

ÇÖREK OTU YAĞI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ JELATİN BAZLI AMBALAJ FİLMİ ÜRETİMİ VE TAVUK ETİ MUHAFAZASINDA KULLANIMI

Aydın ERGE*

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliği Bölümü, Gölköy Kampüsü, Bolu, Türkiye

Geliş / Received 18.09.2024; Kabul / Accepted: 02.12.2024; Online baskı / Published online: 30.12.2024

Erge, A. (2025). Çörek otu yağı ile zenginleştirilmiş jelatin bazlı ambalaj filmi üretimi ve tavuk eti muhafazasında kullanımı. *GIDA (2025) 50 (1) 15-27 doi: 10.15237/ gida.GD24104*

Erge, A. (2025). *Black seed oil-enriched packaging film made from gelatin and its application in the preservation of chicken meat. GIDA (2025) 50 (1) 15-27 doi: 10.15237/ gida.GD24104*

ÖZ

Son yıllarda dünyada çevresel endişeler nedeniyle petrol türevi ambalaj materyalleri yerine doğal ve yenilenebilir polimer alternatifler üzerine birçok araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmada doğal bir polimer olan sığır jelatinine farklı oranlarda (%0-3) çörek otu yağı eklenerek aktif, yenilebilir ve biyobozunur bir ambalaj materyali üretimi amaçlanmıştır. Jelatinin yapısını güçlendirmek amacıyla kafeik asit ve rutin kullanılarak çapraz bağ işlemi uygulanmıştır. Karakterizasyon analizleri yapıldıktan sonra filmler, tavuk göğüs eti muhafazasında kullanılmış, ağırlık kaybı ve lipid oksidasyon özellikleri bakımından test edilmiştir. Sonuçta çörek otu yağı kullanımının film parlaklığını azalttığı, opaklığı ise yükselttiği belirlenmiştir. En düşük suda çözünürlük (%30.75) ve en yüksek gerilme direnci (7.57 MPa) değerlerinin %1 çörek otu yağı içeren örnekte olduğu tespit edilmiştir. Tavuk eti muhafazasında çörek otu yağı kullanımının ağırlık kaybını azalttığı, diğer taraftan lipid oksidasyonunu ise geciktirdiği görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışma jelatin ve çörek otu yağı kombinasyonundan doğa dostu ve aktif bir ambalaj filmi üretim potansiyeli olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Biyopolimer, aktif ambalajlama, çörek otu yağı, jelatin, doğa dostu ambalaj filmi

BLACK SEED OIL-ENRICHED PACKAGING FILM MADE FROM GELATIN AND ITS APPLICATION IN THE PRESERVATION OF CHICKEN MEAT

ABSTRACT

In recent years, there has been a significant amount of research conducted on natural and renewable polymer alternatives to petroleum-derived packaging materials in response to environmental concerns. The objective of this investigation was to produce a biodegradable, edible, and active packaging material by incorporating black seed oil into bovine gelatin, a natural polymer, at varying concentrations (0–3%). In order to improve the structure of gelatin, cross-linking process was performed using caffeic acid and rutin. Following the characterization analyses of the films obtained in this study, the film's ability to preserve chicken meat freshness was evaluated by testing weight loss and lipid oxidation values. The results showed that the use of black seed oil reduced the film lightness and increased the opacity. It was determined that the lowest water solubility (30.75%) and highest tensile strength (7.57 MPa) values were in the sample with 1% black seed oil. It has been observed that the use of black seed oil in chicken meat preservation reduced weight loss and, on the

* Sorumlu yazar / Corresponding author

✉: aydin.erge@ibu.edu.tr

☎: (+90) 374 254 1000-6267

☎: (+90) 374 253 4346

Aydın Erge; ORCID no: 0000-0001-7419-4221

other hand, delayed lipid oxidation. This work has therefore demonstrated that the combination of gelatin and black seed oil has the potential to produce an active and environmentally friendly packaging film.

Keywords: Biopolymer, active packaging, black seed oil, gelatin, environmentally friendly packaging film

GİRİŞ

Günümüzde, gıda ambalaj alanında sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik olarak plastik materyallere alternatif olabilecek potansiyele sahip doğal ve yenilebilir polimerlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar giderek artmaktadır (Alizadeh Sani vd., 2022). Diğer taraftan doğal biyopolimerlerin gıda ambalajı olarak kullanımlarına ilişkin çeşitli kısıtlar ve dezavantajlar bulunmaktadır. Konvansiyonel plastik materyallere ile kıyaslandığında doğal biyopolimerlerin daha düşük mekaniksel, suya dayanım ve bariyer özellikleri gösterdikleri bildirilmektedir (Azizi-Lalabadi vd., 2020). Bu noktada doğal biyopolimer temelli ambalaj filmlerinin kullanımında uygun biyopolimer seçiminin yapılması veya çeşitli bileşenler ile zenginleştirilerek fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesi önem kazanmaktadır (Alizadeh Sani vd., 2022). Kaynağı bakımından karşılaştırıldığında protein temelli filmlerin daha iyi mekaniksel ve bariyer özellik gösterdikleri, polisakkarit temelli filmlerin ise iyi gaz bariyer özelliklerine sahipken, suya dayanımlarının daha düşük olduğu bildirilmektedir (Benbettaieb vd., 2016).

Jelatin, hayvansal bir protein olan kolajenden elde edilen, gıda, kozmetik ve ilaç sanayi gibi çeşitli alanlarda geniş kullanım alanına sahip protein temelli bir biyopolimerdir. Büyük üretim hacmi, kolay ulaşılabilir olması ve diğer doğal biyopolimerlere kıyasla daha ucuz olması nedeniyle jelatin birçok farklı alanda kullanılabilir. Dünyada jelatin büyük oranda domuz ve sığır derisinden üretilmektedir (Erge and Zorba, 2018). Jelatinin tatsız ve kokusuz olması, yüksek seviyede biyoyoumluluk ve biyobozunurluk özelliklerine sahip olması ve toksik özellik göstermemesi, onu önemli bir gıda katkı maddesi yaparken ayrıca yenilebilir film üretimi için de uygun bir hammadde haline getirmektedir (Karim Bhat, 2009). Bu avantajlarının yanında ayrıca jelatinin, çeşitli biyoaktif bileşiklerin taşınımı için iyi bir taşıyıcı

materyal olduğu da bildirilmektedir (Etxabide vd., 2016).

Çörek otu; *Ranunculaceae* familyasındaki otsu bir bitkidir. Akdeniz ülkelerinde yaygın olmakla beraber ülkemizde büyük oranda *Nigella sativa* çeşidi yetiştirilmektedir. Çörek otu tohumu, antioksidan, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal özelliklere sahip aktif bileşenler içermektedir (Forouzanfar vd., 2014; Kılıç ve Arabacı, 2016). Bu çalışmada, aktif ambalaj üretimi amacıyla jelatin bazlı ambalaj film solüsyonuna çörek otu yağı eklenmiştir.

Kimyasal çapraz bağ yöntemi, protein bazlı filmlerin fizikokimyasal özelliklerinin geliştirmek amacıyla uygulanan başlıca yöntemlerden birisidir (Santos vd., 2018). Bu noktada insan sağlığına herhangi bir olumsuz etkisi olmayan ve aynı zamanda biyopolimer özelliklerini geliştirecek uygun kimyasalın seçimi önemlidir. Gluteraldehit, formaldehit, transglutaminaz, glioksal ve genipin gibi bazı kimyasalların pahalı ve toksik olmaları gibi dezavantajları çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Tavassoli-Kafrani vd., 2017). Diğer taraftan, çeşitli bitkisel bileşenlerin doğal bir çapraz bağlayıcı olarak güvenilir bir gıda katkısı (GRAS - Generally Recognized as Safe) oldukları bildirilmektedir (Choi vd., 2018). Bu çalışmada, jelatin bazlı ambalaj film özelliklerini iyileştirmek amacıyla doğal çapraz bağ yapıcı olarak kafeik asit ve rutin kombinasyonu kullanılmıştır. Kafeik asit, antioksidan ve antimikrobiyal özelliklere sahip bitkisel bir sekonder metabolittir. Kafeik asitin proteinlerin çapraz bağ işlemi amacıyla kullanımına ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Parsaei vd., 2022). Rutin bitkisel bir flavonoid olup aktif ambalaj üretiminde kullanılan doğal bileşiklerden birisidir (Jia vd., 2022). Bir önceki çalışmamızda kafeik asit ve rutin kombinasyonu, tavuk jelatinini temelli ambalaj filmi üretiminde optimize edilmiştir. Sonuç olarak en iyi kafeik asit rutin kombinasyonunun sırasıyla %0.96-1.56 ve

%0-1.25 oranları arasında olduğu tespit edilmiştir (Erge vd., 2024).

Son yıllarda, doğal ve yenilenebilir polimerlerin gıda ambalaj endüstrisi için kullanımı, daha temiz ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Literatür incelendiğinde doğal bileşenler ile modifiye edilmiş jelatin temelli ambalaj film çalışmalarının oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Diğer taraftan doğal bileşenler kullanılarak modifiye edildikten sonra çörek otu yağı ile zenginleştirilmiş jelatin temelli ambalaj film çalışmasına literatürde rastlanmamıştır. Dolayısıyla jelatinin kafeik asit ve rutin kombinasyonu ile modifiye edilmesi ve daha sonra film solüsyonuna aktiflik özelliği kazandırmak amacıyla çörek otu yağı eklenmesi, çalışmamızın özgünlüğü olarak değerlendirilebilir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Bu çalışmada kafeik asit (Sigma-Aldrich, ABD), rutin (Sigma-Aldrich, ABD), gliserol (Sigma-Aldrich, ABD), Tween 80 (Merck, Almanya) ve sıgır jelatini (Merck, Almanya) analitik saflıkta kullanılmıştır. Çörek otu yağı Naturalya Kimya (Antalya/Türkiye) firmasından, tavuk göğüs eti ise Beypiliç A.Ş. (Bolu/Türkiye) firmasından temin edilmiştir.

Film Solüsyonunun Hazırlanması ve Filmlerin Üretimi

Film solüsyonları, toplam polimer (jelatin) oranı %5.5 olacak şekilde hazırlanmıştır. Jelatin solüsyonu için öncelikle 16.5 g jelatin tartılıp üzerine saf su eklendikten sonra hazırlanan jelatin solüsyonu oda sıcaklığında bir saat bekletilmiştir. Daha sonra bu solüsyon 55°C'de su banyosunda 30 dakika bekletilmiştir. Bu süre içerisinde solüsyon birkaç defa karıştırılmıştır. Aynı şekilde %1'lik kafeik asit ve rutin stok çözeltileri hazırlanmış ve pH değerleri 1 M sodyum hidroksit kullanılarak 9'a ayarlanmıştır. Daha sonra jelatin solüsyonuna, kafeik asit ve rutin solüsyondaki oranlarının toplam jelatin miktarının %1'i olacak şekilde kafeik asit ve rutin stok çözeltilerinden ekleme yapılmıştır. Bu arada solüsyon pH değeri 9'a getirilmiştir.

Bu aşamadan sonra çapraz bağ oluşum sürecine geçilmiştir. Bunun için kafeik asit ve rutin eklenmiş jelatin solüsyonu, su banyosunda 52.5°C'de ve 20 dakika süresince, içerisine oksijen verilerek bekletilmiştir (Erge ve Eren, 2021). Bu amaçla oksijen üreticisi cihazı kullanılmıştır (Hikoneb OxyBreath 10 L, Türkiye). Solüsyona verilen oksijen, çapraz bağ reaksiyonlarının başlamasında rol oynamıştır. Çapraz bağ işleminin ardından solüsyona farklı oranlarda (%0-3) çörek otu yağı, çörek otu yağının %30'u kadar Tween 80 (emülsifiye edici olarak) ve plastikleştirici olarak solüsyondaki toplam jelatin miktarının %40'ı olacak şekilde gliserol eklenmiştir. Son olarak elde edilen solüsyon, bir homojenizatör (İKA T25, Almanya) yardımıyla 6.000 rpm'de 5 dakika süresince homojenize edilmiş ve daha sonra oluşan hava kabarcıklarının giderilmesi amacıyla ultrasonik su banyosunda 40°C'de 10 dakika bekletilerek nihai film solüsyonu elde edilmiştir.

Bu aşamadan sonra hazırlanan solüsyonlar 9 cm çapındaki Petri kaplarına 15'er mL olacak şekilde dökülmüş ve oda sıcaklığında 12 saat bekletildikten sonra 38°C'de fanlı etüvde 24 saat süresince kurutulmuştur. Kuruyan filmler spatül yardımıyla Petri kaplarından ayrıldıktan sonra şeffaf kilitli poşetler içerisinde oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Film karakterizasyon analizleri öncesi film örnekleri poşetlerden çıkarılarak desikatör içerisinde %50 ± 5 nispi nem ve oda sıcaklığı koşullarında en az 48 saat süresince bekletilerek analizlere hazırlanmıştır. Bu çalışmada 4 farklı oranda çörek otu yağı (ÇOY) içeren jelatin filmleri elde edilmiş ve bu kombinasyonlar ÇOY %0, ÇOY %1, ÇOY %2 ve ÇOY %3 şeklinde kodlanmıştır. Bu kombinasyonlar, daha önce yapılmış olan ön denemeler ışığında belirlenmiştir.

Film Karakterizasyon Analizleri

Kalınlık ve Nem Tayini

Film kalınlık analizleri, bir mikrometre (Loyka, Türkiye) kullanılarak 10 farklı yerden ölçüm alınarak 0.001 mm hassasiyetinde gerçekleştirilmiştir. Nem tayini, etüvde 75°C'de 24 saat bekletilen film örneklerindeki ağırlık değişimine göre belirlenmiştir (Erge vd., 2024).

Renk ve Opaklık Tayini

Filmlerde renk özelliklerinin (L^* - parlaklık, a^* - kırmızılık/yeşillik, ve b^* - sarılık/mavilik) belirlenmesi için renk tayin cihazı kullanılmıştır (Minolta CR-400 Chroma Meter, Konica Minolta, Japonya). Ölçümler öncesi renk tayin cihazı, standart beyaz plaka yardımıyla kalibre edilmiştir. Renk ölçümleri, 5 farklı noktadan okuma yapılarak gerçekleştirilmiştir.

Film örneklerinde opaklık testleri, spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir (UV, Shimadzu, Japonya). Film örneği, ölçüm küveti içerisine aynı boyutta olacak şekilde kesilerek yerleştirilmiş ve 600 nm dalga boyunda ölçüm yapılmıştır. Örnek içermeyen boş kap ölçümü kontrol olarak belirlenmiştir (Nur Hanani ve Aelma Husna 2018). Opaklık değeri, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$Opaklık = \frac{Abs\ 600}{x} \quad (1)$$

Abs 600: 600 nm'de okunan absorbans değeri, x: Film kalınlığı (mm).

Suda Çözünürlük Analizi

Suda çözünürlük testleri, nem tayini sonrası kurutulmuş film örnekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Nur Hanani vd., 2013). Kurutulmuş film örnekleri, içerisinde 30 mL saf su bulunan kapaklı silindirik kaplarda (çap: 30 mm, yükseklik: 60 mm) 25°C'de 24 saat ağzı kapalı olarak bekletildikten sonra sudan çıkarılmış ve etüvde 75°C'de 24 saat süresince kurtulmuştur. Kuru film örneklerindeki ağırlık kaybı, suya geçen madde olarak değerlendirilmiş ve suda çözünürlük oranı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$WS (\%) = \frac{(W1-W2)}{(W1*100)} \quad (2)$$

W1: Nem tayini sonrası kurutulmuş film örnek ağırlığı

W2: Suda bekletildikten sonra kurtulan film örnek ağırlığı

Su Buharı Geçirgenliği Analizi

Su buharı geçirgenlik testleri, ASTM E-96 (1990) metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Film örnekleri dairesel olarak kesildikten sonra her biri içerisinde 15 g silika jel bulunan silindirik örnek kapları

üzerine güçlü bir yapıştırıcı (Derby 100) kullanılarak sızdırmaz bir şekilde kapatılmıştır. Her bir kap tartıldıktan sonra su dolu desikatör içerisinde 25°C'de 12 saat boyunca bekletilmiştir. Su buharı geçirgenliği değeri, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$SBG = \frac{w.x}{t.A.\Delta P} \quad (3)$$

SBG= Su buhar geçirgenliği, w= ağırlık artışı (g), x=film kalınlığı (mm), t= ağırlık artış süresi, A= Film örnek alanı (m²), ΔP= Örnek kapları dış ortamı buhar basıncı (su dolu desikatör buhar basıncı) ile kap içi buhar basıncı (kuru atmosfer) arasındaki fark (Núñez-Flores vd., 2013). Sonuçlar, g.mm/h.m².kpa birimi olarak ifade edilmiştir.

Mekanik Özelliklere İlişkin Testler

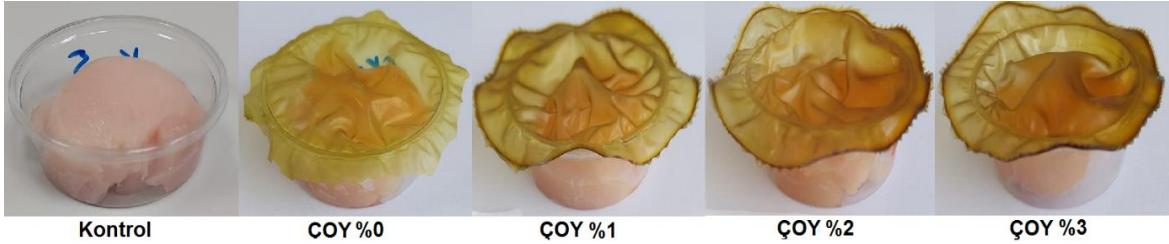
Gerilme direnci (tensile strength), kopma uzaması (elongation at break), delinme direnci (puncture strength) ve delinme uzaması (distance at puncture) testleri tekstür analiz cihazı (Stable Microsystems, TA-XT2i, Birleşik Krallık) kullanılarak ASTM (2002) metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Gerilme direnci ve kopma uzama testleri için 10 x 60 mm ebatlarında hazırlanan film örnekleri, ölçüm mesafesi olarak 40 mm olacak şekilde iki ucundan çekme aparatına sabitlendikten sonra 0.5 mm/s hızında kopma noktasına kadar gerdirilmiştir. Kopma noktasındaki uzama oranı (%) ve uygulanan maksimum güç (MPa), sırasıyla kopma uzaması ve gerilme direnci olarak hesaplanmıştır. Delme testleri, 3x3 cm ölçüsünde kare şeklindeki film örneklerinde ucu yuvarlak delme probu kullanılarak, 60 mm/dk delme hızında gerçekleştirilmiştir. Delme mesafesi "mm", delme direnci ise "g" olarak hesaplanmıştır. Mekanik testlerde her film örneği için üç farklı ölçüm yapılmıştır (Choi vd., 2018).

Filmlerin Tavuk Eti Muhafaza Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada, tavuk göğüs etleri, her biri yaklaşık 30 g olacak şekilde tartılarak plastik kaplara (60 mm çap ve 40 mm yükseklik) konmuştur. Daha sonra kapların ağzı elde edilen filmler ile yapıştırıcı kullanılarak sızdırmaz bir şekilde kapatılmış ve 12 gün boyunca buzdolabında muhafaza edilmiştir

(Şekil 1). Altıncı ve 12. günlerde ağırlık kaybı, TBARS ve peroksit analizleri gerçekleştirilmiştir. Ağırlık kaybı, 0. Gün ilk tartım ağırlığı ile ölçüm yapılan muhafaza günü tartımı yapılan ağırlık

farkının toplam örnek ağırlığına oranı olarak belirlenmiştir. Bu aşamada ambalajsız olan tavuk eti örneği, kontrol olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Elde edilen jelatin filmlerin tavuk eti muhafazasında kullanımı
Figure 1. Application of the resulting gelatin films for the preservation of chicken meat
ÇOY: Çörek otu yağı / BSO: Black seed oil

Peroksit Tayini

5 g tavuk eti örneği su banyosunda 3 dakika 60°C'de bekletildikten sonra üzerine 30 mL glasiyel asetik asit –kloroform çözeltisi (60:40; v/v) ilave edilerek 5 dakika karıştırılmış ve filtre edilmiştir. Süzüntü üzerine, 0.5 mL doymuş potasyum iyodür (KI) ilave edilerek 1 dakika karıştırılmış ve ağzı kapatılarak 5 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Daha sonra üzerine 30 mL saf su ilave edildikten sonra 0.01 N sodyum tiosülfat ile açık sarı renk elde edilinceye kadar titre edilmiş ve örnekteki peroksit miktarı meq O₂/kg yağ olarak hesaplanmıştır (Gökalp vd., 2010).

Tiyobarbutirik Asit Reaktif Madde (TBARS) Analizi

Tavuk eti örneğinden 5 g tartılarak üzerine 25 mL sıcak saf su eklenmiş ve 2 dakika homojenize edilmiştir. Daha sonra üzerine 23.75 mL saf su eklendikten sonra homojenat cam balona aktarılmış ve üzerine 1.25 mL HCl çözeltisi (%37'lik HCl:Saf su; 1:2) eklenmiştir. Malonaldehitin uçurulabilmesi için ısıtıcı üzerine konulmuş ve soğutuculu cam tüp bağlantısı yapılarak 5 dakika süresince distilasyon yapılmıştır. Kapaklı tüplerde 2.5 mL distilat alınarak üzerine 2.5 mL 0.02 N 2-tiyobarbutirik asit ayracından (0.288 g 2-tiyobarbutirik asit 100 mL %90'lık glasiyel asetik asit içerisinde) ilave edilmiştir. Tüpler su banyosunda 45 dakika kaynatıldıktan sonra, soğutulup

spektrofotometrede 538 nm'de absorbanans değerleri belirlenmiştir (Gökalp vd., 2010).

İstatistiksel Analizler

Bu çalışmada elde edilen 4 farklı kombinasyonda çörek otu yağına (ÇOY %0, ÇOY %1, ÇOY %2, ÇOY %3) ait değer ortalamaları arasındaki önemli bulunan farklılıkları ($P < 0.05$) analiz etmek amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Film kombinasyonları ortalama değerlerini karşılaştırmak için Duncan çoklu test yöntemi kullanılmıştır. Program olarak Windows yazılım program 17.0 SPSS (SPSS Inc., Chicago, ABD) kullanılmıştır. Tüm testler 3 paralelli ve 2 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Film Karakterizasyon Analiz Sonuçları

Kalınlık ve Nem

Film örneklerinin kalınlıkları 0.110 ile 0.201 mm arasındadır. En yüksek kalınlık değerinin ÇOY %2 örneğinde olduğu, en düşük kalınlığın ise ÇOY %0 örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$) (Çizelge 1). Burada çörek otu yağı kullanımının film kalınlığını artırdığı söylenebilir. Film kalınlığındaki artışın, film kompozisyonuna haricen eklenen komponent nedeniyle farklı ve daha yüksek konsantrasyonda bir formülasyon meydana gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan film solüsyonuna, düşük molekül ağırlığına sahip yağın eklenmesi ile jelatin molekülleri arasındaki

etkileşimlerin ve üçlü heliks yapının bozulduğu, moleküller arası boşlukların arttığı ve dolayısıyla film kalınlığının arttığı söylenebilir (Haghighi vd., 2019). Benzer sonuçlar Ojagh vd., (2010) tarafından da rapor edilmiştir.

Film örneklerinin nem değerleri %7.09 ile %10.10 arasındadır. En yüksek nem oranının ÇOY %0 örneğinde olduğu, en düşük nem oranının ise ÇOY %3 örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$) (Çizelge 1). Film nem değerleri

bakımından çörek otu yağı kullanımının film nem oranında bir azalmaya neden olduğu söylenebilir. Hidrofobik bir karaktere sahip çörek otu yağı bileşenleri ile jelatine ait hidroksil grupları arasındaki etkileşimler buna neden olmuş olabilir. Jelatin hidroksil grupları ile su molekülleri arasındaki etkileşim bu koşullarda sınırlanacağı için film nem oranında çörek otu yağı etkisiyle azalma olduğu düşünülmektedir (Haghighi vd., 2019).

Çizelge 1. Jelatin filmlere ait fiziksel ve geçirgenlik özellikleri
Table 1. Physical and permeability characteristics of gelatin films

	Kalınlık (mm) Thickness (mm)	Nem (%) Moisture (%)	L*	a*
ÇOY %0 BSO 0%	0.110±0.033 ^c	10.10±1.18 ^a	74.93±2.78 ^a	-4.40±0.85 ^c
ÇOY %1 BSO 1%	0.172±0.063 ^{ab}	8.31±0.89 ^b	68.52±7.06 ^b	0.86±2.75 ^b
ÇOY %2 BSO 2%	0.201±0.15 ^a	8.15±0.97 ^b	67.09±9.48 ^b	4.17±4.18 ^a
ÇOY %3 BSO 3%	0.159±0.07 ^b	7.09±0.91 ^b	66.17±7.92 ^b	3.96±2.94 ^a
	b*	Opaklık Opacity	Suda çözünürlük (%) Water solubility (%)	Su buharı geçirgenliği (g.mm/h.m2.kpa) Water vapor permeability (g.mm/h.m2.kpa)
ÇOY %0 BSO 0%	42.37±7.80 ^a	1.40±0.20 ^c	33.00±0.82 ^b	0.0020±0.0005 ^b
ÇOY %1 BSO 1%	40.71±5.32 ^a	8.69±1.69 ^a	30.75±0.96 ^c	0.0030±0.0013 ^{ab}
ÇOY %2 BSO 2%	39.63±7.53 ^{ab}	8.21±2.96 ^a	33.75±1.89 ^{ab}	0.0041±0.00055 ^a
ÇOY %3 BSO 3%	36.22±5.33 ^b	5.73±2.10 ^b	35.00±0.82 ^a	0.0039±0.00045 ^a

ÇOY: Çörek otu yağı; a-c: Aynı sütundaki farklı üstel harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir ($P < 0.05$)
BSO: Black seed oil; a-c: Different lower-case letters in the same column of the means of the treatments indicate statistically different ($P < 0.05$).

Renk ve Opaklık

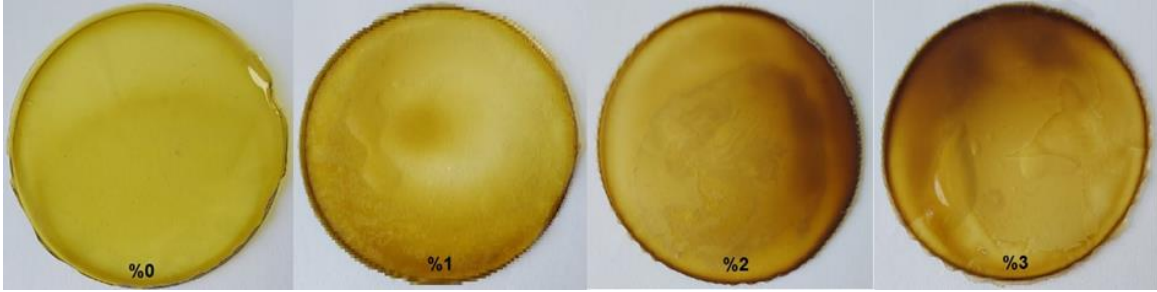
Ambalaj filmi renk özelliği, ürünün pazarlaması ve tüketici tercihi açısından önemli bir kalite kriteridir. Bu çalışmada elde edilen filmlere ait görseller Şekil 2'de verilmiştir. Kafeik asit / rutin kombinasyonu kullanılarak uygulanan çapraz bağ işlemi ve çörek otu yağı eklenmesinin film renk özelliklerini etkilediği görülmüştür. Burada kafeik asit ve rutin kombinasyonunda uygulanan çapraz bağ işlemi sonucunda jelatin filmlerde sarımsı kahverengi bir renk meydana geldiği

görülmektedir. Protein karakterindeki jelatin ve fenolik bileşikler aynı ortamda bulunduğu durumda, alkali ortamda ve oksijen varlığında fenolik maddelerin yapısal bileşenleri okside olmakta ve kinon bileşiklerine meydana gelmektedir. Oluşan kinon bileşikleri, jelatin filme koyu sarımsı kahverengi bir renk kazandırmaktadır.

Bu çalışmada L* değerleri bakımından en yüksek parlaklık değerinin ÇOY %0 örneğinde, en düşük parlaklık değerinin ise ÇOY %3 örneğinde olduğu

görülmüştür ($P < 0.05$). Burada çörek otu yağı kullanımının jelatin filmlerde parlaklığı düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu durum, çörek otu yağının koyu olan rengine bağlanmıştır. a^* değerleri bakımından en yüksek a^* değerinin ÇOY %2 örneğinde olduğu, en düşük a^* değerinin ise ÇOY %0 örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Burada çörek otu yağı kullanımının jelatin

filmlerde kırmızılığı artırdığı ifade edilebilir. b^* sarılık değerleri bakımından kontrol örneği ile %1 ve %2 çörek otu yağı içeren örnekler arasında istatistiksel bir farklılık olmadığı ($P > 0.05$), diğer taraftan %3 çörek otu yağı içeren film örneği b^* değerinin diğerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür ($P < 0.05$).



Şekil 2. Elde edilen jelatin filmlere ait görseller
Figure 2. Images of the gelatin films that were obtained

Film ışık geçirgenliği ve opaklık, gıdayı güneş ışınlarından korumada etkili ve gıda muhafazası bakımından önemli bir kalite kriteridir. Bu çalışmada opaklık değerleri bakımından en yüksek opaklık değerinin ÇOY %1 örneğinde olduğu, en düşük opaklık değerinin ise ÇOY %0 örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Burada jelatin filmlerde çörek otu yağı kullanımının opaklığı artırdığı ($P < 0.05$) ifade edilebilir, fakat diğer taraftan çörek otu yağı içeren örnekler kendi aralarında değerlendirildiğinde ÇOY %1 ve ÇOY %2 örnekleri arasında opaklık değeri bakımından istatistiksel bir farklılık olmadığı görülmüştür ($P > 0.05$). Literatür incelendiğinde bizim sonuçlarımıza benzer şekilde esansiyel yağ kullanımı ile film opaklığının arttığına ilişkin sonuçlar olduğu görülmüştür (Binsi vd., 2013; Song vd., 2018). Film matriksi içerisindeki yağ damlacıklarının ışık saçılımı (light scattering) özelliği, bu yüksek opaklık değerinin nedeni olabilir. Lipid oksidasyonuna karşı hassas olan gıdalar için iyi bir ışık bariyerine sahip opaklığı yüksek olan filmler daha avantajlı olabilir (Cao vd., 2021).

Suda Çözünürlük

Jelatin filmlerin suya olan dayanımı ve bütünlük özelliğini değerlendirmek amacıyla suda çözünürlük testi yapılmıştır. Gıda muhafaza

sürecinde ambalaj filminin koruyucu olabilmesi için suda çözünürlük değerinin düşük olması beklenir (Yavari Maroufi vd., 2021). Çizelge 1 incelendiğinde, suda çözünürlük değerleri bakımından en yüksek suda çözünürlük değerinin ÇOY %3 örneğinde olduğu, en düşük suda çözünürlük değerinin ise ÇOY %1 örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Bu noktada suda çözünürlük özelliği bakımından jelatin filmlerde %1 çörek otu yağı kullanımı önerilebilir. Shekar vd. (2024) yapmış olduğu çalışmada, karboksil metil selüloz / bamyasülfat / çörek otu yağı formülasyonunda üretilen filmlerde çörek otu yağ oranı arttıkça film suda çözünürlük değerinin azaldığı bildirilmiştir. Bu sonuç, jelatin ve çörek otu yağı arasındaki moleküler etkileşimler ve jelatinin jel oluşturma kabiliyeti ile ilişkilendirilmiştir. İki bileşik arasındaki bu sinerji, güçlü ve suya karşı dayanıklı bir ağ yapısı oluşturarak suda çözünürlük oranını düşürmektedir. Kaewprachu vd. (2018), sığır jelatinine mikrobiyel transglutaminaz kullanarak çapraz bağ işlemi yapmışlar ve elde ettikleri filmlerde aktif bileşen olarak nisin ve kateşin kullanmışlardır. Sonuçta filmlerdeki suda çözünürlük değerlerinin %90.9-58.7 aralığında olduğunu rapor etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise balık jelatininden elde edilen filmlerde aktif bileşen olarak epigallokateşin kullanılmıştır. Bu

çalışma neticesinde suda çözünürlük değerleri %99.55-35.36 aralığında rapor edilmiştir (Nilsuwan vd., 2019). Literatürdeki bu sonuçlar ile kıyaslandığında bizim çalışmamızda elde edilen suda çözünürlük değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu bakımdan jelatinin kafeik asit/rutin ile çapraz bağ uygulamasının filmin suda çözünürlük bakımından bütünlüğünü korumasına büyük katkı sağladığı ifade edilebilir.

Su Buharı Geçirgenliği

Su buharı geçirgenliği, biyopolimer temelli ambalaj filmlerinin en öne çıkan dezavantajlarından birisi olarak bildirilmektedir. Düşük su buharı geçirgenliğine sahip filmler, ürün ve dış ortam arasında nem geçişini azaltarak muhafaza süresini uzatabilmektedir. Bu çalışmada Çizelge 1 incelendiğinde en düşük geçirgenlik değerinin ÇOY %0 örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Çörek otu yağı içeren film örnekleri arasında su buharı geçirgenliği bakımından istatistiksel bir farklılık olmadığı görülmüştür ($P > 0.05$). Diğer taraftan çörek otu yağı kullanımının su buharı geçirgenliğini artırdığı ($P < 0.05$) ifade edilebilir. Film içerisindeki çörek otu yağının film su buharı geçişini artırmasının nedeni, yağın jelatin ağ yapısını bozarak daha düzensiz ve heterojen bir yapı oluşturması olduğu düşünülmüştür. Bu sayede su molekülleri, kesikli ve düzensiz olan film yapısı içerisinde kolayca geçebilmekte ve su buharı geçirgenliği değeri artmaktadır. Benzer şekilde Li vd. (2022)'nin yaptıkları çalışmada balık jelatin filmine zencefil yağı eklenmiş ve yağ oranı artışı ile su buharı geçirgenliğinin de yükseldiği rapor edilmiştir.

Mekanik Özellikler

Bu çalışmada elde edilen filmlerin mekanik özelliklerine ait sonuçlar Çizelge 2'de gösterilmiştir. Gıda ambalajının koruyuculuğu ve kullanıma karşı olan dayanımı, kullanılan ambalaj filminin gerilme direnci ile ilişkilendirilmektedir. Gıda üretim ve nakliye süreçlerinde gıdanın maruz kaldığı dış strese dayanım sağlayabilmesi için ambalaj film gerilme direnci değerinin yüksek olması gerektiği bildirilmektedir (Said ve Sarbon, 2022). Bu çalışmada gerilme direnci değerleri bakımından en yüksek gerilme direnci değerinin ÇOY %1 örneğinde olduğu, en düşük gerilme

direnci değerinin ise ÇOY %3 örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Çizelge 2 incelendiğinde, çörek otu yağı içermeyen ÇOY %0 örneği ile ÇOY %1 örneği karşılaştırıldığında aralarında istatistiksel bir farklılık olmamakla birlikte sayısal olarak %1 oranında çörek otu yağı kullanımının gerilme direncini 5.75 MPa'dan 7.57 MPa değerine yükselttiği görülmektedir. Diğer taraftan %2 ve %3 çörek otu yağı içeren örnekler değerlendirildiğinde, ÇOY %1 örneğine kıyasla çörek otu oranı arttıkça gerilme direncinin 7.57 MPa'dan sırasıyla 4.73 MPa ve 3.05 MPa değerlerine düştüğü görülmektedir. Burada ÇOY %1 örneği gerilme direncinin ÇOY %3 gerilme direncinden istatistiksel olarak da yüksek olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.05$). Bu sonuçlara bakılarak çörek otu yağı kullanımının %1 konsantrasyona kadar gerilme direncini yükselttiği, bu konsantrasyonun üzerinde ise gerilme direncini düşürdüğü ifade edilebilir. Bu sonuç, çörek otu yağının %1 konsantrasyona kadar jelatin zincirleri arasındaki etkileşimleri güçlendirmesi ve bunun sonucu olarak yüksek kohezyon gücüne sahip sürekli bir yapı oluşturmasına bağlanmıştır. Bu konsantrasyonun üzerinde ise fazla miktardaki çörek otu yağının jelatin zincirleri arasında düzensizliği artırdığı ifade edilebilir. Literatür incelendiğinde bu konuda farklı sonuçlara rastlanmıştır. Nunes vd. (2021)'nin yaptıkları çalışmada jelatin filmine %1 oranında limon esansiyel yağı nano emülsiyon olarak eklenmiş ve limon esansiyel yağ oranı artışı ile film gerilme direncinin azaldığı rapor edilmiştir. Bhatia vd. (2023)'nin yaptıkları çalışmada domuz jelatin filmine %0.075-0.1 oranlarında nane yağı eklenmiş ve film gerilme direncinin yükseldiği, diğer taraftan aynı çalışmada sığır jelatininden elde edilen filmde ise nane yağı eklenmesi ile gerilme direncinin azaldığı rapor edilmiştir.

Ambalaj filmlerinde analiz edilen diğer önemli mekanik kalite göstergeleri ise uzama oranı, delinme direnci ve delinme mesafesi değerleridir. Uzama oranı, film esnekliğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Said ve Sarbon, 2022). Film delinme karakteristikleri ise ambalajın çevre yüzeylerindeki çıkıntılara veya ambalajın kendi köşelerinin dış etmenlere karşı gösterdiği direncin bir belirteci olarak değerlendirilmektedir

(Fathiraja vd., 2022). Bu çalışmada jelatin film örneklerinde uzama, delinme direnci ve delinme mesafesi değerleri bakımından istatistiksel bir farklılık olmadığı görülmüştür ($P > 0.05$) (Çizelge 2). Dolayısıyla çörek otu yağı kullanımının film esnekliği, delinme direnci ve delinme mesafesi

üzerinde bir etkisi olmadığı söylenebilir. Sonuç olarak bu çalışma filmlerin mekanik özellikleri bakımından değerlendirildiğinde en iyi sonucun %1 çörek otu içeren ÇOY %1 örneğinde olduğu söylenebilir.

Çizelge 2. Jelatin filmlere ait mekaniksel özellikler
Table 2. Mechanical characteristics of gelatin films

	Gerilme direnci (MPa) <i>Tensile strength (MPa)</i>	Kopma uzama oranı (%) <i>Elongation at break (%)</i>	Delinme direnci (g) <i>Burst strength (g)</i>	Delinme mesafesi (mm) <i>Distance at burst (mm)</i>
ÇOY %0 BSO 0%	5.75±1.48 ^{ab}	392.95±43.66 ^a	1884.18±244.5 ^a	16.64±2.04 ^a
ÇOY %1 BSO 1%	7.57±1.79 ^a	408.28±38.83 ^a	2174.62±105.5 ^a	20.65±3.39 ^a
ÇOY %2 BSO 2%	4.73±0.43 ^{ab}	357.79±23.25 ^a	1588.11±47.24 ^a	19.31±1.32 ^a
ÇOY %3 BSO 3%	3.05±1.42 ^b	369.68±45.35 ^a	1675.32±159.5 ^a	17.78±1.03 ^a

ÇOY: Çörek otu yağı; a-b: Aynı sütundaki farklı üstel harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir ($P < 0.05$)
BSO: Black seed oil; a-b: Different lower-case letters in the same column of the means of the treatments indicate statistically different ($P < 0.05$).

Filmlerin Tavuk Eti Muhafaza Özelliklerine Ait Sonuçlar

Ağırlık Kaybı

Gıda muhafazası sırasında oluşan ağırlık kaybı, suyun gıdadan ambalaj iç yüzeyine migrasyonu ve daha sonra ambalajı geçerek dış ortama buharlaşması neticesinde meydana gelmektedir (Wang vd., 2024). Jelatin filmlerin, muhafaza sürecinde tavuk eti ağırlık kaybı değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 3'te gösterilmektedir. Burada ağırlık kaybı oranının, dolayısıyla gıda nem içeriğindeki azalmanın muhafaza süresi ile birlikte arttığı görülmektedir. 6. ve 12. Gün muhafazası sonucunda tüm örnekler arasında en yüksek ağırlık kaybının filmsiz kontrol örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Altıncı gün muhafazaları sonucunda film ile kaplanmış tavuk eti örnekleri arasında ağırlık kaybı bakımından istatistiksel bir farklılık olmadığı görülmüştür ($P > 0.05$). On ikinci gün muhafazaları sonucunda en düşük ağırlık kaybının ÇOY %2 örneğinde olduğu ve diğer çörek otu yağı içeren örneklerle kıyasla daha düşük bir ağırlık kaybı olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Bu noktada tavuk eti muhafazasında ağırlık kaybının daha düşük olması bakımından ambalaj filminde %2 çörek otu yağı kullanımı önerilebilir. Bu sonuç, çörek otu yağının

hidrofobik olan yapısının jelatin zincirleri ile sıkı bir yapı oluşturarak su buharı geçişini engellemesi şeklinde açıklanabilir. Tam tersine çörek otu yağının jelatin ağ yapısı içerisinde kümelenmiş yağ damlacıkları halinde kalması halinde ise jelatin film yapısı içerisinde boşluk ve çatlaklar oluşmasına ve dolayısıyla su buharı geçişinde artışa neden olabileceği de literatürde bildirilmektedir (Wang vd., 2024).

Peroksit Değerlerindeki Değişim

Peroksit değeri, et ürünlerinde birincil oksidasyon ürünlerinin belirlenmesi esasına dayanan ve lipid oksidasyonunu gösteren bir diğer önemli test parametresidir. Jelatin filmlerin, muhafaza sürecinde tavuk eti peroksit değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 3'te gösterilmektedir. Altıncı ve 12. gün muhafazaları sonucunda en yüksek peroksit değerinin ambalajsız kontrol örneklerinde olduğu ($P < 0.05$) görülmüştür. Altıncı gün muhafazası sonucunda en düşük peroksit değerinin %2 çörek otu yağı içeren ambalaj filmi ile kaplanmış tavuk örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Diğer taraftan 12. gün muhafazası sonucunda ambalajsız kontrol örneği, ÇOY %1 ve ÇOY %2 örnekleri arasında istatistiksel bir farklılık olmadığı, en düşük peroksit değerinin ise ÇOY %0 örneğinde olduğu

görülmüştür ($P < 0.05$). Bu sonuçlar özellikle muhafaza sürecinin başlangıç döneminde (6. gün) çörek otu yağı kullanımının tavuk eti peroksit değeri artışında yavaşlatıcı bir etki gösterdiği ve kontrol örneğine kıyasla daha düşük peroksit değerleri gösterdiği ifade edilebilir. Yapılan bir

çalışmada dana köfte formülasyonuna eklenen çörek otu ekstraktı ile peroksit değeri artışında yavaşlama olduğu, en etkili oranın ise %3 çörek otu ekstraktı olduğu bildirilmiştir (Rahman et al., 2021).

Çizelge 3. Jelatin filmlerin tavuk eti muhafaza özellikleri üzerine olan etkileri

Table 3. Effects of gelatin films on the preservation characteristics of chicken meat

	Ağırlık Kaybı (%) Weight loss (%)		Peroksit (meq/kg) Peroxide (meq/kg)			TBARS (mg MDA/kg) TBARS (mg MDA/kg)		
	6. Gün Day 6	12. Gün Day 12	0. Gün Day 0	6. Gün Day 6	12. Gün Day 12	0. Gün Day 0	6. Gün Day 6	12. Gün Day 12
Kontrol (ambalajsız) Control (without film)	5.60±0.63 ^a	11.22±0.48 ^a		2.79±0.26 ^a	6.00±0.083 ^a		0.40±0.006 ^a	0.48±0.005 ^a
ÇOY %0 BSO 0%	2.71±0.29 ^b	5.24±0.07 ^b		1.99±0.57 ^{ab}	3.39±0.28 ^c		0.42±0.006 ^a	0.45±0.011 ^b
ÇOY %1 BSO 1%	3.16±0.44 ^b	6.06±0.90 ^{bc}	1.594±0.27	1.29±0.42 ^{bc}	5.81±0.31 ^a	0.3302 ± 0.12	0.39±0.03 ^a	0.43±0.005 ^c
ÇOY %2 BSO 2%	2.18±0.19 ^b	4.00±0.58 ^c		0.89±0.14 ^c	5.59±0.002 ^a		0.43±0.027 ^a	0.42±0.005 ^{bc}
ÇOY %3 BSO 3%	2.41±0.14 ^b	4.81±0.56 ^{bc}		1.29±0.14 ^{bc}	4.79±0.56 ^b		0.41±0.04 ^a	0.41±0.054 ^c

ÇOY: Çörek otu yağı; a-c: Aynı sütundaki farklı üstel harflere sahip değerler arasındaki fark önemlidir ($P < 0.05$)
BSO: Black seed oil; a-c: Different lower-case letters in the same column of the means of the treatments indicate statistically different ($P < 0.05$).

Tijobarbutirik Asit Reaktif Madde (TBARS) değişimi
TBARS değeri, et ürünlerinde ikincil oksidasyon ürünlerinin belirlenmesi esasına dayanan ve lipidlerdeki oksidatif acılaşmayı gösteren önemli bir test parametresidir. Jelatin filmlerin, muhafaza sürecinde tavuk eti TBARS değerleri üzerindeki etkilerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 3'de gösterilmektedir. Burada 6. gün muhafazası sonucunda TBARS değerleri bakımından tavuk eti örnekleri arasında istatistiksel bir farklılık olmadığı görülmüştür ($P > 0.05$). Diğer taraftan 12. gün muhafazası sonucunda TBARS değerleri incelendiğinde ambalaj filmindeki çörek otu yağı oranı artışı ile tavuk eti TBARS değerinin azaldığı, en düşük TBARS değerinin ise %3 çörek otu yağı içeren ambalaj filmi ile kaplanmış tavuk örneğinde olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). Bu sonuç, çörek otu yağında bulunan antioksidan özelliklere sahip fenolik bileşiklerin varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Özellikle timokinon ve karvakrolün gibi bileşenlerin bulundurduğu hidrojen atomları sayesinde serbest radikalleri süpürerek lipid oksidasyonu geciktirdiği söylenebilir (Sakib et al., 2023). Rahman vd. (2021)'nin yaptıkları çalışmada

dana köfte formülasyonuna belirli oranlarda çörek otu ekstraktı eklemişler ve pişmiş köftelerde 15 günlük soğukta muhafaza sürecinde TBARS değerlerindeki artışın çörek otu ekstraktı içeren örneklerde daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Bir başka çalışmada gökkuşuğu alabalığı filetoları, çörek otu yağı ve nane yağı içeren kinoa nişastası temelli kaplama materyali ile kaplanmıştır. Sonuçta çörek otu yağının, nane yağına kıyasla daha yüksek düzeyde antioksidan etki gösterdiği ve balık filetolarının raf ömrünü uzatma potansiyelinde sahip olduğu bildirilmiştir (Güler et al., 2024).

SONUÇ

Bu çalışmada doğal fenolik bileşikler kullanılarak modifiye edilmiş jelatinin belirli oranlarda çörek otu yağı ile zenginleştirilmek suretiyle aktif ve biyobozunur bir ambalaj filmi üretimi, yenilikçi bir yaklaşım olarak öngörülmüştür. Elde edilen sonuçlar, renk ve opaklık özellikleri bakımından çörek otu yağının film parlaklığını azalttığı ve opaklığı yükselttiğini göstermiştir. Bu bakımdan lipid oksidasyonuna karşı hassas olan gıdaların muhafazasında çörek otu yağı kullanımının

avantajlı olacağı sonucuna varılmıştır. Suda çözünürlük özelliği bakımından en düşük çözünürlük ÇOY %1 örneğinde tespit edilmiştir. Su buharı geçirgenliği bakımından ise çörek otu yağı kullanımının su buharı geçirgenliğini artırdığı görülmüştür. Mekanik özellikler bakımından en yüksek gerilme direnci ÇOY %1 örneğinde tespit edilmiştir. Filmlerin tavuk eti muhafazasında ağırlık kaybına olan etkileri bakımından en düşük ağırlık kaybı ÇOY %2 örneğinde tespit edilmiştir. Filmlerin tavuk eti lipid oksidasyonu üzerine olan etkileri değerlendirildiğinde çörek otu yağı artışı ile TBARS değerinin düştüğü ve en düşük TBARS değerinin ÇOY %3 örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Peroksit değerleri incelendiğinde ise 6 günlük muhafaza neticesinde en düşük peroksit değerinin ÇOY %3 örneğinde olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu çalışma jelatin ve çörek otu yağı bileşenleri arasında pozitif bir etkileşim olduğunu, bu kombinasyonun etkili ve doğa dostu bir ambalaj filmi üretimi için kullanılabileceğini göstermiştir. Diğer taraftan bu çalışmada, jelatinin doğal fenolik bileşikler ile modifiye edilmesi neticesinde özellikle mekanik özellikler ve bütünlük gibi film kalite parametrelerinin geliştirilebileceği ortaya konmuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazar herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemektedir.

KAYNAKLAR

Alizadeh Sani, M., Tavassoli, M., Salim, S. A., Azizi-lalabadi, M., McClements, D. J. (2022). Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle- and anthocyanin-loaded gelatin/ κ -carrageenan films. *Food Hydrocolloids*, 124(PB), 107324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107324>

ASTM. (1990). *Standard test methods for water vapour transmission of materials. Designation: E96-90 Annual book of American standards testing methods standard.*

ASTM. (2002). *Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting. Standard designation: D882 Annual Book of American Standards Testing Methods.*

Azizi-Lalabadi, M., Alizadeh-Sani, M., Divband, B., Ehsani, A., McClements, D. J. (2020). Nanocomposite films consisting of functional

nanoparticles (TiO₂ and ZnO) embedded in 4A-Zeolite and mixed polymer matrices (gelatin and polyvinyl alcohol). *Food Research International*, 137(August), 109716. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109716>

Benbettaieb, N., Gay, J. P., Karbowski, T., Debeaufort, F. (2016). Tuning the Functional Properties of Polysaccharide-Protein Bio-Based Edible Films by Chemical, Enzymatic, and Physical Cross-Linking. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(4), 739–752. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12210>

Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Jawad, M., Shah, Y. A., Al-Azri, M. S., Ullah, S., Anwer, M. K., Aldawsari, M. F., Koca, E., Aydemir, L. Y. (2023). A Comparative Study of the Properties of Gelatin (Porcine and Bovine)-Based Edible Films Loaded with Spearmint Essential Oil. *Biomimetics*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics8020172>

Binsi, P. K., Ravishankar, C. N., Srinivasa Gopal, T. K. (2013). Development and Characterization of an Edible Composite Film Based on Chitosan and Virgin Coconut Oil with Improved Moisture Sorption Properties. *Journal of Food Science*, 78(4). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12084>

Cao, C., Feng, Y., Kong, B., Xia, X., Liu, M., Chen, J., Zhang, F., Liu, Q. (2021). Textural and gel properties of frankfurters as influenced by various κ -carrageenan incorporation methods. *Meat Science*, 176(June 2020), 108483. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108483>

Choi, I., Lee, S. E., Chang, Y., Lacroix, M., Han, J. (2018). Effect of oxidized phenolic compounds on cross-linking and properties of biodegradable active packaging film composed of turmeric and gelatin. *Lwt*, 93(December 2017), 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.065>

Erge, A., Eren, Ö. (2021). Chicken gelatin modification by caffeic acid: A response surface methodology investigation. *Food Chemistry*, 351(December 2020), 129269. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129269>

Erge, A., Güler, B. Z., Eren, Ö. (2024). Optimization and characterization of biodegradable films from chicken gelatin

- crosslinked with oxidized phenolic compounds. *Food Chemistry*, 438(July 2023). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137923>
- Erge, A., Zorba, Ö. (2018). Optimization of gelatin extraction from chicken mechanically deboned meat residue using alkaline pretreatment. *Lwt*, 97(June), 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.057>
- Etxabide, A., Leceta, I., Cabezudo, S., Guerrero, P., De La Caba, K. (2016). Sustainable fish gelatin films: From food processing waste to compost. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(9), 4626–4634. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00750>
- Fathiraja, P., Gopalrajan, S., Karunanithi, M., Nagarajan, M., Obaiah, M. C., Durairaj, S., Neethirajan, N. (2022). Response surface methodology model to optimize concentration of agar, alginate and carrageenan for the improved properties of biopolymer film. *Polymer Bulletin*, 79(8), 6211–6237. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03797-5>
- Forouzanfar, F., Fazly Bazzaz, B. S., Hosseinzadeh, H. (2014). Black cumin (*Nigella sativa*) and its constituent (thymoquinone): A review on antimicrobial effects. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 17(12), 929–938.
- Gökalp, H. Y., Kaya, M., Zorba, Ö. (2010). *Et ve Ürünlerinde Kalite Kontrolü ve Laboratuvar Uygulama Kılavuzu* (5th ed.). Atatürk Üniversitesi Yayınları no 751.
- Güler, K., Yanık, T., Alak, G. (2024). Investigations on the shelf life of rainbow trout fillets covered by quinoa biofilms enriched with different essential oils (*Nigella sativa* and *Mentha piperita*). *Food Science and Technology International*, 30(3), 251–259. <https://doi.org/10.1177/10820132221145973>
- Haghighi, H., Biard, S., Bigi, F., De Leo, R., Bedin, E., Pfeifer, F., Siesler, H. W., Licciardello, F., Pulvirenti, A. (2019). Comprehensive characterization of active chitosan-gelatin blend films enriched with different essential oils. *Food Hydrocolloids*, 95(February), 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.019>
- Jia, N., Lin, S., Yu, Y., Zhang, G., Li, L., Zheng, D., Liu, D. (2022). The Effects of Ethanol and Rutin on the Structure and Gel Properties of Whey Protein Isolate and Related Mechanisms. *Foods*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/foods11213480>
- Kaewprachu, P., Ben Amara, C., Oulahal, N., Gharsallaoui, A., Joly, C., Tongdeesoontorn, W., Rawdkuen, S., Degraeve, P. (2018). Gelatin films with nisin and catechin for minced pork preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 18(September), 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.10.011>
- Karim, A. A., Bhat, R. (2009). Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 563–576. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.002>
- Kılıç, C., Arabacı, O. (2016). Çörek otu (*Nigella sativa* L.)’nda farklı ekim zamanı ve tohumluk miktarının verim ve kalite ve kaliteye etkisi. *Journal of Adnan Menderes University Agricultural Faculty*, 13(2), 49–56.
- Li, X., Tu, Z. C., Sha, X. M., Ye, Y. H., Li, Z. Y. (2022). Flavor, antimicrobial activity and physical properties of gelatin film incorporated with of ginger essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, 59(2), 815–824. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05080-x>
- Nilsuwan, K., Guerrero, P., Caba, K. de la, Benjakul, S., Prodpran, T. (2019). Properties of fish gelatin films containing epigallocatechin gallate fabricated by thermo-compression molding. *Food Hydrocolloids*, 97(May), 105236. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105236>
- Nunes, J. C., Melo, P. T. S., Lorevice, M. V., Aouada, F. A., de Moura, M. R. (2021). Effect of green tea extract on gelatin-based films incorporated with lemon essential oil. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04469-4>
- Núñez-Flores, R., Giménez, B., Fernández-Martín, F., López-Caballero, M. E., Montero, M. P., Gómez-Guillén, M. C. (2013). Physical and functional characterization of active fish gelatin films incorporated with lignin. *Food Hydrocolloids*,

- 30(1), 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.017>
- Nur Hanani, Z. A., Aelma Husna, A. B. (2018). Effect of different types and concentrations of emulsifier on the characteristics of kappa-carrageenan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 710–716. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.163>
- Nur Hanani, Z. A., McNamara, J., Roos, Y. H., Kerry, J. P. (2013). Effect of plasticizer content on the functional properties of extruded gelatin-based composite films. *Food Hydrocolloids*, 31(2), 264–269. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.10.009>
- Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., Hosseini, S. M. H. (2010). Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*, 120(1), 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.006>
- Parsaei, E., Mohammadi Nafchi, A., Nouri, L., Al-Hassan, A. A. (2022). The effects of tannic and caffeic acid as cross-linking agents on the physicochemical, barrier, and mechanical characteristics of cold-water fish gelatin films. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(5), 3926–3934. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01495-y>
- Rahman, M. H., Alam, M. S., Monir, M. M., Ahmed, K. (2021). Comprehensive effects of black cumin (*Nigella sativa*) and synthetic antioxidant on sensory and physicochemical quality of beef patties during refrigerant storage. *Journal of Agriculture and Food Research*, 4(January), 100145. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100145>
- Said, N. S., Sarbon, N. M. (2022). Physical and Mechanical Characteristics of Gelatin-Based Films as a Potential Food Packaging Material: A Review. *Membranes*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/membranes12050442>
- Sakib, R., Caruso, F., Aktar, S., Belli, S., Kaur, S., Hernandez, M., Rossi, M. (2023). Antioxidant Properties of Thymoquinone, Thymohydroquinone and Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Seed Oil: Scavenging of Superoxide Radical Studied Using Cyclic Voltammetry, DFT and Single Crystal X-ray Diffraction. *Antioxidants*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/antiox12030607>
- Santos, J. P., Esquerdo, V. M., Moura, C. M., Pinto, L. A. A. (2018). Crosslinking agents effect on gelatins from carp and tilapia skins and in their biopolymeric films. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 539(September 2017), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2017.12.018>
- Shekar, F., Javadi, A., Azadmard-Damirchi, S., hamishehkar, hamed. (2024). Characterization of biocomposite films made from carboxymethyl cellulose, okra mucilage, and black cumin seed (*Nigella sativa*) oil by Response Surface Methodology. *Next Materials*, 5(June), 100264. <https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2024.100264>
- Song, X., Zuo, G., Chen, F. (2018). Effect of essential oil and surfactant on the physical and antimicrobial properties of corn and wheat starch films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107(PartA), 1302–1309. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.09.114>
- Tavassoli-Kafrani, E., Goli, S. A. H., Fathi, M. (2017). Fabrication and characterization of electrospun gelatin nanofibers crosslinked with oxidized phenolic compounds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103, 1062–1068. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.152>
- Wang, X., Xue, Z., Sun, Y., Peng, B., Wu, C., Kou, X. (2024). Chitosan-ginger essential oil nanoemulsions loaded gelatin films: A biodegradable material for food preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280(P2), 135791. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135791>
- Yavari Maroufi, L., Ghorbani, M., Tabibiazar, M., Mohammadi, M., Pezeshki, A. (2021). Advanced properties of gelatin film by incorporating modified kappa-carrageenan and zein nanoparticles for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 753–759. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.163>