Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 14(7): 1895-1901, 2026
DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v14i7.1895-1901.8767

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology

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

The Use of Rhubarb Peel Waste in the Production of Edible Films Based on Whey Protein Isolate

Enes Kavrut[1,2,a,*] , Tunahan Engin[1,b]

[1]*Yenilikçi Gıda Teknolojileri Geliştirme, Uygulama ve Araştırma Merkezi, Iğdır Üniversitesi, 76000 Iğdır, Türkiye*
[2]*Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Iğdır Üniversitesi, 76000 Iğdır, Türkiye*
[*]*Corresponding author*

ARTICLE INFO

Research Article

Received : 27.01.2026
Accepted : 07.05.2026

Keywords:
Edible film
Rhubarb (*Rheum ribes* L.)
Waste
Drying
Whey protein isolate

ABSTRACT

Cheese whey protein isolate polymer was used in the preparation of edible films. Subsequently, rhubarb (*Rheum ribes* L.) peelings, which had been separated as waste, were ground into powder and added to the films at different concentrations. The films were then dried using different drying techniques (lyophilisation, oven, ambient). Physical and chemical analyses were performed on the resulting edible films to determine the effect of drying and rhubarb peel powder concentration. The strongest results were generally observed in freeze-drying and at a rhubarb peel powder concentration of 0.5%. Rhubarb peel powder significantly increased the color (*a** and *b**), total phenolic content (TPC), and DPPH values of the films, while reducing their brightness (*L**). Lyophilisation yielded films with a distinct yellow color tone, low aw value, and thicker structure. In addition, freeze-drying yielded high TPC and DPPH values. This study is important in terms of evaluating waste and integrating it into eco-friendly edible packaging, while also supporting future research in this field.

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 14(7): 1895-1901, 2026

Işkın Kabuk Atıklarının Peynir Altı Suyu Protein İzolat Bazlı Yenilebilir Film Üretimde Kullanımı

MAKALE BİLGİSİ

Araştırma Makalesi

Geliş : 27.01.2026
Kabul : 07.05.2026

Anahtar Kelimeler:
Yenilebilir film
Işkın (*Rheum ribes* L.)
Atık
Kurutma
Peynir altı suyu protein izolatı

ÖZ

Yenilebilir filmlerin hazırlanmasında peynir altı suyu protein izolatı polimeri kullanıldı. Daha sonra, atığa ayrılan ışkın (*Rheum ribes* L.) kabukları toz haline getirilerek filmlere farklı konsantrasyonlarda ilave edildi. Ardından filmler farklı kurutma teknikleri (liyofilize, etüv, ortam) ile kurutuldu. Elde edilen yenilebilir filmler üzerinde kurutma ve ışkın kabuk tozu konsantrasyonun etkisi için fiziksel ve kimyasal analizler yapıldı. En güçlü sonuçlar genel olarak liyofilize kurutmada ve %0,5 ışkın kabuk tozu konsantrasyonunda tespit edilmiştir. Işkın kabuk tozu filmlerin özellikle renk (*a** ve *b**), toplam fenolik madde (TFM) ve DPPH değerlerini önemli ölçüde arttırırken, filmlerin parlaklığını (*L**) azaltmıştır. Liyofilize kurutma ile belirgin sarı renk tonu, düşük aw değeri, daha kalın yapıda filmler elde edilmiştir. Bunun yanında dondurarak kurutma ile yüksek TFM ve DPPH değeri elde edilmiştir. Bu çalışma atıkların değerlendirilmesi ve çevre dostu yenilebilir ambalajlara entegre edilmesi ve bu alanda yapılacak çalışmalara destek vermesi bakımından önemlidir.

[a] *eneskavrut.gm@hotmail.com* *https://orcid.org/0000-0003-1808-9309* | [b] *tunahan.engin.3@gmail.com* *https://orcid.org/ 0000-0002-8767-9268*

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

Giriş

Işkın (*Rheum ribes* L.), Polygonaceae familyası içerisinde yer alan bir bitkidir (Engin ve ark., 2018). Özellikle, taşlar ve yamaçlar arasında yetişmektedir. En çok yetiştirilen ülkelerin başında Türkiye, Afganistan, İran, Irak, Pakistan ve Rusya gelmektedir. Literatürde bu bitkinin antimikrobiyal, antioksidan özelliklerinin olduğu, ayrıca bitkiden elde edilen uçucu yağların doymamış yağ içeriğinin ve terpenoid bileşenlerinin zengin olduğu raporlanmıştır (Alaadin ve ark., 2007; Amiri ve ark., 2015).

Işkın, kabukları soyulduktan sonra tüketilen bir bitkidir. Önemi günden güne giderek artmaktadır. Işkının kabuklarının doğrudan kullanımı oldukça sınırlıdır ve genellikle atık olarak bakılmaktadır. Işkın kabuklarının doğal yapısında bulunan fitokimyasallar hem sağlık hem de beslenme açısından oldukça kıymetlidir (Engin ve ark., 2025). Atıkların değerlendirilmesinin amacı sadece çöplüklerdeki atık yükünü minimize etmek değildir. Bunun yanı sıra üreticilerin sürdürülebilir ekonomiye katkı sağlaması gerekmektedir (Capanoğlu ve ark., 2022).

Kısıtlı bir zaman dilimde yetişen ve tüketilen ışkın, raf ömrünün çok kısa olması, muhafaza koşullarının zor olması, doku kültürü ve bitki ıslahı ile ilgili çalışmaların yetersiz olması sebebiyle geniş kitlelere ulaştırılamamaktadır. Bu faktörler ışkın hakkındaki çalışmaları daha önemli hale getirmiştir (Baycar, 2023). Literatürde ışkın sapları fonksiyonel gıda olarak kullanılırken, kabuklarından ise yenilebilir ambalajlar üretildiği raporlanmıştır. Ayrıca son yıllarda katma değerinin arttırılmasına yönelik birçok çalışmaya da (bisküvi, reçel, yenilebilir film vb.) konu olmuştur (Doğan & Meral, 2016; Pekdoğan, 2021, Şat ve ark., 2023).

Yenilebilir filmler çevre dostu ve doğal olarak parçalanabilir olmaları nedeniyle bu filmlerden elde edilen ambalajlara daha fazla ilgi görmektedir (Kavrut, 2024, Alkaç & Kavrut, 2025). Yenilebilir ambalajlar (film ve kaplamalar) karbonhidrat, protein, lipit gibi polimerlerden elde edilmektedir. Ayrıca, antimikrobiyal ve antioksidan potansiyeline sahip doğal bitki özütleri, uçucu esansiyel yağlar ile yenilebilir ambalajların yapıları daha da güçlendirilmektedir (Kavrut & Sezer, 2024; Kavrut ve ark., 2025). Peynir altı suyu proteinleri en çok tercih edilen yenilebilir ambalaj materyalleri arasında değerlendirilmektedir (Kavrut ve ark., 2024).

Peynir üretiminin bir yan ürünü olan peynir altı suyu proteini, büyük miktarlarda üretilir ve mükemmel fonksiyonel özelliklere sahiptir. Bunlardan peynir altı suyu protein izolatı ve konsantresi ile üretilen filmlerin bariyer ve mekanik özellikleri bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Kandasamy ve ark., 2021).

Yenilebilir filmlerin üretilmesinde gerekli olan parametreler arasında kurutma, en önemlilerinden biri olarak kabul edilir. Birçok araştırmada, film solüsyonları ortam sıcaklığı koşullarında kurutularak yenilebilir filmler hazırlanmıştır. Bazı çalışmalarda ise vakumda kurutma, fırında kurutma, mikrodalgada kurutma, kızılötesinde kurutma veya düşük basınçlı aşırı ısıtılmış buharda kurutma yöntemleriyle filmler üretilmiştir (Mayachiew & Devahastin 2008; Thakhiew ve ark., 2010). Vargas ve ark. (2009) etkin bariyer özellikleri ve film üretim sürecinin yenilebilir film kalitesini etkilediğini açıklamışlardır.

Ambalaj içerisine dahil edilen ışkının, insanlar tarafından hem gıda maddesi olarak hem de çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir. Işkın kabuk tozlarının kullanıldığı ve yenilebilir filmler içerisinde dahil edilerek farklı kurutma tekniklerinin uygulandığı çalışma literatürde bulunmamaktadır. Bu çalışmada çöpe atılan ışkın kabuklarının değerlendirilmesi esas alınarak farklı konsantrasyonlarda ışkın kabuk tozları ve farklı kurutma yöntemlerinin yenilebilir filmler üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Materyal ve Metot

Materyal

Bu çalışmada kullanılan ışkın (*Rheum ribes* L.) bitkisi Nisan 2025'te Van ili-Erek Dağından hasat edilmiştir (Şekil 1).

Şekil 1. Işkın (*Rheum ribes* L.) bitkisi
Figure 1. The Rhubarb (Rheum ribes L.*) plant*

Kimyasallar

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), Troloks, Folin-Ciocalteu reagent (FCR), metanol, sodyum karbonat (Na_2CO_3), pH 4 ve 7 tampon çözeltileri, peynir altı suyu protein izolatı (Davisco Foods, USA 96%), gliserol Sigma (MO, USA) ve Merck (Darmstadt, Germany) firmalarından temin edilmiştir.

Işkın Kabuk Tozunun Hazırlanması

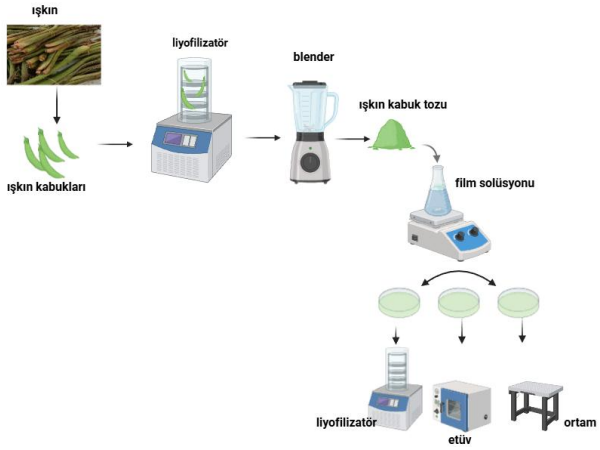
Işkın (*Rheum ribes* L.) bitkisi, laboratuvara getirilerek kabukları soyuldu. Soyulan atık kabuklar liyofilizatörde (Martin Christ, Alpha 1-2 LD, Almanya) -53 °C'de 0,9 mbar vakum basıncı altında yaklaşık 24 saat boyunca sabit bir ağırlığa ulaşılana kadar kurutulmuştur. Liyofilize edilmiş kabuklar, laboratuvar tipi bir öğütücü (TB200, Mıza, Çin) kullanılarak toz haline getirilmiş ve homojen bir partikül boyutu elde etmek için 500 µm gözenek boyutuna sahip bir elekten geçirilmiştir. Işkın kabuk tozu, analizler yapılana kadar -20 °C'de cam bir şişede saklanmıştır. Hazırlanan ışkın kabuk tozu, yenilebilir film solüsyonlarına farklı konsantrasyonlarda (%0,1, %0,5 ağırlık/hacim) yavaş bir şekilde eklenmiştir (Savaş ve ark., 2026).

Yenilebilir Film Üretimi ve Işkın Kabuk Tozu İlavesi

Peynir altı suyu protein izolatı (PSİ) film solüsyonu (Kavrut & Sezer, 2024)'e göre hazırlanmıştır. İlk olarak, %5 (a/h) PSİ sulu çözeltisi hazırlanmıştır. PSİ çözeltisine 5 mL gliserol eklenmiş ve manyetik karıştırıcı (Heidolph, Germany) ile iyice karıştırılmıştır. Çözelti daha sonra 25

dakika boyunca 85 °C'ye ısıtılmıştır (Wisebath, Germany) ve sonra oda sıcaklığına soğutulmuştur.

Toz haline getirilen ışkın kabuk tozları farklı konsantrasyonda (%0, %0,1, %0,5) çözeltiye kontrollü olarak ilave edilmiştir. Ardından Whatman filtre kağıdından (125 mm) geçirilmiştir. Süzüntü petri kaplarına aktarılarak (20 mL) farklı kurutma tekniklerine (liyofilize, etüv, ortam) göre 24 saat süreyle kurutulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Işkın kabuk atıklarının toz haline getirilerek yenilebilir film üretimine dahil edilmesi

Figure 2. The incorporation of powdered Rhubarb peel waste into the production of edible films

Renk Analizi

Filmler arasındaki renk farklılıkları (CIELAB, *L* a* b**), bir kolorimetre (Konica Japan) kullanılarak ölçüldü. Kolorimetre, beyaz bir standart plaka (Kavrut, 2024) ile kalibre edilmiştir.

pH Analizi

Örneklerin pH değerleri, pH metre (Consort, Belçika) ile ölçülmüştür (Cemeroğlu, 2013). İlk olarak pH 4 ve 7 tampon çözeltiler ile cihaz kalibre edildi. Daha sonra örnek ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Yenilebilir Filmlerin Kalınlığı

Filmlerin kalınlığını ölçmek için 0,001 mm hassasiyetinde kumpas (Astor-Türkiye) kullanılmıştır. Ölçümler 3 farklı noktada gerçekleştirilmiş ve her film için ortalama kalınlık değeri hesaplanmıştır (Atarés ve ark., 2010).

Yenilebilir Filmlerin Su Aktivitesi

Yenilebilir filmlerin su aktivitesi (aw), su aktivitesi ölçüm cihazı (Testo 650-Türkiye) ile ölçülmüştür (Ket-on ve ark., 2016).

Toplam Fenolik Madde ve Antioksidan Kapasite için Ekstraksiyon Hazırlama

Yenilebilir filmler laboratuvar tipi bir öğütücü (TB200, Mıza, Çin) kullanılarak toz haline getirilmiştir. 50 mg örnek üzerine 10 mL saf su ilave edilerek 2 saat çalkalamalı inkübatörde karıştırılmıştır (HZQ-X300, Çin) ve ardından 4000 × g'de 5 dakika santrifüj (Heal Force, Çin) edilmiştir. Ayrılan süpernatant antioksidan aktiviteyi belirlemek için kullanılmıştır (Latif ve ark., 2025).

Toplam fenolik madde (TFM)

Yenilebilir filmlerin toplam fenolik içeriği (TFM) Engin ve ark. (2025a) ile Spanos & Wrolstad (1990) tarafından tanımlanan yönteme göre belirlenmiştir. Analiz için 15 µL ışkın kabuk tozu ilaveli peynir altı suyu protein izolat çözeltisi, 1:10 (h:h) oranında seyreltilmiş 112,5 µL Folin–Ciocalteu reaktifi ile karıştırılmış ve oda sıcaklığında karanlık ortamda 5 dk bekletilmiştir. Ardından 112,5 µL %6'lık Na_2CO_3 eklenmiş ve çözelti tekrar oda sıcaklığında karanlıkta 60 dk inkübe edilmiştir. Absorbans değerleri 765 nm'de ELISA mikroplaka okuyucu (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, ABD) ile ölçülmüştür. Gallik asit kalibrasyon eğrisi 0,01–0,4 mg/mL aralığında hazırlanmış ve sonuçlar mg gallik asit eşdeğeri (mg GAE/g) olarak hesaplanmıştır.

DPPH Radikal Giderme Aktivitesi

Yenilebilir filmlerin DPPH radikal giderme aktivitesi, Engin ve ark. (2025b) ile Kumaran (2006) tarafından tanımlanan metoda göre belirlenmiştir. 10 µL yenilebilir film çözeltisi, metanolde hazırlanan 200 µL 0,1 mM DPPH çözeltisine eklenmiş ve karışım oda sıcaklığında, karanlık ortamda 30 dk inkübe edilmiştir. Absorbans, 517 nm'de ELISA mikroplaka okuyucu (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, ABD) ile ölçülmüştür. Troloks kalibrasyon eğrisi 0,025–1,25 mM aralığında hazırlanmış ve sonuçlar µmol Troloks eşdeğeri (µmol TE/g) olarak hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analiz

Analiz sonuçları, IBM SPSS İstatistik 25 yazılımları kullanılarak varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur. Önemli bulunan farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %95 seviyesinde belirlenmiştir. Tüm analizler 3 tekerrür şeklinde yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Yenilebilir Film ve Işkın Kabuk Tozu Hakkındaki Veriler

Çizelge 1 ve 2'de ışkın kabuk tozu ilaveli yenilebilir film solüsyonu pH değerleri ile ışkın kabuk tozuna ait renk (*L**, *a**, *b**) değerleri verilmiştir. Işkın kabuk tozunun pH değeri 3,92'dir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Film solüsyonları ve ışkın kabuk tozu pH sonuçları

Table 1. Results of pH for film solutions and Rhubarb peel powder

Materyal	pH
Film solüsyonu (%0)	7,03±0,01
Film solüsyonu (%0,1)	6,94±0,12
Film solüsyonu (%0,5)	6,62±0,73
Işkın kabuk tozu	3,92±0,53

Çizelge 2. Işkın kabuk tozuna ait renk analiz sonuçları

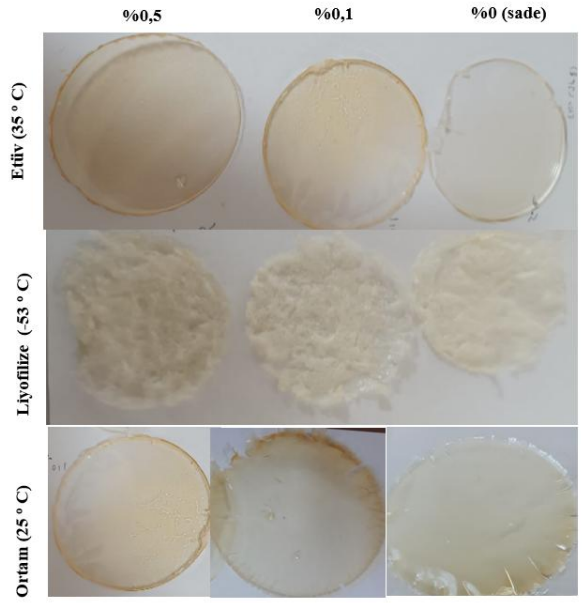
Table 2. Color analysis results of Rhubarb peel powder

Materyal	Renk
Işkın kabuk tozu (*L**)	79,57±0,24
Işkın kabuk tozu (*a**)	-12,25±0,23
Işkın kabuk tozu (*b**)	27,37±0,62

Çizelge 3. Hazırlanan yenilebilir filmlerin renk, su aktivitesi, kalınlık, TFM ve DPPH radikal giderme aktivitesi değerleri
Table 3. Color, water activity, thickness, TFM, and DPPH radical scavenging activity values of the prepared edible films.

Konsantrasyon (K) (%)	*L**	*a**	*b**	aw	Kalınlık (mm)	TFM (mg GAE/g)	DPPH (mg TE/g)
0 (sade)	87,80±1,52^{a}	-0,55±0,56^{b}	8,26±3,28^{b}	0,52±0,07^{a}	1,20±0,93^{a}	0,21±0,10^{b}	14,72±0,99^{b}
0,1	85,23±2,08^{b}	-0,55±0,63^{b}	12,66±1,88^{a}	0,54±0,05^{a}	0,99±0,91^{a}	0,32±0,18^{a}	18,78±1,48^{a}
0,5	85,03±2,30^{b}	-0,40±0,64^{a}	13,06±4,08^{a}	0,53±0,03^{a}	1,22±1,34^{a}	0,31±0,32^{a}	19,42±2,25^{a}
Sig.	**	**	**	ns	ns	**	**
Kurutma Koşulları (KK)							
Liyofilize (-53 ºC)	83,61±1,78^{b}	-1,26±0,11^{c}	13,25±1,46^{a}	0,51±0,02^{b}	2,49±0,61^{a}	0,52±0,18^{a}	18,46±3,01^{a}
Ortam (25 ºC)	87,10±1,43^{a}	0,10±0,17^{a}	8,23±2,49^{b}	0,58±0,05^{a}	0,44±0,27^{b}	0,23±0,08^{b}	16,89±2,56^{b}
Etüv (35 ºC)	87,35±1,48^{a}	-0,34±0,82^{b}	12,50±4,70^{a}	0,50±0,03^{b}	0,48±0,08^{b}	0,09±0,03^{c}	17,58±2,43^{b}
Sig.	**	**	**	**	**	**	**
K × KK							
Sig.	**	*	**	ns	*	**	**

*önemli (P<0,05), **çok önemli (P<0,01), ns önemsiz (P>0,05), Sig: önem seviyesi. Aynı sütunda farklı harflerle (a-c) gösterilen ortalamalar, anlamlı derecede farklıdır.



Şekil 3. Hazırlanan yenilebilir filmlerin görüntüleri
Figure 3. Pictures of prepared edible films

Yenilebilir Filmlerin Renk Analiz Sonuçları

Işkın kabuk tozu ilave edilerek farklı ortam ve sıcaklıklarda kurutulan peynir altı suyu protein yenilebilir filmlerin renk değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Yenilebilir filmlerin renk değerleri üzerinde hem sıcaklıkların hem de ışkın kabuk tozu konsantrasyonlarının etkisi tespit edilmiştir. Konsantrasyon artışı filmlerin parlaklığını (*L**) azaltmıştır (P<0,01). Peynir altı suyu protein izolat bazlı filmlerin doğal olarak şeffaf ve parlak bir görünüme sahip olduğu bilinmektedir (Galus & Kadzińska, 2019). En yüksek değer sade yenilebilir filmde tespit edilirken en düşük değer %0,5 ışkın tozu konsantrasyonunda tespit edilmiştir. Konsantrasyon artışına bağlı olarak filmlerin *a** değeri azalarak (eksi yönde) sıfıra yaklaşmıştır (P<0,01). %0,1 ve %0,5 konsantrasyonlarına sahip filmlerin *L** değeri ile %0 (sade) ve %0,1 konsantrasyonlarına sahip filmlerin *a** değeri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum *a** değeri için düşük ekstrakt konsantrasyonlarında pigment ve fenolik bileşiklerin film yapısında kırmızı-yeşil renk aralığında ölçülebilir bir değişim oluşturmaması ile ifade edilebilir. *L** değeri için ise, bitki ekstraktlarının filmde ışık geçirgenliği ve opaklık üzerindeki etkisinin değişkenliği ile açıklanabilir. Literatürde yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Fauzan ve ark., 2023; Soiklom ve ark., 2025). Konsantrasyondaki artış beraberinde filmlerin sarılığını (*b**) da arttırmıştır. En düşük *b**değeri 8,26 ile sade filmlerde, en yüksek *b** değeri ise %0,5 ışkın kabuk tozu ilaveli filmlerde tespit edilmiştir (P<0,01) (Çizelge 3). Bu durum özellikle *Rheum ribes* L. Özütünün sahip olduğu karakteristik sarımsı renginden ileri gelmektedir. Bu sonuçlar, Kalkan ve ark., (2020) tarafından yapılan ışkın özütü ilaveli yenilebilir metilselüloz filmlerinin verileri ile uyumludur. Benzer şekilde Sivarooban ve ark. (2008) %1 oranında üzüm çekirdeği ekstrakt ilavesi, soya proteini yenilebilir filmlerin renk değerlerini etkilediğini tespit etmişlerdir. Nitekim, Thakhiew ve ark. (2010) farklı kurutma teknikleri ile kurutulan kitosan filmlerin sarı rengindeki farklılığı ürün doğal rengi ile ilişkilendirmiştir.

Kurutma koşullarının değişkenliği filmleri daha parlak (*L**) hale getirmiştir (P<0,01). En yüksek değer etüv (35 ºC) kurutmada, en düşük değer ise liyofilize (-53 ºC) kurutmada tespit edilmiştir. Bu durum kurutma sırasında üründeki gözenek yapısı ve fiziksel değişimler ile açıklanabilir. Nitekim dondurarak kurutma ile filmlerin gözenek yapısının daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). Gözenek yapısının büyüklüğü film görselinin daha opak görünmesine neden olmaktadır (Ratti, 2001). Krokida ve Maroulis (2000) dondurarak kurutma yapılan ürünlerin parlaklığının diğer kurutma yöntemlerine göre düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Yenilebilir filmlerin *a** (-1,26) ve *b** (13,25) değerleri üzerinde özellikle liyofilize kurutmanın daha etkili oldu görülmektedir (P<0,01) (Çizelge 3). Bu durum liyofilize kurutma sürecince yenilebilir filmlerin dokusal yapısındaki değişimler ve ışkın kabuk tozunun doğal sarımtırak renk tonları ile ilişkilendirilebilir. Liyofilize kurutulan filmlerin diğer kurutma tekniklerine göre (etüv, ortam) yeşil-sarı renk tonlarının daha baskın olduğu görülmektedir.

Yenilebilir Filmlerin Kalınlığı

Filmlerin kalınlığı, filmlerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve bariyer özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Özellikle kalınlık parametresi, film üretim aşamasındaki kurutma süresi üzerinde belirleyici rol oynamaktadır (Esfandiari ve ark., 2025). Yenilebilir filmlere ait kalınlık değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Işkın kabuk tozu konsantrasyon farklılığı filmlerin kalınlığını istatistiksel

olarak etkilememiştir (P>0,05). En yüksek değer 1,22 mm ile %0,5 konsantrasyondaki filmlere aittir. Kurutma yöntemleri arasında belirgin bir farklılık görülmektedir. Özellikle liyofilize kurutulmuş filmlerin kalınlığı (2,49 mm) diğer kurutma tekniklerine göre daha başarılıdır. Bu durum liyofilize filmlerin düşük sıcaklık ve vakum etkisiyle yapısının değişmesi ile açıklanabilir. Ayrıca, kuruma sırasında büyük gözenekli yapının oluşması da daha kalın bir görünüm kazandırmıştır (Şekil 3). Dondurarak kurutma ile vakum altında filmlerin yapısındaki büzüşme, çökme gibi şekil değişikliklerinin düşük seviyelerde olduğu raporlanmıştır (Mayor & Sereno, 2004). Kaya ve Kaya (2000) mikrodalga veya ortam koşullarında kurutulan PSİ filmlerin kalınları arasındaki farkın önemsiz olduğunu tespit etmişlerdir.

Filmlerin Su Aktivitesi (aw)

Film yapısı ile su aktivitesi arasındaki ilişki filmlerin bariyer performansını ve su buharı geçirgenliğini etkilemektedir (Janowicz ve ark., 2023). Aynı zamanda aw mikroorganizmaların büyümesi, kimyasal reaksiyonlar üzerinde de belirleyici rol oynamaktadır (Maneffa ve ark., 2017). Işkın kabuk tozlarının su aktivitesi; tozların yenilebilir film solüsyonu içerisindeki homojen dağılımını etkilemektedir. Ayrıca, suyun plastikleştirici olarak hareket etme yeteneğini azaltabilmektedir (Nayak ve ark., 2010). Filmlere ait su aktivitesi değerleri Çizelge 3'te yer almaktadır. Yenilebilir filmlerin su aktivitesinin üzerinde ışkın kabuk tozlarının konsantrasyonun etkisi istatistiksel açıdan önemsiz iken (P>0,05), kurutma yöntemlerinin etkisi ise önemlidir (P<0,01). En yüksek değer ortamda kurutmada tespit edilmiştir. Liyofilize ve etüv de kurutma, filmlerin aw değerini düşürmüştür. Bu durum ışkın kabuk tozu ilaveli yenilebilir filmlerin yapısının bozulmadan uzun süre korunacağını göstermektedir. Benzer veriler Ket-on ve ark. (2016) baharat tozu ilaveli peynir altı suyu proteini içeren yenilebilir filmlerde de tespit edilmiştir.

DPPH Radikal Giderme Aktivitesi

Yenilebilir filmlerin DPPH radikal giderme aktivitesine ait sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Antioksidan aktivite ışkın kabuk tozunun konsantrasyonlarındaki artışla birlikte önemli ölçüde artmıştır (P<0,01). Beklendiği gibi sade film (kontrol) düşük antioksidan aktivite göstermiştir. En yüksek antioksidan aktivite %0,5 konsantrasyonundaki (19,42 mg TE/g) yenilebilir filmlerde tespit edilmiştir. Bu durum ışkın kabuk tozunun serbest radikalleri baskılamadaki antioksidan aktivitesinden ileri gelmektedir. Benzer sonuçlar Kalkan ve ark., (2020) ile Engin ve ark. (2018) tarafından ışkın bitki ekstraktı üzerine yapılan çalışmalarda raporlanmıştır. Yine ışkın bitkisinin fonksiyonel bileşen olarak kullanıldığı bisküvi çalışmasında da ışkının serbest radikallerin inhibisyonunu sağlamada etkili olduğu ifade edilmiştir (Doğan & Meral, 2016). Hoseini ve ark. (2025) *Rheum ribes* L. çiçeği özütünün antioksidan aktivitesi ile yaygın bir sentetik antioksidan olan 100 ppm BHT ile eş değer nitelikte olduğunu tespit etmişlerdir. Kurutma tekniği filmlerin antioksidan aktivitesini istatistiksel olarak önemli düzeyde (P<0,01) etkilemiştir. Liyofilize (18,46 mg TE/g) ile en yüksek antioksidan aktivite değerine sahiptir. Dondurarak kurutma tekniği yenilebilir filmlerin biyoaktif bileşenlerinin korunmasına katkı sağlamıştır. Nogueira ve ark. (2019) liyofilize kurutmanın böğürtlen posası mikro parçacıkları içeren nişasta bazlı aktif yenilebilir filmlerin yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğunu raporlamışlardır.

Liyofilize yenilebilir filmlerin DPPH radikal giderme üzerindeki etkisi istatistiksel açıdan önemlidir (P<0,01). Dondurarak kurutma, ışkın kabuk tozu ilaveli yenilebilir filmlerin antioksidan içeriğini koruduğu, diğer kurutma tekniklerine göre kimyasal reaksiyonların minimize edildiği anlaşılmaktadır (P<0,01). Şat ve ark. (2023) farklı sıcaklıklarda (güneşte, 50 ºC, 80 ºC) kuruttukları taze ışkın örneklerinde artan sıcaklığa paralel olarak DPPH radikali giderme aktivitesini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Bu durum ısıl işlem sürecinde gıdada doğal olarak bulunan antioksidanların yıkıma uğrayabileceği ve antioksidan aktiviteye sahip yeni bileşenlerin açığa çıkabileceğini göstermektedir.

Toplam Fenolik Madde Sonuçları (TFM)

Yenilebilir filmlerin toplam fenolik madde miktarı (TFM) 0,21-0,32 mg GAE/g arasında değişmiştir (P<0,01) (Çizelge 3). En yüksek TFM %0,1 konsantrasyonlu (0,32 mg GAE/g) yenilebilir filmlerde tespit edilmiştir. Fakat %0,5 (0,31 mg GAE/g) konsantrasyonuna ait TFM değerleri ile genel olarak benzerlik göstermektedir. Yine Takcı ve ark. (2022) ışkın ekstraktının farklı çözücülerdeki verimi üzerinde yaptığı çalışmada konsantrasyon artışına bağlı olarak TFM'nin arttığını gözlemlemişlerdir. Hoseini ve ark. (2025) ise *Rheum ribes* L. çiçeği özütü üzerine yaptığı çalışmada yüksek miktarda TFM tespit etmişlerdir.

Filmlerin kurutma yöntemleri arasında en yüksek TFM değeri liyofilize kurutmada (0,52 mg GAE/g), en düşük TFM değeri ise etüv kurutmada (0,09 mg GAE/g) gözlemlenmiştir. Liyofilize kurutma ile yenilebilir filmlerin fenolik bileşiklerinin korunduğu görülmektedir. Diğer taraftan ortam ve etüv ortamlarındaki ısıl işlemin etkisi fenolik içeriğin düşük çıkmasına neden olmuştur. Isıl işlemin artması TFM'ye olumsuz etkilemektedir. Nitekim, Mayachiew ve Devahastin (2010) Hint bektaşi üzümü özü ile zenginleştirilmiş yenilebilir kitosan filmlerinde farklı kurutma yöntemlerinde artan sıcaklığının TFM'yi olumsuz etkilediğini raporlamışlardır.

Dondurarak kurutmanın, ışkın kabuk tozu ilaveli yenilebilir filmlerin her ne kadar yapısını değiştirse de fenolik içeriğini koruduğu görülmektedir (P<0,01). Sıcaklığın artması filmlerin fenolik içeriğini düşürmektedir. Literatürde gıdaların kurutulması üzerinde birçok çalışma raporlanmıştır. Sultana ve ark. (2012) kurutma yöntemlerinin (ortam ve fırın) TFM üzerindeki etkisini önemsiz olarak raporlarken, Mediani ve ark. (2014) ise *Cosmos caudatus* sebzesi içerikleri üzerinde hava, fırın ve dondurarak kurutma yöntemlerinden en yüksek TFM değeri hava ile kurutma da en düşük TFM değeri ise fırında kurutmada tespit etmişlerdir.

Sonuç

Elde edilen sonuçlar, *Rheum ribes* L. kabuklarının atık olarak değil, gıda ambalaj teknolojisinin bir bileşeni olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Günümüzde sürdürülebilir ekonomi açısından, atıklardan katma değerli ürünler elde etme fırsatları halen yeterince değerlendirilememektedir. Işkın kabukları çevre dostu

yenilebilir ambalajlar içerisinde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Ancak ışkının asidik karakterli yapıda olması proses sırasında bazı önlemlerin alınmasını da gerektirmektedir. Yenilebilir filmlerin toplam fenolik içeriği ve DPPH radikal giderme aktivitesi ışkın kabuk tozları ile zenginleştirilmiştir. Kurutma tekniği bakımından liyofilize kurutma, kurutma sürecinde büyük gözenek yapısına sahip olmasına rağmen diğer tekniklere göre film özelliklerinin gelişmesine daha fazla katkı sağladığı görülmektedir. Bu bağlamda üretilen yenilebilir filmlerin kurutulması sürecinde kontrollü olarak ışkın kabuk tozlarının ve liyofilize kurutma tekniğinin kullanılabileceği önerilmektedir. Ayrıca, ışkın kabuk tozları yenilebilir filmlere kolaylıkla eklenebilmektedir. Mekanik testler, antibakteriyel aktivite testi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi, filmin çözünürlüğü ve su buharı geçirgenliği gibi önemli testlerin yapılması bu alandaki yeni çalışmaları daha da güçlendirecektir.

Beyanlar

***Etik Onay Belgesi*:** Herhangi bir etik onay belgesi yoktur.

***Finansman Beyanı*:** Bu çalışma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

Alaadin, A. M., Al-Khateeb, E. H., & Jäger, A. K. (2007). Antibacterial activity of the Iraqi *Rheum ribes*. Root. *Pharmaceutical Biology*, *45*(9), 688-690. https://doi.org/10.1080/13880200701575049.

Alkaç, G., & Kavrut, E. (2025). A brief overview of the scientific foundations and results of some studies on edible coatings in turkish literature. *Green Foods, 1* (1), 29-32. https://doi.org/10.5281/zenodo.18110831.

Amiri, N., Shafaghat, A., & Salimi, F. (2015). Screening of the essential oil, hexane extract, chemical composition, antioxidant activity, and antimicrobial activity of the flower *Rheum ribes* L. from Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *18*(5), 1108-1115. https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.884763.

Atarés, L., De Jesús, C., Talens, P., & Chiralt, A. (2010). Characterization of SPI-based edible films incorporated with cinnamon or ginger essential oils. *Journal of Food Engineering*, *99*(3), 384-391. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.004.

Baycar A. (2023). Işkının (*Rheum ribes* L.) besin öğeleri ve fonksiyonel niteliği. *Turkish Journal of Applied Sciences and Technology,* *4*(1):1-11. https://doi.org/ 10.5281/zenodo.7949995.

Capanoglu, E., Nemli, E., & Tomas-Barberan, F. (2022). Novel approaches in the valorization of agricultural wastes and their applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *70*(23), 6787-6804. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07104.

Cemeroğlu, B. S. (2013). Meyve ve sebze işleme teknolojisi. *Bizim Grup Basımevi*, Ankara, Türkiye, 312.

Damodaran, S., & Parkin, K.L. (Eds.). (2017). Fennema's Food Chemistry (5th ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315372914.

Doğan, H., & Meral, R. (2016). Uşkun bitkisinin bisküvi üretiminde fonksiyonel bileşen olarak kullanımı. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *6*(4), 91-99. https://doi.org/10.21597/jist.2016624159.

Engin, M. S., Kalkan, S., Cay, S., Guder, A., Otag, M. R., Gur, G., & Kablan, A. (2018). DPPH radical scavenging, phenolic and antimicrobial activity of *Momordica charantia* and *Rheum ribes*. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, *9*(4), 447-458.

Engin, T., Çiğdem, A., Alma, M. H., & Alwazeer, D. (2025a). Hydrogen-rich solvent method enhances the extraction of phenolics, pigments, reducing sugars, organic acids, and vitamin C from cowslip (*Primula veris* L.) flower. *Food Chemistry*, *463*, 141271. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141271.

Engin, T., Çiğdem, A., Kavrut, E., Tan, B., Alwazeer, D., Bekbayev, K., Toleugazykyzy, A., Bolkenov, B., Bekbayeva, B., & Baichiyeva, K. (2025b). Use of hydrogen-rich solvent and principal component analysis improves the recovery of phytochemicals from grape wastes. *Journal of Agriculture and Food Research*, *22*, 102033. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102033.

Esfandiari, Z., Hassani, B., Sani, I. K., Talebi, A., Mohammadi, F., Zomorodi, S., Kaveh, M., Assadpour, E., Khodaei S. M., Eghbaljoo, H., Gholizadeh, H., Sani, M. A., & Jafari, S. M. (2025). Characterization of edible films made with plant carbohydrates for food packaging: A comprehensive review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 100979. https://doi.org/10.1016/j.carpta.2025.100979.

Fauzan, H. R., Ningrum, A., & Supriyadi, S. (2023). Evaluation of a fish gelatin-based edible film incorporated with *Ficus carica* L. leaf extract as active packaging. *Gels*, *9*(11), 918. https://doi.org/10.3390/gels9110918.

Galus, S., & Kadzińska, J. (2019). Gas barrier and wetting properties of whey protein isolate-based emulsion films. *Polymer Engineering & Science*, *59*(S1), E375-E383. https://doi.org/10.1002/pen.24992.

Hoseini, S. A., Vazifedoost, M., Hajirostamloo, B., Didar, Z., & Nematshahi, M. M. (2025). Supercritical fluid extraction and encapsulation of Rivas (*Rheum ribes*) flower: Principal component analysis (PCA). *Heliyon*, *11*(2). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41746.

Jamanca-Gonzales, N. C., Ocrospoma-Duenas, R. W., Eguilas-Caushi, Y. M., Padilla-Fabian, R. A., & Silva-Paz, R. J. (2024). Food grain quality: Analysis of physical, biometric, and colorimetric properties to promote consumption. *Heliyon*, *10*(7). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29234.

Janowicz, M., Galus, S., Ciurzyńska, A., & Nowacka, M. (2023). The potential of edible films, sheets, and coatings based on fruits and vegetables in the context of sustainable food packaging development. *Polymers*, *15*(21), 4231. https://doi.org/10.3390/polym15214231.

Kalkan, S., Otağ, M. R., & Engin, M. S. (2020). Physicochemical and bioactive properties of edible methylcellulose films containing *Rheum ribes* L. extract. *Food Chemistry*, *307*, 125524. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125524.

Kandasamy, S., Yoo, J., Yun, J., Kang, H. B., Seol, K. H., Kim, H. W., & Ham, J. S. (2021). Application of whey protein-based edible films and coatings in food industries: An updated overview. *Coatings*, *11*(9), 1056. https://doi.org/10.3390/coatings11091056.

Kavrut, E. (2024). Production of pH-sensitive natural decomposition indicator with whey protein isolate-based Edible Film to monitor Fish Freshness. *Latin America Applied Research*, *54*(2), 247-252. https://doi.org/10.52292/j.laar.2024.3098.

Kavrut, E., & Sezer, Ç. (2024). The antimicrobial effect of edible film packaging in instant meatballs on *Escherichia coli* O157: H7. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, *75*(1), 7059-7072. https://doi.org/10.12681/jhvms.34084.

Kavrut, E., Sezer, Ç., & Alwazeer, D. (2024). A bibliometric analysis: What do we know about edible coatings? *Journal of Food Science and Technology*, *61* (11), 2057-2070. https://doi.org/10.1007/s13197-024-06052-7 .

Kavrut, E., Bulut, M., Çelebi, Y., Tekin, A., Çetintaş, Y., Hayaloğlu, A. A., & Alwazeer, D. (2025). Effect of hydrogen-producing magnesium-incorporated edible coating on metabolomic and volatilomic of beef meatballs. *Food Chemistry*, *476*, 143423. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143423.

Kaya, S., & Kaya, A. (2000). Microwave drying effects on properties of whey protein isolate edible films. *Journal of Food Engineering*, *43*(2), 91-96. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00136-3.

Ket-On, A., Pongmongkol, N., Somwangthanaroj, A., Janjarasskul, T., & Tananuwong, K. (2016). Properties and storage stability of whey protein edible film with spice powders. *Journal of Food Science and Technology*, *53*(7), 2933-2942. https://doi.org/ 10.1007/s13197-016-2259-z.

Krokida, M., & Maroulis, Z. (2000). Quality changes during drying of food materials. *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences*, *4*(2), 61-68.

Kumaran, A. (2006). Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of coleus aromaticus. *Food Chemistry*, *97*(1), 109-114. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.032.

Latiff, N. F., Sulaiman, N. F., Shaik, M. I., Mohamad, N. J., Khairul, W. M., Daud, A. I., & Sarbon, N. M. (2025). Halochromic smart film: A gelatin-based pH-sensitive film embedded with anthocyanin from roselle (*Hibiscus sabdariffa*) extracts for potential food spoilage indicator application. *Journal of Food Science*, *90*(3), e70134. https://doi.org/10.1111/1750-3841.70134.

Maneffa, A. J., Stenner, R., Matharu, A. S., Clark, J. H., Matubayasi, N., & Shimizu, S. (2017). Water activity in liquid food systems: A molecular scale interpretation. *Food Chemistry*, *237*, 1133-1138. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.046.

Mayachiew, P., & Devahastin, S. (2008). Comparative evaluation of physical properties of edible chitosan films prepared by different drying methods. *Drying Technology*, *26*(2), 176-185. https://doi.org/10.1080/07373930701831309.

Mayachiew, P., & Devahastin, S. (2010). Effects of drying methods and conditions on release characteristics of edible chitosan films enriched with Indian gooseberry extract. *Food Chemistry*, *118*(3), 594-601. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.027.

Mayor, L., & Sereno, A. M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, *61*(3), 373-386. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00144-4.

Mediani, A., Abas, F., Tan, C. P., & Khatib, A. (2014). Effects of different drying methods and storage time on free radical scavenging activity and total phenolic content of *Cosmos caudatus*. *Antioxidants*, *3*(2), 358-370. https://doi.org/10.3390/antiox3020358.

Nayak, C. A., & Rastogi, N. K. (2010). Effect of selected additives on microencapsulation of anthocyanin by spray drying. *Drying Technology*, *28*(12), 1396-1404. https://doi.org/10.1080/07373937.2010.482705.

Nogueira, G. F., Fakhouri, F. M., Velasco, J. I., & de Oliveira, R. A. (2019). Active edible films based on arrowroot starch with microparticles of blackberry pulp obtained by freeze-drying for food packaging. *Polymers*, *11*(9), 1382. https://doi.org/10.3390/polym11091382.

Pekdoğan, E. (2021). *Işkın (Rheum ribes* L.*) İlaveli Yenilebilir Film Üretimi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt, 30-33).

Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, *49*(4), 311-319. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4.

Savaş, A., Kavrut, E., & Engin, T. (2026). Valorization of sour cherry seeds in beef meatballs: effect on quality, lipid oxidation, texture profile, acrylamide formation and antioxidant activity. *Foods*, *15*(5), 968. https://doi.org/10.3390/foods15050968.

Sivarooban, T., Hettiarachchy, N. S., & Johnson, M. G. (2008). Physical and antimicrobial properties of grape seed extract, nisin, and EDTA incorporated soy protein edible films. *Food Research International*, *41*(8), 781-785. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.007.

Soiklom, S., Siri-Anusornsak, W., Petchpoung, K., Soiklom, S., & Maneeboon, T. (2025). Development of bioactive edible film and coating obtained from *Spirogyra* sp. extract applied for enhancing shelf life of fresh products. *Foods*, *14*(5), 804. https://doi.org/10.3390/foods14050804.

Spanos, G. A., & Wrolstad, R. E. (1990). Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson seedless grape juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *38*(7), 1565-1571. https://doi.org/10.1021/jf00097a030.

Sultana, B., Anwar, F., Ashraf, M., & Saari, N. (2012). Effect of drying techniques on the total phenolic. *Journal of. Medicinal Plants Research*, *6*, 161-167. https://doi.org/ 10.5897/JMPR11.916.

Şat, İ. G., Genç, B. & Binici, H. İ. (2023). Kahvaltılık yeni bir ürün: Işkın (*Rheum ribes* L.) Reçeli. *Gıda*, *48*(2), 445-458. https://doi.org/10.15237/gida.GD22119.

Takcı, H. A. M., Türkmen, F. U., Güneş, M., & Bakırhan, P. (2022). *Rheum ribes* özütlerinin antioksidan ve antibakteriyel aktiviteleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, *11*(1), 104-117. https://doi.org/10.31466/kfbd.879822.

Thakhiew, W., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2010). Effects of drying methods and plasticizer concentration on some physical and mechanical properties of edible chitosan films. *Journal of Food Engineering*, *99*(2), 216-224. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.02.025.

Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2009). Characterization of chitosan–oleic acid composite films. *Food Hydrocolloids*, *23*(2), 536-547. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.02.009.