Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 14(7): 1792-1798, 2026
DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v14i7.1792-1798.8356

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology

Available online, ISSN: 2148-127X | www.agrifoodscience.com | Turkish Science and Technology Publishing (TURSTEP)

Sustainable Packaging Approach: Production of Edible Film from Cold-Pressed Flaxseed Oil Waste and Its Application a Coating on Persimmon Fruit

Perihan Kübra Akman[1*]

[1]*Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34210, İstanbul, Türkiye.*
[*]*Corresponding author*

ARTICLE INFO

Research Article

Received : 13.09.2025
Accepted : 21.11.2025

Keywords:

Flaxseed Gum
Postbiotic
Edible Film And Coating
Food Preservation
Active Packaging

ABSTRACT

The aim of this study is to develop a postbiotic-enriched edible coating using flaxseed gum (FG) obtained from cold-pressed flaxseed oil by-products and to investigate its potential as a bioactive coating material for dried persimmon fruit. The edible coating was prepared by incorporating postbiotics derived from a *Lactiplantibacillus plantarum* culture into the FG matrix and applied as a coating on persimmon fruits. Its effects on microbiological stability and antioxidant properties were evaluated during 28 days of cold storage. The postbiotic-enriched coating significantly inhibited microbial growth ($P<0,05$), resulting in lower counts of total mesophilic aerobic bacteria (TMAB) and yeast-mold (TMK) compared to the control and standard FG coating groups. In addition, the coated fruits exhibited higher total phenolic content (TPC, 127,58±3,89 mg GAE/100 g DM) and antioxidant capacity (TAC, 311,52±13,78 mg TE/100 g DM). All sample groups showed similar total flavonoid content (TFC) ($P>0,05$). These findings suggest that postbiotic-enriched flaxseed gum coatings can serve as effective, natural, and biodegradable coating materials, supporting both food preservation and by-product valorization studies.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 14(7): 1792-1798, 2026

Sürdürülebilir Ambalaj Yaklaşımı: Soğuk Pres Keten Tohumu Yağı Atıklarından Yenilebilir Kaplama Üretimi ve Trabzon Hurmasında Kaplama Olarak Uygulaması

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş : 13.09.2025
Kabul : 21.11.2025

Anahtar Kelimeler:

Keten Tohumu Gamı
Postbiyotik
Yenilebilir Film ve Kaplama
Gıda Muhafaza
Aktif Ambalaj

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, soğuk pres keten tohumu yağı atıklarından elde edilen gam (FG) kullanılarak postbiyotikle zenginleştirilmiş yenilebilir kaplama geliştirmek ve kurutulmuş Trabzon hurması meyvesinde biyoaktif kaplama malzemesi olarak kullanım potansiyelini araştırmaktır. *Lactiplantibacillus plantarum* kültüründen elde edilen postbiyotiğin FG matrisine dahil edilmesi ile elde edilen bu yenilebilir kaplama, Trabzon hurması meyvelerine uygulanmış ve mikrobiyolojik stabilite ve antioksidan özellikler üzerindeki etkileri 28 günlük soğuk depolama süresince değerlendirilmiştir. Postbiyotikle zenginleştirilmiş kaplama, mikrobiyal gelişmeyi önemli ölçüde engellemiş ($P<0,05$) ve kontrol ve standart FG film gruplarına kıyasla daha düşük mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve maya-küf (TMK) sayılarına yol açmıştır. Ayrıca, kaplanmış meyveler daha yüksek toplam fenolik içerik (TFB, 127,58±3,89 mg GAE/100 g KM) ve antioksidan kapasiteye (TAK, 311,52±13,78 mg TE/100 g KM) sahip olmuştur. Bütün örnek grupları toplam flavonoid miktarı (TFM) bakımından benzerlik göstermiştir ($P>0,05$). Bu bulgular, postbiyotikle zenginleştirilmiş keten tohumu gamı kaplamalarının, gıda koruma ve atık değerlendirme çalışmalarını destekleyen etkili, doğal ve biyolojik olarak parçalanabilir kaplama malzemeleri olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

[a] *pkcicek@yildiz.edu.tr* *https://orcid.org/0000-0002-7837-4681*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Giriş

Gıda israfı, çevresel atıkların aşırı artışı ve biyolojik olarak parçalanmayan ambalajların yaygın kullanımı konusundaki küresel endişelerin artması, gıda sektöründe sürdürülebilir ve işlevsel alternatiflerin geliştirilmesi konusunu odak noktası haline getirmiştir (Barros-Velazquez, 2025). Bu amaçla uygulanan stratejilerden biri, çevresel kirliliğin azalmasını sağlayan ve döngüsel ekonomi hedeflerine katkıda bulunan "tarımsal ve endüstriyel gıda atıkların değerlendirilmesi" stratejisidir (Celik ve ark., 2024; Loss, 2018) . Bu gıda atıkları arasında yer alan soğuk pres keten tohumu (*Linum usitatissimum*) yağının elde edilmesinden sonra kalan keten tohumu atığı, doğal bir polisakkarit olan keten tohumu gamı ve biyoaktif bileşikler açısından oldukça zengindir. Genel olarak keten tohumunda %35-45 civarında yağ bulunmaktadır. Geri kalan kısmı ise atık olmakta ve bu atık tohum kaynağına göre %16,26-52,45 karbonhidrat; %6,29-12,9 ham lif; %14,4-41,97 protein ve bunlara ek olarak çeşitli biyoaktif bileşenler içermektedir (Ancuța & Sonia, 2020; Campos-Vega ve ark., 2020; Talwar ve ark., 2025). Keten tohumu yağı atıkları besinsel açıdan oldukça değerli olmasına rağmen çoğu zaman hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir. Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalarda içerdiği bileşenlerin su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi, emülsifikasyon kapasitesi ve aktivitesi gibi farklı işlevsel özellikler sergilediği gösterilmiştir. Bu nedenle hayvan yemi dışında kullanımına yönelik faaliyetler artmaktadır (Campos-Vega ve ark., 2020). Atıklardan gam elde edilmesi suyla ekstraksiyon, filtrasyon ve konveksiyonel kurutma gibi karmaşık olmayan ve düşük maliyetli prosesleri içermektedir. Elde edilen gamların yenilebilir kaplama veya film şeklinde uygulanması da benzer prosesleri içermektedir ve yüksek maliyet gerektirmemektedir. Dolayısı ile çoğu zaman yem olarak veya düşük katma değerli kullanılan bu atıklar "atığı ürüne çevirme" (valorization) mantığı ile ekonomik açıdan pozitif bir etki oluşturabilir. Keten tohumu gamının özellikle kıvam artırıcı, emülsifiye edici ve film oluşturma gibi özelliklere sahip olması, yenilebilir film ve kaplama üretimi açısından cazip bir potansiyeli olduğunu göstermektedir (Kopuz ve ark., 2024; Mueed ve ark., 2022).

Yenilebilir kaplamalar ve filmler, plastik ambalajlara alternatif olarak insan ve çevre için toksik olmayan, gıdaların görünüşünü ve fizikokimyasal özelliklerini korumak için kullanılan doğal ve biyobozunur polimerlerdir (Atlar ve ark., 2024). Yenilebilir kaplama gıda maddesi üzerine püskürtülerek veya sıvı haldeki polimer içine gıda maddesi daldırılarak uygulanırken, yenilebilir film ise önceden ince tabaka halinde hazırlanmış katı film içine gıdanın yerleştirilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Böylelikle nem geçişi, oksidasyon ve mikrobiyal gelişmenin kontrolü sağlanabilmektedir (McHugh, 2000). Yenilebilir film ve kaplamalar et ve et ürünleri, su ürünleri, meyve ve sebzeler, tüketime hazır gıdalar gibi geniş bir ürün yelpazesinde gıda maddelerinin kalitesini korumak, geliştirmek ve raf ömrünü uzatmak amacıyla kullanılmaktadır (Baldwin ve ark., 2011). Ticari olarak satılan ilk yenilebilir kaplama formu 1992 yılında meyvelere uygulanan mumsu kaplamalar olmuştur. Bunu takiben ilerleyen yıllarda elma, çilek, muz, mango gibi farklı meyve türleri ve domates ve *Aloe vera* gibi sebzeler ve bitkiler için de yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Shokri ve ark., 2020). Yenilebilir filmlerin çeşitli uygulamaları arasında, taze meyvelerin kaplanması, hasat sonrası kayıpları azaltmak için etkili bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır (Burun ve ark., 2024). Et ve meyve-sebze gibi bozulmaya karşı daha hassas olan gıda maddelerinde raf ömrünü artırmak ve tüketici sağlığını korumak amacı ile kullanılan yenilebilir kaplamalara antibakteriyel, antifungal ve antioksidan özelliklere sahip çeşitli biyoaktif bileşikler entegre edilebilmektedir. Bu bileşikler ürünün mikrobiyal kalitesini artırmaya ve yağ asitlerinin oksidasyonunu azaltmaya yardımcı olur ve böylelikle raf ömrü boyunca enzimatik esmerleşme ve tekstür değişikliklerinin azalmasını sağlar (Paidari ve ark., 2021; Törnük ve ark., 2025). Bitkisel ekstraktlar ve hidrosoller, kekik ve karanfil gibi bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, kurkumin ve kuersetin gibi antioksidan maddeler bu amaçla kullanılan bileşiklerdir (Baldwin ve ark., 2011). Son yıllarda ise, postbiyotikler sahip olduğu çeşitli biyoaktif özellikler ile çeşitli gıda uygulamalarında kullanılması hususunda dikkat çekmektedir (Amiri & Kazemi, 2022).

"Postbiyotik" terimi ile ilgili literatürde farklı tanımlamalar olmakla birlikte en yaygın kullanılan tanımlama "konakçıya sağlık açısından fayda sağlayan cansız mikroorganizmaların ve/veya bileşenlerinin hazırlanması" şeklindedir (Salminen ve ark., 2021). Probiyotikler yeterli miktarda alındıklarında sağlık açısından yarar sağlayan canlı mikroorganizmaları, prebiyotikler ise yararlı mikroorganizmaların gelişmesini seçici olarak destekleyen substratları ifade ederken, postbiyotikler probiyotiklerin inaktivasyonu sonucu elde edilen ve onların metabolitlerini ve yapısal bileşenlerini içeren ürünlerdir (Tong ve ark., 2025). Probiyotik suşlardan hazırlanan postbiyotikler; kısa zincirli yağ asitleri, oligosakkaritler, bakteriyosinler, enzimler, vitaminler ve organik asitler gibi çeşitli biyolojik bileşenleri içerir. Potansiyel sağlık geliştirici etkilerinin yanı sıra probiyotik bakteri hücrelerine kıyasla daha yüksek stabiliteye, daha iyi güvenliğe ve daha yüksek standardizasyon yeteneğine sahiptirler (Indira ve ark., 2019). Buna paralel olarak, postbiyotiklerin yenilebilir filmlere entegrasyonu önem kazanmıştır. Probiyotiklerin aksine, postbiyotikler metabolik olarak aktiftir ancak etkili olmak için canlılık gerektirmezler ve işleme ve depolama sırasında stabilite sağlarlar (Ramazanidoroh ve ark., 2024). Akman ve ark. (2023) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, sodyum aljinat ile hazırlanan postbiyotik filmler, gelişmiş bariyer ve mekanik özellikler ve önemli antimikrobiyal etki göstermiştir.

Trabzon hurması (*Diospyros kaki*) yüksek su aktivitesi ve yumuşak dokusu nedeniyle besin değeri yüksek ancak son derece çabuk bozulan bir meyvedir. Bu nedenle taze tüketimi olduğu kadar kurutulmuş formdaki tüketimi de son derece yaygındır. Bütün bunlar değerlendirildiğinde, bu çalışmada, keten tohumu yağı atıklarından elde edilen gam kullanılarak, *Lactiplantibacillus plantarum* kökenli postbiyotikle zenginleştirilmiş yeni bir yenilebilir kaplama geliştirilmesi ve bu filmin Trabzon hurması meyvesi için kaplama olarak kullanım olanaklarının araştırılması

amaçlanmıştır. Böylelikle, tarımsal atıkların fonksiyonel ambalaj uygulamaları için yeniden kullanılması yoluyla döngüsel biyoekonominin teşvik edilmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Materyal ve Yöntem

Materyaller

Soğuk pres keten tohumu yağı atığı ONEVA Gıda A.Ş.'den (İstanbul, Türkiye) temin edilmiştir. *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* strain W2 kültürü Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünden temin edilmiştir. MRS agar, MRS broth, DRBC agar, PCA, peptonlu su ve etil alkol Merck (Almanya) firmasından, Folin-ciocalteu, Asetat tampon, tripiridiltriazin (TPTZ) ve $FeCl_3.6H_2O$ Sigma-Aldrich (Almanya) firmasından temin edilmiştir.

Metotlar

Çalışmada uygulanan proses aşamaları ve elde edilen örnek grupları sırasıyla Şekil 1'de ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

Postbiyotiğin Hazırlanması

Hücresiz süpernatant olarak da bilinen "postbiyotik" terimi, probiyotik veya probiyotik olmayan mikroorganizmaların kültür ortamında veya gıdalarda büyümeleri sırasında ürettikleri çözünür biyoaktif molekülleri ifade eder. Probiyotik suşlar tarafından hazırlanan postbiyotikler, kısa zincirli yağ asitleri, oligosakkaritler, bakteriyosinler, enzimler, vitaminler ve organik asitler gibi çeşitli biyolojik bileşenler içerir (Moradi ve ark., 2020). Bu çalışmada kullanılan postbiyotik, Akman ve ark. (2023) tarafından önerilen metot baz alınarak ve bazı modifikasyonlar uygulanarak üretilmiştir. Elde edilen postbiyotiğin biyoaktif bileşen içeriği ve antimikrobiyal özellikleri bahsi geçen çalışmada belirlenmiştir. Öncelikle, kriyo halde bulunan *Lactiplantibacillus plantarum* subsp. *plantarum* strain W2 suşu MRS sıvı besi yerinde (Merck, Almanya) çift aktifleştirme işlemine tabi tutulmuştur. Aktifleştirilmiş kültür tekrar yeterli miktarda MRS sıvı besi yerine (Merck, Almanya) alınarak 37°C'de 72 saat boyunca inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi daha önce gerçekleştirilen ön denemelere göre belirlenmiştir. MRS broth yüksek miktarda glikoz içerdiği ve kültür gelişirken karbon kaynağı olarak bu şekeri kullandığı için, 72 saatten kısa inkübasyon süresi uygulandığında ortamda daha fazla miktarda şeker kalmış ve film yapısının fazla yapışkan hale gelmesine neden olmuştur. Bu nedenle postbiyotik solüsyon elde etmek için optimum süre 72 saat olarak belirlenmiştir. İnkübasyonun ardından kültür içeren besi yeri 6000 rpm'de ve 4°C 10 dk. santrifüj edilmiş (Hettich 320R, Almanya) ve süpernatant ayrı bir yerde toplanarak kültürden ayrılmıştır. Süpernatant 0,22 µm gözenek çaplı filtreden (Isolab, Türkiye) geçirilerek kalıntılar uzaklaştırılmış ve ardından liyofilizasyon tekniği ile (Martin Christ, Beta 1-8 LSCplus) kurutularak postbiyotik elde edilmiştir. Elde edilen postbiyotik analizlerde kullanılmak üzere -20 °C'de muhafaza edilmiştir.

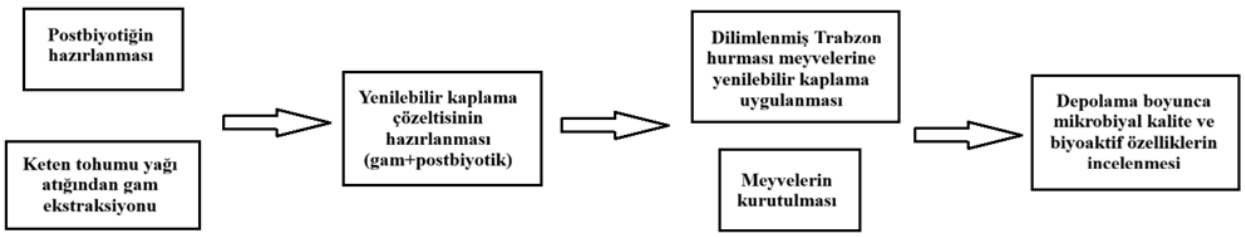
Soğuk Pres Keten Tohumu Yağı Atığından Gam Ekstraksiyonu

Soğuk pres keten tohumu yağı atığından gam elde etmek için Kopuz ve ark. (2024) tarafından önerilen metot kullanılmıştır. İlk olarak 500 g keten tohumu yağı atığı üzerine 10 litre su eklenmiş ve manyetik karıştırıcıda 80 °C'de 5 saat boyunca jel yapısı elde edilene kadar karıştırılmıştır. Elde edilen karışım elekten geçirilerek jel yapıdaki solüsyon tohum atıklarından uzaklaştırılmıştır. Daha sonra solüsyonun üzerine %96'lık etil alkol (hacimce 1:1 oranında) eklenerek 4°C'de 24 saat bekletilmiş ve gamların çökelti oluşturması sağlanmıştır. Daha sonra elde edilen gam süzgeç yardımı ile toplanarak 30 °C'de fanlı etüvde bekletilerek alkol kalıntılarının uçması sağlanmıştır. Ardından liyofilizasyon tekniği ile (Martin Christ, Beta 1-8 LSCplus) kurutulmuştur.

Yenilebilir Kaplama Çözeltisinin Hazırlanması

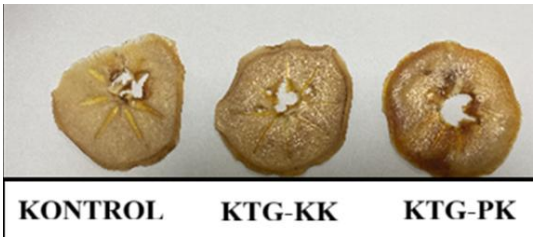
Postbiyotik içermeyen kontrol kaplama (KTG-KK) çözeltisinin hazırlanması için, liyofilize gam %2 (a/h) oranında distile su ile karıştırılmış ve manyetik karıştırıcıda 70 °C'de 1 saat bekletilerek tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Elde edilen çözelti 4 °C'de bir gece bekletilerek jel yapının oluşması sağlanmıştır. Ardından bu çözeltiye %1,5 (a/h) oranında plastikleştirici olarak gliserol eklenmiş ve 40 °C'de su banyosunda ara ara karıştırılarak 30 dk. bekletilmiştir. İşlem sonrası yenilebilir kaplama olarak kullanılmak amacı ile oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur.

Postbiyotik içeren yenilebilir kaplama (KTG-PK) çözeltisinin hazırlanması için, kontrol kaplama çözeltisinin hazırlanmasında uygulanan prosedür aynı şekilde gerçekleştirilmiş, en son aşamada liyofilize haldeki postbiyotikten 45 mg/mL olacak şekilde film çözeltisine eklenerek homojen şekilde karışması sağlanmıştır (Kopuz ve ark., 2024; Tong ve ark., 2025).



Şekil 1. Postbiyotik içeren yenilebilir kaplama üretimi ve dilimlenmiş Trabzon meyvelerine uygulanması proses basamakları

Figure 1. Process steps of producing edible coating containing postbiotics and applying it to sliced persimmon fruits



Şekil 2. Yenilebilir film uygulanmış Trabzon hurması kurusu; KONTROL: İşlem görmemiş meyve kurusu, KTG-KK: Postbiyotik içermeyen kontrol filmle kaplı meyve kurusu; KTG-PK: Postbiyotik filmle kaplı meyve kurusu

Figure 2. Dried persimmon with edible film coating; CONTROL: Untreated dried fruit, KTG-KK: Dried fruit coated with control film without postbiotics; KTG-PK: Dried fruit coated with postbiotics film

Dilimlenmiş Trabzon Hurması Meyvesinde Yenilebilir Kaplama Uygulaması

Keten tohumu yağı atıklarından elde edilen gamın yenilebilir kaplama olarak kullanım olanaklarının araştırılması amacı ile, yerel bir marketten satın alınan aşırı olgun olmayan Trabzon hurmaları zedelenmemesine dikkat edilerek yıkanmış ve hemen ardından belirli ebat ve kalınlıkta (çap: ~4-4,5 cm; kalınlık: ~5-6 mm) kesilmiştir. Meyveler, gruplandırılarak hazırlanan kaplama çözeltilerine daldırılmış ve yüzeylerinin tamamen kaplanması için çözeltiler içerisinde 10 dk. bekletilmiştir. Kontrol grubu olarak ise, kaplama çözeltisi uygulanmayan Trabzon hurması kullanılmıştır. Daha sonra meyveler steril kurutma kağıtları üzerine alınmış ve 45 ºC'de konveksiyonel kurutucuda (Memmert, Almanya) 12 saat kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Böylelikle üç analiz grubu oluşmuştur: Sadece kurutma işlemi uygulanan meyve grubu (Kontrol), keten tohumu gamından yenilebilir kaplama ile kaplanıp kurutulan meyve grubu (KTG-KK) ve postbiyotik içeren keten tohumu gamından yenilebilir kaplama ile kaplanıp kurutulan meyve grubu (KTG-PK). Elde edilen bütün kurutulmuş meyve örnekleri 25 ºC'de 28 gün depolamaya tabi tutulmuş ve 7 gün aralıkla analizler gerçekleştirilmiştir (Akman ve ark., 2019).

Mikrobiyal Kalite

Depolama boyunca toplam mezofil-aerob bakteri (TMAB) sayısını belirlemek amacıyla 10 gr. meyve örneği 90 mL steril peptonlu su içeren stomacher torbalarına aktarılmış ve iyice parçalanması sağlanmıştır ve ardından seri dilüsyonlar hazırlanmıştır. Diğer yandan, Plate Count Agar (PCA) sterilize edildikten sonra petrilere dökülmüş ve petriler katılaştıktan sonra uygun dilüsyonlardan yayma yöntemi ile ekim yapılarak 35ºC' de 24-48 saat inkübasyona bırakılmıştır (Kupongsak & Manomaiwajee, 2016).

Toplam maya-küf sayısının belirlenmesi için ise, Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol (DRBC) agar sterilize edildikten sonra petrilere dökülmüştür. Petriler katılaştıktan sonra uygun dilüsyonlardan yayma yöntemi ile ekim yapılarak 25ºC'de karanlıkta 5-7 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır (Tournas ve ark., 2001).

Biyoaktif Madde İçeriği

Örneklerin biyoaktif madde içeriğini belirlemek amacı ile 10 g numune 90 mL metanol:su (80:20 h/h) karışımı ile ekstrakte edilmiştir. Bu amaçla ekstraksiyon solventleri ile karıştırılan örnekler homojenizatör (ultraturax) ile 5 dk. boyunca parçalanmış ve ardından 6000 rpm'de 10 dk. santrifüj edilmiştir. Süpernatant süzülerek alınmış ve 0,45 µm gözenek çaplı filtreden geçirilerek biyoaktif madde analizlerine hazır hale getirilmiştir (Kayacan ve ark., 2020).

Toplam Fenolik İçeriğinin Belirlenmesi

Örneklerin toplam fenolik miktarlarını tespit etmek için, Singleton ve ark. (1999) tarafından önerilen Folin-Ciocalteu metodu kullanılmıştır. Ekstrakte edilmiş her bir numuneden 0,5 mL alınarak 2,5 mL Folin-Ciocalteu reaktifi (0.2 M) ve 2 mL Na_2C0_3 (kütlece %7,5) ile karıştırılmış ve bu karışım oda sıcaklığında ve karanlık bir yerde 30 dakika bekletilmiştir. Ardından, Folin-Ciocalteu reaktifi ile muamele edilen numune ekstraklarının absorbansı UV-vis spektrofotometre cihazında (Shimadzu, UV-1800, Japonya) 760 nm dalga boyunda okunmuştur. Sonuçlar, spektrofotometrede oluşturulan standart gallik asit eğrisinden elde edilen denklem yardımıyla hesaplanarak mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g örnek olarak kaydedilmiştir (Singleton ve Rossi, 1965).

FRAP Yöntemi İle Toplam Antioksidan Kapasitenin Belirlenmesi

Örneklerin toplam antioksidan içeriğini belirlemek amacı ile Chen ve ark. (2013) tarafından önerilen metot kullanılmıştır. FRAP yöntemi için Acetate buffer (A), tripiridiltriazin (TPTZ (B) ve FeCl3.6H2O (C) olmak üzere 3 farklı çözelti hazırlanmıştır. 300 mM Acetate buffer çözeltisinin pH'sı 3,6 olacak şekilde HCl ile ayarlanmıştır. TPTZ çözeltisi, 40 mmol/L HCl içinde 10mM olarak ve $FeCl_3.6H_2O$ çözeltisi, 20mM olarak hazırlanmıştır. Bu çözeltiler analizden hemen önce 10A:1B:1C olacak şekilde karıştırılarak, hafif gri-şeffaf renkli FRAP reagent elde edilmiş ve 37 °C'de su banyosunda ısıtılmıştır. Ekstraktlardan 0,1 mL örnek alınarak test tüpüne konulup, üzerine 0,9 mL saf su ve 2 mL FRAP reagent eklenmiştir. Bu karışım 30 dakika karanlıkta inkübe edilmiş ve inkübasyon sonunda spektrofotometrede (Shimadzu, UV-1800, Japonya) 593 nm'de absorbans ölçümü alınmıştır. Sonuçlar, kuru madde başına µmol TE /g örnek olarak verilmiştir.

Toplam Flavonoid İçeriğinin Belirlenmesi

Örneklerin toplam flavonoid içeriğini belirlemek amacı ile Zhishen ve ark. (1999) tarafından açıklanan yöntem kullanılmıştır. Bu amaçla, 1 mL ekstrakt, 4 mL distile su ile karıştırılmış ve bu karışıma 0,3 mL $NaNO_2$ (5 mg/100 mL su) eklenmiştir. 5 dakika sonra, 0,3 mL $AlCl_3$ (10 g/100 mL su) eklenmiştir. Daha sonra, 2 mL sulu NaOH çözeltisi (4 g NaOH/100 mL su) ve 2,4 mL distile su eklenmiştir. Karışımın absorbansı, bir UV/VIS spektrofotometresi (Shimadzu, UV-1800 Japonya) kullanılarak 510 nm'de ölçülmüş ve sonuçlar, gram örnek başına mg kateşin eşdeğeri (mg CE/g örnek) olarak ifade edilmiştir.

İstatistiksel Analizler

Çalışmada elde edilen veriler, deneme desenlerine uygun olarak varyans analizlerine tabi tutulmuştur. Varyans analizleri, Windows tabanlı SAS (SAS 8.2, North Carolina, ABD) paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortalamalar arasındaki önem dereceleri ise Duncan çoklu karşılaştırma testi ile %95 güven aralığında belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Mikrobiyal kalite (TMAB ve TMK sayısı)

Yenilebilir kaplama uygulanan Trabzon hurması meyvelerindeki TMAB sayısı 28 günlük depolama boyunca incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'de yer alan verilere göre, kontrol grubundaki meyvelerde TMAB sayısı 7. gün sonunda 5,36 log kob/g iken, 28. gün sonunda 7,51 log kob/g seviyesine yükselmiştir (P<0,05). Bu durum kontrol örneklerinde mikrobiyal gelişimin hızlı ve sürekli olduğunu göstermektedir. KTG-KK grubu meyvelerde ise bu artış 21. güne kadar daha belirgin (P<0,05) olmuştur. 21. ve 28. günler arası ise anlamlı bir değişim (P>0,05) gözlenmemiş ve depolama sonunda TMAB sayısı 8,01 log kob/g değerine ulaşmıştır. Buna karşılık, KTG-PK grubu meyvelerde, TMAB artışı oldukça düşük seyretmiş ve 28. gün sonunda 6,01 log kob/g (P<0,05) olarak ölçülmüştür. Diğer taraftan, depolama boyunca kaplama uygulanmış örnek grupları ve kaplama uygulanmamış kontrol grubu birbirleri ile kıyaslandığında, Kontrol meyve grubu ve KTG-KK meyve grubu arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık (P>0,05) görülmezken, KTG-PK meyve grubundaki TMAB sayısı diğer gruplardan önemli ölçüde (P<0,05) farklılık göstererek daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 2'de sunulan TMK sayıları değerlendirildiğinde, Kontrol grubunda TMAB sayısında olduğu gibi keskin bir artış olmamıştır ve 14. günün ardından 21. günde anlamlı değişiklik (P<0,05) gözlenerek, 28. gün sonunda TMK seviyesi 2,55 log kob/g seviyesine ulaşmıştır. KTG-KK grubunda ise, 21. güne kadar belirgin bir artış görülmezken, 28. güne gelindiğinde anlamlı bir değişiklik olmuş (P<0,05) ve TMK sayısı 2,71 log kob/g değerine yükselmiştir. KTG-PK grubu değerlendirildiğinde, istatistiksel olarak sınırlı bir artış olduğu görülmüş ve 28. günde TMK sayısı 2,23 log kob/g olarak kaydedilmiştir. Tüm örnek grupları değerlendirildiğinde, kontrol ve KTG-KK grupları arasında TMK sayısı açısından önemli bir farklılık (P>0,05) görülmezken, KTG-KP grubundaki TMK sayısı diğer gruplara kıyasla daha düşük (P<0,05) bulunmuştur.

Bu sonuçlar, postbiyotik içermeyen kaplamanın mikrobiyal yük üzerinde belirgin bir etkisi olmazken (P>0,05), postbiyotik takviyeli kaplamanın mikrobiyal yükü azalttığını (P<0,05) göstermektedir. Polisakkaritler oldukça iyi yapısal özellikler göstermeleri nedeni ile yenilebilir kaplama ve film üretimi için oldukça elverişli malzemelerdir ancak nem ve oksijen transferine karşı zayıf bir bariyer kapasitesine sahiptirler (Falguera ve ark., 2011). Bu durum, KTG-KK grubu ile Kontrol grubunun mikrobiyal yük açısından benzerlik göstermesine yol açmış olabilir.

Postbiyotiklerin birincil antimikrobiyal mekanizması sitoplazma asitlenmesidir; bu da morfolojik değişiklikleri tetikleyerek hücrelerin enerji üretimi veya tüketiminde bozulmaya neden olur, hücre zarında tahribat oluşumuna yol açar ve bakteri hücrelerinin oksidatif strese girerek inhibisyonunu sağlar (Ramazanidoroh ve ark., 2024). Sharafi ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen benzer bir çalışmada, taze çilekler postbiyotik içeren keten tohumu gamı ile kaplanmış ve depolama sonucunda TMK miktarının kontrol grubuna göre 2,85 log kob/g azaldığı tespit edilmiştir. Bir başka çalışmada ise, taze hindi etleri *Bifidobacterium* spp. kültüründen elde edilen postbiyotik ile zenginleştirilmiş sodyum aljinat solüsyonu ile kaplanmış ve soğuk depolamada TMAB ve psikrofil bakteri sayısında önemli bir değişim görülmezken (P>0,05), *Salmonella spp*. patojen miktarında önemli bir azalış (P<0,05) olduğu gözlenmiştir (Kaynakci, 2025). Buna ek olarak, Pirnia ve ark. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sosis örnekleri *Lactiplantibacillus plantarum* postbiyotiği içerek kitosan çözeltisi ile kaplanarak soğukta muhafaza edilmiş ve depolama sonunda TMAB ve toplam psikrofil bakteri sayısında kontrol grubuna göre önemli ölçüde (P<0,05) azalma olduğu belirlenmiştir. Özet olarak, bu çalışmada elde edilen mikrobiyal bulgular literatür ile uyum içerisindedir ve postbiyotiklerin antimikrobiyal etkisini desteklemektedir.

Çizelge 1. Kurutulmuş ve yenilebilir kaplama uygulanmış Trabzon hurması meyvelerinde depolama boyunca toplam mezofil aerobik bakteri (TMAB) sayısı

Table 1. Total mesophilic aerobic bacteria (TMAB) count in dried and edible coated persimmon fruits during storage

Örnekler	TMAB sayısı (kob/g)				
	0.Gün	7. gün	14. gün	21. gün	28. gün
Kontrol	$4,82\pm0,04^{Ae}$	$5,36\pm0,15^{Ad}$	$5,80\pm0,11^{Bc}$	$6,76\pm0,18^{Ab}$	$7,51\pm0,13^{Ba}$
KTG-KK	$4,81\pm0,03^{Ae}$	$5,53\pm0,19^{Ad}$	$6,08\pm0,13^{Ab}$	$6,84\pm0,10^{Ac}$	$8,01\pm0,21^{Aa}$
KTG-PK	$4,83\pm0,06^{Ad}$	$4,99\pm0,08^{Bcd}$	$5,23\pm0,07^{Cbc}$	$5,45\pm0,18^{Bb}$	$6,01\pm0,04^{Ca}$

Aynı satırdaki küçük, aynı sütundaki büyük harflerin farklı olması, veriler arasında istatistiksel olarak fark (P<0,05) olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. Kurutulmuş ve yenilebilir kaplama uygulanmış Trabzon hurması meyvelerinde depolama boyunca toplam maya-küf (TMK) sayısı

Table 2. Total yeast-mold (TMK) count in dried and edible coated persimmon fruits during storage

Örnekler	TMK sayısı (kob/g)				
	0.gün	7. gün	14. gün	21. gün	28. gün
Kontrol	$2,11\pm0,07^{Ab}$	$2,18\pm0,03^{ABb}$	$2,23\pm0,11^{Bb}$	$2,58\pm0,14^{Aa}$	$2,55\pm0,08^{Aa}$
KTG-KK	$2,18\pm0,05^{Ac}$	$2,38\pm0,15^{Abc}$	$2,56\pm0,12^{Aab}$	$2,49\pm0,04^{Aab}$	$2,71\pm0,11^{Aa}$
KTG-PK	$2,09\pm0,02^{Abc}$	$2,06\pm0,03^{Bc}$	$2,19\pm0,05^{Bab}$	$2,19\pm0,03^{Bab}$	$2,23\pm0,07^{Ba}$

Aynı satırdaki küçük, aynı sütundaki büyük harflerin farklı olması, veriler arasında istatistiksel olarak fark (P<0,05) olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3. Kurutulmuş ve yenilebilir kaplama uygulanmış Trabzon hurması meyvelerinde toplam fenolik bileşenler (TFB), toplam antioksidan kapasite (TAK) ve toplam flavonoid madde (TFM) içeriği

Table 3. Total phenolic compounds (TFB), total antioxidant capacity (TAC) and total flavonoid substance (TFM) contents in dried and edible coated persimmon fruits

Örnekler	TFB (Mg GAE/100 g KM)	TAK Mg TE/100 g KM	TFM (Mg KE/100 g KM)
Kontrol	88,58±4,82^{B}	270,93±14,35^{B}	8,88±0,66^{A}
KTG-KK	87,56±2,87^{B}	272,17±2,32^{B}	8,88±0,74^{A}
KTG-PK	127,58±3,89^{A}	311,52±13,78^{A}	9,25±0,31^{A}

Aynı sütundaki büyük harflerin farklı olması, veriler arasında istatistiksel olarak fark (P<0,05) olduğunu göstermektedir.

Biyoaktif Özellikler (TFB, TAK ve TFM içeriği)

Yenilebilir film ile kaplanmış Trabzon hurması meyvelerinin TFB, TAK ve TFM içerikleri Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3'e göre, kontrol ve KTG-KK gruplarında TFB miktarları sırasıyla 88,58±4,82 ve 87,56±2,87 mg GAE/100 g KM olarak ölçülürken, KTG-PK grubunda bu değer 127,58±3,89 mg GAE/100 g KM'ye ulaşmıştır (P<0,05). Benzer şekilde, TAK değeri postbiyotik içeren film grubunda 311,52±13,78 mg TE/100 g KM ile en yüksek seviyeye çıkmıştır. TFM içeriği açısından ise gruplar arasında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir (P>0,05).

Biyoaktif bileşen analizleri sonucunda, KTG-PK grubunda fenolik ve antioksidan kapasite değerlerinin anlamlı şekilde yüksek olması, postbiyotiklerin antioksidan bileşenlerin korunmasında veya salınımında rol oynayabileceğini göstermektedir. Subramaniyan ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, *Lactobacillus plantarum* ve *Lactobacillus delbrueckii* postbiyotikleri ile zenginleştirilmiş keten tohumu gamı ve guar gamı çözeltileri kullanılarak taze incir meyveleri kaplanmış ve TFM ve TAK miktarlarında önemli oranda artış olduğu (P<0,05) ve mikrobiyal bozulmayı geciktirerek meyvelerin raf ömrünü geliştirdiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde başka bir çalışmada, postbiyotik içeren gamla kaplanmış meyvelerde, kaplanmamış meyvelere kıyasla depolama sonunda toplam fenolik içerik, toplam flavonoid içeriği, antioksidan kapasitesi ve toplam antosiyanin içeriğinde önemli artışlar (P<0,05) gözlenmiştir (Sharafi ve ark., 2024). İncili ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, *Pediococcus acidilactici* kültüründen elde edilen postbiyotiğin antioksidan aktivitesi ve toplam fenolik madde içeriği sırasıyla 1291,02 ± 1,5 mg/L TEAC ve 2336,11 ± 2,36 mg/L GAE olarak bulunmuş ve bu postbiyotiği içeren kitosan çözeltisi tavuk göğsü filetolarına yenilebilir kaplama olarak uygulanmıştır. Postbiyotik-kitosan kombinasyonlarının, kontrol ile karşılaştırıldığında raf ömrünü 12 güne kadar uzattığı tespit edilmiştir.

Bütün bu bulgular değerlendirildiğinde, postbiyotik takviyeli yenilebilir kaplamaların hem mikrobiyal stabiliteyi sağlamada hem de fonksiyonel bileşenleri korumada etkili olduğunu göstermektedir. Bu da, sürdürülebilir gıda ambalajlama çözümlerinde hem atık değerlendirme hem de fonksiyonellik açısından önemli bir yenilik sunmaktadır.

Sonuç

Bu çalışma, soğuk pres keten tohumu yağı atıklarından elde edilen gamla üretilen yenilebilir kaplamaların, postbiyotiklerle zenginleştirildiğinde, Trabzon hurması meyvelerinin raf ömrünü uzatma ve kalitesini koruma konusunda önemli avantajlar sunduğunu göstermiştir. Postbiyotik içeren kaplamalar iyi bir antimikrobiyal performans sergilemiş ve depolama sırasında antioksidan bileşiklerin korunmasına katkıda bulunmuştur. Bu sonuçlar, biyoaktif ambalaj malzemelerinin geliştirilmesinde tarımsal-endüstriyel atıkların ve postbiyotiklerin kullanılmasının çifte faydasını vurgulamaktadır. Bu tür yenilikler, sürdürülebilir gıda ambalajlama uygulamalarını desteklemekte ve gıda israfını azaltma ve döngüsel ekonomi modellerini teşvik etme yönündeki küresel çabalarla uyumludur.

Beyanlar

Etik Beyan

Bu araştırma için etik kurula ihtiyaç olmadığını beyan ederim.

Teşekkürler

Bu çalışmayı gerçekleştirmem için bütün laboratuvar alt yapısını kullanıma sunan Yıldız Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümüne teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Akman, P. K., Kutlu, G., & Tornuk, F. (2023). Development and characterization of a novel sodium alginate based active film supplemented with Lactiplantibacillus plantarum postbiotic. *International journal of biological macromolecules*, *244*, 125240.

Akman, P. K., Uysal, E., Ozkaya, G. U., Tornuk, F., & Durak, M. Z. (2019). Development of probiotic carrier dried apples for consumption as snack food with the impregnation of Lactobacillus paracasei. *LWT*, *103*, 60-68.

Amiri, S., & Kazemi, S. (2022). Concept and potential applications of postbiotics in the food industry. *Journal of food science and technology (Iran)*, *19*(126), 87-101.

Ancuța, P., & Sonia, A. (2020). Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Applied Sciences*, *10*(21), 7432.

Atlar, G. C., Kutlu, G., & Tornuk, F. (2024). Design and characterization of chitosan-based films incorporated with summer savory (Satureja hortensis L.) essential oil for active packaging. *International journal of biological macromolecules*, *254*, 127732.

Baldwin, E. A., Hagenmaier, R., & Bai, J. (2011). *Edible coatings and films to improve food quality*. CRC press.

Barros-Velazquez, J. (2025). *Antimicrobial food packaging*. Academic Press.

Burun, İ., Kutlu, G., & Törnük, F. (2024). Potential application of pomegranate and lemon peel phenolic extract with chitosan as edible coating on apple and kiwifruit slices: Physical, chemical and sensory characteristics. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, *39*(1), 192-207.

Campos-Vega, R., Oomah, B. D., & Vergara-Castañeda, H. A. (2020). *Food wastes and by-products: Nutraceutical and Health Potential*. John Wiley & Sons.

Celik, S., Kutlu, G., & Tornuk, F. (2024). Recovery and characterization of cellulose microfibers from fallen leaves and evaluation of their potential as reinforcement agents for production of new biodegradable packaging materials. *Food Science & Nutrition*, *12*(10), 8364-8376.

Chen, L., Xin, X., Zhang, H., & Yuan, Q. (2013). Phytochemical properties and antioxidant capacities of commercial raspberry varieties. *Journal of Functional Foods*, *5*(1), 508-515.

Falguera, V., Quintero, J. P., Jiménez, A., Muñoz, J. A., & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in food science & technology*, *22*(6), 292-303.

İncili, G. K., Karatepe, P., Akgöl, M., Kaya, B., Kanmaz, H., & Hayaloğlu, A. A. (2021). Characterization of Pediococcus acidilactici postbiotic and impact of postbiotic-fortified chitosan coating on the microbial and chemical quality of chicken breast fillets. *International journal of biological macromolecules*, *184*, 429-437.

Indira, M., Venkateswarulu, T., Abraham Peele, K., Nazneen Bobby, M., & Krupanidhi, S. (2019). Bioactive molecules of probiotic bacteria and their mechanism of action: a review. *3 Biotech*, *9*(8), 306.

Kayacan, S., Karasu, S., Akman, P. K., Goktas, H., Doymaz, I., & Sagdic, O. (2020). Effect of different drying methods on total bioactive compounds, phenolic profile, in vitro bioaccessibility of phenolic and HMF formation of persimmon. *LWT*, *118*, 108830.

Kaynakci, E. C. (2025). Evaluation of alginate-based coatings enriched with postbiotics from Bifidobacterium spp. on the quality and safety of Turkey meat. *Scientific reports*, *15*(1), 23634.

Kopuz, S., Akman, P. K., Tekin-Cakmak, Z. H., & Karasu, S. (2024). Development and characterization of antimicrobial films from gums obtained from cold-pressed flaxseed oil by-product. *Polymer Bulletin*, *81*(2), 1767-1787.

Kupongsak, S., & Manomaiwajee, M. (2016). Oxidative stability of salad dressing with Spanish plum leaf extract. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *10*, 201-209.

Loss, F. F. (2018). Waste and the right to adequate food: Making the connection. *FAO: Rome, Italy*, *1*.

McHugh, T. (2000). Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Food/Nahrung*, *44*(3), 148-151.

Moradi, M., Kousheh, S. A., Almasi, H., Alizadeh, A., Guimarães, J. T., Yılmaz, N., & Lotfi, A. (2020). Postbiotics produced by lactic acid bacteria: The next frontier in food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(6), 3390-3415.

Mueed, A., Shibli, S., Korma, S. A., Madjirebaye, P., Esatbeyoglu, T., & Deng, Z. (2022). Flaxseed bioactive compounds: Chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes. *Foods*, *11*(20), 3307.

Paidari, S., Zamindar, N., Tahergorabi, R., Kargar, M., Ezzati, S., Shirani, N., & Musavi, S. H. (2021). Edible coating and films as promising packaging: a mini review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(5), 4205-4214.

Pirnia, M., Falah, F., Tabatabaei-Yazdi, F., Mortazavi, S. A., & Vasiee, A. (2025). Innovative Edible Coatings: Lactiplantibacillus plantarum Postbiotics and Chitosan as a Clean-Label Strategy for Sausage Preservation. *Applied Food Research*, 100958.

Ramazanidoroh, F., Hosseininezhad, M., Shahrampour, D., & Wu, X. (2024). Edible packaging as a functional carrier of prebiotics, probiotics, and postbiotics to boost food safety, quality, and shelf life. *Probiotics and antimicrobial proteins*, *16*(4), 1327-1347.

Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M., . . . Szajewska, H. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, *18*(9), 649-667.

Sharafi, H., Alirezalu, A., Liu, S.-Q., Karami, A., & Moradi, M. (2024). Postbiotics-enriched flaxseed mucilage coating: A solution to improving postharvest quality and shelf life of strawberry. *International journal of biological macromolecules*, *265*, 131398.

Shokri, S., Parastouei, K., Taghdir, M., & Abbaszadeh, S. (2020). Application an edible active coating based on chitosan-Ferulago angulata essential oil nanoemulsion to shelf-life extension of Rainbow trout fillets stored at 4 C. *International journal of biological macromolecules*, *153*, 846-854.

Singleton, V., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. In'Oxidants and Antioxidants, Pt A'. 299 pp. 152-178. *WOS: 000079431900014. http://dx. doi. org/10.1016/S0076-6879 (99)*, 99017-99011.

Subramaniyan, V., Sellamuthu, P. S., Sadiku, E. R., & Jarugala, J. (2024). Effect of flax seed mucilage and guar gum coating enriched with postbiotics on postharvest storage of fig fruits (Ficus carica L.). *South African Journal of Botany*, *166*, 636-647.

Talwar, B., Chopra, R., & Taneja, N. K. (2025). Utilizing By-Products from the Linseed Processing Industry: Opportunities and Challenges. *Dynamics of Linseed and its Valorization*, 201-220.

Tong, Y., Abbas, Z., Zhang, J., Wang, J., Zhou, Y., Si, D., . . . Zhang, R. (2025). Antimicrobial activity and mechanism of novel postbiotics against foodborne pathogens. *LWT*, 117464.

Tournas, V., Stack, M., Mislivec, P., Koch, H., & Bandler, R. (2001). Chapter 18: Yeasts, molds and mycotoxins. *Bacteriological analytical manual. US Food and Drug Administration, Silver Spring, MD, USA. Available at: http://tinyurl. com/y7xoh84j*.

Törnük, F., Kutlu, G., Sağdıç, O., Hançer, M., & Yetim, H. (2025). Effects of LLDPE/clay nanocomposite films including bioactive compounds on the microbiological quality of fresh kashar cheese. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *22*(4), 910-923.

Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, *64*(4), 555-559.