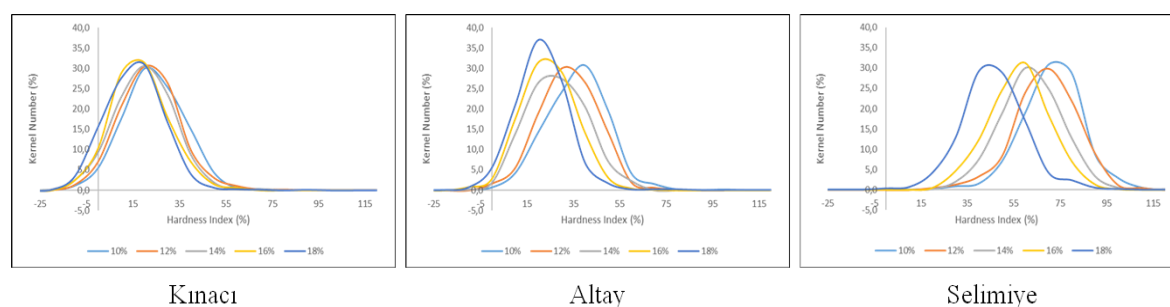


Figure 2. The changing HI distributions (%) of wheat cultivars according to the increasing moisture contents

Table 3: HI values of wheat samples in different moisture content

Moisture Content	HI (%)		
	Kınacı	Altay	Selimiye
10%	18.7±0.7 a	31.5±0.5 a	66.4±0.2 a
12%	17.2±0.5 a	28.0±0.7 b	63.9±0.6 a
14%	14.7±0.1 b	23.2±0.2 c	57.5±0.1 b
16%	13.2±0.3 b	19.5±0.2 d	52.1±0.6 c
18%	10.9±0.3 c	16.5±0.5 e	41.3±1.6 d

HI: Hardness index. Means followed by different letters in columns are significantly different at $P < 0.05$.

The regression analysis could help to understand the relationships among moisture as well as the kernel hardness of wheat samples. In the study, moisture content approved method 44-15.02 (AACC International, 2010) was the independent variable and hardness index (HI) was the dependent variable. The effect of wheat grain moisture content on HI for each wheat cultivar and the regression equations are given in Figure 3. Significant negative linear relationships were observed between HI and the moisture content of the samples, with coefficients of determination (R^2) of 0.9669, 0.9906, and 0.9278 for cvs Kınacı, Altay and Selimiye, respectively (Figure 3 and Table 4). Moreover, the correlation coefficients of regression equations were -1.1841, 2.4333 and -3.6981 while the standard errors of the slope of

the regressions were 0.59, 0.57 and 2.71 for the same cultivars, respectively (Table 4). Windham et al. (1991), studied on the effect of wheat moisture content on hardness score and determined the coefficients of determination as 0.99, 0.98, 0.97 and 0.96 for the four wheat hardness classes. In another study (Qiao et al., 2022), the coefficient of determination overall regression model of hardness and moisture content for maize cultivars was determined as 0.9336. When the results of the present study are compared with relevant studies, similar results were obtained with Windham et al. (1991), but the results were higher than those of Qiao et al. (2022). This difference is considered to be due to the different product group studied. In the present study, cv Selimiye was the hardest sample, cv Kınacı was the softest, and cv Altay was the medium one (Table 1). Within each wheat cultivar, as moisture increased, HI decreased. However, with increasing moisture values, the highest decrease in HI was observed in cv Selimiye, while the least decrease of that was observed in cv Kınacı. This situation can also be understood from the differences in the slopes of the lines on the graph (Figure 3). According to the results, the HI values of wheat samples in different hardness classes can be determined according to their moisture content.

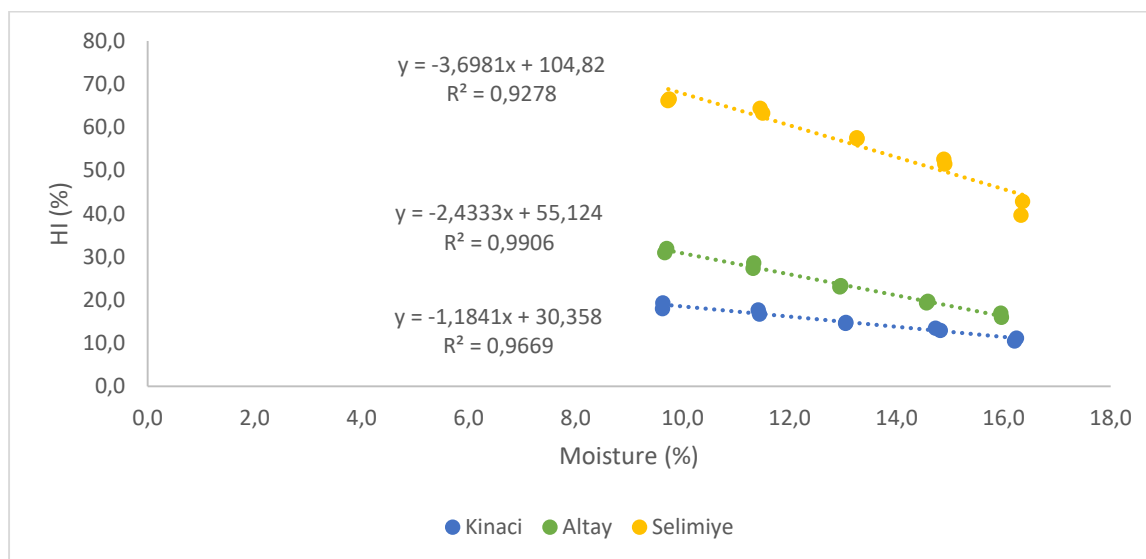


Figure 3. The regression equations of wheat cultivars between the hardness index (HI) and moisture content

Table 4: The coefficients of regression equations described the changes of HI in relation to moisture content for each sample

Cultivars	$y = ax + b$				
	a	b	R ²	r	Standard Error
Kınacı	-1.1841	30.358	0.9669	0.9833	0.59
Altay	2.4333	55.124	0.9906	0.9952	0.57
Selimiye	-3.6981	104.82	0.9278	0.9632	2.71

HI: Hardness index. a and b: Coefficients of regression. R²: Coefficient of determination. r: Coefficient of correlation

CONCLUSION

One of the most important cereals cultivated all over the world for human nutrition is wheat. It stands out among all cereals due to its easy processability, which allows it to be used as a raw material in a variety of products. Furthermore, essential nutrients such as carbohydrates, proteins, vitamins and minerals can be obtained through the consumption of wheat and wheat-based products. Grain hardness, a crucial criterion for determining wheat quality, is a key factor in assessing its suitability for commercial use and milling. However, when the moisture content of wheat changes due to various reasons, a change in grain hardness is also observed. The Single-Kernel Characterization System for Wheat Kernel Texture is a method used to determine grain hardness, where the kernel texture (degree of hardness or softness) is assessed through instrumental measurement of the average force required to crush 300 individual kernels, and is reported as the hardness index (HI).

In the present study, the HI values of wheat cultivars in three different hardness classes were determined at varying moisture levels, and the regression equations between these two parameters were established. The findings demonstrated that there were significant variations in the hardness index (HI) values across the three wheat cultivars. Moreover, all cultivars showed a significant decrease in grain hardness with increasing moisture content and showed a significant negative correlation between HI and moisture content, according to the linear regression analysis.

Consequently, wheat hardness is highly influenced by moisture content, and these results

help enhance the quality of wheat-based products and optimize milling procedures. The findings highlight the necessity of modifying processing variables, like water addition and tempering duration, according to grain hardness in order to improve product quality and energy efficiency. All results considered, better industrial utilization of wheat depends on an understanding of the link between moisture content and wheat hardness. The findings of this study may provide insightful information to help guide future studies in this area.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thank to the Central Research Institute for Field Crops (CRIFC) for supporting the study.

CONFLICT OF INTEREST

The author declares that there is no any conflict of interest.

ETHICS REQUIREMENTS

This article does not contain any studies with human or animal subjects.

REFERENCES

- AACC International, (2010). The AACC approved methods of analysis, 11th edn. The Association, St. Paul.
- Acar, O., Sanal, T., Köksel, H. (2019). Effects of wheat kernel size on hardness and various quality characteristics. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 11(5), 459-464.
- Baljeet, S. Y., Yogesh, S., Ritika, B. Y. (2017). Physicochemical and rheological properties of Indian wheat varieties of *Triticum aestivum*.

- Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 9(4), 369-381.
- Brites, C. M., Santos, C. A. L. D., Bagulho, A. S., Beirão-da-Costa, M. L. (2008). Effect of wheat puroindoline alleles on functional properties of starch. *European Food Research and Technology*, 226, 1205-1212.
- Çetiner, B., Acar, O., Şanal, T., Köksel, H., (2021). Bölüm 13: Hububat ve Hububat Ürünlerinde Kalite Değerlendirme, *Hububat Bilimi ve Teknolojisi*, Editörler: Köksel, H., Acar, O., Çetiner, B., Köksel, F., Sidas Yayıncılık, İzmir.
- Delcour, J.A., Hoseney, C., 2010. Principles of Cereal Science and Technology (3th Ed.). *American Association of Cereal Chemists*, AACC, St. Paul. MN., USA, 270 pp.
- Dziki, D., Laskowski, J. (2005). Wheat kernel physical properties and milling process. *Acta Agrophysica*, 6(1), 59-71.
- Finney, K. F., Yamazaki, W. T., Youngs, V. L., Rubenthaler, G. L. (1987). Quality of hard, soft, and durum wheats. *Wheat and Wheat Improvement*, 13, 677-748.
- Gaines, C. S., Finney, P. F., Fleege, L. M., Andrews, L. C. (1996). Predicting a hardness measurement using the single-kernel characterization system. *Cereal Chemistry*, 73(2), 278-283.
- Gani, A., Wani, S. M., Masoodi, F. A., Hameed, G. (2012). Whole-grain cereal bioactive compounds and their health benefits: A review. *Journal of Food Processing & Technology*, 3(3), 146-56.
- Goldberg, G. (2008). Plants: diet and health. John Wiley & Sons.
- Hansen A. Poll L. (1997). Raavarekvalitet: Frugt, Groensager, Kartofler og Korn. Copenhagen: DSR Forlag.
- Hrušková, M., Švec, I. (2009). Wheat hardness in relation to other quality factors. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(4), 240-248.
- ISO 520:2010. Cereals and pulses — Determination of the mass of 1 000 grains. The International Organization for Standardization.
- ISO 7971-3:2019. Cereals — Determination of bulk density, called mass per hectolitre — Part 3: Routine method. The International Organization for Standardization.
- Kent N.L., Evers A.D. (1994). Technology of Cereals, 4th edn. Oxford: Pergamon Press.
- Köksel, H., Sivri, D., Başman, A., Karacan, H., (2000). *Hububat Laboratuvarı Ek Kitabı*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Liu, R. H. (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 207-219.
- Madhujith, T., Izydorczyk, M., Shahidi, F. (2006). Antioxidant properties of pearled barley fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(9), 3283-3289.
- Martin, J. M., Meyer, F. D., Smidansky, E. D., Wanjugi, H., Blechl, A. E., Giroux, M. J. (2006). Complementation of the pina (null) allele with the wild type Pina sequence restores a soft phenotype in transgenic wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 113, 1563-1570.
- Nirmal, R. C., Furtado, A., Wrigley, C., Henry, R. J. (2016). Influence of gene expression on hardness in wheat. *PLOS one*, 11(10), e0164746.
- Osborne, B. G., Anderssen, R. S. (2003). Single-kernel characterization principles and applications. *Cereal Chemistry*, 80(5), 613-622.
- Pasha, I., Anjum, F. M., Morris, C. F. (2010). Grain hardness: a major determinant of wheat quality. *Food Science and Technology International*, 16(6), 511-522.
- Qiao, M., Xu, Y., Xia, G., Su, Y., Lu, B., Gao, X., Fan, H. (2022). Determination of hardness for maize kernels based on hyperspectral imaging. *Food Chemistry*, 366, 130559.
- Sissons, M. J., Osborne, B. G., Hare, R. A., Sissons, S. A., Jackson, R. (2000). Application of the single-kernel characterization system to durum wheat testing and quality prediction. *Cereal Chemistry*, 77(1), 4-10.
- Slavin, J. (2003). Why whole grains are protective: biological mechanisms. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(1), 129-134.

Szabó, B. P., Gyimes, E., Véha, A., Horváth, Z. H. (2016). Flour quality and kernel hardness connection in winter wheat. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 9(1), 33-40.

Windham, W. R., Gaines, C. S., Leffler, R. G. (1991). Moisture influence on near-infrared prediction of wheat hardness. *In Optics in Agriculture*, 1379, 39-44.

SEBZE VE MEYVE BAZLI YULAFLI BAR ÜRETİMİNİN YANIT YÜZEY YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU VE KURUTMA PROSESİNİN MODELLENMESİ

**Büşra ACOĞLU ÇELİK^{1,2}, Senanur DURGUT MALÇOK¹,
Perihan YOLCI ÖMEROĞLU^{*1,2}, Canan Ece TAMER¹**

¹Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

²Bursa Uludağ Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (BİTUAM), Bursa, Türkiye

Geliş /Received 14.11.2024; Kabul /Accepted: 07.04.2025; Online baskı /Published online: 11.04.2025

Acoğlu Çelik, B., Durgut Malçok, S., Yolcu Ömeroğlu, P., Tamer, C.E. (2025). Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar üretiminin yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu ve kurutma prosesinin modellenmesi. *GIDA* (2025) 50 (2) 284-316 doi: 10.15237/ gida.GD24109

Acoğlu Çelik, B., Durgut Malçok, S., Yolcu Ömeroğlu, P., Tamer, C.E. (2025). Optimization of vegetable and fruit based oatmeal bar production with response surface methodology and modelling of drying process. *GIDA* (2025) 50 (2) 284-316 doi: 10.15237/ gida.GD24109

ÖZ

Bu çalışmada, sebze (kereviz, karnabakar, brüksel lahanası) ve meyve (elma, portakal, hurma) bazlı yulaflı barların formülasyonu oluşturulmuş, üretim koşulları yüzey yanıt yöntemi (RSM) ile optimize edilerek kurutma sürecine en uygun matematiksel model belirlenmiştir. Tekstür ve lezzet iyileştirmek amacıyla formülasyona kuruyemişler, tarçın ve kestane unu eklenmiştir. Box-Behnken tasarımında, kurutma sıcaklığı (65-95 °C), son ürün nem içeriği (%25-35) ve bar kalınlığı (0.5-1 cm) değişkenleri kullanılarak, kuruma süresi, sertlik ve duysal kabul edilebilirlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. Optimum koşullar 95 °C kurutma sıcaklığı, %33.96 nem ve 1.06 cm kalınlık olarak belirlenmiştir. Efektif difüzyon hızı değerleri 3.04×10^{-10} – 7.00×10^{-10} m²/s aralığında olup, en uygun kurutma modelleri Page ve Modifiye Page olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma, sebze tüketimini artırmaya yönelik fonksiyonel ve sağlıklı bir atıştırmalık geliştirmektedir.

Anahtar kelimeler: Sağlıklı atıştırmalık, fonksiyonel gıda, yanıt yüzey yöntemi (RSM), ince tabaka kurutma modelleme, tekstür, duysal profil, temel bileşen analizi (PCA)

OPTIMIZATION OF VEGETABLE AND FRUIT BASED OATMEAL BAR PRODUCTION WITH RESPONSE SURFACE METHODOLOGY AND MODELLING OF DRYING PROCESS

ABSTRACT

This study formulated vegetable (celery, cauliflower, brussel sprout) and fruit (apple, orange, date) oat bars, optimized production conditions using the response surface methodology (RSM), and identified the most suitable drying model. Nuts, cinnamon, and chestnut flour were incorporated to enhance texture and flavor. The Box-Behnken design evaluated drying temperature (65-95 °C), final moisture content (25-35%), and bar thickness (0.5-1 cm) concerning drying time, hardness, and sensory acceptability. The optimal conditions were determined as 95 °C drying temperature, 33.96%

* Sorumlu Yazar: Corresponding author

✉: pyomeroglu@uludag.edu.tr

☎: (+90) 224 294 1401

☎: (+90) 224 294 1402

Büşra Acoğlu Çelik; ORCID no: 0000-0002-6079-1970

Senanur Durgut Malçok; ORCID no: 0000-0002-1314-4965

Perihan Yolcu Ömeroğlu; ORCID no: 0000-0001-8254-3401

Canan Ece Tamer; ORCID no: 0000-0003-0441-1707

moisture content, and 1.06 cm thickness. Effective diffusivity values ranged from 3.04×10^{-10} to 7.00×10^{-10} m²/s, with Page and Modified Page models identified as the best fit. This study presents a functional and healthy snack alternative, particularly for individuals with difficulty consuming vegetables.

Keywords: Healthy snack, functional food, response surface methodology (RSM), thin layer drying modelling, texture, sensory profile, Principal Component Analysis (PCA)

GİRİŞ

Küresel boyutta yiyecek-içecek ve fonksiyonel gıda pazarı, diğer endüstriyel sektörlere kıyasla sürekli büyüyen bir ekonomik değer taşımaktadır. Beslenmenin temel bir ihtiyaç olması, hızla artan dünya nüfusu ve bu doğrultuda artan tüketim talepleri, gıda endüstrisinin büyüme hızını artırmaktadır. Fonksiyonel gıda pazarının hızla büyümesi, ürün çeşitliliğinin ve erişilebilirliğin de artmasına neden olmaktadır (Gupta vd., 2023). Yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte bireyler, sağlıklı bir yaşam tarzının önemini daha iyi kavrayarak bu doğrultuda beslenme alışkanlıkları edinmektedir. Bilinçli tüketiciler, gıda ürünlerinin sağlık üzerindeki etkilerine daha fazla önem vererek beslenme alışkanlıklarında değişiklik yapmakta ve sağlık açısından faydalı ek işlevlere sahip atıştırmalıkları tercih etmektedir. Bu atıştırmalık gıdalar, sebze, meyve, kuruyemiş, tahıl, süt ürünleri ve yenilebilir çiçekler gibi doğal ve sağlıklı destekleyen bileşenler içermektedir (Chen vd., 2022). Artan talep doğrultusunda, sağlıklı atıştırmalık pazarı 2018 yılında küresel olarak 23.05 milyar Amerikan (ABD) doları büyüklüğüne ulaşmış olup, 2026 yılı itibarıyla yaklaşık 40.769 milyar ABD doları değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Chen vd., 2022). Son yıllarda, öğün yerine geçen sağlıklı atıştırmalıkların popülerlik kazanmasıyla birlikte, bu alanda yenilikçi ürünlerin geliştirilmesi gündeme gelmiştir. Atıştırmalıklar, öğün aralarında tüketilen küçük porsiyonlu yiyecekler olarak tanımlanmakta olup, sebze barları enerji sağlayan, protein, vitamin, mineral açısından zengin, tokluk hissi veren, lif yönünden zengin ve düşük kalorili özellikleriyle fonksiyonel atıştırmalıklar arasında öne çıkmaktadır.

Meyve ve sebze tüketimi, insan sağlığını destekleyerek obezite riskini azaltabilen önemli bir unsurdur. Dünya Sağlık Örgütü, günlük en az 400 g meyve ve sebze tüketimini önermekte; ne var ki birçok ülkede çocukların sebze tüketimi önerilen

miktarın altında kalmaktadır (Jonsson vd., 2019). Bu bağlamda çocukların sebze tüketimini artırmaya yönelik sağlıklı atıştırmalık alternatifleri geliştirilmesi gerekliliği öne çıkmaktadır. Kereviz, karnabahar ve lahanalar gibi sebzelerin kanser riskini azaltıcı etkilere sahip olduğu literatürde yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Kıyak vd., 2014). Bu sebzeler, lif, vitamin, karotenoid ve mineral açısından zengin olup, antioksidan özellikleri sayesinde tip 2 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, koroner kalp hastalığı ve hipertansiyon gibi hastalıklara karşı koruyucu etki göstermektedir. Bu doğal antioksidan bileşenler, flavonoidler gibi radikal temizleyici ajanlar içermekte ve oksidatif strese karşı koruma sağlamaktadır (Nandasiri vd., 2023). Benzer şekilde, elma, portakal ve hurma gibi meyveler de sağlıklı atıştırmalıklar için önemli birer seçenek olarak öne çıkmaktadır. Elma, yüksek lif içeriği ve tatlı-asidik lezzetiyle dengeli bir tat sunarken (Boyer ve Liu, 2004), portakal, zengin C vitamini içeriği ve ferahlatıcı aromasıyla tercih edilmektedir (Abakpa ve Adenaike, 2021). Hurma ise, doğal şeker içeriği ve yumuşak dokusuyla tat ve kıvam açısından sağlıklı atıştırmalıklara katkı sağlamaktadır (Mahomoodally vd., 2024). Bu meyveler, sağlıklı atıştırmalıkların besin değerlerini artırmakla birlikte, fonksiyonel özelliklerinin de geliştirilmesine olanak sunmaktadır. Dolayısıyla, sebzeler ve meyveleri içeren ürünler, çocukların sağlıklı atıştırmalık tercihleri için hem besleyici hem de lezzetli bir alternatif oluşturmakta, bu da sağlıklı beslenme alışkanlıklarının kazanılmasına katkı sağlamaktadır (Alemu, 2024). Ayrıca, bu çalışma kapsamında, ürünün işlevsel özelliklerini artırmak ve glutensiz seçeneklere yönelen tüketicilerin taleplerine yanıt vermek amacıyla kestane unu kullanılmıştır. Kestane unu, içerdiği doğal bağlayıcı bileşenler sayesinde gıda ürünlerinde kıvam ve yapı sağlamada etkili bir katkı maddesi olarak öne çıkmaktadır (Brochard vd., 2021).

FAO (Gıda ve Tarım Örgütü) verilerine göre, 2022 yılı itibarıyla Dünya genelinde kereviz (kök) üretimi yaklaşık 4476000 ton olarak gerçekleşmiştir. Kereviz, özellikle Avrupa ve Asya'nın farklı bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilen bir sebze olup, bu bölgelerdeki tarımsal üretim önemli bir yer tutmaktadır. Brüksel lahanası üretimi ise aynı yıl yaklaşık 1352000 ton olarak kaydedilmiştir ve başta Belçika ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere, bu ülkeler üretimde başı çekmektedir. Karnabahar üretimi Dünya genelinde 26058228 ton olarak belirlenmiş olup, özellikle Çin, Hindistan ve ABD gibi ülkelerde yoğun şekilde yetiştirilmektedir. Bu durum, karnabaharı dünya pazarında önemli bir sebze yapmaktadır. Dünya genelinde önemli bir meyve olan elma, üretim ve ticaret açısından stratejik bir rol oynamaktadır. Çin, dünya elma üretiminin yaklaşık %50'sini karşılamaktadır. Diğer büyük üretici ülkeler arasında Hindistan, Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye yer almaktadır. Türkiye, 2022 yılında 4.7 milyon ton elma üretimiyle dünya sıralamasında üçüncü sırada yer almış ve elma üretimi, ülkenin tarım sektöründe önemli bir ekonomik faaliyet olarak öne çıkmıştır. Bu üretim artışı, küresel elma arzını artırarak dünya genelindeki meyve tüketimi ve ticaretinde önemli bir rol oynamaktadır. Portakal, Dünya çapında önemli bir narenciye meyvesi olarak üretim ve ticaretinde belirleyici bir rol oynamaktadır. 2022 yılı itibarıyla portakal üretimi yaklaşık 75.4 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Hurma, özellikle Orta Doğu ve Kuzey Afrika bölgelerinde önemli bir meyve olup, bu bölgelerdeki üretim yoğunlaşmaktadır. Hurma üretimi, başta Mısır, Suudi Arabistan, İran, Cezayir ve Irak olmak üzere birçok ülkede gerçekleştirilmektedir ve bu ülkeler, dünya çapında hurma üretiminin büyük bir kısmını üstlenmektedir (FAO, 2024).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, kereviz (kök) üretimi 2023 yılında 22460 ton olarak gerçekleşmişken, 2024 yılı için bu miktarın 28100 ton seviyesine çıkması beklenmektedir. Bu artış, Türkiye'nin iç pazar talebinin artışının bir göstergesidir. Brüksel lahanası üretimi ise 2023 yılında 2209 ton iken, 2024 yılı için bu miktarın 2200 ton olarak öngörülmektedir. Bu sebzelerin üretimsel hacimlerindeki artışlar, sağlıklı beslenme

talebindeki artış ile ilişkilendirilmektedir. Dünya genelinde elma, portakal ve hurma üretimi önemli bir ekonomik faaliyet alanı oluşturmakta olup, Türkiye bu alanda dikkat çekici bir üretici konumundadır. TÜİK verilerine göre, Türkiye'deki elma üretimi 2023 yılında 4.7 milyon ton iken, 2024 için bu miktarın 5 milyon tona çıkması beklenmektedir. Portakal üretimi ise 2023'te 1.8 milyon ton seviyelerinde gerçekleşmiş olup, 2024 için 2 milyon ton civarına ulaşması öngörülmektedir. Hurma üretimi 2023'te 120000 ton olarak kaydedilmişken, 2024'te 130000 ton olması beklenmektedir. Bu artışlar, iç talebin yanı sıra ihracat potansiyelindeki yükselmeyi de göstermektedir ve Türkiye'nin meyve üretimi, küresel pazarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu gelişmeler, sağlıklı beslenme alışkanlıklarını teşvik etmekte ve Türkiye'nin tarımsal üretim kapasitesinin arttığını ortaya koymaktadır (TÜİK, 2024).

Market raflarında yeni meyve, sebze, tahıl bazlı ve yüksek proteinli atıştırmalık bar çeşitleri olduğu gibi literatürde de bu kapsamda yapılan kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda domates, kabak, mantar, çilek ve incir gibi bitki bazlı hammaddeler kullanılmıştır (Chen vd., 2022; Dimopoulou vd., 2023; Hastaoglu vd., 2023; Atik vd., 2024; Gul vd., 2024; Ali vd., 2024; Sharma vd., 2024). Literatürde sınırlı sayıda yapılan çalışmalarda karnabahar ve kereviz kullanılarak fonksiyonel kurabiye (Nicetin vd., 2024), vegan sakızlı şekerleme (Ghodsi ve Nouri, 2024) ve tahıl bazlı atıştırmalık (Stojceska vd., 2008) üretildiği görülmüştür. Santiago-Ramos vd., (2022) araştırmasında üzüm ve domates posalarından elde edilen yan ürünlerin (%36) kullanımıyla yenilikçi bir atıştırmalık geliştirmiştir. Formülasyonda yulaf, chia tohumu, kinoa, bal ve fıstık ezmesi gibi besin değeri yüksek bileşenler de yer almıştır. Ürün, hedef tüketici grup tarafından hem lezzetli hem de sağlıklı olarak değerlendirilmiştir. Atıştırmalık, 50 °C, 60 °C ve 70 °C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta zorlamalı hava yöntemiyle kurutulmuştur. Kurutma verileri, Newton, Page, Henderson ve Pabis ile Midilli-Küçük modellerine uygulanmış ve bu modellerin kurutma eğrilerine yüksek uyum sağladığı belirlenmiştir.

Ancak turpgiller ve maydanozgiller familyasına ait biyoaktif bileşenlerce zengin kereviz, karnabahar ve brüksel lahanası sebzeleriyle geliştirilmiş ve meyve içeren yulaflı atıştırılabilir bir barın üretilmesine ait bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışmada, meyve (elma, portakal ve hurma) ve sebze (kereviz, karnabahar ve brüksel lahanası) bazlı yulaflı bar üretiminin formülasyonunu oluşturmak, yanıt yüzey yöntemiyle üretim koşullarını optimize etmek ve kurutma prosesine en uygun matematiksel modeli belirlemek amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal

Çalışmada, Bursa ilindeki semt pazarından tedarik edilen kereviz (*Apium graveolens*), karnabahar (*Brassica oleracea*), brüksel lahanası (*Brassica oleracea Gemmifera*), elma (*Malus sp.*, *Rosaceae*) ve portakal (*Citrus sinensis*) ile marketten temin edilen çeşitli ticari firmalara ait hurma, ceviz içi, fındık içi, tarçın, kakao, yulaf, kestane unu ve sitrik asit kullanılmıştır. Laboratuvara getirilen tüm sebze ve meyveler, bar üretimleri gerçekleştirilinceye kadar +4 °C'de buzdolabı koşullarında muhafaza edilmiştir.

Metot

Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar üretimi

Sebze ve meyve bazlı yulaf bar barının üretiminin formülasyonunun ve üretim yönteminin oluşturulması için ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan ön denemeler sırasında farklı oranlarda sebze (kereviz, karnabahar, brüksel lahanası), meyve (elma, hurma, portakal), kuruyemiş (fındık içi ve ceviz içi), yulaf ve barların lezzet ve yapısal dengesinin oluşturulması için üretime yardımcı diğer maddeler (kestane unu, kakao, tarçın ve sitrik asit) kullanılmıştır. Ön denemeler sırasında hedonik duyu değerlendirme sonuçlarına göre barların genel kabul edilebilirliği ve tekstürel yapısı dikkate alınmıştır. Yapılan bu denemeler sonucunda barların formülasyonunda yer alan bileşenler ve oranları belirlenmiş ve aşağıda açıklanan üretim yöntemi oluşturulmuştur.

Barların ilk üretim aşamasında "yıkama, ayıklama ve kabuk soyma" işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Formülasyonda yer alan kereviz (%12.5), karnabahar (%9.5) ve brüksel lahanasından (%10.5) oluşan sebzeler ile meyve olarak yer alan elmalar (%14) yıkanmış, ayıklanmış ve kabukları soyulmuştur. Formülasyon Çizelge 1'de verilmiştir. İkinci aşama "haşlama" işlemi olup sebzeler buharda haşlanmıştır. Haşlama işleminden önce doğrama işlemiyle küçük parçalar haline getirilen sebzeler, yüzey alanlarının artırılmasıyla birlikte daha kısa sürede etkili bir haşlama işleminden geçmiştir. Gerçekleştirilen ön denemeler sırasında haşlama sırasında sebzelerde istenmeyen kokular oluştuğu ve genel kabul edilebilirliği olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu amaçla haşlama suyuna sebzelerin istenmeyen kokularını bertaraf etmek için ev tipi katı meyve sıkacağı (Arzum, Türkiye) kullanılarak sıkılan portakal suyu (%25 v/v) ilave edilerek haşlama işlemi 30 dakika süre ile 100 °C'de buharda gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşama olarak "Pulp elde etme" işlemi gerçekleştirilmiştir. Haşlanmış sebzeler süzildükten sonra bir kaba alınmıştır. Portakal kabuğu (%2.8) elde etmek ve elmanın (%14) pulpa işlenmesini kolaylaştırmak amacıyla meyveler rendelenmiştir. Rendeleme aşamasında açığa çıkan meyve suyuna sitrik asit (%0.2) ilave edilerek bu sıvıda kestane ununun (%5) çözünmesi gerçekleştirilmiştir. Kestane ununun bu işlemin ardından daha etkili bir şekilde hamur tekstüründe rol oynadığı ve yapı bütünlüğünü sağlanması ve fonksiyonel ürün oluşturulması için önemli olduğu sonucuna varılmıştır (Bignardi vd., 2012; Paciulli vd., 2016; Littardi vd., 2020; Brochard vd., 2021). Taze hurma, besin değeri açısından birçok meyveden üstün olup, yüksek lif içeriği ile sağlığa yararlı etkileriyle bilinmektedir (Mrabet vd., 2019). Dolayısıyla hurma formülasyona fonksiyonel özelliğinin olması ve barları tatlandırması amacıyla katılmıştır. Önceden ılık suda bekletilip ve yumuşatılmış ve çekirdekleri çıkartılmış hurma (%17) da karışıma eklenmiştir. Ilık suda bekletmek hurmanın yumuşamasını ve böylece daha kolay işleme alınmasını sağlamıştır. Ön işleminden geçirilen tüm hammaddeler bir öğütücüde pulp haline getirilmiştir. Pulp, 2-5 dakika süreyle ev tipi bir homojenizatörde (Arzum, Türkiye) homojen hale getirilmiştir. Dördüncü aşama "Yan ürünlerin geçtiği işlemler ve

pulpa ilavesi” olup fındık içi (%8) ve ceviz içi (%5) 15 saniye süreyle öğütülmüştür. Öğütülen kuruyemişler, hamura eklenmiş ve ardından yulaf ezmesi (%14) ile birlikte tarçın (%0.5) ve kakao (%1) gibi aroma verici bileşenler ilave edilerek karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada, hamurda tüm malzemelerin dengeli bir şekilde dağılması barın kalite özelliklerini doğrudan etkilediğinden, 3 dakika süreyle karıştırma işlemi uygulanmıştır. Bar üretimi “Hamur şekillendirme ve kurutma” işlemi ile devam etmiştir. Aşağıda açıklanan deney tasarımında belirlenen 3 farklı kalınlığa (0.5, 1 ve 1.5 cm) uygun olarak dikdörtgen prizma olacak şekilde kalıpla şekillendirilen bar hamurları (Çizelge 2), üretimin son aşamasında sıcak hava kurutucusunda kurutulmuştur.

Çizelge 1. Sebze ve meyve bazlı yulafli barın formülasyonu

Table 1. Formulation of the vegetable and fruit-based oat bar

Bileşenler <i>Components</i>	Miktar (%) <i>Amount (%)</i>
Kereviz <i>Celery</i>	12.5
Karnabahar <i>Cauliflower</i>	9.5
Brüksel lahanası <i>Brussels sprouts</i>	10.5
Elma <i>Apple</i>	14
Portakal kabuğu <i>Orange peel</i>	2.8
Kestane unu <i>Chestnut flour</i>	5
Taze hurma <i>Fresh dates</i>	17
Fındık içi <i>Hazelnut kernel</i>	8
Ceviz içi <i>Walnut kernel</i>	5
Yulaf ezmesi <i>Oatmeal</i>	14
Portakal suyu <i>Orange juice</i>	25
Tarçın <i>Cinnamon</i>	0.5
Kakao <i>Cocoa</i>	1

Kurutma İşlemleri

Sıcak hava ile kurutma yönteminde, bir kabin kurutucu (200 W, 220 V, 50–60 Hz; Yücebaş Makine Analitik Cihazlar Sanayi Y35, İzmir, Türkiye) kullanılmıştır. Kurutucunun sıcaklığı ve bağıl nemi, sırasıyla ± 2 °C ve $\pm$ %2 hassasiyete sahip sensörler ile ölçülmüştür. Kurutma işlemi %20 bağıl nem ve ön denemelerle belirlenen 65, 80 ve 95 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Barlar sıcak hava ile kurutma yöntemi kullanılarak deneme desenine göre son ürünün nem miktarı %25, 30 ve 35'e ulaşana kadar kurutulmuştur (Çizelge 2). Kurutma işlemi, barların yağ geçirmez kâğıt üzerine yerleştirilmesinin ardından gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemleri boyunca 30 dakika aralıklarla örneklerin ağırlığı 0.01 g hassasiyetle dijital bir terazi (Mettler Toledo, MS3002S) aracılığıyla periyodik olarak izlenmiştir. Daha sonra barlar oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır.

DeneySEL Tasarım

Bu çalışma kapsamında sebze ve meyve bazlı yulaf barlarının üretimi “Yanıt Yüzey Metodu (RSM)” kullanılarak optimize edilmiştir. RSM, basit ampirik deneysel modeller kullanarak sistemlerin modellenmesini mümkün kılmaktadır. Bu yöntem, birçok değişkenin eşzamanlı olarak incelenebilmesine olanak tanımakta ve sistemin yanıtını etkileyen faktörlerin optimize edilmesini sağlayarak minimum sayıda deney yapılmasını hedeflemektedir. Aynı zamanda, proses sonrasında işlem parametrelerindeki değişikliklere verilen yanıtın anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır (Ozcelik vd., 2009; Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010; M'hir vd., 2019; Özkan Karabacak vd., 2022; Tunçal vd., 2022).

Yanıtları optimize etmek amacıyla üç seviyeli Box-Behnken deney tasarımı kullanılmıştır. Bu tasarımda değişkenler yapılan ön denemeler sonucunda belirlenmiştir. Bağımsız değişkenler, kurutma sıcaklığı (°C), son ürünün nem içeriği (%) ve bar kalınlığı (cm) olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada yanıt değişkenleri olarak kurutma süresi (Y₁), tekstür parametresi olarak sertlik (Y₂) ve duyusal analiz parametresi olan genel kabul edilebilirlik (Y₃) değerlendirilmiştir. Deneysel tasarımı oluşturmak için üç faktör ve seviyeleri

(1,0,-1) dikkate alınmıştır. Seviyeler, yüksek değer (1), optimum değer (0) ve düşük değer (-1) olarak tanımlanmıştır (Çizelge 2). Çalışmada deney tasarımı bu parametreler ve seviyeler göz önünde

bulundurularak 15 koşuldan oluşmaktadır (Çizelge 2).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=i+1}^3 \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

Çizelge 2. RSM’de kullanılan bağımsız değişkenlerin Box Benhken matrisi ve deneme deseni
Table 2. Box-Benkhben matrix of independent variables used in the RSM and experimental design

Bağımsız değişkenler <i>Independent variables</i>	Parametre <i>Parameter</i>	Seviyeler <i>Levels</i>		
		Düşük (-1) <i>Low (-1)</i>	Orta (0) <i>Medium (0)</i>	Yüksek (1) <i>High (1)</i>
X ₁	Kurutma sıcaklığı (°C) <i>Drying temperature (°C)</i>	65	80	95
X ₂	Son ürünün nem içeriği (%) <i>Moisture content of the final product (%)</i>	25	30	35
X ₃	Bar kalınlığı (cm) <i>Bar thickness (cm)</i>	0.5	1	1.5
Bağımsız değişkenler ve seviyeleri <i>Independent variables and their levels</i>				
Deneme Koşulları <i>Experimental Conditions</i>	X ₁	X ₂	X ₃	
1	1	0	-1	
2	1	-1	0	
3	1	1	0	
4	1	0	1	
5	0	-1	-1	
6	0	0	0	
7	0	0	0	
8	0	0	0	
9	0	1	-1	
10	-1	1	1	
11	-1	-1	0	
12	-1	0	1	
13	-1	0	-1	
14	-1	-1	1	
15	-1	1	0	

RSM optimizasyonu çerçevesinde, β_0 , β_i , β_{ii} ve β_{ij} sembolleri sırasıyla kesişim noktası, doğrusal, ikinci dereceden ve etkileşim regresyon terimlerini ifade etmektedir. ε terimi, modeldeki hata değerini temsil ederken, X_i ve X_j bağımsız değişkenleri; Y ise öngörülen yanıt değişkenini göstermektedir (Denklem 1). Çeşitli faktörlerin her bir yanıt değişkeni üzerindeki etkisini görsel olarak analiz edebilmek amacıyla üç boyutlu grafikler oluşturulmuş ve ayrıca her bir faktör için en uygun seviyeler belirlenmiştir. Regresyon analizinin

yürütülmesinde, polinom denklemlerinin oluşturulması, regresyon katsayılarının hesaplanması, uyum eksikliğinin değerlendirilmesi, R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerlerinin hesaplanması, p -değerlerinin belirlenmesi ve uygun modellerin tanımlanması için Design Expert 11 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, ABD) yazılımı kullanılmıştır. Değerlendirilen faktörlerin yanıt değişkenleri üzerindeki etkisi, %5 anlamlılık düzeyinde analiz edilerek tanımlanmıştır. Modelin p -değerinin

0.05'ten küçük olması, model terimlerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermiştir ve bu durum, denklemlere karşılık gelen katsayıları anlamlı hale getirmiştir. Buna karşılık, p -değerinin 0.05'ten büyük olması, ilgili modelin tasarıma yeterli uyum sağlamadığını ve uyum eksikliği değerlerinin anlamlı olmadığını işaret etmiştir. Ayrıca, R^2 değerinin 0.80'den büyük olması, modelin istatistiksel anlamlılığının bir göstergesi

olarak kabul edilmiştir (Ozkan-Karabacak vd., 2023).

Deneyisel Kurutma Kinetiği ve Matematiksel Modellerle Karşılaştırma

Sebze ve meyve bazlı yulafli barlar için uygun kurutma modelini seçmek amacıyla yaygın olarak kullanılan 6 ince tabaka matematiksel modeli kullanılmıştır. Bu modeller Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. İnce tabaka kurutma model örnekleri

Table 3. Thin layer models and equations

Model No	Model	Denklem <i>Equation</i>	Referanslar <i>References</i>
1	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(Liu vd., 2009)
2	Modifiye page <i>Modified Page</i>	$MR = \exp[(-kt)^n]$	(Togrul, 2006)
3	Logaritmik <i>Logarithmic</i>	$MR = a \exp(-kt) + c$	(Bhattacharya vd., 2015)
4	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	(Doymaz, 2006)
5	Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	(Evin, 2012)
6	Two term	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	(Ertekin ve Heybeli, 2014)

Barların nem oranları (MR) Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemde; M_t , M_i ve M_e sırasıyla t anındaki nem içeriğini (g H₂O/g km), başlangıç nem içeriğini (g H₂O/g km) ve denge nem içeriğini (g H₂O/g km) ifade etmektedir (Doymaz, 2011).

En uygun modeli seçmek için ana kriter belirleme katsayısıdır (R^2). Kök ortalama kare hatası (RMSE) ve Ki kare (χ^2) uyum derecesini tahmin etmek için kullanılmıştır. R^2 bire yakın olduğunda ve hem RMSE hem de χ^2 sıfıra yakın olduğunda en iyi uyum elde edilmiştir (Doymaz, 2011). R^2 model eğrisinden hesaplanmış olup RMSE ve χ^2 değerleri Denklem 3 ve Denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - n} \quad (4)$$

Burada N gözlem sayısı, $MR_{exp,i}$ i konumundaki deneysel MR, $MR_{pre,i}$ i konumunda tahmin edilen MR ve n tahmin edilecek parametre sayısıdır.

Etkin Nem Difüzyivitesinin Belirlenmesi

Bar örneklerinin kuruma davranışlarını analiz etmek amacıyla Fick'in ikinci yasası kullanılmıştır. Bu yasa, kurutma sürecinde nem transferinin difüzyon yoluyla gerçekleştiği varsayımına dayanır. Bu çerçevede, sonsuz levhalar için etkili difüzyon katsayısı (D_{eff}) (Crank, 1975) Denklem 5'e göre hesaplanmıştır.

$$D_{eff} = -\frac{S4L^2}{\pi^2} \quad (5)$$

Burada D_{eff} (m²/s), L (m) ve n sırasıyla etkin nem difüzyivitesini, malzemenin yarı kalınlığını ifade etmektedir. "S" ise D_{eff} ve lnMR'n zamana (t) karşı düz bir çizgisinin eğimi ile elde edilmiştir (Sufer ve Palazoğlu, 2019; Özkan Karabacak vd., 2022; Tunckal vd., 2022).

Renk Analizi

Meyve ve sebze bazlı yulaflı barların kolorimetrik değerleri [L^* , a^* , b^* , Croma (C^*) ve ton açısı (h°)] CR-5 Konica Minolta Chroma Meter (Osaka, Japonya) kullanılarak ölçülmüştür. L^* değeri açıklık veya koyuluğu, a^* değeri kırmızılık veya yeşillik, b^* değeri ise sarılık veya mavilik temsil etmektedir. Ayrıca, bu ölçümlerden elde edilen C^* değeri renk yoğunluğunu, h° değeri ise 0° ile 360° arasında değişen açıyla renk tonunu temsil etmektedir. Ek olarak, toplam renk değişimi (ΔE^*_{ab}) L^* , a^* , b^* değerleri kullanılarak aşağıdaki denklem 6'ya göre hesaplanmıştır:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2} \quad (6)$$

Burada, L^*_0 , a^*_0 ve b^*_0 meyve ve sebze bazlı yulaflı bar örneklerinin kurutma öncesi hamur halinin renk değerlerini temsil etmektedir.

Tekstür Analizi

Kurutma işleminden 24 saat sonra, barların tekstürünü değerlendirmek amacıyla 50 kg yük

hücreleriyle donatılmış bir tekstür analiz cihazı (TA-XT PLUS, Stable Microsystems, UK) kullanılmıştır. Barların sertliğini göstermek için kırılmaları esnasında uygulanan maksimum tepe kuvveti ölçülmüştür. Her test için kuvvet/penetrasyon grafiği oluşturulmuştur.

Duyusal Analiz

Duyusal değerlendirme, Bursa Uludağ Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 10 eğitimli panelist tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Her bir numuneye 3 haneli bir kod atanmıştır. Panelistler, ürünün parlaklık-matlık, renk, yüzey düzgünlüğü, sertlik, gevreklik, ağızda dağılmama, lezzet, koku ve genel kabul edilebilirlik gibi çeşitli özelliklerini değerlendirmiştir. Ayrıca, kabuk-iç renk farkı, partikül dağılımı ve kalınlık gibi kesitsel özellikler de değerlendirilmiştir. Değerlendirme 5 puanlık (1: hiç beğenmedim 5: çok beğendim) bir hedonik ölçek kullanılarak yapılmıştır (ISO 2006; ISO 2011; ISO 2012a-b).



Şekil 1. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneği

Figure 1. Vegetable and fruit-based oat bar sample

İstatistiksel Analiz

Tüm üretim ve analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel optimizasyon Design-Expert Versiyon 11 yazılımı (StatEase Inc., ABD) kullanılarak yapılmıştır. Tüm ölçüm

verileri SPSS for Windows (sürüm 23.00) yazılımında analiz edilmiş ve sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma şeklinde raporlanmıştır. Veriler, tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş ve gruplar arasındaki anlamlı

farklılıkların tespiti için Duncan'ın çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır ($p \leq 0.05$). Ayrıca, barlardaki benzerlik ve farklılıkları incelemek ve verilerdeki örüntüleri ortaya çıkarmak amacıyla Temel Bileşen Analizi (PCA) uygulanmıştır. Bu analiz, Minitab 21.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

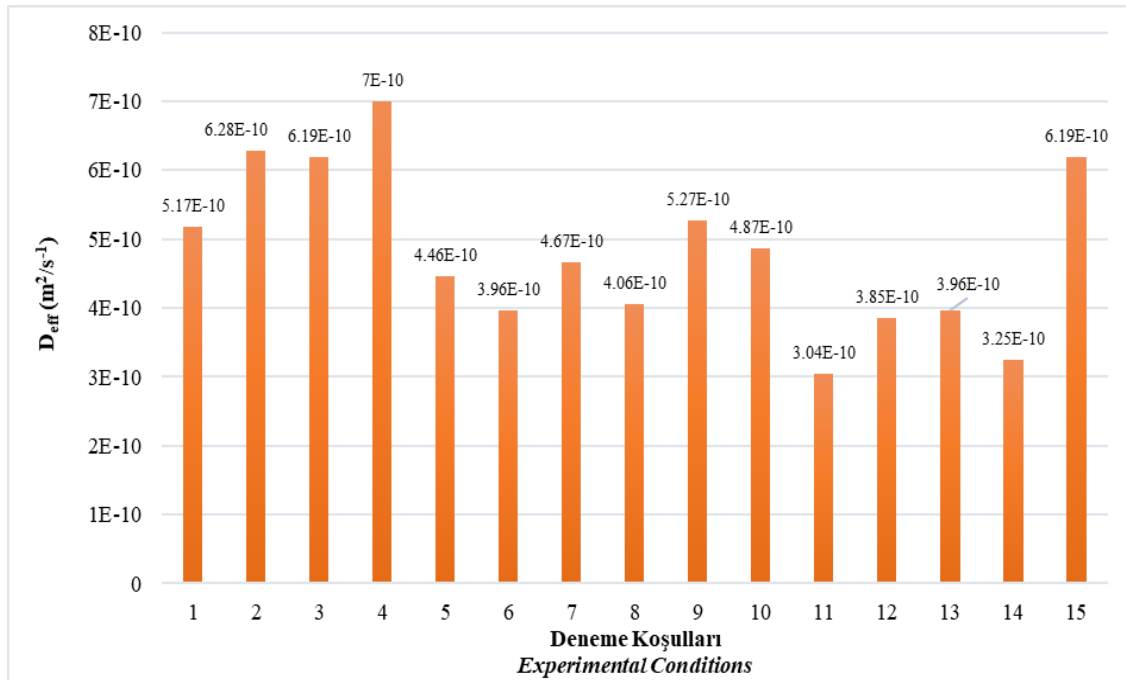
SONUÇ VE TARTIŞMA

Kuruma Kinetiği ve Etkili Nem Difüzyon Katsayısı (D_{eff}) Değerleri

Barların kurutma işlemi, deneme desenine (Çizelge 1 ve Çizelge 2) 65, 80 ve 95 °C sıcaklıklarda sıcak hava ile kurutma yöntemi kullanılarak %89 nem içeriğinden son ürünün nem miktarı %25, 30 ve 35'e ulaşana kadar gerçekleştirilmiştir. Son ürün nemine, kurutma sıcaklığına ve barların kalınlığına bağlı olarak kurutma süresi 70 dk ile 310 dk arasında değişmiştir.

Etkili nem difüzyon katsayısı (D_{eff}), gıdalarda nemin içsel hareketini tanımlayan ve kurutma

sürecinin kinetiğini öngörmede kritik bir parametredir. Bu katsayı, ürünün nem içeriği, fiziksel yapısı ve sıcaklık gibi iç koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir ve kurutma verimliliği ile enerji gereksinimlerini doğrudan etkiler. D_{eff} değerlerinin, ürün geliştirme ve kurutma işlemi optimizasyonunda dikkate alınması, kurutma zamanının kısaltılması ve ürün kalitesinin korunması açısından kritik öneme sahiptir. D_{eff} 'in doğru modellenmesi, aşırı veya yetersiz kuruma risklerini azaltarak ürün kalitesinin korunmasına ve tekstür, renk ve besin özelliklerinin iyileştirilmesine olanak tanır (Dadalı vd., 2007; Akter vd., 2022). Her bir deneysel çalışma için elde edilen D_{eff} değerleri Şekil 2'de sunulmuştur. Bar numuneleri için D_{eff} değerlerinin 3.04×10^{-10} ile 7.00×10^{-10} m²/s arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bu aralık, genel olarak gıda malzemelerinin kurutma işlemi sırasında nem difüzyon katsayısındaki değişikliklerle ilişkili olan 10^{-11} ile 10^{-6} m²/s aralığında yer almaktadır (Surendhar vd., 2019).



Şekil 2. Sebze ve meyve bazlı yulafli bar örneklerinin D_{eff} değerleri

Figure 2. D_{eff} values of vegetable and fruit-based oat bar samples

Bu çalışmada elde edilen D_{eff} değerlerinin, numunelerin işleme koşullarına göre önemli farklılıklar gösterdiği sonucuna varılmıştır. En yüksek D_{eff} değeri, 4. deneme koşuluyla (95 °C, %30 nem ve 1.5 cm) üretilen barların kurutulmasında elde edilmiştir. Bu barlar, deney tasarımında belirlenen en yüksek kurutma sıcaklığı olan 95 °C'de kurutulmuştur. Buna karşılık, en düşük D_{eff} değeri 11. denemeden (65 °C, %25 nem ve 1 cm) elde edilmiş olup, bu örnek deney tasarımında öngörülen en düşük kurutma sıcaklığı olan 65 °C'de kurutulmuştur. Bu bulgular, kurutma sıcaklığının D_{eff} değerleri üzerindeki önemli etkisini ortaya koymaktadır. Genel olarak, diğer deneme koşullarında da yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işlemlerinin daha yüksek D_{eff} değerleri ile sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, D_{eff} değerlerinin kurutma zamanı kısaltıkça arttığı gözlenmiştir.

Gıda ürünlerinde D_{eff} değerleri, kurutma sıcaklığı, ürün kalınlığı, başlangıç ve son nem içeriği, kurutma yöntemi ve koşulları gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen kurutma işlemi, gıda maddelerindeki nemin daha hızlı buharlaşmasını sağlayarak daha yüksek D_{eff} değerlerinin elde edilmesine yol açar (Deng vd., 2018). Ayrıca, ürün kalınlığı da nemin difüzyon hızını etkileyen kritik bir faktördür; daha ince ürünler, daha düşük nem içeriği ve dolayısıyla daha yüksek D_{eff} değerleri ile sonuçlanabilir. Farklı çalışmalarda artan kurutma sıcaklığı ile etkili difüzivite değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir (Torki-Harchegani vd., 2016). Özkan-Karabacak vd., (2023) çalışmasında, 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarda sıcak hava kurutucusunda kurutulan portakal dilimlerinin D_{eff} değerlerini $1.77-5.71 \times 10^{-7}$ m²/s arasında tespit etmiştir. Başka bir çalışmada, yeşil ve yarı olgun mango dilimlerinin 50, 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarında sıcak hava kurutucusunda kurutulması sonucunda, D_{eff} değerlerinin yeşil mango dilimleri için yaklaşık 1.74×10^{-10} ile 3.15×10^{-10} m²/s arasında, yarı olgun mango dilimleri için ise 2.30×10^{-10} ile 3.28×10^{-10} m²/s arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu bulgular, kurutma sıcaklığının ve olgunluk düzeyinin mango dilimlerinin nem difüzyon özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmede önemli bir veri

sunmaktadır (Corzo vd., 2008). Çalışmalarda gözlemlenen difüzivite değerlerindeki farklılıklar, uygulanan kurutma yöntemleri, farklı sıcaklık koşulları ve formülasyonda kullanılan spesifik katkı maddelerinin etkileriyle ilişkilendirilebilir.

Kuruma Eğrilerinin Matematiksel Modellemesi

İnce tabaka kurutma modelleri, gıda ve tarım ürünlerinin kurutma kinetiğini analiz ederek, ürün kalitesinin korunmasına ve hasat ile işleme sürecinde meydana gelebilecek kayıpların azaltılmasına katkı sağlayan yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir (İnyang vd., 2018). Sebze ve meyve bazlı yulaflı barların kuruma karakteristikleri altı farklı ince tabaka kurutma modeli kullanılarak modellenmiştir (Çizelge 3). Sıcak hava ile kurutulan bar örnekleri için tahmin edilen model katsayıları ve istatistiksel sonuçlar sırasıyla Çizelge 4 ve 5'te sunulmuştur. Bu çizelgeden de görülebileceği gibi, R^2 , RMSE ve χ^2 değerlerine dayalı istatistiksel parametreler sırasıyla 0.8623 ile 0.9999, 0.0000046 ile 0.089632 ve 0.000011 ile 0.052844 arasında değişmektedir. En uygun model için karar kriteri 1'e en yakın R^2 değerine ve 0'a en yakın RMSE ve χ^2 değerlerine dayanmaktadır. Bu kriterlere göre, hem Page hem de Modifiye Page modelleri bar örneklerinin kuruma özelliklerini doğru bir şekilde temsil etmek için en uygun modeller olmuştur.

Karabacak vd., (2018) çalışmasında, mikrodalga (190, 375 ve 680 W), vakum (500, 600 ve 700 mbar) ve sıcak havada (70, 85 ve 100 °C) kurutma yöntemlerinin kereviz dilimlerinin kuruma özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen R^2 , RMSE ve χ^2 değerlerinin sırasıyla 0.8454 ile 0.9994, 0.001912 ile 0.136406 ve 0.000045 ile 0.215306 arasında değiştiği belirlenmiş; Page ve Modifiye Page modellerinin bu kurutma koşulları altında en iyi uyumu sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Üzüm ve domates posalarından elde edilen yan ürünlerin kullanımıyla, 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklıklarında zorlamalı hava yöntemiyle kurutulan bir atıştırmalık geliştirilmiştir. Kurutma verileri, Newton, Page, Henderson ve Pabis ile Midilli-Küçük modellerine uygulanmış ve bu modellerin kurutma eğrileriyle yüksek uyum gösterdiği tespit

edilmiştir (Santiago-Ramos vd., 2022). Wang vd., (2022) tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise, Çin hurması dilimlerinin konvektif bir kurutma sistemi kullanılarak kurutulmasında Page modelinin en iyi uyumu sağladığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, bu sonuçlar daha

önce bamya (Dadali vd., 2007), maydanoz (Özcan vd., 2018) ve portakal dilimleri (Özkan-Karabacak vd., 2020) üzerine yapılan çalışmalarda da Page ve Modifiye Page modellerinin en uygun modeller olarak belirlendiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4. İncelenen kurutma modellerinden elde edilen istatistiksel veriler (1-8)
Table 4. Statistical data obtained from the analysed drying models (1-8)

Modeller			1	2	3	4	5	6	7	8
Page	Model	n	0.7696	0.6933	1.0283	0.5288	0.9690	1.0874	0.9998	1.0662
	katsayısı	k	0.0153	0.0270	0.0054	0.0585	0.0053	0.0024	0.0046	0.0028
	Model									
	coefficient									
	R ²		0.9752	0.9965	0.9984	0.9987	0.9987	0.9970	0.9999	0.9982
	RMSE		0.006355	0.002648	0.01723	0.001169	0.001238	0.001932	0.000275	0.001465
Modifiye Page Modified Page	χ ²		0.00029	0.00005	0.000016	0.0000073	0.000016	0.000034	0.0000055	0.00002
	Model	n	0.7696	0.6953	1.0283	0.5288	0.9690	1.0874	0.9998	1.0662
	katsayısı	k	0.0044	0.0055	0.0063	0.0042	0.0045	0.0039	0.0046	0.0040
	Model									
	coefficient									
	R ²		0.9752	0.9965	0.9984	0.9987	0.9987	0.9970	0.9999	0.9982
Logaritmik Logarithmic	RMSE		0.006355	0.002648	0.001723	0.006999	0.001238	0.001914	0.000275	0.001465
	χ ²		0.0000290	0.0000504	0.0000158	0.0000261	0.0000152	0.0000341	0.0000545	0.0000196
	Model	k	0.0047	0.0057	0.0061	0.0069	0.0044	0.0039	0.0046	0.004
	katsayısı	a	1.0513	1.0713	1.0023	1.0672	1.0129	1.0127	1.0003	1.0103
	Model	c	0.531185	0.408466	0.646695	0.529157	0.313221	0.414199	0.414449	0.402024
	coefficient									
Lewis	R ²		0.9654	0.9807	0.9988	0.9375	0.9989	0.9986	0.9999	0.9991
	RMSE		0.031654	0.040562	0.002108	0.052651	0.005232	0.003093	0.001208	0.002403
	χ ²		0.007214	0.011846	0.000024	0.014785	0.000277	0.000087	0.000011	0.000053
	Model	k	0.0035	0.0057	0.0043	0.0047	0.0029	0.0027	0.0027	0.0028
	katsayısı									
	Model									
Henderson and Pabis	coefficient									
	R ²		0.9301	0.9807	0.9504	0.9990	0.9430	0.9430	0.9464	0.9395
	RMSE		0.041301	0.022263	0.031724	0.064365	0.045596	0.034541	0.060964	0.034545
	χ ²		0.012282	0.003569	0.005367	0.022095	0.021050	0.010908	0.026759	0.010910
	Model	k	0.0047	0.0057	0.0061	0.0069	0.0044	0.0039	0.0046	0.004
	katsayısı	a	1.0513	1.0713	1.0023	1.0672	1.0129	1.0127	1.0003	1.0103
Two Term Exponential	Model									
	coefficient									
	R ²		0.9654	0.9807	0.9988	0.9375	0.9989	0.9986	0.9999	0.9991
	RMSE		0.031654	0.040562	0.002108	0.052651	0.005232	0.003093	0.001208	0.002403
	χ ²		0.007214	0.011846	0.000024	0.014785	0.000277	0.000087	0.000011	0.000053
	Model	k	0.0031	0.0038	0.0041	0.0046	0.0029	0.0026	0.0031	0.0027
	katsayısı	a	0.5125	0.5172	0.5006	0.5162	0.5032	0.5031	0.5001	0.5025
	Model									
	coefficient									
	R ²		0.9654	0.9807	0.9988	0.9375	0.9989	0.9986	0.9999	0.9991
	RMSE		0.069573	0.081261	0.056463	0.088601	0.072244	0.064242	0.077776	0.065823
	χ ²		0.034851	0.047545	0.017003	0.041867	0.052844	0.037733	0.043554	0.039613

Çizelge 5. İncelenen kurutma modellerinden elde edilen istatistiksel veriler (9-15)

Table 5. Statistical data obtained from the analysed drying models (9-15)

Modeller			9	10	11	12	13	14	15
Page	Model	n	0.4694	0.5854	1.1244	1.3286	1.0235	0.8415	0.8285
	katsayısı	k	0.0693	0.0302	0.0016	0.0007	0.0036	0.0082	0.0132
	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9841	0.9657	0.9785	0.9846	0.9873	0.9987	0.9995
	RMSE		0.003827	0.006242	0.006387	0.006800	0.000195	0.002320	0.0000046
Modifiye Page Modified Page	χ^2		0.000092	0.00028	0.00048	0.000327	0.00046	0.000013	0.000859
	Model	n	0.4694	0.5854	1.1244	1.3286	1.0235	0.8415	0.8285
	katsayısı	k	0.0034	0.0036	0.0032	0.0044	0.0041	0.0033	0.0054
	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9841	0.9657	0.9785	0.9846	0.9873	0.9987	0.9995
Logaritmik Logarithmic	RMSE		0.003827	0.006242	0.006387	0.006837	0.004629	0.001331	0.000859
	χ^2		0.0000913	0.0002805	0.000534	0.000381	0.000195	0.0000232	0.0000461
	Model	k	0.0052	0.0048	0.00121	0.0038	0.0038	0.0118	0.0061
	katsayısı	a	1.049	1.0695	1.1977	1.0238	1.0238	1.1053	1.0164
	Model	c	0.523014	0.506533	0.4350487	0.550669	0.569475	0.364095	0.593177
	coefficient								
Lewis	R ²		0.9003	0.9638	0.9188	0.9403	0.9916	0.8824	0.9945
	RMSE		0.070081	0.042603	0.061843	0.013963	0.006369	0.047032	0.012366
	χ^2		0.030696	0.013068	0.050066	0.001592	0.000371	0.028957	0.000956
	Model	k	0.0035	0.0035	0.0035	0.0048	0.0046	0.0038	0.0039
	katsayısı								
	Model								
Henderson and Pabis	coefficient								
	R ²		0.9711	0.9833	0.9965	0.9432	0.9751	0.8623	0.9708
	RMSE		0.068796	0.048310	0.012461	0.028980	0.013386	0.009272	0.045863
	χ^2		0.029581	0.016804	0.002033	0.006859	0.001638	0.001125	0.013146
	Model	k	0.0052	0.0048	0.003	0.0038	0.0039	0.0032	0.0061
	katsayısı	a	1.1049	1.0695	1.0045	1.0238	1.0105	1.0631	1.0164
Two Term Exponential	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9003	0.9638	0.9964	0.9950	0.9916	0.9926	0.9945
	RMSE		0.070081	0.042603	0.004276	0.005412	0.006369	0.022325	0.012366
	χ^2		0.030696	0.013068	0.000239	0.000239	0.000371	0.006524	0.000956
	Model	k	0.0035	0.0032	0.0020	0.0025	0.0026	0.0021	0.0041
Exponential	katsayısı	a	0.5025	0.5168	0.5009	0.5059	0.5026	0.5153	0.5041
	Model								
	coefficient								
	R ²		0.9003	0.9638	0.9967	0.9950	0.9916	0.9926	0.9945
	RMSE		0.089632	0.074778	0.049771	0.046826	0.050836	0.059049	0.063686
	χ^2		0.050211	0.040260	0.032428	0.017907	0.023628	0.045645	0.025350

Renk Analizi

Renk, bir gıda maddesinin tüketici tarafından kabul edilmesinde önemli bir kalite kriteridir (Özkan-Karabacak vd., 2023). Kurutulmuş ürünlerin mekanik özellikleri fiziksel durumlarıyla (Roos vd., 1998) ve kurutma süreci boyunca meydana gelen yapısal değişikliklerle yakından ilişkilidir (García-Martínez vd., 2013). Çizelge 6'da, barların renk parametreleri karşılaştırılmaktadır.

Kurutma işlemi sonucu üretilen barların L^* değerleri 26.39 ± 0.08 ile 32.49 ± 0.44 arasında değişmektedir ($P < 0.05$). Bu da, kurutulmuş barların hamur haline kıyasla daha koyu olduğunu göstermektedir. 15. koşul (65°C , %35 ve 1 cm) sonucu üretilen barlar, en yüksek L^* değerine sahipken, 13. koşuldaki (65°C , %30 ve 0.5 cm) elde edilen barlar en düşük L^* değerine sahiptir. Bu durum, barın kalınlığı ve nem içeriğine bağlı olarak açıklanabilir.

Çizelge 6. Sebze ve meyve bazlı yulaflı barların renk değerleri
 Table 6. Color values of vegetable and fruit-based oat bars

Deneme Koşulu <i>Experimental Conditions</i>	L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}	C^*	h°
Bar hamuru <i>Bar dough</i>	34.94±0.12 ^{a*}	12.12±0.02 ^a	19.63±0.08 ^a	-	23.07±0.06 ^a	58.31±0.11 ^c
1	30.85±0.10 ^d	5.67±0.04 ⁱ	11.78±0.06 ^d	10.95±0.14 ^f	14.21±0.04 ^e	60.59±0.17 ^b
2	31.06±0.40 ^d	6.69±0.03 ^h	11.19±0.09 ^e	10.76±0.07 ^f	14.20±0.10 ^e	59.64±0.01 ^b
3	31.05±0.08 ^d	5.81±0.03 ⁱⁱ	12.09±0.11 ^c	10.57±0.06 ^{fg}	13.66±0.10 ^f	61.26±0.25 ^a
4	30.55±0.08 ^e	5.68±0.02 ⁱ	11.61±0.04 ^d	11.18±0.20 ^{ef}	13.18±0.02 ^g	61.25±0.07 ^a
5	27.60±0.11 ^g	6.98±0.05 ^g	10.08±0.25 ^f	13.10±0.19 ^e	12.26±0.22 ^h	55.30±0.58 ^f
6	29.03±0.25 ^f	5.99±0.14 ⁱ	7.48±0.26 ^h	14.84±0.21 ^a	9.58±0.29 ⁱ	51.31±0.43 ⁱ
7	31.01±0.08 ^d	5.85±0.08 ⁱⁱ	8.03±0.07 ^g	13.76±0.11 ^b	9.94±0.11 ^{ij}	53.94±0.17 ^h
8	31.29±0.16 ^{cd}	5.87±0.03 ⁱⁱ	8.12±0.04 ^g	13.60±0.15 ^b	10.02±0.04 ⁱ	54.10±0.16 ^{gh}
9	28.90±0.04 ^f	8.03±0.03 ^d	10.93±0.12 ^e	11.35±0.16 ^e	13.57±0.09 ^f	53.67±0.38 ^{hi}
10	26.94±0.04 ^h	8.81±0.04 ^b	12.25±0.19 ^c	11.38±0.13 ^e	15.09±0.17 ^c	54.26±0.38 ^{gh}
11	30.96±0.31 ^d	6.71±0.04 ^h	10.19±0.11 ^f	11.59±0.12 ^e	12.20±0.11 ^h	56.61±0.14 ^e
12	31.65±0.26 ^c	7.43±0.03 ^f	11.51±0.25 ^d	9.94±0.01 ^g	13.71±0.22 ^f	57.17±0.44 ^d
13	26.39±0.08 ⁱ	8.33±0.07 ^c	11.77±0.20 ^d	12.22±0.02 ^d	14.42±0.19 ^{de}	54.71±0.31 ^g
14	30.32±0.09 ^e	7.72±0.06 ^e	12.17±0.01 ^c	9.82±0.18 ^g	14.74±0.60 ^{cd}	57.59±0.21 ^d
15	32.49±0.44 ^b	8.26±0.05 ^c	13.42±0.14 ^b	7.71±0.03 ^h	15.76±0.13 ^b	58.40±0.24 ^c

*Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P<0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P<0.05$)

Örneklerdeki yeşilliğin-kırmızılığın göstergesi olan a^* değerleri 5.67±0.04 ile 8.81±0.04 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bar hamurunun a^* değerinin istatistiksel olarak kurutma sonrası elde edilen barlara göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bar hamurunun a^* ise 12.12±0.02 olarak ölçülmüştür. Barlardaki mavilik-sarılık göstergesi olan bir diğer renk parametresi b^* ise 7.48±0.26 ile 13.42±0.14 arasında tespit edilmiştir. C^* ve h° değerleri sırasıyla 9.58±0.29-15.76±0.13 ve 51.31±0.43-61.26±0.25 arasında değişmiştir. Bir süreç boyunca gıda ürünlerindeki renk değişiminin (ΔE^*_{ab}) kurutulmuş bar örnekleri için 7.71±0.03 ile 14.84±0.21 arasında değiştiği bulunmuştur. 15. koşul ile üretilen barların en düşük renk değeri elde etmesi, renk parametrelerinin bar hamuruna daha yakın olduğunu ortaya koymuştur. Kurutma işlemi

sırasında meydana gelen renk değişimleri, ürünün besin değeri ve duyu özellikleri üzerinde de etkili olabilmektedir. Işık (2024) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Trabzon hurması, balkabağı, yaban mersini ve muz gibi farklı meyve püreleri içeren barların renk parametreleri L^* , a^* , b^* , C^* ve h° değerleri sırasıyla 44.85±1.00, 7.70±0.01, 15.76±0.49, 17.29±0.13 ve 64.33±0.86 olarak belirlenmiştir. Hurma barlarına ilişkin L^* değeri 43.85, a^* değeri 9.85 ve b^* değeri ise 29.03 olarak raporlanmıştır (Parn vd., 2015). Ayrıca, literatürde Kinow çeşidi mandalinalardan elde edilen mandalina suyu kullanılarak bar üretiminin gerçekleştirildiği bildirilmektedir. Bu çalışmada, formüle edilen barın kalitesini artırmak amacıyla %1, %2, %3 ile %4 oranlarında farklı konsantrasyonlarda pektin ilavesi yapılmıştır. Pektin ilavesinin, L^* , a^* , b^* renk değerleri

üzerindeki etkisi incelenmiş ve L^* değerinin 41.50 ± 0.85 ile 42.32 ± 0.08 , a^* değerinin 5.39 ± 0.17 ile 5.87 ± 0.17 , b^* değerinin ise 6.20 ± 0.16 ile 6.90 ± 0.16 arasında değiştiği bulunmuştur. Çalışmada pektin ilavesinin barların renk ve besin özellikleri üzerinde bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir (Aggarwal vd., 2022). Literatürdeki diğer barların renk parametreleri ile çalışmamızda elde edilen parametre değerleri arasındaki farklılıkların, bar üretiminde kullanılan bileşenler, kurutma türü ve koşulları ile nem içeriğinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Duyusal Analiz

Bar örneklerinin yüzey görünümü özelliklerinin duyusal değerlendirme sonuçları Şekil 3'de sunulmuştur. Renk ve yüzey düzgünlüğü parametrelerini panelistler ortalama olarak 3.10 ile 4.50 arasında değerlendirildiklerinden tüm barların ortanın üstünde bir beğenilme derecesine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. 3. koşul (95°C , %35 ve 1 cm) ile üretilen barlar, bu iki parametre bakımından en beğenilen numune olmuştur (Şekil

3 ve Çizelge 7). Ayrıca, bu örnek en kısa kuruma süresine sahip olmasıyla da öne çıkmaktadır (Çizelge 11). Diğer barlara kıyasla 14. ve 15. deneme koşuluyla üretilen barların beğeni puanı daha düşük elde edilmiştir. Bu numuneler, minimum kurutma sıcaklığı olan 65°C 'de kurutulmuş olup, kalınlıkları sırasıyla 1.5 cm ve 1 cm'dir. Bu koşullarda üretilen barların daha az beğenilen numuneler olarak değerlendirilmesinin, düşük kurutma sıcaklığının ve kalınlığın etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Düşük kurutma sıcaklığı, yüzeyde daha pürüzlü bir görünüm ve renk homojenliğinde bozulmaya neden olabilir, çünkü nemin daha yavaş uzaklaşması, ürünün homojen kurummasını engelleyebilmektedir. Ayrıca, daha kalın numunelerde, iç kısımların yeterince kuruyamaması, ürünün genel görsel ve tekstürel kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu faktörler, panelistler tarafından renk ve yüzey düzgünlüğü parametreleri için verilen puanların düşük olmasına neden olmuş ve bu numuneler en az beğenilenler arasında yer almıştır.

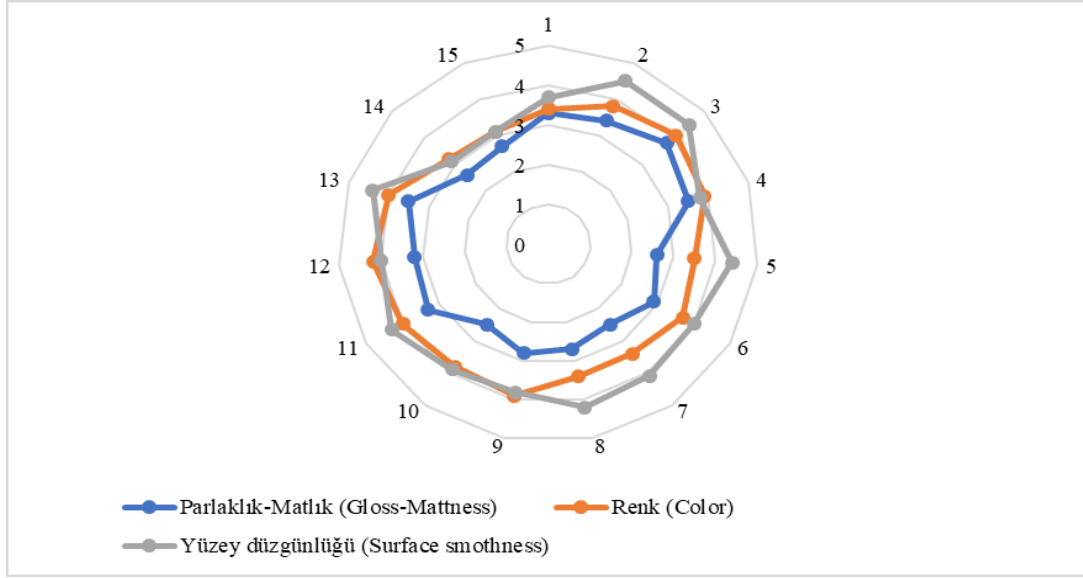
Çizelge 7. Yüzey görünüm özellikleri parametrelerinin sonuçları

Table 7. Results of surface appearance characteristics parameters

Örnek Sample	Parlaklık-Matlak Gloss-Mattness	Renk Color	Yüzey düzgünlüğü Surface smoothness
1	$3.30 \pm 0.94^{ab*}$	3.40 ± 0.70^a	3.70 ± 0.67^{ab}
2	3.40 ± 0.69^{ab}	3.80 ± 0.91^a	4.50 ± 0.70^a
3	3.80 ± 0.78^a	4.10 ± 0.99^a	4.50 ± 0.52^a
4	3.50 ± 0.84^{ab}	3.90 ± 0.87^a	3.80 ± 0.91^{ab}
5	2.60 ± 1.26^b	3.50 ± 0.84^a	4.40 ± 0.69^a
6	2.90 ± 0.87^{ab}	3.70 ± 0.48^a	4.00 ± 0.94^{ab}
7	2.50 ± 0.84^b	3.40 ± 0.69^a	4.10 ± 0.87^a
8	2.70 ± 1.15^b	3.40 ± 1.17^a	4.20 ± 0.91^{ab}
9	2.80 ± 1.03^{ab}	3.90 ± 0.73^a	3.80 ± 1.13^{ab}
10	2.50 ± 1.08^b	3.80 ± 0.78^a	3.90 ± 1.28^{ab}
11	3.30 ± 1.33^{ab}	4.00 ± 0.94^a	4.30 ± 0.67^a
12	3.20 ± 1.31^{ab}	4.20 ± 0.78^a	4.00 ± 1.05^{ab}
13	3.50 ± 1.08^{ab}	4.00 ± 1.15^a	4.40 ± 0.69^a
14	2.60 ± 1.07^b	3.20 ± 0.78^a	3.10 ± 1.19^b
15	2.70 ± 0.94^{ab}	3.10 ± 0.87^a	3.10 ± 1.37^b

*Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P < 0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P < 0.05$)



Şekil 3. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneklerinin yüzey görünüm özelliklerinin değerlendirilmesi
Figure 3. Evaluation of surface appearance properties of vegetable and fruit-based oat bar samples

Barların kesit özellikleri, ürünün görsel çekiciliği ve tüketici beğenisi üzerinde doğrudan etkili olan önemli bir duyuşal kriterdir. Duyuşal değerlendirmede barların kesit özellikleri de incelenmiştir (Şekil 4 ve Çizelge 8). Bu değerlendirme sonucunda, 11., 13. ve 14. koşullarda üretilen barların, kabuk-iç renk farkı parametresinde en beğenilen örnekler olduğu

belirlenmiştir. Bar kalınlığı açısından ise, 11. ve 13. koşullarda üretilen barlar en yüksek puanları almıştır. Bu barların kalınlığının sırasıyla 0.5 ve 1 cm olduğu tespit edilmiştir. Bar kalınlığı da ürünün tekstürel özelliklerini etkileyen önemli bir faktör olup, daha ince barların homojen bir kuruma profiline sahip olduğu ve bu nedenle beğeni kazandığı görülmektedir.

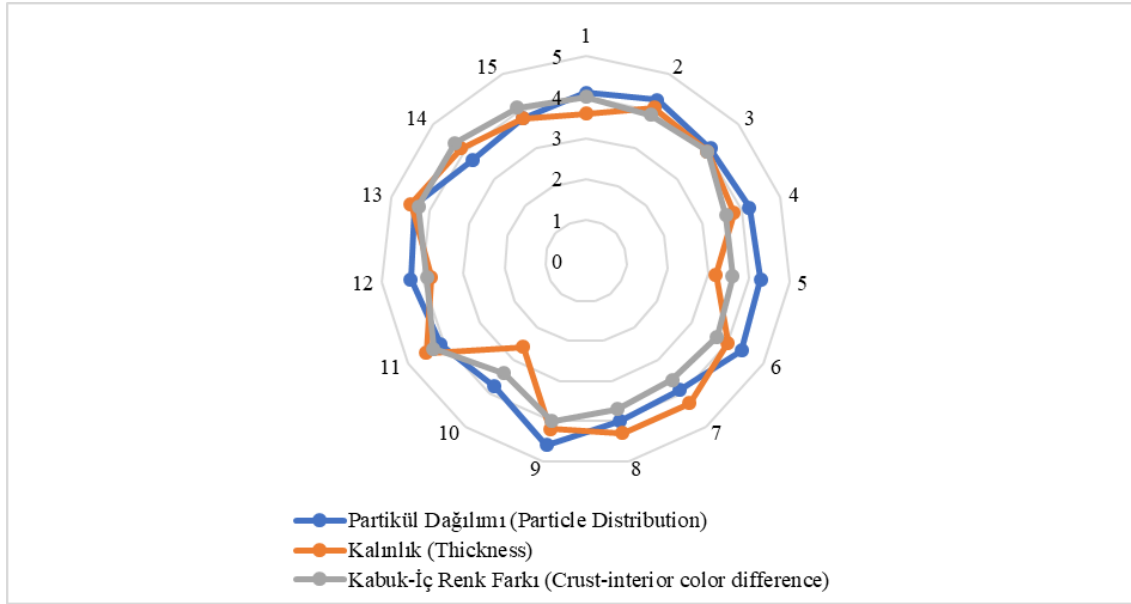
Çizelge 8. Kesit özelliklerinin sonuçları

Çizelge 8. Results of sectional properties

Örnek Sample	Partikül dağılımı Particle distribution	Kalınlık Thickness	Kabuk iç renk farkı Crust-interior color difference
1	4.10±0.87 ^{a*}	3.60±0.96 ^{ab}	4.00±0.66 ^a
2	4.30±0.82 ^a	4.10±0.73 ^{ab}	3.90±1.10 ^a
3	4.10±0.73 ^a	4.00±1.05 ^{ab}	4.00±0.81 ^a
4	4.20±1.03 ^a	3.80±0.78 ^{ab}	3.60±1.07 ^a
5	4.30±0.82 ^a	3.20±1.13 ^{bc}	3.60±1.50 ^a
6	4.40±0.69 ^a	4.00±1.05 ^{ab}	3.70±1.70 ^a
7	3.90±0.73 ^a	4.30±0.67 ^a	3.60±1.17 ^a
8	4.00±0.94 ^a	4.30±0.82 ^a	3.70±1.15 ^a
9	4.60±0.69 ^a	4.20±0.78 ^a	4.00±1.63 ^a
10	3.80±1.03 ^a	2.60±1.42 ^c	3.40±1.17 ^a
11	4.10±1.10 ^a	4.50±0.52 ^a	4.30±0.94 ^a
12	4.30±0.82 ^a	3.80±1.13 ^{ab}	3.90±0.99 ^a
13	4.40±0.84 ^a	4.50±0.70 ^a	4.30±0.94 ^a
14	3.70±1.25 ^a	4.10±0.87 ^{ab}	4.30±0.67 ^a
15	3.80±1.03 ^a	3.80±1.03 ^{ab}	4.10±0.87 ^a

*Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P<0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P<0.05$)



Şekil 4. Sebze ve meyve bazlı yulafli bar örneklerinin kesit özellikleri puanları
 Figure 4. Section properties scores of vegetable and fruit-based oat bar samples

Barların tekstür, ağız hissi, lezzet ve koku parametreleri değerlendirildiğinde, 5'lik hedonik skalada 3 üzerinde beğeni gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 5 ve Çizelge 9). Bar numunelerinin sertlik ve gevreklik parametreleri değerlendirildiğinde 3. koşul ile üretilen barların bu özellikler açısından en çok beğenilen örnek olduğu gözlenmiştir. Bu barlar, maksimum %35 son ürün nem içeriğine kadar kurutulmuş olup, kurutma sıcaklığı 95 °C ve bar kalınlığı 1 cm'dir. 13. koşul ile üretilen barlar, "kumlu-kuru olmama" parametresi açısından en çok beğenilen numune olarak öne çıkmıştır. 2. koşul bu parametrelerde en düşük puanı alan numune olarak belirlenmiştir. Bu duruma yüksek kurutma sıcaklığı ve düşük bar kalınlığının sebep olduğu düşünülmüştür. Bu bulgular, barların duyuşal özellikleri ile kurutma koşulları arasında ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Yüksek kurutma sıcaklığı, bazı barlarda yüzeyde aşırı kuruma ile sonuçlanmış ve bu durum, olumsuz duyuşal geri bildirimlere yol açmıştır. Özellikle, düşük kalınlık ve yüksek kurutma sıcaklığı kombinasyonunun, ürünün ağızda dağılmama özellikleri ile lezzet algısı üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu tespit edilmiştir.

Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki etkileşimlerin anlaşılmasında ve dolaylı ilişkilerin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır (Ratner, 2009). Bu analizden elde edilen bulgular, meyve ve sebze bazlı yulafli bar örneklerinin renk, duyuşal ve tekstürel özellikleri üzerindeki etkilerin daha iyi kavranmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

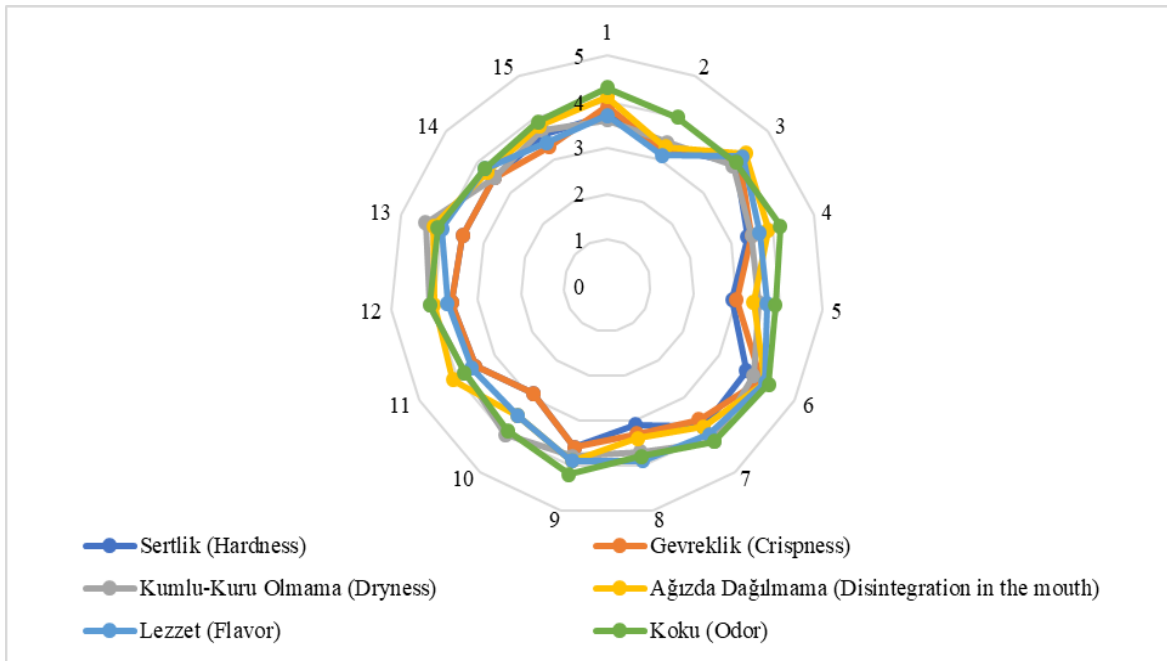
Duyuşal değerlendirme, ürün özellikleri ile insan algısı arasındaki yasal ve spesifik ilişkilerin nicel verilerle belirlenmesini sağlayan temel bir yöntemdir. Bu yöntemin enstrümantal analizlerle ilişkilendirilmesi, duyuşal değerlendirmelerin doğruluğunu artırmanın yanı sıra ürün özelliklerinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Enstrümantal ölçümler, genellikle maliyet etkinliği ve verimlilik avantajları nedeniyle duyuşal panellerin yerine kullanılmaktadır (Wang vd., 2007). Meyve ve sebze bazlı yulafli bar örneklerinde duyuşal ve enstrümantal analizler arasında elde edilen korelasyon sonuçları, bu bağlamda ürün özellikleri ve algısal değerlendirmeler arasındaki ilişkilerin belirlenmesine olanak tanımaktadır (Şekil 6).

Çizelge 9. Tekstür ve ağız hissi, lezzet ve koku özelliklerinin sonuçları
 Table 9. Results of texture and mouthfeel, flavour and odour characteristics

Örnek Sample	Sertlik Hardness	Gevreklik Crispness	Kumlu-Kuru Olmama Dryness	Ağızda Dağılmama Disintegration in the mouth	Lezzet Flavor	Koku Odor
1	3.70±0.82 ^{ab*}	3.90±0.99 ^{ab}	3.60±0.96 ^a	4.10±0.73 ^a	3.70±0.94 ^a	4.30±0.82 ^a
2	3.30±1.33 ^{ab}	3.20±1.31 ^{ab}	3.40±1.50 ^a	3.30±1.25 ^a	3.10±0.99 ^a	4.00±0.81 ^a
3	4.00±0.81 ^a	4.10±0.73 ^a	3.90±0.73 ^a	4.30±0.67 ^a	4.20±0.91 ^a	4.00±0.66 ^a
4	3.40±1.17 ^{ab}	3.50±1.08 ^{ab}	3.50±1.35 ^a	3.90±0.99 ^a	3.70±1.33 ^a	4.20±0.78 ^a
5	2.90±1.19 ^b	3.00±0.94 ^{ab}	3.50±1.26 ^a	3.40±1.07 ^a	3.70±1.25 ^a	3.90±1.10 ^a
6	3.70±1.15 ^{ab}	4.10±0.87 ^a	3.90±0.87 ^a	4.20±0.78 ^a	4.20±0.78 ^a	4.30±0.82 ^a
7	3.80±0.78 ^{ab}	3.60±0.69 ^{ab}	4.20±0.78 ^a	3.80±0.91 ^a	4.00±0.81 ^a	4.20±1.03 ^a
8	3.10±0.99 ^{ab}	3.30±0.82 ^{ab}	3.70±1.25 ^a	3.40±0.96 ^a	3.90±0.99 ^a	3.80±1.03 ^a
9	3.60±1.57 ^{ab}	3.60±1.17 ^{ab}	3.80±1.03 ^a	3.90±0.87 ^a	3.90±0.99 ^a	4.20±1.03 ^a
10	2.90±1.52 ^b	2.90±1.28 ^b	4.00±1.15 ^a	3.50±1.08 ^a	3.50±1.08 ^a	3.90±1.19 ^a
11	3.50±1.17 ^{ab}	3.50±1.35 ^{ab}	3.80±1.13 ^a	4.10±0.99 ^a	3.60±1.34 ^a	3.80±1.39 ^a
12	3.60±1.07 ^{ab}	3.60±0.96 ^{ab}	4.10±1.10 ^a	4.00±0.94 ^a	3.70±0.94 ^a	4.10±0.99 ^a
13	3.50±1.35 ^{ab}	3.50±1.26 ^{ab}	4.40±1.07 ^a	4.20±0.91 ^a	4.00±1.24 ^a	4.10±1.19 ^a
14	3.50±0.70 ^{ab}	3.50±1.08 ^{ab}	3.50±0.84 ^a	3.70±0.82 ^a	3.80±1.13 ^a	3.80±1.03 ^a
15	3.60±1.07 ^{ab}	3.30±0.82 ^{ab}	3.70±0.82 ^a	3.80±0.91 ^a	3.40±1.17 ^a	3.90±0.99 ^a

*Sütunlardaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P<0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P<0.05$)



Şekil 5. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneklerinin tekstür ve ağız hissi, lezzet ve koku özellikleri puanları

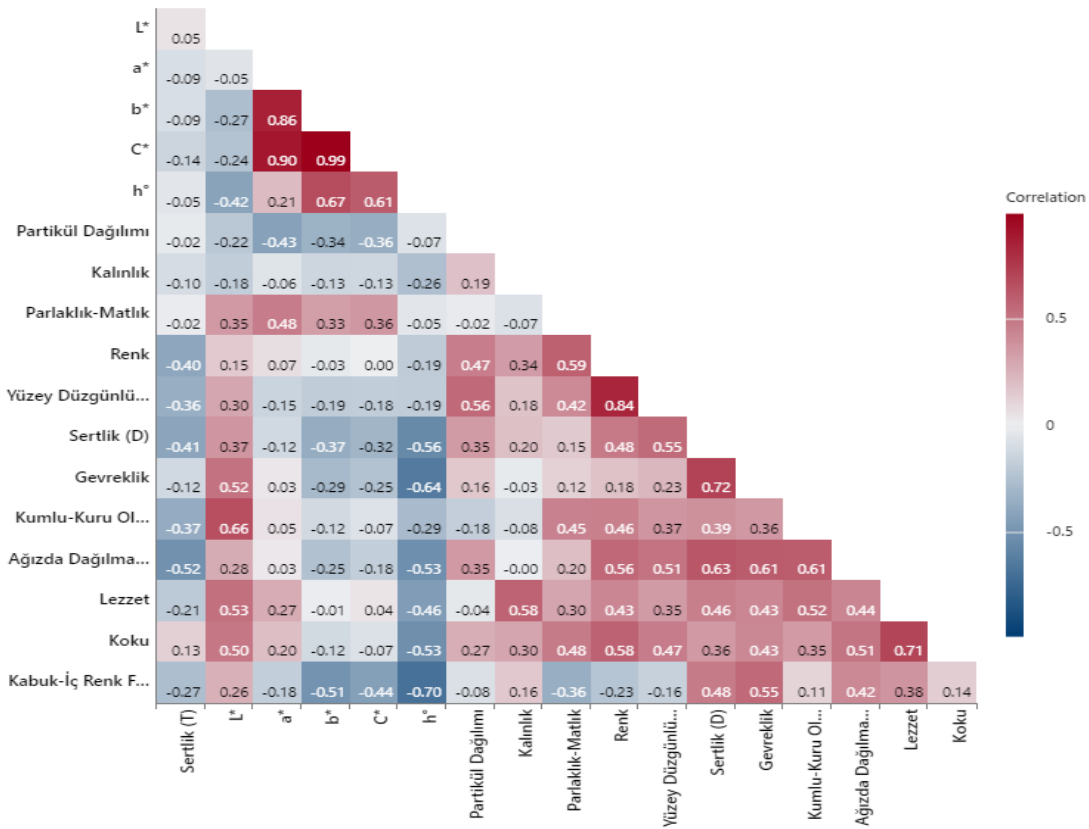
Figure 5. Texture and mouth feeling, flavour and odour scores of vegetable and fruit-based oat bar samples

Şekil 6, meyve ve sebze bazlı yulaflı bar örneklerinde ölçülen ve hesaplanan parametreler arasındaki pozitif ve negatif doğrusal korelasyonları ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, renk, duysal ve tekstürel parametreler arasında birçok anlamlı pozitif ve negatif doğrusal ilişki tespit edilmiştir. Renk parametreleri arasında C^* ile b^* ($R^2=0.99$), C^* ile a^* ($R^2=0.90$) ve a^* ile b^* ($R^2=0.86$) arasında yüksek düzeyde pozitif korelasyonlar belirlenmiştir. Buna karşılık, h° ile kabuk-iç renk farkı ($R^2=-0.70$) arasında yüksek düzeyde negatif bir ilişki gözlenmiştir.

Duyusal parametreler arasında yüzey düzgünlüğü ile renk ($R^2=0.84$), gevreklik ile sertlik (D) ($R^2=0.72$) ve lezzet ile koku ($R^2=0.71$) arasında yüksek pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir. Ayrıca, lezzet ile kalınlık ($R^2=0.58$) arasında orta

düzeyde pozitif bir ilişki saptanmıştır. Ağızda dağılmama, sertlik ile ($R^2=0.63$), gevreklik ile ($R^2=0.61$) ve kumlu-kuru olmama ile ($R^2=0.61$) arasında orta düzeyde pozitif korelasyon göstermiştir.

Bu çalışmaya ek olarak, atıştırmalık barların fiziko-kimyasal özellikleri arasındaki korelasyonları inceleyen başka bir çalışmada benzer bulgular rapor edilmiştir. Söz konusu çalışmada, L^* değerinin a^* ile negatif, b^* ile ise pozitif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, sertliğin kırılmalık ile negatif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir (Zulaikha vd., 2021). Bu bulgular, çalışmamızda elde edilen renk ve tekstürel özellikler arasındaki ilişkileri desteklemekte ve literatürdeki mevcut verilerle uyumlu olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneklerinin korelasyon analizi
Figure 6. Correlation analysis of vegetable and fruit-based oat bar samples

Bununla birlikte, sertlik (T) parametresi, sertlik (D) ile ($R^2=-0.41$), renk ile ($R^2=-0.40$) ve ağızda dağılmama ile ($R^2=-0.52$) arasında negatif yönde zayıf bir ilişki sergilemiştir. Bu durum, sertliğin tanımlanmasında enstrümantal analiz ile duyuşal değerlendirme arasında farklı mekanizmaların etkili olmasından kaynaklanabilir (Wang vd., 2007). Panelistler, duyuşal sertlik algısını yalnızca uygulanan kuvvetin büyüklüğüne göre değil, aynı zamanda ürünün yüzey özellikleri, yapısal bütünlüğü ve elastikiyet gibi çok yönlü fiziksel niteliklerine dayanarak değerlendirmektedir. Bu durum, duyuşal analizlerin bireysel algıya bağlı olarak değişebileceğini ve çok boyutlu bir değerlendirme süreci içerdiğini göstermektedir. Buna karşın, tekstür analiz cihazları, belirli bir kuvvet, sıkıştırma veya penetrasyon testine dayalı olarak sertliği objektif ve tekrarlanabilir bir şekilde ölçmektedir. Bu farklılık, duyuşal ve enstrümantal sertlik ölçümleri arasındaki olası sapmaları açıklamaktadır (Bland vd., 2018).

Bu bulgular, meyve ve sebze bazlı yulaflı barların duyuşal ve fiziksel özellikleri arasındaki karmaşık ilişkilerin daha iyi anlaşılmasına ve ürün geliştirme çalışmalarında etkili stratejiler belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Temel Bileşen Analizi (PCA)

Temel bileşen analizi, büyük veri kümelerinin boyutluluğunu azaltmak ve sonuçların daha anlamlı bir şekilde yorumlanmasını kolaylaştırmak için kullanılmıştır. İstatistiksel analiz için tutulması gereken faktör sayısı, veri setinin yanı sıra açıklanan varyans miktarına da bağlıdır (Cozzolino vd., 2019).

Şekil 7'ye göre, yükleme grafiğindeki her nokta bir değişkenin (Tekstür, Renk ve Duyuşal parametreler) skora katkısını temsil ederken, skor grafiğindeki her nokta test edilen bir örneği temsil etmektedir. Temel bileşen analizinde, analizin güvenilirliğini korumak için özdeğerleri 1.00'den büyük olan bileşenler korunmuştur. İlk beş temel bileşenin varyasyonların sırasıyla %28.2, %20.1, %15.3, %13.6 ve %8.0'ini açıkladığı ve varyasyonun kümülatif oranının toplam varyansın %85.2'sine karşılık geldiği bulunmuştur (Çizelge 10). PCA'da, orijinal verilerden iki temel bileşen

oluşturulmuş ve varyasyonun %48.3'ünü açıklamıştır (PC1-%28.2 ve PC2-%20.1).

Temel Bileşen Analizi (PCA) sonuçlarına göre, Temel Bileşen 1 (PC1), duyuşal parametreler ve L^* değeri ile pozitif bir korelasyon gösterirken, sertlik (T), a^* , b^* , C ve b^* değerleri ile negatif bir korelasyon sergilemiştir. PC2 seviyesinde ise partikül dağılımı, yüzey düzgünlüğü, kumlu-kuru olmama, lezzet ve koku gibi değişkenler pozitif yönde etkili olmuştur. Diğer parametreler PC2 düzeyinde negatif bir etki göstermiştir. Vektör yönünde ilerledikçe, ilgili niteliklerin değeri artmakta ve bu konumdaki örnekler söz konusu nitelikler ile karakterize edilmektedir. Vektörün ters yönü ise, bu niteliklerde ters bir korelasyona işaret etmektedir.

Şekil 8'de sunulan PCA analizinin skor grafiği, bar örneklerinin PC1 ve PC2 eksenleri boyunca nasıl konumlandığını göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere, 6, 7 ve 9 numaralı örnekler PC1 boyunca yüksek korelasyon sergilemiş ve duyuşal parametrelerde yüksek değerlere sahip olacak şekilde kümelenmiştir. Buna karşın, 2 (95 °C, %25 ve 1 cm), 14 (65 °C, %25 ve 1.5 cm) ve 15 (65 °C, %35 ve 0.5 cm) numaralı örnekler PC1'e negatif katkı sağlamış ve özellikle renk parametrelerinde yüksek değerler göstermiştir. Bu durum, renk parametrelerinin (C^* ve b^*) özellikle 14 ve 15 numaralı örneklerde yüksek olmasının, düşük kurutma sıcaklığı (65 °C) ve ürün kalınlığı gibi işleme koşullarıyla ilişkilendirilebileceğini göstermektedir. Düşük sıcaklıkta ve daha uzun sürede gerçekleştirilen kurutma işleminin, ürünün renk koruma kapasitesini artırarak daha canlı ve istenen renklerin elde edilmesini sağladığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, 2 numaralı örnek, yüksek sıcaklıkta (95 °C) kurutulmuş olmasına rağmen benzer bir etki göstermemiştir. Bu durumun, yüksek sıcaklık koşullarının pigment bozunmasını hızlandırarak renk parametreleri üzerinde olumsuz etkilere neden olmasıyla açıklanabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca, 5, 8 ve 10 numaralı örnekler PC2 eksenini boyunca pozitif katkı yaparken, 1, 3, 4, 11, 12 ve 13 numaralı örnekler negatif katkıda bulunmuştur. Bu bulgular, elde edilen tüm değişkenler için gözlemlenen sonuçlarla tutarlıdır ve önceki

bölümlerde tartışılan verilerle uyum içindedir. PCA analizi, bar örneklerinin kimyasal ve duyuşsal profillerini belirgin bir şekilde ayırt etmiş ve çeşitli parametrelerin dağılımı hakkında kapsamlı bir perspektif sunmuştur. Bu analiz aynı zamanda

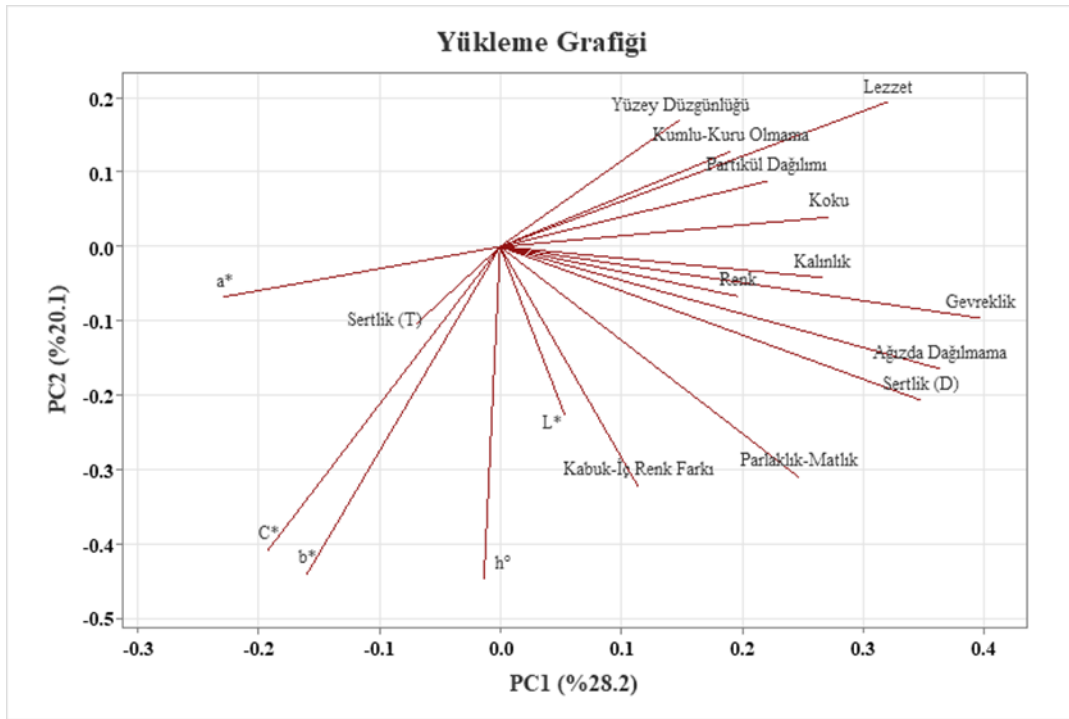
belirli ön işlem koşullarının bu profiller üzerindeki önemli etkisini de açık bir şekilde ortaya koymuştur.

Çizelge 10. Beş temel bileşene kadar açıklanan varyans oranları
Table 10. % Variance ratios explained up to 5 principal components

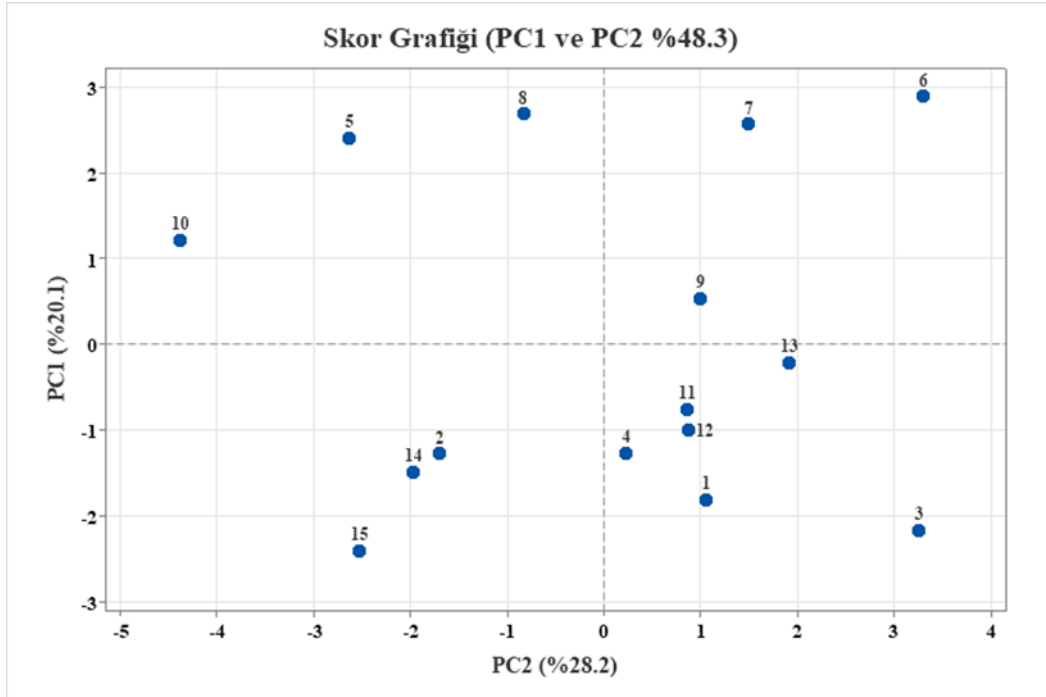
Değişken <i>Variable</i>	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Özdeğer <i>Eigenvalue</i>	5.0845	3.6016	2.7532	2.4548	1.4377
Yüzde (%) <i>Percent (%)</i>	28.2	20.1	15.3	13.6	8.0
Kümülatif <i>Cumulative</i>	28.2	48.3	63.6	77.2	85.2
<i>L*</i>	0.053	-0.226	-0.211	0.430	0.101
<i>a*</i>	-0.229	-0.068	0.006	-0.512	0.077
<i>b*</i>	-0.160	-0.440	0.051	-0.217	-0.138
<i>C*</i>	-0.192	-0.407	0.059	-0.262	-0.111
<i>b°</i>	-0.013	-0.445	0.090	0.264	-0.102
Sertlik (N)* <i>Hardness (N)*</i>	-0.069	-0.104	0.436	0.259	-0.051
Partikül Dağılımı <i>Particle distribution</i>	0.220	0.088	0.317	-0.115	0.049
Kalınlık <i>Thickness</i>	0.267	-0.042	-0.145	0.051	0.554
Kabuk-İç Renk Farkı <i>Crust-interior color difference</i>	0.114	-0.321	-0.186	-0.211	0.454
Parlaklık-Matlak <i>Gloss-Mattness</i>	0.247	-0.310	0.303	0.069	0.090
Renk <i>Color</i>	0.196	-0.066	0.475	-0.143	0.068
Yüzey Düzgünlüğü <i>Surface smoothness</i>	0.148	0.169	0.423	0.069	0.285
Sertlik** <i>Hardness**</i>	0.348	-0.206	-0.208	0.010	-0.098
Gevreklik <i>Crispness</i>	0.397	-0.096	-0.148	0.052	-0.173
Kumlu-Kuru Olmama <i>Dryness</i>	0.191	0.128	0.043	-0.387	-0.003
Ağızda Dağılmama <i>Disintegration in the mouth</i>	0.363	-0.164	-0.060	-0.199	-0.138
Lezzet <i>Flavor</i>	0.320	0.194	-0.156	-0.136	-0.098
Koku <i>Odor</i>	0.272	0.040	0.066	-0.004	-0.511

*Sertlik (N) tekstür parametresi, **Sertlik duyuşsal parametresi

*Hardness (N) texture parameter, **Hardness sensory parameter



Şekil 7. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneklerinin PCA-yükleme grafiği
Figure 7. PCA-loading plot of vegetable and fruit-based oat bar samples



Şekil 8. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar örneklerinin PCA-skor grafiği
Figure 8. PCA-score plot of vegetable and fruit-based oat bar samples

Modellerin Uyumlandırılması ve Yanıtların Matematiksel Modelleri

Sebze ve meyve bazlı yulaflı barlarının bağımsız değişkenlerinin (bar kalınlığı, kurutma sıcaklığı ve

son ürünün nem içeriği) kurutma süresi, tekstür parametresi olarak sertlik ve duyu analizi parametresi olan genel kabul edilebilirlik üzerine olan etkileri Çizelge 11’de sunulmuştur.

Çizelge 11. Bağımsız değişkenlerinin yanıtlara olan etkisi
Table 11. Effect of independent variables on responses

Örnek Sample	Sertlik (N) Hardness (N) (Y ₂)	Kurutma zamanı (dk) Drying time (min) (Y ₁)	Genel kabul edilebilirlik General acceptability (Y ₃)
1	0.35±0.01 ^{i*}	130	3.50±0.70 ^{ab}
2	1.55±0.05 ^a	150	3.30±1.05 ^{ab}
3	0.68±0.02 ^f	70	4.30±0.82 ^a
4	1.49±0.03 ^b	90	3.60±1.17 ^{ab}
5	0.41±0.01 ^h	265	3.10±1.10 ^b
6	0.42±0.02 ^h	230	3.80±0.78 ^{ab}
7	0.66±0.02 ^f	230	3.50±0.84 ^{ab}
8	0.48±0.01 ^g	230	3.60±1.17 ^{ab}
9	0.23±0.01 ⁱ	165	3.60±1.17 ^{ab}
10	1.13±0.04 ^d	130	3.20±1.31 ^b
11	0.88±0.03 ^e	285	4.00±0.94 ^{ab}
12	1.30±0.05 ^c	165	4.00±0.66 ^{ab}
13	0.35±0.02 ⁱ	150	3.80±1.03 ^{ab}
14	0.35±0.02 ⁱ	310	3.00±0.94 ^{ab}
15	0.25±0.01 ⁱ	85	3.40±0.96 ^{ab}

*Sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak önemli farklılıkları temsil etmektedir ($P<0.05$)

*Different letters in the columns indicate statistically significant differences ($P<0.05$)

Belirlenen kriterler doğrultusunda, kurutma süresini (dk) tahmin etmek için en uygun model kuadratik model olarak belirlenmiş; bar numunelerinin sertlik (N) parametresi ve duyu analizi için genel kabul edilebilirlik parametresi için ise indirgenmiş kübik model en uygun model olarak değerlendirilmiştir. Bu modellerin istatistiksel anlamlılığı, P -değerlerinin 0.05’ten küçük olmasıyla gösterilmiştir. Tüm modeller için uyum eksikliği istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($P > 0.05$). Yüksek R^2 ve düzeltilmiş R^2 değerleri, deneysel ve tahmin edilen sonuçlar arasında kuvvetli bir korelasyon olduğunu ortaya koymaktadır (Çizelge 12).

Deneysel tasarıma göre belirlenen koşullar altında kurutulan bar numunelerinin kurutma zamanları Çizelge 11’de verilmiştir. Sonuçlara göre, 3. koşul ile üretilen barlar en hızlı kuruyan örnek olmuştur.

En yavaş kuruyan numune ise 14. koşul ile üretilen barlar olmuştur. 14. koşul ile üretilen barların kurutma sıcaklığı (65 °C) ve nem içeriği (%25 nem), deney tasarımında belirlenen minimum koşullarda gerçekleştirilmiştir. Denklem 7’ye göre, kurutma zamanı üzerinde en önemli etkilerden biri kurutma sıcaklığı (X_1) olup, bu değişkenin artışı kurutma süresini anlamlı şekilde azaltmaktadır. Son ürünün nem içeriği (X_2) de benzer şekilde negatif bir etki gösterirken, ürün kalınlığının (X_3) etkisi nispeten daha düşük düzeyde kalmıştır. Ayrıca, bağımsız değişkenler arasındaki etkileşimler (X_1X_2 ve X_1X_3) ve ikinci dereceden etkiler (X_1^2) kurutma zamanını anlamlı şekilde etkilemiştir. Kurutma sıcaklığı ve son ürünün nem içeriği, kurutma zamanını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sonuç beklenen bir durumdur. Nitekim, kurutma prosesi düşük sıcaklıklarda uygulandığında ürünün kurutma

süresi uzamakta; buna karşın, son ürünlerdeki istenen nem içeriği arttıkça, kurutma süresini kısalmaktadır.

Çizelge 12. Regresyon analizi yanıtının özeti
Table 12. Summary of regression analysis response

Regresyon katsayısı <i>Regression coefficient</i>	Kurutma zamanı (dk) <i>Drying time (min)</i>	Sertlik (N) <i>Hardness (N)</i>	Genel kabul edilebilirlik <i>General acceptability</i>
b ₀	+225.12	+0.5963	+3.63
X ₁ Kurutma sıcaklığı (°C) <i>X₁ Drying temperature (°C)</i>	-34.29	+0.1985	-0.0625
X ₂ Son ürünün nem içeriği (%) <i>X₂ Moisture content of the final product (%)</i>	-63.33	-0.3750	+0.1000
X ₃ Bar kalınlığı (cm) <i>X₃ Bar thickness (cm)</i>	+4.74	+0.3907	-1.32
X ₁ X ₂	+26.67	-0.0600	+0.4000
X ₁ X ₃	-21.07	+0.1221	-0.0250
X ₂ X ₃	-6.67	-0.2850	-0.1500
X ₁ ²	-81.80	+0.2227	+0.9042
X ₂ ²	+7.85		-0.7875
X ₃ ²	-5.90		-0.8125
X ₁ X ₂ X ₃		-0.9900	-0.5500
X ₁ ² X ₃			+1.39
Uyum eksikliği <i>Lack of compliance</i>	0.1765	0.1757	0.1727
R ²	0.9710	0.8843	0.9180
Düzeltilmiş R ² <i>Adjusted R²</i>	0.9187	0.7299	0.6174
p değeri <i>p value</i>	0.0025	0.00237	0.0194
Model	Kuadratik <i>Quadratic</i>	İndirgenmiş kübik <i>Reduced cubic</i>	İndirgenmiş kübik <i>Reduced cubic</i>

Kurutma zamanı

$$(Y_1) = 225.12 - 34.29X_1 - 63.33X_2 + 4.74X_3 + 26.67X_1X_2 - 21.07X_1X_3 - 6.67X_2X_3 - 81.80X_1^2 + 7.85X_2^2 - 5.90X_3^2 \quad (7)$$

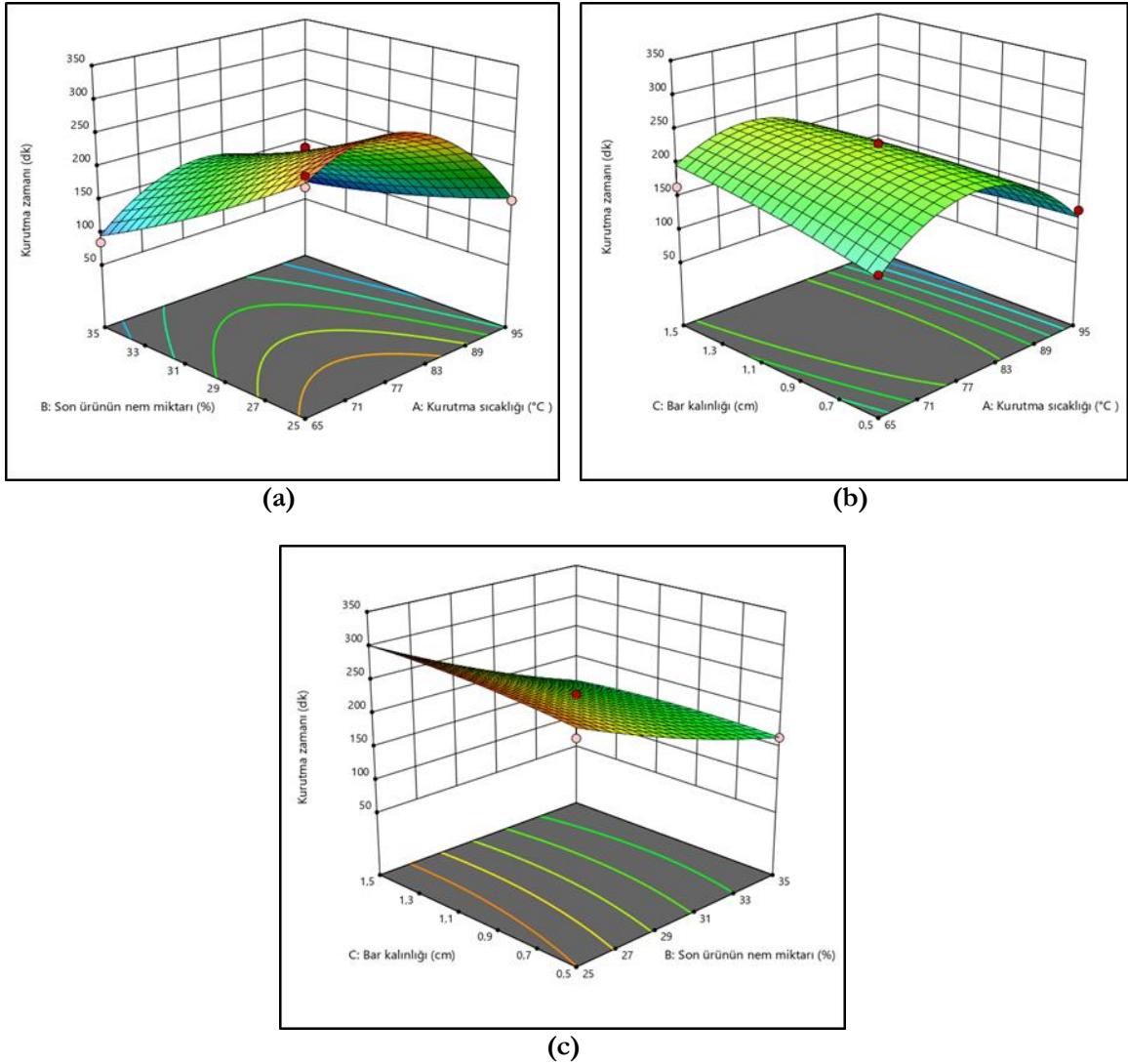
Denklem 7’de, bar kalınlığı ile kurutma süresi arasında pozitif bir ilişki olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, bar kalınlığı arttıkça kurutma süresinin de artacağını ortaya koymaktadır. Çalışmamızda bar kalınlığı 1.5 cm olarak belirlenen 14. koşuldan elde edilen örneğin kurutma süresinin, diğer numunelere göre daha uzun olması da dikkat çekicidir. Nitekim, deneysel tasarımı belirlenen en yüksek bar kalınlığı 1.5

cm’dir. Bu bulgular, kurutma zamanı üzerinde bar kalınlığı ve sıcaklığın kritik bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 9-a, kurutma zamanının son ürün nemi üzerindeki etkisini göstermektedir. Grafikte gözlemlendiği üzere, her iki parametredeki artış, kurutma zamanının azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 9-b, artan bar kalınlığının kurutma zamanı üzerindeki olumlu etkisini yansıtmaktadır; bu durum beklenen bir sonuçtur. Şekil 9-b ile Şekil 9-c’nin karşılaştırılması, kurutma zamanı üzerinde bar kalınlığının yanı sıra son ürün neminin de belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya

koymaktadır. Bu bulgu, Denklem 7'de açık bir şekilde ifade edilmiştir. Denklem 7'deki parametre katsayıları incelendiğinde, son ürün neminin ($63.33X_2$) kurutma zamanı üzerindeki etkisinin, kurutma sıcaklığının ($34.20X_1$) etkisinden daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Özkan-Karabacak vd., (2023) çalışmasında, portakal dilimleri 60, 70 ve 80 °C sıcaklıklarda sıcak hava kurutucusunda kurutulmuştur. Bu çalışmada, ince tabaka kurutma davranışı değerlendirilmiş ve kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte kuruma süresinin kısaldığı

rapor edilmiştir. Benzer bir çalışmada, patates dilimleri 50, 60 ve 70 °C sıcaklıklarda, farklı hava hızlarında (0.6, 0.7 ve 0.8 m/s) ve dilim kalınlıklarında (2, 4 ve 6 mm) konvektif hava kurutucusunda kurutulmuştur. Bu çalışmada da kuruma süresinin artan kurutma sıcaklığı ile kısaldığı bildirilmiştir (Al Faik vd., 2024). Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular literatürde rapor edilen çalışmalarla uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 9. Kurutma sıcaklığı, son ürünün nem içeriği ve bar kalınlığının kurutma zamanı üzerindeki etkilerini gösteren 3D yüzey grafikleri

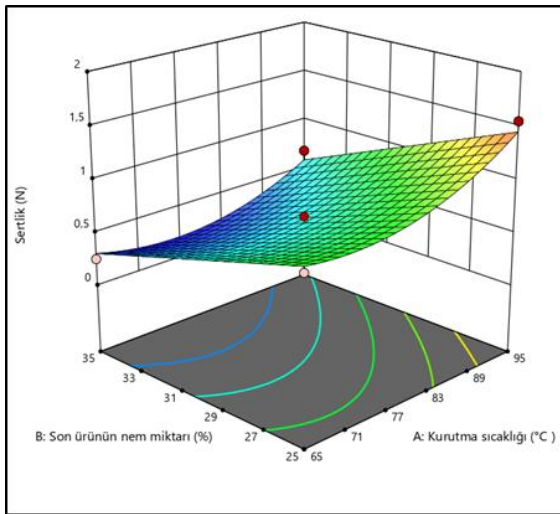
Figure 9. 3D surface graphs showing the effects of drying temperature, moisture content of the final product and bar thickness on drying time

Sertlik

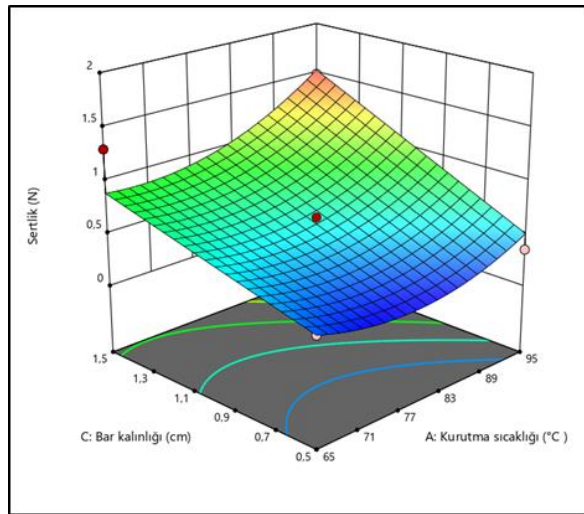
Sertlik parametresi, gıdaların dokusal özelliklerini belirlemede önemli bir gösterge olup, özellikle atıştırılabilir ürünler gibi katı formdaki gıdalarda tüketici kabulünü etkileyen temel bir kriterdir (Jaworska ve Hoffmann, 2008). Sertlik değeri, ürünün yapısal bütünlüğü ve stabilitesi ile doğrudan ilişkilidir. Sebze ve meyve bazlı yulaflı bar numuneleri, sertlik parametresi açısından analiz edilmiş olup, sonuçlar Çizelge 11'de sunulmuştur. Bar numunelerinde sertlik, ürünün kuruma sıcaklığı nem içeriği ve kalınlık gibi çeşitli işlem koşullarına bağlı olarak değişim göstermiştir. En yüksek sertlik değerine sahip numune 2. koşul ile üretilen bar olarak belirlenmiştir. Bu örneğin kurutma sıcaklığı 95 °C ile en yüksek seviyede olup, son ürün nem içeriği %25 ile en düşük düzeydedir. En düşük sertlik değerine sahip numune ise 9. koşul ile üretilen bardır. Bu numunenin öne çıkan iki özelliği, %35 ile maksimum nem içeriğine sahip olması ve minimum kalınlığının 0.5 cm olmasıdır. Denklem 8'e göre, sertlik (Y_2) üzerinde en önemli etkilerden biri ürün kalınlığı (X_3) olup, bu değişkenin artışı sertliği anlamlı şekilde artırmaktadır. Kurutma sıcaklığı (X_1) da sertlik üzerinde pozitif bir etki gösterirken, son ürünün nem içeriği (X_2) sertliği azaltıcı bir etki yapmaktadır. Bu bulgular, bar numunelerinin sertliği ile kurutma sıcaklığı arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Buna göre, kurutma sıcaklığının artışı, sertlik parametresinin artmasına yol açmaktadır.

$$(Y_2) = 0.5963 + 0.1985X_1 - 0.3750X_2 + 0.3907X_3 - 0.0600X_1X_2 + 0.1221X_1X_3 - 0.2850X_2X_3 + 0.2227X_1^2 - 0.9900X_1X_2X_3 \quad (8)$$

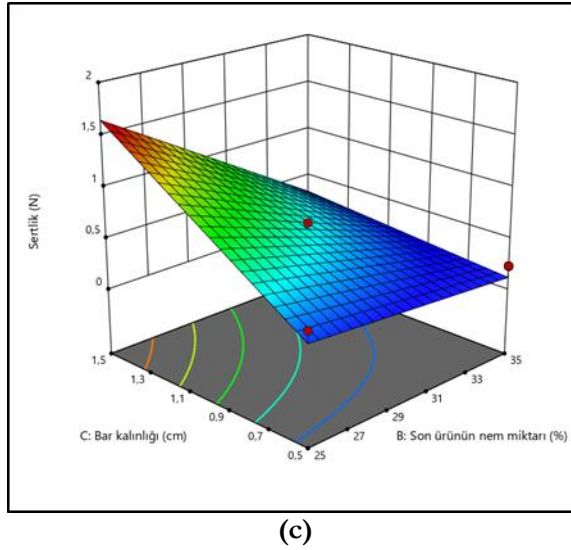
Şekil 10, Denklem 8'e benzer bir şekilde, kurutma sıcaklığı ile sertlik arasındaki pozitif ilişkiyi görsel olarak ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, bar kalınlığı ile sertlik arasında da doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Bununla birlikte, son ürün nemi ile numunelerin sertliği arasında ters bir ilişki gözlemlenmiştir; yani son ürün nem içeriği azaldıkça, numunelerin sertliğinde artış meydana gelmiştir. Deneysel veriler, parametrelerin etkileşimlerinin numunelerin sertliği üzerindeki etkilerini de ortaya koymuştur. Kurutma sıcaklığı ile son ürün nemi arasındaki etkileşimin yanı sıra, son ürün nemi ile bar kalınlığı etkileşiminin sertlik ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, kurutma zamanı ve bar kalınlığı etkileşimi sertlik ile pozitif bir korelasyon sergilemektedir. Daha yüksek kurutma sıcaklıkları, genellikle nemin daha hızlı uzaklaştırılması ve ürünün sertleşmesi ile sonuçlanırken, daha yüksek son ürün nem içeriğine sahip numunelerde buharlaşma daha sınırlı olup, ürün daha yumuşak bir doku kazanabilir. Bu nedenle 2. Koşul ile üretilen barların yüksek sertlik değerleri, yüksek kurutma sıcaklığına ve düşük nem içeriğine bağlanabilirken, 9.koşul ile üretilen barların düşük sertlik değerleri daha yüksek nem içeriğine (%35) sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 10. Kurutma sıcaklığı, son ürünün nem içeriği ve bar kalınlığının sertlik (N) üzerindeki etkilerini gösteren 3D yüzey grafikleri

Figure 10. 3D surface graphs showing the effects of drying temperature, moisture content of the final product and bar thickness on hardness (N)

Çalışmamızda barların sertlik değerleri 0.23-1.55 N arasında değişmektedir. Meyve bazlı fonksiyonel atıştırmalık barlarda kontrol, diyet lifi ve inülin ilaveli barların sertlik değerleri 44.05 ile 62.22 N arasında değişim göstermiştir (Sun-Waterhouse vd., 2010). Literatürde, domates suyu, domates tozu, düşük metoksillenmiş pektin ve bezelye protein izolatu kullanılarak hazırlanan domates bazlı atıştırmalık barların sertlik değerlerinin ise 10.6 ile 86.6 N arasında raporlandığı bildirilmektedir (Gul vd., 2024). Çalışmamızda elde edilen barların sertlik değerleri, bu literatürdeki sonuçlara kıyasla daha düşük bulunmuştur. Ayrıca, domates bazlı barların %8'in altında nem seviyesine kadar kurutulduğu belirtilmişken, çalışmamızda elde edilen en düşük nem değeri %25 olarak saptanmıştır. Bu farklılık, artan nem içeriğinin sertliği azaltması ile açıklanabilir. Ayrıca bu çalışma kapsamında gözlemlendiği gibi, literatürde yapılan çalışmalarda artan kurutma sıcaklığı ile kurutulmuş malzemenin sertliğinin arttığı raporlanmıştır (Zhang vd., 2019; Pashazadeh vd., 2024). Sonuç olarak, sertlik parametresinin etkin bir şekilde kontrolü, barların tüketici beklentilerine daha iyi yanıt vermesini sağlayarak pazar rekabetinde önemli bir avantaj yaratabileceği belirtilebilir.

Genel kabul edilebilirlik

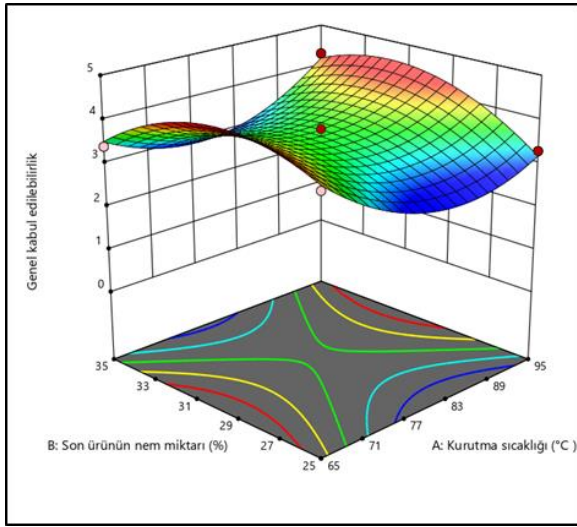
Denklem 9'a göre, genel kabul edilebilirlik (Y_3) üzerinde en önemli etkilerden biri ürün kalınlığı (X_3) olup, bu değişkenin artışı kabul edilebilirliği önemli ölçüde azaltmaktadır. Kurutma sıcaklığı (X_1) ve nem içeriği (X_2) ise, sırasıyla pozitif ve negatif etkiler yapmaktadır. Kurutma sıcaklığı ile nem içeriği arasındaki etkileşim (X_1X_2) kabul edilebilirliği artırırken, kurutma sıcaklığı ile ürün kalınlığı arasındaki etkileşim (X_1X_3) olumsuz bir etki yaratmaktadır. Ürün kalınlığı ile nem içeriği arasındaki etkileşim (X_2X_3) de kabul edilebilirliği azaltmaktadır. İkinci dereceden etkilerde, kurutma sıcaklığının karesi (X_1^2) ve ürün kalınlığının karesi (X_3^2) genel kabul edilebilirliği artırırken, nem içeriğinin karesi (X_2^2) olumsuz bir etki yapmaktadır.

Denklem 9'a ve Şekil 11'e dayanan bulgular, son ürünün nem miktarı ile panelistler tarafından duyusal olarak değerlendirilen genel kabul edilebilirlik parametresi arasında pozitif bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Bu ilişki, son ürünün nem miktarındaki artışla birlikte duyusal panelistlerin genel kabul edilebilirlik kriterlerinin de olumlu bir şekilde yükseldiğini göstermektedir.

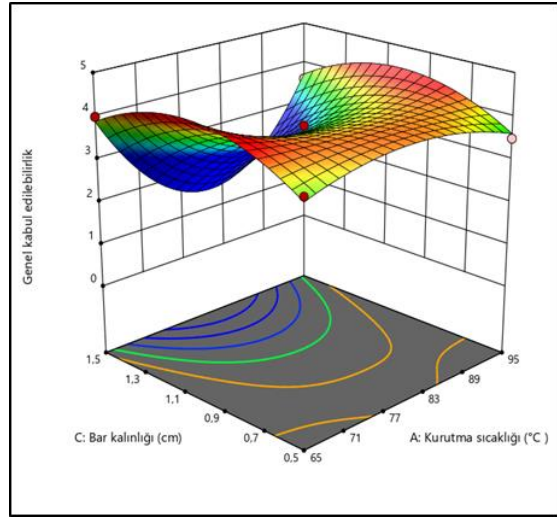
$$(Y_3) = 3.63 - 0.0625X_1 + 0.1000X_2 - 1.32X_3 + 0.4000X_1X_2 - 0.0250X_1X_3 - 0.1500X_2X_3 + 0.9042X_1^2 - 0.7875X_2^2 - 0.8125X_3^2 - 0.5500X_1X_2X_3 + 1.39X_1^2X_3 \quad (9)$$

Ancak, kurutma sıcaklığı ve bar kalınlığının genel kabul edilebilirlik üzerinde olumsuz bir etki yarattığı gözlenmiştir. Özellikle, genel kabul edilebilirlik parametresinde en düşük puanı alan

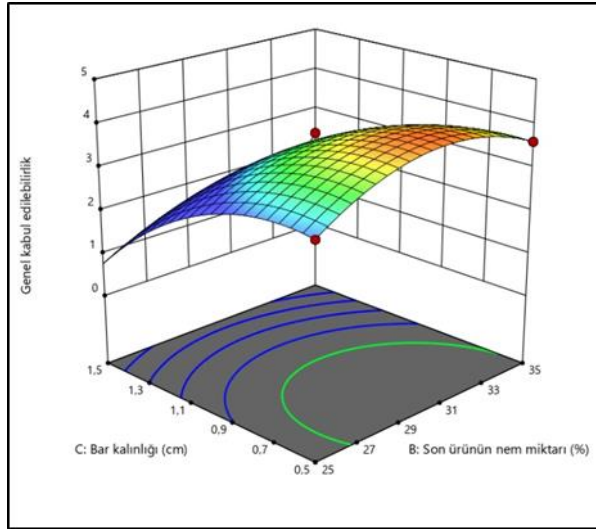
14. koşulla üretilen bar, hem en düşük kurutma sıcaklığı (65 °C) hem de deney tasarımında belirlenen en düşük son ürün nem içeriği (%25) ile ilişkilidir. Ek olarak, bar kalınlığının maksimum değeri 1.5 cm olarak belirlenmiş olup, bu durum elde edilen sonuçların denklem ile olan paralellliğini desteklemektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 11. Kurutma sıcaklığı, son ürünün nem içeriği ve bar kalınlığının duyusal analizin genel kabul edilebilirlik parametresi üzerindeki etkilerini gösteren 3 boyutlu yüzey grafikleri

Figure 11. 3D surface graphs showing the effects of drying temperature, moisture content of the final product and bar thickness on general acceptability parameter of sensory analysis

Bağımsız Değişkenlerin Seviyelerinin Optimizasyonu

Bağımsız değişkenler, sebze ve meyve bazlı yulaflı barların kalite özelliklerini iyileştirmek için sistematik olarak optimize edilmiş ve tüm yanıtların son ürün üzerindeki etkileri

değerlendirilmiştir. Kullanılan kriterler, hem deneysel hem de tahmin edilen yanıtlarla birlikte Çizelge 13'de sunulmuştur. Tüm yanıtlar için optimum koşullar 95 °C kurutma sıcaklığı (X₁), %33.96 son ürün nem içeriği (X₂) ve 1.06 cm bar kalınlığı (X₃) olmuştur.

Çizelge 13. Proses koşulları için optimizasyon kriterleri

Table 13. Criteria for optimization for process conditions

	Hedef Target	Alt sınır Lower bound	Üst Sınır Upper bound	Öngörülen durum Predicted situation	Deneysel durum Experimental situation
Kurutma zamanı (dk) Drying time (min)	minimum minimize	70	310	82.075	85
Sertlik (N) Hardness (N)	minimum minimize	0.23	1.55	0.610	0.66
Genel kabul edilebilirlik General acceptability	maksimum maximize	3	4.3	4.300	4.30

İstenirlik değeri = 0.878

Desirability value = 0.878

SONUÇ

Çalışma kapsamında elde edilen deneysel sonuçlar, kurutma sıcaklığının, son ürün nem içeriğinin ve bar kalınlığının kurutma süresi, tekstür analizindeki sertlik parametresi ve duysal özellikler üzerindeki genel kabul edilebilirlik açısından anlamlı etkiler yarattığını göstermiştir. Optimizasyon sonucunda, 95 °C kurutma sıcaklığı, %33.96 son ürün nem içeriği ve 1.06 cm bar kalınlığı, optimum koşullar olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kurutma modelleme analizleri, Page ve Modifiye Page modellerinin en uygun modeller olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışma, sebzelerden üretilen sağlıklı atıştırmalıkların, özellikle sebze tüketiminde zorluk yaşayan tüketiciler için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Sebzelerin genellikle tercih edilmeyen tatlarının, lezzetli ve pratik formlarda sunulması, sağlıklı beslenme alışkanlıklarının yaygınlaşmasına katkıda bulunabilir. Üretilen atıştırmalıklar, sebzelerin tat ve koku faktörlerini maskeleyen biyoaktif bileşenlerle zenginleştirilmiş olup, sınırlı sebze tüketimi olan bireylere hitap etmektedir. Ürünlerin kolay taşınabilirliği ve uzun raf ömrü, geleneksel şekerli ve yüksek yağlı atıştırmalıklara sağlıklı bir alternatif oluşturarak, obezite gibi beslenme ile ilişkili sağlık sorunlarını azaltmaya

yardımcı olabilecektir. Sebzelerin atıştırmalık formunda sunulması, besleyici bir seçenek olarak gıda pazarında yer bulma potansiyeline sahiptir. Tüketicilerin bu ürünlerin faydaları hakkında bilinçlendirilmesi, ebeveynlerin çocuklarına sağlıklı alternatifler sunmasına olanak tanıyacaktır. Sebze ve meyve bazlı yulaflı atıştırmalık barlarda kestane unu kullanımı, glutensiz yapısının sağladığı avantajların yanı sıra ürünün tekstürel bütünlüğünü artırarak dilimlenebilirliğini ve homojen yapısını desteklemektedir. Yüksek diyet lifi içeriği, barın besin değerini artırırken, düşük yağ oranı ise sağlıklı bir atıştırmalık olarak tüketici tercihlerini karşılamaktadır. Bu özellikler, kestane ununun sebzeli bar üretiminde önemli bir bileşen olarak kullanılabileceğini ve özellikle glutensiz ürünlere yönelik talepleri karşılamada değerli bir katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Hurmanın doğal tatlandırıcı olarak ürüne dahil edilmesi, sadece ürünün fonksiyonel özelliklerini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda ürün tekstürüne de olumlu katkı sağlamaktadır.

Ayrıca, barlara kurutma işlemiyle kolay taşınabilirlik ve uzun raf ömrü kazandırılmıştır. Bu durum, fonksiyonel ve sağlıklı atıştırmalıkların geliştirilmesine yönelik gelecekteki araştırmalara sağlam bir temel oluşturmakta ve sürdürülebilir

kalkınma stratejileri doğrultusunda yeni ürünlerin formülasyonu için değerli bir kaynak sunmaktadır.

Gelecek araştırmalar, sebze bazlı atıştırmalıkların besin değerini ve tüketici kabulünü artırmak amacıyla yeni formülasyonlar üzerinde yoğunlaşabilir. Bitkisel bileşenlerin ve doğal tatlandırıcıların kullanımı, ürünlerin lezzet profillerini iyileştirerek tüketici çekiciliğini artırma potansiyeline sahiptir. Bu kapsamda, farklı sebze türlerinin bir araya getirilmesiyle elde edilecek kombinasyonların besin profili ve duyu özellikler üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmelidir. Elde edilen son ürünlerin, biyoaktif bileşenlerinin detaylı karakterizasyonu ve *in-vitro* sindirimi sonrası biyoerişilebilirliği gelecekte yapılan çalışmalarda ele alınacak hususlardır. Bunun yanı sıra, farklı yaş gruplarındaki bireylerin beslenme alışkanlıklarını etkileyen sosyal ve kültürel faktörlerin araştırılması, sebze bazlı atıştırmalıkların pazarlama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Özellikle çocuklar ve gençler gibi belirli demografik gruplara yönelik hedeflenmiş ürün geliştirme süreçleri, bu tür çalışmalarla daha etkili bir şekilde yönlendirilebilir. Ayrıca, sürdürülebilir üretim yöntemlerinin ve döngüsel ekonomi ilkelerinin entegrasyonu, gıda endüstrisinde çevre dostu uygulamaların benimsenmesine yardımcı olabilir. Atık yönetimi ve kaynak verimliliği konularında yapılacak araştırmalar, sebze bazlı ürünlerin çevresel etkilerini azaltarak sektördeki sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlayacaktır. Tüm bu unsurlar, sebze bazlı atıştırmalıkların hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen ürüne TR2021/014423 numarası ile Türk Patent Enstitüsü'ne patent başvurusunda bulunulmuştur.

YAZARLARIN KATKISI

Büşra Acoğlu Çelik: Kavramsal tasarım (eşit); veri düzenleme (eşit); biçimsel analiz (eşit); araştırma (eşit); doğrulama (eşit); yazım – orijinal taslak (eşit); Senanur Durgut Malçok: Kavramsal tasarım

(eşit); veri düzenleme (eşit); biçimsel analiz (eşit); araştırma (eşit); doğrulama (eşit); Perihan Yolcu Ömeroğlu: Fon sağlama (eşit); metodoloji (eşit); doğrulama (eşit); görselleştirme (eşit); yazım – orijinal taslak (eşit); yazım – gözden geçirme ve düzenleme (eşit); Canan Ece Tamer: Metodoloji (eşit); yazım – gözden geçirme ve düzenleme (eşit).

KAYNAKLAR

Abakpa, G. O., Adenaike, O. (2021). Antioxidant compounds and health benefits of citrus fruits. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 13(2): 65-74.

Aggarwal, P., Kaur, S., Kaur, N. (2022). Intermediate moisture kinnow bar from low grade kinnow mandarins: phytonutritional profile, morphological characterization, and storage stability. *Food Bioscience*, 49:101837.

Akter, F., Muhury, R., Sultana, A., Deb, U. K. (2022). A comprehensive review of mathematical modeling for drying processes of fruits and vegetables. *International Journal of Food Science*, 2022(1):6195257.

Alemu, T. T. (2024). Nutritional contribution of fruit and vegetable for human health: A review. *International Journal of Health Policy and Planning*, 3(1): 1-9.

Al Faik, M. A., Roy, M., Azam, M. S., Ahmmed, R., Hoque, M. M., Alam, M. M. (2024). Comprehensive study on potato drying in convective air dryer: experimental observations, mathematical modeling, and model validation. *Measurement: Food*, 14:100170.

Ali, I. M., Forsido, S. F., Kuyu, C. G., Ahmed, E. H., Andersa, K. N., Chane, K. T., ...Regasa, T. K. (2024). Effects of extrusion process conditions on nutritional, anti-nutritional, physical, functional, and sensory properties of extruded snack: A review. *Food Science & Nutrition*, 00:1–7. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4472>

Atik, H., Elvan, M., Harsa, S. (2024). Enhancing a Vegan Snack Bar: Edible Coating Infused with Lentil Protein and Pomegranate Peel. *ACS Food Science & Technology*, 4(10):2374-2383.

- Bhattacharya, M., Srivastav, P., Mishra, H. (2015). Thin-layer modeling of convective and microwave-convective drying of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 52:2013-2022. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1209-2>
- Bignardi, C., Cavazza, A., Corradini, C. (2012). Determination of furosine in food products by capillary zone electrophoresis-tandem mass spectrometry. *Electrophoresis*, 33:2382-2389. <https://doi.org/10.1002/elps.201100582>
- Bland, J. M., Bett-Garber, K. L., Li, C. H., Brashear, S. S., Lea, J. M., Bechtel, P. J. (2018). Comparison of sensory and instrumental methods for the analysis of texture of cooked individually quick frozen and fresh-frozen catfish fillets. *Food Science & Nutrition*, 6(6): 1692-1705.
- Boyer, J., Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*, 3: 1-15.
- Brochard, M., Correia, P., Barroca, M. J., Guiné, R. P. (2021). Development of a new pasta product by the incorporation of chestnut flour and bee pollen. *Applied Sciences*, 11(14):6617.
- Chen, K., Zhang, M., Bhandari, B., Sun, J., Chen, J. (2022). Novel freeze drying based technologies for production and development of healthy snacks and meal replacement products with special nutrition and function: A review. *Drying Technology*, 40:1582-1597. <https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1967375>
- Corzo, O., Bracho, N., Alvarez, C. (2008). Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying. *Journal of Food Engineering*, 87(4):479-484.
- Crank, P. (1975). The mathematics of diffusion, 2nd edn Oxford Univ Press. In: Oxford.
- Dadali, G., Apar, D., Özbek, B. (2007). Estimation of effective moisture diffusivity of okra for microwave drying. *Drying Technology*, 25:1445-1450. <https://doi.org/10.1080/07373930701536767>
- Deng, L.-Z., Yang, X.-H., Mujumdar, A., Zhao, J.-H., Wang, D., Zhang, Q.,... Xiao, H.-W. (2018). Red pepper (*Capsicum annuum* L.) drying: Effects of different drying methods on drying kinetics, physicochemical properties, antioxidant capacity, and microstructure. *Drying Technology*, 36(8):893-907.
- Dimopoulou, M., Vareltsis, P., Floros, S., Androutsos, O., Bargiota, A., Gortzi, O. (2023). Development of a functional acceptable diabetic and plant-based snack bar using mushroom (*Coprinus comatus*) powder. *Foods*, 12(14):2702.
- Doymaz, I. (2006). Thin-layer drying behaviour of mint leaves. *Journal of Food Engineering*, 74:370-375. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.009>
- Doymaz, I. (2011). Drying of Thyme (*Thymus Vulgaris* L.) and Selection of A Suitable Thin-Layer Drying Model. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35:458-465. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00488.x>
- Ertekin, C., Heybeli, N. (2014). Thin-Layer Infrared Drying Of Mint Leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38:1480-1490. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12107>
- Evin, D. (2012). Thin layer drying kinetics of *Gundelia tournefortii* L. *Food and Bioprocess Processing*, 90:323-332. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.07.002>
- FAO. (2024). FAOSTAT: Food and Agriculture Data. Gıda ve Tarım Örgütü. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim tarihi: 01.11.2024).
- García-Martínez, E., Igual, M., Martín-Esparza, M., Martínez-Navarrete, N. (2013). Assessment of the bioactive compounds, color, and mechanical properties of apricots as affected by drying treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 6:3247-3255. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0988-1>
- Ghodsi, S., Nouri, M. (2024). Vegan gummy candies with low calorie based on celery (*Apium graveolens*) puree and boswellia gum (*Boswellia thurifera*). *Food Science & Nutrition*, 12:5785–5798
- Gul, M. R., Ince, A. E., Ozel, B., Uslu, A. K., Çetin, M., Menten, D., ... Oztop, M. H. (2024). Effect of microwave-vacuum drying on the

- physicochemical properties of a functional tomato snack bar. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(1):83-92.
- Gupta, A., Sanwal, N., Bareen, M., Barua, S., Sharma, N., Olatunji, O., ... Sahu, J. (2023). Trends in functional beverages: Functional ingredients, processing technologies, stability, health benefits, and consumer perspective. *Food Research International*, 170:113046. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113046>
- Hastaoğlu, F., Hastaoğlu, E., Bağlam, N., Taş, İ. N. (2023). Sensorial and nutritional properties of a collagen-fortified snack bar designed for the elderly. *Nutrients*, 15(16), 3620.
- Inyang, U. E., Oboh, I. O., Etuk, B. R. (2018). Kinetic models for drying techniques—food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8(2):27-48.
- Işık, B. (2024). Şeker ilavesiz yüksek lifli meyve barı üretimi ve depolama stabilitesi / Production and storage stability of no sugar added fruit bar with high fiber. *Master Thesis*. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 76 s.
- ISO 11132:2012b. Sensory analysis — Methodology — Guidelines for monitoring the performance of a quantitative sensory panel.
- ISO 3972: 2011. Sensory analysis - Methodology - Method of investigating sensitivity of taste.
- ISO 5496: 2006. Sensory analysis – Methodology – Initiation and training of assessors in the detection and recognition of odours.
- ISO 8586: 2012a. Sensory analysis—General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors.
- Jaworska, D., Hoffmann, M. (2008). Relative importance of texture properties in the sensory quality and acceptance of commercial crispy products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(10):1804-1812.
- Jönsson, S. R., Angka, S., Olsen, K., Tolver, A., Olsen, A. (2019). Repeated exposure to vegetable-enriched snack bars may increase children's liking for the bars-but not for the vegetables. *Appetite*, 140:1-9.
- Karabacak, A. Ö., Suna, S., Tamer, C. E., Çopur, Ö. U. (2018). Effects of oven, microwave and vacuum drying on drying characteristics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity of celery slices. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(2):193-205.
- Kıyak, S. N., Dağlı, Y., Zeren, Ü., Arıburnu, M., Gülbandır, A., Dönmez, M., Okur, M. (2014). Fonksiyonel Bir Gıda:“Şifalı Top”. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2(6):277-279.
- Koç, B., Kaymak-Ertekin, F. (2010). Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. *Gıda*, 35(1):1-8.
- Littardi, P., Paciulli, M., Carini, E., Rinaldi, M., Rodolfi, M., Chiavaro, E. (2020). Quality evaluation of chesnut flour addition on fresh pasta. *LWT*, 126:109303.
- Liu, X., Qiu, Z., Wang, L., Cheng, Y., Qu, H., Chen, Y. (2009). Mathematical modeling for thin layer vacuum belt drying of *Panax notoginseng* extract. *Energy Conversion And Management*, 50:928-932. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.12.032>
- Mahomoodally, M. F., Khadaroo, S. K., Hosenally, M., Zengin, G., Rebezov, M., Ali Shariati, M., ... Simal-Gandara, J. (2024). Nutritional, medicinal and functional properties of different parts of the date palm and its fruit (*Phoenix dactylifera* L.)—A systematic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(22): 7748-7803.
- M'hir, S., Rtibi, K., Mejri, A., Ziadi, M., Aloui, H., Hamdi, M., Ayed, L. (2019). Development of a novel whey date beverage fermented with kefir grains using Response Surface Methodology. *Journal of Chemistry*, 1218058. <https://doi.org/10.1155/2019/1218058>
- Mrabet, A., Hammadi, H., Rodríguez-Gutiérrez, G., Jiménez-Araujo, A., Sindici, M. (2019). Date palm fruits as a potential source of functional dietary fiber: A review. *Food Science and Technology*

- Research, 25:1-10.
<https://doi.org/10.3136/fstr.25.1>
- Nandasiri, R.; Semenko, B.; Wijekoon, C., Suh, M. (2023). Air-Frying is a better thermal processing choice for improving antioxidant properties of Brassica vegetables. *Antioxidants*, 12:490.
- Ozkan-Karabacak, A., Durgut-Malcok, S., Tunçkal, C., Tamer, C., Pandiselvam, R. (2023). Optimization of heat pump dryer conditions on bioaccessibility of some secondary metabolites of cornelian cherry-capia pepper pestil. *Journal of Food Biochemistry*, 5443962.
<https://doi.org/10.1155/2023/5443962>
- Özcan, M., Arslan, D., Menges, H. (2018). Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics and mineral contents of dill and parsley. *Iranian Journal Of Chemistry & Chemical Engineering-International English Edition*, 37:237-245.
- Özkan Karabacak, A., Tunçkal, C., Tamer, C. E., Çopur, Ö. U., Yolci Ömeroğlu, P. (2022). Bioaccessibility of total phenolics and antioxidant activity of melon slices dried in a heat pump drying system. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(3):2154-2171.
- Özkan-Karabacak, A., Acoğlu-Çelik, B., Özdal, T., Yolci-Ömeroğlu, P., Çopur, Ö. U., Baştuğ-Koç, A., & Pandiselvam, R. (2023). Microwave-assisted hot air drying of orange snacks: drying kinetics, thin layer modeling, quality attributes, and phenolic profiles. *Journal of Food Biochemistry*, 6531838.
- Parn, O. J., Bhat, R., Yeoh, T. K., Al-Hassan, A. A. (2015). Development of novel fruit bars by utilizing date paste. *Food Bioscience*, 9:20-27.
- Paciulli, M., Rinaldi, M., Cirlini, M., Scazzina, F., Chiavaro, E. (2016). Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *LWT*, 70:88-95.
- Pashazadeh, H., Redha, A., Koca, I. (2024). Effect of convective drying on phenolic acid, flavonoid and anthocyanin content, texture and microstructure of black rosehip fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 125:105738.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105738>
- Ratner, B. (2009). The correlation coefficient: Its values range between+ 1/− 1, or do they? *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, 17(2): 139-142.
<https://doi.org/10.1057/jt.2009.5>
- Roos, Y. H., Roininen, K., Jouppila, K., Tuorila, H. (1998). Glass transition and water plasticization effects on crispness of a snack food extrudate. *International Journal of Food Properties*, 1(2):163-180.
- Santiago-Ramos, R., Silva, C. L., Ramos, I. N. (2022). Modelling and optimization of the processing of a healthy snack bar made of grape and tomato pomaces. *Foods*, 11(17): 2676.
- Sharma, N., Bajwa, J. S., Gautam, N. (2024). Evaluation of improved functional characteristics of Lactobacillus enriched fruit bar prepared from stone fruits of Mid Himalayan belt. *Natural Product Research*, 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.034>
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., İbanoğlu, E., İbanoğlu, Ş. (2008). Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 87(4):554-563.
- Sufer, O., Palazoglu, T. (2019). Microwave-vacuum drying of pomegranate arils (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar): Effect on quality and nutrient content. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43, e14085.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.14085>
- Sun-Waterhouse, D., Teoh, A., Massarotto, C., Wibisono, R., Wadhwa, S. (2010). Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. *Food Chemistry*, 119(4):1369-1379.
- Surendhar, A., Sivasubramanian, V., Vidhyeswari, D., Deepanraj, B. (2019). Energy and exergy analysis, drying kinetics, modeling and quality parameters of microwave-dried turmeric slices. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136:185-197.
- Togrul, H. (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal Of Food*

Engineering, 77:610-619.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.07.020>

Torki-Harchegani, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghanbarian, D., Sadeghi, M., Tohidi, M. (2016). Dehydration characteristics and mathematical modelling of lemon slices drying undergoing oven treatment. *Heat and Mass Transfer*, 52:281-289.

Tunckal, C., Ozkan-Karabacak, A., Tamer, C. E., Yolcu-Omeroglu, P., Goksel, Z. (2022). Mathematical modelling and optimisation of melon slice drying with response surface methodology in a heat pump drying system. *Latin American Applied Research*, 52:101-10.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2024). Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://www.tuik.gov.tr> (Erişim tarihi: 01.11.2024).

Wang, R., Zhou, W., Isabelle, M. (2007). Comparison study of the effect of green tea extract (GTE) on the quality of bread by

instrumental analysis and sensory evaluation. *Food Research International*, 40(4): 470-479.

Wang, C., Tian, S., An, X. (2022). The effects of drying parameters on drying characteristics, colorimetric differences, antioxidant components of sliced chinese jujube. *Heat And Mass Transfer*, 58:1561-1571. <https://doi.org/10.1007/s00231-022-03202-5>

Zhang, L., Qiao, Y., Wang, C., Liao, L., Liu, L., Shi, D., Xu, Q. (2019). Effects of freeze vacuum drying combined with hot air drying on the sensory quality, active components, moisture mobility, odors, and microstructure of kiwifruits. *Journal of Food Quality*, 8709343. <https://doi.org/10.1155/2019/8709343>

Zulaikha, Y., Yao, S. H., Chang, Y. W. (2021). Physicochemical and functional properties of snack bars enriched with tilapia (*Oreochromis niloticus*) by-product powders. *Foods*, 10(8): 1908.

İçindekiler / Content GIDA (2025)50(2)

Araştırmalar (İngilizce) / Researches (English)

Mujdeci, G. N. (2025). *A functional property of a domestic apple isolate: Pulcherrima production by Metschnikowia pulcherrima ELM-GS-3 via waste valorization* / Yerli bir elma izolatının fonksiyonel özelliği: Atıkların değerlendirilmesi yoluyla *Metschnikowia pulcherrima* ELM-GS-3 tarafından pulkerimin üretimi.....165-177

Derin, E., Serdaroglu, M. (2025). *Effect of laurel extract and cooking time on quality and oxidative stability of sous-vide cooked turkey breast* / Defne ekstraktı kullanımı ve pişirme süresinin sous-vide pişirilmiş hindi göğüs eti kalitesi ve oksidatif stabilitesi üzerine etkisi.....201-222

Cinar Topcu, K., Anlar, P., Çakır, Ö., Sefah, A. (2025). *Antioxidant capacity, phenolic compound content, and mineral composition of ethanol extracts from Sorbus aucuparia and Sorbus kusnetzovii* / *Sorbus aucuparia* ve *Sorbus kusnetzovii*'den elde edilen etanol ekstraktlarının antioksidan kapasitesi, fenolik bileşik içeriği ve mineral kompozisyonu.....223-234

Küçükçiftçi, S., Geniş, B., Tuncer, Y. (2025). *Effect of different culture media, initial pH, incubation temperature, and carbon sources on growth and bacteriocin production of Enterococcus mundtii YB6.30* / Farklı kültür besiyeri, başlangıç pH'sı, inkübasyon sıcaklığı ve karbon kaynaklarının *Enterococcus mundtii* YB6.30'un gelişimi ve bakteriyosin üretimi üzerine etkisi.....245-259

Topaloğlu Güman, K., Boğa, T., Berber, D., Aktürk Gümişay, Ö. (2025). *Enrichment of şekerpare dessert with spent coffee ground: Physicochemical, nutritional, sensory and texture characteristics* / Şekerpare tatlısının kullanılmış kahve telvesi ile zenginleştirilmesi: Fizikokimyasal, besinsel, duyuşal ve dokusal özellikleri.....260-274

Acar, O. (2025). *Effect of moisture content on wheat hardness: An SKCS-based study* / Buğday Sertliği Üzerine Rutubet İçeriğinin Etkisi: SKCS Tabanlı Bir Çalışma.....275-283

Araştırmalar (Türkçe) / Researches (Turkish)

Esendemir, Y. D., Yıldız, S., Sıçramaz, H. (2025). *Ultrasound ile modifiye edilen aquafaba protein konsantratinin vegan mayonez üretiminde kullanımı* / *Utilization of ultrasound-modified aquafaba protein concentrate in vegan mayonnaise production*.....147-164

Yazar, G. (2025). *Farklı glutensiz un karışımlarıyla hazırlanmış hamurların düşük (SAOS), orta (MAOS) ve yüksek (LAOS) genlikli salınımlı kayma özellikleri* / *SAOS, MAOS and LAOS properties of gluten-free doughs from different flour blends*.....178-200

Apaydın, D. (2025). *Mısır ununun yağ asitleri bileşimi ve fizikokimyasal kalitesi üzerine gama ışınlamanın etkisi* / *Effect of gamma irradiation on fatty acid composition and physicochemical quality of maize flour*.....235-244

Acoğlu Çelik, B., Durgut Malçok, S., Yolcu Ömeroğlu, P., Tamer, C. E. (2025). *Sebze ve meyve bazlı yulaf bar üretiminin yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu ve kurutma prosesinin modellenmesi* / *Optimization of vegetable and fruit based oatmeal bar production with response surface methodology and modelling of drying process*.....284-316