

Atf İçin: Pekdoğan E., Akkemik E. ve Hallaç B. (2024). Bitkisel Ekstraktlarının Yenilebilir Film ve Kaplamalarda Kullanımı *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(1), 271-283.

To Cite: Pekdoğan E., Akkemik E. & Hallaç B. (2024). Use of Herbal Extracts in Edible Film and Coatings. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(1), 271-283.

Bitkisel Ekstraktlarının Yenilebilir Film ve Kaplamalarda Kullanımı

Esra PEKDOĞAN¹, Ebru AKKEMİK^{2*}, Bülent HALLAÇ²

Öne Çıkanlar:

- Hidrofilik ve hidrofobik özellikteki bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlere etkisi
- Yenilebilir filmlerin karakteristik özellikleri
- Bitki ekstraktlarının antioksidan ve antimikrobiyal özellikler üzerindeki etkisi

Anahtar Kelimeler:

- Yenilebilir film
- Kaplama
- Karakterizasyon
- SEM
- DSC
- Antioksidan
- Antimikrobiyal

ÖZET:

Geri dönüşümün vazgeçilmez olan, biyoyararlı olarak sınıflandırılan yenilebilir film ve kaplamalar (YFK) biyopolimer materyallerdir. Bugüne kadar çevre dostu olan YFK ile ilgili sayısız çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların birçoğu bitki ekstraktlarının YFK’da kullanılması ile ilgilidir. Söz konusu YFK’da bitki ekstresi ilave edilmesi antioksidan, antimikrobiyal, karakterizasyon (kalınlık, su buharı geçirgenliği, kopma anındaki uzama katsayısı (%E), çekme dayanımı (TS), renk, biyobozunurluk, suda çözünürlük, absorbanstansmittans analizleri, termal gravimetrik analiz (TGA) (kalınlık, su buharı geçirgenliği, kopma anındaki uzama katsayısı (%E), çekme dayanımı (TS), renk, biyobozunurluk, suda çözünürlük, absorbanstansmittans analizleri, termal gravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC), yenilebilir filmlerde fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), taramalı elektron mikroskobu (SEM)) (SEM) (yenilebilir filmlerde fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), taramalı elektron mikroskobu (SEM)) özelliklerinin iyileştirilmesi için yapılmaktadır. Ne yazık ki ilave edilen bitki ekstraktları her zaman beklenen etkiyi göstermemektedir. Bu çalışmada Yüksek Öğretim Tez Merkezi, Google Akademik, Web of Science veri tabanları incelenerek bitki ekstresi, yenilebilir film, karakterizasyon, kaplama anahtar kelimeleri kullanılarak toplamda 78 çalışma analiz edilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde bitki ekstresinin kimyasal yapısı ve filme eklenen dozajının antioksidan aktiviteyi artırıcı yönde etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Antimikrobiyal aktivitenin belirlenmesinde ise analiz yönteminin sonucu etkilediği belirtilmiştir. Diğer özelliklerin ise bitki ekstresinin lipofilik ve hidrofilik olmasına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği ifade edilmektedir. Sonuç olarak yaptığımız bu çalışma araştırmacılara farklı araştırma konuları geliştirmeleri için katkı sunmaktadır. Dahası genç araştırmacılara YFK’ın karakterizasyon parametreleri kapsamında temel bir kaynak oluşturmaktadır.

Use of Herbal Extracts in Edible Film and Coatings

Highlights:

- Effect of hydrophilic and hydrophobic plant extracts on edible films.
- Characteristics of edible films
- Effect of plant extracts on antioxidant and antimicrobial properties

Keywords:

- Edible film
- Coating
- Characterization
- SEM
- DSC
- Antioxidant
- Antimicrobial

ABSTRACT:

Edible films and coatings (YFK) which are indispensable for recycling and classified as bioavailable, are biopolymer materials. Numerous studies have been carried out on environmentally friendly (YFK). Many of these studies are related to the use of plant extracts in (YFK) Addition of plant extract to the said (YFK), antioxidant, antimicrobial, characterization (thickness, water vapor permeability, elongation at break (%E), tensile strength (TS), color, biodegradability, water solubility, absorbance-transmittance analysis, thermal gravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC)) and examination of homogeneous distribution (Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) in edible films, scanning electron microscopy (SEM)) are performed to improve their properties. Unfortunately, the added plant extracts do not always show the expected effect. In this study, a total of 78 studies were analyzed using the keywords of plant extract, edible film, characterization, coating by examining Higher Education Thesis Center, Google Scholar, Web of Science databases. When the studies are examined, it is stated that the chemical structure of the plant extract and the dosage added to the film influence increasing the antioxidant activity. In determining the antimicrobial activity, it was stated that the analysis method affected the result. It is stated that other properties vary depending on the lipophilic and hydrophilic nature of the plant extract. As a result, our study contributes to researchers to develop different research topics. Moreover, it provides a fundamental resource for young researchers within the scope of characterization parameters of (YFK)

¹Esra PEKDOĞAN ([Orcid ID: 0000-0002-4859-3672](https://orcid.org/0000-0002-4859-3672)), Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

²Ebru AKKEMİK ([Orcid ID: 0000-0002-4177-4884](https://orcid.org/0000-0002-4177-4884)), ²Bülent HALLAÇ ([Orcid ID:0000-0002-6948-1565](https://orcid.org/0000-0002-6948-1565)), Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ebru AKKEMİK, e-mail: eakkemik@siirt.edu.tr

Bu çalışma Esra PEKDOĞAN’ın Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Artan ambalaj kullanımının yol açtığı en büyük problemlerin başında çevre kirliliği gelmektedir. Bunun en önemli sebebi bilinçsiz tüketicilerin ambalajları geri dönüşüme uygun olarak sınıflandırılmaması ve depolayamamasıdır. Ne yazık ki ülkemizde piyasaya sürülen ambalajların yaklaşık %40'nın geri dönüşüme uğramadığı görülmektedir (Anonim, 2018). Plastik, kâğıt, cam, metal ve kompozitler gibi geleneksel gıda ambalaj malzemeleri yenilebilir gıda ambalajlarında kullanımı sınırlıdır. Polietilen, polipropilen gibi plastikler çevre dostu değildir (Sundqvist-Andberg ve Akerman 2021; Kumar ve ark., 2022). Petrolün işlenmesi sırasında elde edilen, petrol bazlı bu ürünlerin çoğu tek kullanımlıdır ve kullanımdan sonra okyanuslara ve/veya karaya atılmaktadır. Plastikğin yakılması sera gazlarının emisyonuna neden olarak küresel ısınmaya yol açmıştır (Ramakanth ve ark., 2021; Meys ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2022). Potansiyel bir çevre dostu olan yenilebilir ambalajlar tüketiciler tarafından tercih edilmektedir (Mohamed ve ark., 2020; De Oliveira Júnior ve ark., 2021; Oloye ve ark., 2020; Kurt ve Çekmecelioğlu, 2021; Kumar ve ark., 2022). Ambalajların sebep olduğu çevre kirliliğini azaltmak adına geri dönüşümlü veya biyoyararlı ambalajlar kullanması için teşvik ve bilinçlendirme çalışmaları yapılmaktadır. En iyi geri dönüşüm sağlayan ve biyoyararlı olarak da sınıflandırılan YFK son zamanlarda oldukça popüler hale gelmiştir.

Yenilebilir ambalajlar gıda kalitesini korur, raf ömrünü uzatır ve atıkları bir dereceye kadar azaltır. Teknolojik gelişmelerin ortaya çıkması ve en son teknolojiye sahip dönüştürme işlemlerinin kullanıma sunulmasıyla, yenilebilir malzemeler yenilebilir filmlere ve kaplamalara dönüştürülebilmektedir. Bu filmler, ambalaj ve poşet şeklinde kullanılabilir. Kaplamalar ise gıda ürünlerinin üzerine sürülerek de kullanılabilir. Yenilebilir ambalajın benzersiz avantajı, ürünün ayrılmaz bir parçası olmasıdır; dolayısıyla tüketicilerin paketi açmasına gerek kalmamaktadır (Saklani ve ark., 2019; Kumar ve ark., 2022).

YFK, "Gıdanın üzerine veya arasına çeşitli yöntemlerle ince bir tabaka halinde kaplanan biyopolimer materyallerdir" (Debeaufort ve ark., 1998; Candan ve Bağdatlı, 2018). Bu materyaller doğal, geri dönüştürülebilir, çevreyi kirliletmeyen ve gıda olarak alınmayıp doğaya bırakıldığında doğada kısa sürede kaybolan biyobozunur maddeler olarak kabul edilir (Candan ve Bağdatlı, 2018).

Tarihi 13. yüzyıllara dayanan YFK'nın ilk uygulamaları Çin'de portakal, limon gibi gıdalar üzerine sürülen mum kaplamalar olduğu düşünülmektedir. Çin'in ardından film ve kaplamalar Avrupa'da nem bariyeri olma ve su kaybını azaltma, gıdaya parlaklık vererek estetik özelliklerini artırmak amacıyla çeşitli gıdaların kaplanması için kullanılmıştır (Uçan ve Mercimek, 2013).

YFK gıda olarak kullanılan biyopolimerlerden ve gıda saflığında katkı maddelerinden üretilmektedir. YFK biyolojik yapılarına göre genel itibarıyla protein, lipid, karbonhidrat bazlı olabilecekleri gibi belirtilen makromoleküllerin kombinasyonları halinde de yapılabilmektedir (Debeaufort ve ark., 1998; Yıldız ve Yangılar, 2016). Biyopolimerler biyolojik olarak parçalanabilirlik, geri dönüştürülebilirlik ve sürdürülebilirlik gibi çeşitli avantajlara sahip olmasına rağmen, zayıf mekanik ve bariyer özelliklerinden dolayı bazı sınırlamalara sahiptir (Singh ve ark., 2021a; Kumar ve ark., 2022). Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için bu biyomateryallere bazı katkı maddeleri eklenebilir. Katkı maddeleri ambalaj malzemelerinin esnekliğini, gaz bariyerini ve mekanik özelliklerini geliştirebilir. Gliserol ve sorbitol de dahil olmak üzere plastikleştiriciler, filmlerin ve kaplamaların şekillerini daha verimli bir şekilde değiştirebilmeleri için daha esnek hale getirir (Abdollahzadeh ve ark., 2021; Sari ve ark., 2021; Kumar ve ark., 2022). Dahası birçok araştırmacı hazırlanan yenilebilir film ve kaplamalara bitki ekstresi ilave ederek, antioksidan, tekstürel ve antimikrobiyal özelliklerini arttırmayı da amaçlamıştır. Ayrıca beyaz karides (Licciardello ve ark., 2018), gökkuşağı alabalığı fileto (Korkmaz,

2016), Nil tilapia balığı filetosu (Alsaggaf ve ark., 2017), Pasifik beyaz karides (Yuan ve ark., 2016), çilek, yenidünya (Özmert Ergin, 2015), elma (Özdemir ve Gökmen, 2019) sucuk, sosis (Polat, 2007), sığır kıyması (Öztürk, 2009) gibi birçok gıda hazırlanan bu yenilebilir filmler ile kaplanmıştır. YFK'a bitki ekstraktlarının ilave edilerek karakterize edildiği ve uygulama yapıldığı bağımsız çok sayıda çalışma olması bizi bu derlemeyi hazırlamaya yöneltmiştir. Bu çalışmada YFK'da bitki ekstraktlarının kullanıldığı bazı çalışmalar bir araya getirilerek kıyaslanmıştır.

Bitki Ekstraktlarının Film Ve Kaplamaların Fizikokimyasal Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Bitki ekstraktlarının yenilebilir film kalınlığına etkisi

Filimlerin homojen olup olmadığının teyit edilmesi için kalınlık analizi yapılmaktadır. Aynı zamanda filmlerin kalınlık derecesi ambalaj olarak kullanım çeşitliliğinin tespit edilmesi için de önemlidir. Film kalınlığı arttıkça filmin içindekini dışarıya karşı koruma özelliği artarken, esneklik özelliğini kaybedebilir (Silva ve ark., 2019). Kekik yağı ilave edilerek oluşturulan yenilebilir filmlerde film kalınlığının kontrol örneğine göre arttığı ifade edilmiştir (Kodal, 2008). Farklı bölgelere ait salep ve guar gam katkılı yenilebilir filmlerin kalınlıklarının ölçüldüğü çalışmada, guar gam katkılı filmlerin daha kalın olduğu buna bağlı olarak opaklığı etkilediği ifade edilmiştir (Kurt, 2013). Kullanılmış kahve telvesi polisakkaritleri ile zenginleştirilmiş CMC (karboksimetil selüloz) filmlerin kalınlığının kontrol grubuna göre çok büyük bir fark oluşturmadığı belirtilmiştir (Ballesteros ve ark., 2018). Kitosan bazlı filmlere kinoa proteini ve ayçiçek yağı ilave edilerek hazırlanan filmlerde hidrofobik grupların eklenmesi ile kalınlığın arttığı ifade edilmiştir (Valenzuela ve ark., 2013). Nane, zencefil, limon otu, limon mersini ve gac yağları dahil olmak üzere farklı bitki esansiyel yağları ve limon mersini özü, yaban mersini külü ve macadamia özü gibi doğal bitki özlerinin ayrı ayrı ve kombinasyonları halinde denenilen pektin bazlı yenilebilir filmlerin karakterizasyon çalışmaları kapsamında film kalınlığının bitki ekstresi ilavesi ile arttığı belirtilmektedir (Tran ve ark., 2021). Genel olarak değerlendirdiğimizde hidrofobik grup ihtiva eden yapılar film yapısına dahil edildiğinde filmde bir kalınlaşma olurken, hidrofilik yapılarda bu durumun söz konusu olmadığı görülmektedir.

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerde su buharı geçirgenliğine etkisi

Gıdalarda raf ömrünü saptamak için su buharı geçirgenliği en önemli analizlerden biridir (Akşehir, 2013). Su buharı geçirgenliği, koruyucu bariyer filmlerin ambalajlanan malzeme için su buharına karşı ne kadar etkili olabileceğini ve hazırlanan ambalajlarda daha az su buharı geçirgenliğinin istendiğini göstermektedir (Huang vd., 2019). Su buharı geçirgenliğinin az ya da çok olması kaplandığı gıda da farklı reaksiyonların gerçekleşmesine sebep olacaktır. Su buharı geçirgenliğinin yüksek çıkması, kaplanan maddede yumuşama, topaklanma, erime, kristallenme, çeşitli kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik bozulmalara sebep olabileceken, su buharı geçirgenliğinin düşük çıkması ise kaplanan maddede kuruma, sertleşme, parçalanma gıdada bulunan sıvılarda konsantrasyon değişikliğine yol açacaktır (Akşehir, 2013). Işkın (*Rheum ribes* L.) ekstresi ilaveli MS (metilselüloz) filmlerin su buharı geçirgenliğinin filmlerdeki ışkın ekstre miktarı arttıkça azaldığı ifade edilmiştir. Bu durumun ışkın bitkisinin yapısındaki lif içeriğinden kaynaklanabildiği ileri sürülmüştür. (Kalkan ve ark., 2019). Kitosan bazlı filmlere kinoa proteini ve ayçiçek yağı ilave edilerek hazırlanan filmlerde su buharı geçirgenliğinin kontrol grubuna göre kıyaslandığı çalışmalarda hidrofobik grupların ve kümelerin varlığının su buharı geçirgenliğini azaltarak iyileştirdiği ifade edilmiştir (Valenzuela ve ark., 2013). *Prunella grandiflora* (PG), *Prunella laciniata* (PL), *Prunella orientalis* (PO) ve *Prunella vulgaris* (PV) ile hazırlanan kitosan bazlı yenilebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir filmlerin üretimi, karakterizasyonu, antioksidan kapasitesi ve antibakteriyel aktivitesinin araştırıldığı çalışmada bitki ekstraktı içeren her film

numunesinin kontrole kıyasla su buharı geçirgenliğinin ekstrakt konsantrasyonu artışı ile ters orantılı olarak azaldığı ifade edilmektedir (Erken ve ark., 2022).

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerde kopma anındaki uzama katsayısı (%EB), çekme dayanımı (TS) analizleri üzerindeki etkisi

Çekme dayanımı ve kopma anındaki uzama katsayısı filmlerin mekanik özelliklerinin göstergesidir. Gıdanın korunması ve gıdanın zarar görmemesi için paketleme maddesinin mekanik özellikleri iyi olmalıdır. %EB kopma anındaki uzamayı gösterir ve filmin elastikiyetiyle alakalıdır. TS ise filmin direncini ifade eder (Liu ve ark., 2020). Memiş (2017) tarafından yapılan çalışmada çemen tohumu bazlı nanokil katkılı filmlerde çekme dayanımı değerinin kontrol örneği ile kıyaslandığında nanokil eklenmesinin anlamlı bir artışa yol açtığı belirtilmiştir. %5,0'ten daha yüksek nanokil içeren filmlerin içerisindeki killerin zayıf dağılımları, kümeleşmeleri ve yüksek yüzey enerjilerinden dolayı filmlerin çekme dayanımında iyileşme sağlamadığı ifade edilmektedir. Ayrıca filmlere nanokil ilavesinin kopma anındaki uzama katsayısında azalmaya neden olduğu ifade edilmiştir (Memiş, 2017). Elma nişastası bazlı poliestere filmlerin içerisinde sırasıyla %0.5, %1 ve %3 oranlarında karvakrol ve sinnemaldehit eklenerek oluşturulan poliestere filmlerin, gerilme mukavemeti, modül ve uzama yüzdesi üzerinde kontrol numunesine göre önemli bir fark oluşturmadığı belirtilmiştir (Ravishankar ve ark., 2009). Papaya püresi içerisine jelatin ve yağı alınmış soya proteini ilave edilerek hazırlanan nişasta bazlı filmlerde, sadece soya içeren papaya pürelili nişasta bazlı filmlerde çekme dayanımı düşerken, kopma anındaki uzama katsayısının arttığı ifade edilmiştir. Sadece jelatin içeren papaya pürelili nişasta bazlı filmlerde ise çekme dayanımının arttığı belirtilmiştir. Hem jelatin hem de yağı alınmış soya proteini içeren papaya pürelili nişasta bazlı filmlerde de çekme dayanımının arttığı kopma anındaki uzama katsayısının azaldığı ifade edilmiştir (Tulamandı ve ark., 2016). Sonuç olarak literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde filmlerin yapısındaki çapraz bağlamalar filmlerdeki protein moleküllerini birbirine bağlar, bu da filmlerin çekme dayanımını artırabilir ve kopma anındaki uzama katsayısını azaltabilir.

Bitki Ekstraktlarının Yenilebilir Filmlerde Renk Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Genel olarak, yenilebilir filmlerin, yaygın polimerik maddelerin görünümünü simüle etmek için mümkün olduğunca renksiz olması gerektiği ifade edilmiştir (Tulamandı ve ark., 2016). Renk üç boyut ile ifade edilir: L^* : Rengin parlaklığı (0: Siyah, 100: Beyaz), a^* : Kırmızılık-yeşillik (-175: Yeşil, +175: Kırmızı), b^* : Sarılık-mavilik (- 175: Mavi, +175: Sarı) (Keskin ve ark., 2017). Esansiyel yağ ilavesi ile renk değişikliğine neden olan ana etmenin yüzey pürüzlülüğü olduğu ifade edilmektedir. Aynı çalışmada yüzeyde pürüzlülüğe neden olan öğelerin, yüzeye gönderilen ışığın farklı açılarla yansımaya, dolayısıyla daha opak ve bulanık görünmesine neden olacağı belirtilmiştir. Bu problemin film üretiminde düşük konsantrasyonda esansiyel yağ kullanılarak aşılacağı ifade edilmiştir (Kalkan, 2014). Dikenli armut kabuğu tozu ve sulu ekstraktının (%2 ve 4) karboksimetil selüloz (CMC) yenilebilir filmlere ilave edilmesi ile oluşan filmlerde renk analizi yapıldığında kontrol örneğinin berrak ve şeffaf olduğu buna karşın sulu ekstraktın eklenmesi ile filmlere kestane renginin hakim olduğu, tozun eklenmesi ile filmlerin bulanıklaştığı ifade edilmektedir. Yani filmlerin parlaklığının, formülasyonlara ekstrakt veya kabuk tozu eklenmesiyle ters orantılı olduğu ifade edilmektedir (Aparicio-Fernández ve ark., 2018). Benzer şekilde oksitlenmiş nişasta filmlerine Betalainler eklendiğinde, kontrole kıyasla a^* 'da parlaklıkta önemli bir azalma ve negatiften pozitif değerlere doğru bir artış gözlemlenmiştir (Zamudio-Flores ve ark., 2015). Jelatin bazlı yenilebilir filmlere farklı konsantrasyonlarda pancar kökü tozu ilavesinin parlaklıkta doğrusal bir azalmaya neden olduğunun gözlemlendiği, kontrole kıyaslandığında daha yüksek a^* ve b^* değerlerine yol açtığı ifade edilmektedir (Iahnke ve ark., 2016).

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerde fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) analizleri üzerindeki etkisi

FT-IR analizi maddelerin molekül yapısını, tanecik yapısını ve varlığını aynı zamanda da organik katmanlarını belirlemede kullanılmaktadır (Baer ve Thevuthasan, 2010; Çokaylıgil, 2013). Bir başka deyişle FT-IR farklı maddeler arasında toplam karışabilirliği göstermektedir (Şahin, 2019). Tavuk proteininden yenilebilir filmin üretildiği çalışmada FT-IR analizin sonucu elde edilen spektrum incelendiğinde üretilen farklı filmlerde pikler arasında çok büyük farklara rastlanmadığı belirtilmiştir. Fakat bazı sapmalar meydana geldiği belirtilirken, bu durumun plastikleştirici olarak katılan gliserolden ileri geldiği ifade edilmiştir (Sarıcaoğlu, 2018). Üzüm posası ekstraktları (su, kloroform ve n-hekzan) ile kitosan bazlı filmler oluşturularak, filmlerin FT-IR özelliklerinin analiz edildiği çalışmada ekstrak ilave edilen filmlerin FT-IR spektrumlarının sadece kitosan içeren filmlerle benzer olduğu ifade edilmiştir (Ferreira ve ark., 2014). Fenolik bileşenlerle zenginleştirilmiş *Ficus racemosa*'dan elde edilen sulu meyve özütünün kitosan (CS) ve sodyum aljinat (SA) bazlı yenilebilir filmlerde kullanıldığı çalışmada film oluşturucu bileşenlerin fonksiyonel grupları arasındaki etkileşimleri FT-IR metodu ile incelenmiştir. Numunelerin çoğunun FT-IR desenlerinin, iletim yoğunluğundaki küçük bir farkla yaklaşık olarak benzer olduğu belirtilmektedir (Bhatia ve ark., 2023).

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerde sem (taramalı elektron mikroskobu) analizleri üzerindeki etkisi

SEM analizi filmlerde yüzey morfolojisini belirlemek için yapılmaktadır. SEM analizi yardımıyla yüzey pürüzlülüğünü ve maddelerin yüzeyde yaptığı değişimler incelenebilmektedir. Filmin yüzey pürüzlülüğünün değişmesi geçirgenlik miktarını değiştirdiği için önemlidir (Memiş, 2017). Sıvı formdaki kırmızı ejderha kabuğu ekstraktı ile birleştirilen yayın balığı kemik jelatinli yenilebilir filmin SEM analizlerine göre gözeneksiz düz bir yapıya sahip olduğu ve kırmızı ejder meyvesi kabuğu ekstraktının özelliklerini uzun süre yenilebilir filmde koruduğu ifade edilmektedir (Setyawati ve ark., 2020). Proses atığı olarak atılan küre enginarın (APE) dış taç yaprağının (bract) alkali ekstraktlarının farklı konsantrasyonlarda lignoselülozik elyaf kaynağı olarak kullanıldığı, patates nişastasası bazlı biyobozunur kompozit gıda ambalaj filmlerinde SEM analizi incelendiğinde kontrol örneğinde filminin yüzeyi pürüzsüz ve homojen bir yapı gösterirken, APE'nin filmlere dahil edilmesi tekdüzelik ve düzensizlik sergilediği, filminin yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı bu durumun APE'nin film yüzeyinde olası toplanmasından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Sogut ve Cakmak, 2022). Mangonun hasat sonrası depolanması için Artemisia yağının (AO), soya fasulyesi protein izolatı (SPI) ve jelatin (Jel) ile harmanlanması yoluyla yeni bir gıda ambalaj filminin sentezlendiği çalışmada farklı AO konsantrasyonlarına sahip filmlerin yüzey ve kırılma kesitlerinin SEM görüntüleri incelendiğinde AO konsantrasyonunun artmasıyla birlikte film yüzeyi, kontrol filmine göre nispeten pürüzlü hale gelir; bu, kurutma işlemi sırasında film oluşturucu çözelti içinde dağılmış AO'nun topaklaşmasından kaynaklanabileceği ifade edilmektedir (Meng ve ark., 2023).

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerin termal kararlılığı üzerine etkisi

Termal gravimetrik analiz (TGA), sıcaklık ile bir sistemin (polimerin, karışımın vs) kütlesi arasındaki dinamik ilişkinin incelenmesine dayanır (Feist, 2015). Filmlere ilave edilen bileşenlerin filmlerin termal kararlılığını arttırması ısıya dayanıklı ambalajlar geliştirilmesi açısından önemli bir parametredir. Ayçiçeği sapından elde edilen selüloza gliserin, polietilen glikol (PEG) ve sitrik asit (CA) gibi katkı maddelerinin farklı kombinasyonlarda karıştırılarak üretildiği filmlerin termal kararlılığını analiz etmek için yapılan TGA analizi neticesinde filmlere ilave edilen PEG'in termal kararlılığı arttırdığı, gliserin ve sitrik asitin ise termal kararlılığı düşürdüğü ifade edilmiştir (Tufan, 2017). Kumkuat

meyvesinin kabuk ekstraktından kitosan bazlı üretilen filmlerde yapılan TGA analizi neticesinde, filmlere kumkuat kabuğu ekstraktı ilavesinin termal stabiliteyi değiştirmedığı belirtilmiştir (Şahin, 2019). *Hibiscus sabdariffa*'nın aseton ve metanol ekstraktları, patates nişastası ve gliserol ile yapılan filmlerde Metanolik ekstrakt eklendiğinde filmlerin camsı geçiş sıcaklığı (Tg), asetonik ekstrakt eklendiğinden daha düşük olduğu ifade edilmiştir (Cruz-Gálvez ve ark., 2018). Tg parametresi önemlidir çünkü belirli sıcaklık ve nem koşulları depolama sırasında film veya kaplanmış ürünün özelliklerini değiştirebilir. Tg değeri hem antimikrobiyallerin hem de filmin bariyer bileşenlerinin moleküler hareketliliğiyle doğrudan ilişkilidir. Depolama sıcaklığı Tg'den düşükse sert bir film oluşacakken, bunun tersi durum ise esnek bir filmin oluşmasına neden olacaktır (Cruz-Gálvez ve ark., 2018).

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerde biyobozunurluk analizleri üzerindeki etkisi

Gıda maddelerinin ambalajları genellikle polietilen ve polipropilenden yapılmaktadır. Polietilen ve propilen maddeleri sentetik ve petrol bazlı maddelerdir. Bu nedenle doğada zor çözünmekte ve tam bir bozunma göstermemektedir. Film maddelerinin geliştirilmesinde çevreye daha az zarar vermesi beklendiği için biyobozunma önemli bir özelliktir (Çokaylıgil, 2013). On iki farklı bitki türünden elde edilen nişastalardan, üretilen filmlerin 30 günlük biyobozunurluk analizi neticesinde nişasta bazlı filmlerin %90.03-99.35 aralığında bozunma gösterdiği belirtilirken, selüloz kontrol filmlerinin aynı süre içinde yaklaşık %30'luk bir bozunmaya uğradığı belirtilmiştir. Bu fark nişastanın alfa glikozidik bağına, selülozun ise beta glikozidik bağına sahip olması ile açıklanmaktadır (Torres ve ark., 2011). Bulgur kepeği hemiselülozundan yapılan nanoselüloz kaplı filmlerde bulgur kepeği hemiselüloz ilavesinin filmlerde biyobozunurluğu arttırdığı ifade edilmiştir (Erkoç, 2020). Portakal pektini jeli ve nişasta kompoze edilerek üretilen filmlerin, iki haftalık zaman süresince biyobozunurluk analizi neticesinde filmlerde %78-%99.96 aralığında bozunma meydana geldiği tespit edilmiştir (Çokaylıgil, 2013).

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerde suda çözünürlük analizleri üzerindeki etkisi

Yüzde suda çözünürlük bir maddenin su içinde çözünme yüzdesi olarak açıklanabilir. Suya direncin yüksek olması veya suda çözünürlüğün düşük olması gıdanın bozulmasını yavaşlattığı bilinmektedir. Bu açıdan bakıldığında suda çözünürlük film maddelerinde genel olarak istenen bir özellik değildir. Film maddelerinin en önemli özelliklerinden biri ise biyobozunur yapıda olmalarıdır. Yüzde suda çözünürlüğün artması biyobozunurluğu hızlandıran bir etmendir. Bu nedenle suda çözünürlüğün yüksek olması filmlerde hem istenen hem de istenmeyen bir özellik olarak açıklanabilir (Bourtoom ve Chinnan, 2008). Ayçiçeği sapından elde edilen selüloza gliserin, polietilen glikol (PEG) ve sitrik asit (CA) gibi katkı maddelerinin farklı kombinasyonlarda karıştırılarak üretildiği filmlerin suda çözünürlüğünün ayçiçek selülozu ilavesiyle arttığı ifade edilmiştir (Tufan, 2017). Papaya püresi ilaveli jelatin, nişasta ve soya proteini bazlı filmlerde suda çözünürlük değerinin hidrofobik özellik gösteren madde ilavesi ile de azaldığı ifade edilmiştir (Tulamandi ve ark., 2016). Ak dut (*Morus alba*) ve kara dut (*Morus nigra*) meyvelerinden elde edilen yenilebilir filmlerin 25°C'de suda çözünürlük değerleri aljinat içerenlerde ortalama %60'lık bir çözünme tespit edildiği, pektin kaynaklı filmlerin ise %99.18'nin suda çözüldüğü belirtilmiştir (Akşehir, 2013). İki farklı yöntemle üretilen ışkın ilaveli yenilebilir filmlerin ışkın ilavesi ile çözünürlüğünün azaldığı ifade edilmiştir (Pekdoğan, 2021).

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerde absorbands-transmittans analizleri üzerindeki etkisi

Filmlerin Absorbans-Transmittans analizi ışığı geçirip geçirmediğinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Birçok gıdada ışık maruziyeti nedeniyle bozulmalar meydana gelmekte bu da raf ömrünü olumsuz etkilemektedir. Turna balığından elde edilen jelatinin içerisine iki farklı murta yaprak ekstresi ilave edilen filmlerde, katılan ekstrelerinin koyu tonu nedeniyle ışık absorpsiyonunun arttığı, bu nedenle

iyi bir ışık bariyeri özelliği taşıdığı ifade edilmektedir (Go'Mez-Guille'Na ve ark., 2007). Kinoa tohumlarından ekstrakte edilen nişastadan elde edilen yenilebilir biyofilmlerin kinoa nişastasının açık renkteki yapısı nedeniyle şeffaf renkte olduğunun belirtildiği çalışmada, elde edilen filmlerin ışık geçirgenliğine sahip olduğu ifade edilmektedir (Korkmaz, 2016). Karamuk (*Berberis crataegina* DC.) meyvesinin, tohum yağı ve meyve ekstraktının kitosan matrisine eklenmesiyle kitosan bazlı yenilebilir filmin hazırlandığı çalışmada *B. crataegina*'nın tohum yağı ve meyve ekstraktının kitosan filmine eklenmesi ile UV-görünürlük geçirgenliğinin önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir (Kaya ve ark., 2018).

Bitki Ekstraktlarının Film Ve Kaplamaların Antioksidan Ve Antimikrobiyal Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerde antioksidan analizler özellikleri üzerindeki etkisi

Serbest radikallerin sebep olduğu hücresel hasarı engelleyen veya yavaşlatan maddelere antioksidan maddeler denilmektedir (Asada ve ark., 2021; Hossain ve Hossain 2021). Filmlere bitki ekstresi ilave edilerek antioksidan özelliği arttırılmak istenmektedir. Böylece organizma için faydalı bir film geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Antioksidanlar, gıdanın oksidasyon oranını azaltan, böylece gıdanın tadını ve besin değerini kontrol eden, sonuçta gıda ürününün raf ömrünü uzatan aktif yenilebilir ambalajın bir başka örneğidir (Gaikwad ve ark. 2016; Singh ve ark. 2018; Ribeiro ve ark. 2020; Chawla ve ark. 2021; Massoud ve ark., 2021; Kumar ve ark., 2022). Yeşil çay ekstrakt ilaveli kitosan bazlı filmlerin DPPH (2,2 diphenyl 1 picrylhydrazyl) radikal giderme aktivitesinin ekstrakt konsantrasyonuna bağlı olarak artış gösterdiği ifade edilmektedir. Benzer şekilde toplam fenolik maddenin analiz edildiği Foline-Ciocalteu yönteminin sonucunda ise kitosan bazlı filmlere yeşil çay ekstresinin ilavesinin antioksidan özelliği arttığı ortaya konulmuştur (Apriyantil ve ark., 2018). Çipura balığından elde edilen balık jelatin ve karotenoid konsantresi ilaveli yenilebilir filmlerin ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ve FRAP (ferric reducing antioxidant power assay) antioksidan yöntemlerine göre antioksidan aktiviteye sahip olduğu ifade edilmiştir (Akagündüz, 2010). Zeytin yaprağı ekstraktı (OLE) veya guava yaprağı ekstraktı (GLE) ekleyerek iki pektin (PEC) yenilebilir filmin işlevselliğinin geliştirmek istendiği çalışmada DPPH radikal giderme aktivitesinin kontrole kıyasla ekstrakt ilave edilenlerde önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir (Sabbah ve ark., 2023).

Bitki ekstraktlarının yenilebilir filmlerde antimikrobiyal etkisi

Patojen/istenmeyen mikroorganizmaların oluşumunu veya etkinliğini azaltarak durduran bileşiklere antimikrobiyal maddeler denilmektedir. Filmlere bitki ekstresi ilave edilerek antimikrobiyal karakterde filmler yapılması amaçlanmaktadır. Antimikrobiyal ajanlar olarak yenilebilir esansiyel yağlar mikrobiyal büyümeyi engelleyebilir ve gıdanın raf ömrünü uzatabilir (Singh ve ark. 2021b, 2018; Campos ve ark. 2010; Kumar ve ark., 2022). Defne, fesleğen ve limon yaprağı ilaveli ksantan gam filmlerde *Enterobacteriaceae* ve *Staphylococcus spp.* bakterilerine karşı antimikrobiyal etkilerinin disk difüzyon yöntemine göre limon yaprağı ekstresinin antimikrobiyal aktivitesinin düşük olduğu ifade edilmiştir (Sürengil, 2014). Diğer taraftan, tapyoka nişastası ve ksantan gam kombinasyonu ile oluşturulan filmlerin antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu ifade edilmiştir (Flores ve ark., 2010). Limon, portakal, kırmızı elma, yeşil elma kabuk artıklarından elde edilen ekstraktların antimikrobiyal aktiviteleri belirlenerek, en yüksek antimikrobiyal aktivite gösteren ekstrenin yenilebilir filmlerde kullanıldığı çalışmada, en yüksek aktivite gösteren portakal ve limon kabuklarından elde edilen doğal antimikrobiyal ekstrakt ile karagenan, ksantan ve keçiyoynuzu içeren yenilebilir filmlerin olduğu belirtilmiştir. Ardından filmlerin antimikrobiyal etkinliği Disk Difüzyon Yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Limon ve portakal kabuklarının ekstrelerinden hazırlanan yenilebilir filmlerin oluşturdukları zon çapları değerlendirildiğinde filmlerden ksantan limon, karagenan portakal, karagenan

limon ve keçiyoynuzu limonun daha fazla antimikrobiyal özellikte olduğu tespit edilmiştir (Kılınç ve ark., 2018). *Aquilaria agallocha*'nın kabuk ekstresinden (0, 1, 4 ve 8 mL) farklı oranlarda alınarak kitosan bazlı filmler hazırlanarak *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerine karşı antimikrobiyal etkinliğinin araştırıldığı çalışmada kontrol grubu dikkate alındığında *A. agallocha* ekstraktı-kitosan yenilebilir filmlerinin tamamının bakterilerin üremesini önlediği belirtilmektedir (Karkar ve ark., 2023)

SONUÇ

Genel olarak film kalınlığının, su buharı geçirgenliğinin ve termal kararlılığın filme katılan bitki ekstresine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği, özellikle hidrofobik yapıdaki ekstraların film kalınlığı ile termal kararlılığı arttırdığı, su buharı geçirgenliği ile sudaki çözünürlüğü azalttığı buna karşın hidrofilik yapıdaki ekstraların ise kalınlığı, su buharı geçirgenliği, termal kararlılığı ve sudaki çözünürlüğü etkilemediği sonucuna varabiliriz.

Filmlere ilave edilen bitki ekstraları, filmlerin yapısındaki çapraz bağlar nedeniyle filmlerdeki protein moleküllerinin birbirine tutunmasını sağlar, bu da filmlerin çekme dayanımını artırabilir ve kopma anındaki uzama katsayısını azaltabilir. Filmlere ilave edilen bitki ekstralarının şeffaf olmamaları kaydı ile film renginde değişimlere neden olduğu, özellikle koyu renkli bitki ekstralarının ilave edilmesinin ışık geçirgenliğini azaltıcı ve absorbanı artırıcı yönde etki etmesi nedeniyle kaplanan gıdaları lipid oksidasyonuna karşı daha iyi koruyacağı literatürler incelendiğinde tespit edilmektedir.

FT-IR analizleri incelendiğinde film reçetesine bağlı olarak önemli fonksiyonel gruplarının pik verdiği, ayrıca film kompozisyonlarına göre etkileşimler, baskılama ve tek tek bileşenlerin birleşik etkisinin neler olduğu pikler aracılığıyla ortaya çıktığı ifade edilmektedir. Yenilebilir filmlerde SEM görüntüleri incelendiğinde filmlere hidrofobik ve lif içeriği yüksek yapıların ilave edilmesinin yapıda faz ayrılmasına neden olduğu, pürüzlülüğü arttırdığı dolayısıyla homojenliği bozduğu anlaşılmaktadır. Yenilebilir filmlerin polimer materyale göre biyobozunmaya uğradığı, bir aylık süre zarfında neredeyse tamamının bozunduğu söylenebilir. Bitki ekstralarının genel olarak antioksidan aktiviteyi arttırdığı, antimikrobiyal aktivitede ise mikroorganizma ve kullanılan yöntemlere göre değişkenlik gösterdiği sonucuna varılmıştır. Yaptığımız bu çalışma, yenilebilir filmler konusunu araştırmaya başlayan akademisyenlerimiz için kapsamlı bir kaynak olmasının yanı sıra ilgili konuda araştırma alanı belirlemek isteyen akademisyenlerimize bir rehber niteliği taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Siirt Üniversitesi, Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü, Tarafından “2019-SİÜFEB-026” adlı proje ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

Abdollahzadeh, E., Nematollahi, A., Hosseini, H. (2021). Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: a review. *Trends Food Sci Technol* 110:291–303. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.084>

- Akagündüz, Ö. Y. (2010). *Çipura işleme atıklarının yan ürün olarak değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 20-27. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Akşehir, K. (2013). *Akdut (Morus Alba) ve Karadut (Morus Nigra) Meyvelerinden Elde Edilen Yenilebilir Filmlerin Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 40. Erişim adresi: <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/675487>
- Alsagaf, M. S., Moussa, H. S., Tayel A. C. (2017). Application of fungal chitosan incorporated with pomegranate peel extract as edible coating for microbiological, chemical and sensorial quality enhancement of Nile tilapia fillets, *International Journal of Biological Macromolecules*, 99 499–505. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.017>
- Anonim, (2018). Ambalaj ve ambalaj atıkları istatistikleri (2015), *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ambalaj Bülteni*, 2, Ankara
- Aparicio-Fernández, X., Vega-Ahuatzin, A., Ochoa-Velasco, C.E. et al. (2018). Physical and Antioxidant Characterization of Edible Films Added with Red Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica* L.) cv. San Martín Peel and/or Its Aqueous Extracts. *Food Bioprocess Technol* 11, 368–379 <https://doi.org/10.1007/s11947-017-2017-x>.
- Apriyantil, D., Rokhati, N, Mawarni, N., Khoiriyah, Z., Istirokhatun, T. (2018). Edible coating from green tea extract and chitosan to preserve strawberry (*Fragaria vesca* L.). *MATEC Web of Conferences* 156, 0-1022. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815601022>
- Asada, C., Suzuki, A., Nakamura, Y. (2021). Production and antioxidant activity of phenolic compounds from indigo plant waste using pressurized microwave-assisted hydrothermal treatment followed by water extraction. *Biomass Convers Biorefinery* 2021:1–9. <https://doi.org/10.1007/S13399-021-01758-6>
- Baer, D.R., Thevuthasan, S. (2010), “Characterization of thin films and coatings”, *Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings*, 749-864.
- Ballesteros, L. F., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A., Mussatto, S. I. (2018). Production and physicochemical properties of carboxymethyl cellulose films enriched with spent coffee grounds polysaccharides, *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 647–655. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.060>
- Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Shah, Y.A., Jawad, M., Al-Azri, M.S., Ullah, S., Anwer, M.K., Aldawsari, M.F., Koca, E., Aydemir, L.Y. (2023). Physicochemical Characterization and Antioxidant Properties of Chitosan and Sodium Alginate Based Films Incorporated with Ficus Extract. *Polymers*, 15, 1215. <https://doi.org/10.3390/polym15051215>
- Bourtoom, T., Chinnan, M. S. (2008). Preparation and properties of rice starch–chitosan blend biodegradable film, *LWT-Food science and Technology*, 41(9), 1633-1641 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.10.014>
- Campos, C.A., Gerschenson, L.N., Flores, S.K. (2010). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food Bioprocess Technol* 46(4):849–875. <https://doi.org/10.1007/S11947-010-0434-1>
- Candan, T., Bağdatlı, A. (2018). Gıda ürünlerinde yenilebilir film ve kaplama uygulamaları. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 5 (2), 645-655.
- Chawla, R., Sivakumar, S., Kaur, H. (2021). Antimicrobial edible films in food packaging: current scenario and recent nanotechnological advancements- a review. *Carbohydr Polym Technol Appl* 2:100024. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100024>
- Çokaylıgil, Z. (2013). *Portakal Kabuklarından Biyobozunur Nanokompozit flm üretilmesi ve gıda ambalajı olarak değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 39-54. Erişim Adresi: <https://hdl.handle.net/11421/4733>
- Cruz-Gálvez, A.M., Castro-Rosas, J., Rodríguez-Marín, M.L., Cadena-Ramírez, A., Tellez-Jurado, A., Tovar-Jiménez, X., Chavez-Urbiola, E.A., Abreu-Corona, A., Gómez-Aldapa, C.A. (2018). Antimicrobial activity

- and physicochemical characterization of a potato starch-based film containing acetic and methanolic extracts of *Hibiscus sabdariffa* for use in sausage, 93, 300-305, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.064>
- De Oliveira Júnior, S.D., de Araújo J.S., de Azevedo, E.A. et al (2021). Exploiting films based on pectin extracted from yellow mombin (*Spondias mombin* L.) peel for active food packaging. *Biomass Convers Biorefinery* 2021:1–15. <https://doi.org/10.1007/S13399-021-01321-3>
- Debeaufort, F., Gallo, J.A.Q., Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review, *Critical Reviews in Food Science* 38(4), 299-313.
- Erken, İ., Şahin, S., Karkar, B., Akça, B., & Özakin, C. (2022). Chitosan based edible film incorporating different *Prunella* L. extracts, characterization and their antioxidant properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7), e16658. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16658>
- Erkoç, M. (2020). *Bulgur Kepeği Hemiselülozu Temelli Nanoselüloz Katkılı biyobozunur filmlerin üretimi ve karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karaman, 58. Erşim Adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Feist, M., 2015. Thermal analysis: basics, applications, and benefits, *Chemical Texts*, 8, 1-12,
- Ferreira, A.S., Nunes, C., Castro, A., Ferreira, P., Coimbra, A.M. (2014). Influence of grape pomace extract incorporation on chitosan films properties, *Carbohydrate Polymers*, 113, 490-499, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.032>.
- Flores, S.K., Costa, D., Yamashita, F., Gerschenson, L.N., Grossmann, M.V. (2010). Mixture design for evaluation of potassium sorbate and xanthan gum effect on properties of tapioca starch films obtained by extrusion, *Materials Science and Engineering*, 30, 200–205.
- Gaikwad, K.K., Lee, J.Y., Lee, Y.S. (2016). Development of polyvinyl alcohol and apple pomace bio-composite film with antioxidant properties for active food packaging application. *J Food Sci Technol* 53:1608–1619. <https://doi.org/10.1007/S13197-015-2104-9>
- Go'Mez-Guillén, M. C., Ihlb, M., Bifanib, V., Silvab, A., Monteroa, P. (2007). Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (*Ugni molinae* Turcz). *Food Hydrocolloids*, 21; 1133–1143.
- Hossain, M.A., Hossain, M.S. (2021). Optimization of antioxidative phenolic compound extraction from freeze-dried pulp, peel, and seed of Burmese grape (*Baccaurea ramiflora* Lour.) by response surface methodology. *Biomass Convers Biorefinery* 1:1–15. <https://doi.org/10.1007/S13399-021-01761-X>
- Huang, S., Xiong, Y., Zou, Y., Dong, Q., Ding, F., Liu, X., & Li, H. (2019). A novel colorimetric indicator based on agar incorporated with *Arnebia euchroma* root extracts for monitoring fish freshness. *Food Hydrocolloids*, 90, 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.009>
- Iahnke, A. O. S., Costa, T. M. H., de Oliveira Rios, A., & Flôres, S. H. (2016). Antioxidant films based on gelatin capsules and minimally processed beet root (*Beta vulgaris* L. var. *Conditiva*) residues. *Journal of Applied Polymer Science*, 133 (10), 1–10
- Kalkan, S., Otağ, M.R., Engin, M. S. (2019). Physicochemical and bioactive properties of edible methylcellulose films containing *Rheum ribes* L. extract, *Food Chemistry Dergisi*, 3-28.
- Kalkan, S. (2014). *Farklı antimikrobiyel maddeler içeren yenilebilir film kaplamaların Macar salamında kullanım olanakları ve listeria innocua inaktivasyonu üzerine etkileri*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 40- 42. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Karkar, B., Şahin, S., Bekiz, D., Akça, B., Özakin, C., (2023). Evaluation of antioxidant films of chitosan with *Aquilaria agallocha* extract as packaging material, *J Food Sci* 88, (6), 2571-2582, <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16613>
- Kaya, M., Ravikumar, P., İlk, S., Muhtaba, M., Akyuz, L., Labidi, J., Salaberria, A.M., Cakmak, Y.S., Karaman, Erkul, S. (2018). Production and characterization of chitosan based edible films from *Berberis crataegina*'s fruit extract and seed oil, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 287-297, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.013>

- Keskin, M., Setlek, P., Demir, S., (2017). Renk ölçüm sistemlerinin gıda bilimleri ve tarımda kullanım alanları, *International Advanced Researches & Engineering Congress*, 2350–2359.
- Kılınç, B., Yalçın, H. T. & Sürengil, G. (2018). Meyve Kabuklarının Gıdalar için Antimikrobiyal Madde ve Yenilebilir Film olarak Etkinliklerinin Belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (1) , 144-157 . DOI: 10.31466/kfbd.409052
- Kodal, B. (2008). *Antioksidan Özellikteki Yenilebilir Filmlerin Sığır Kıymasının Oksidatif Stabilitesine Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 30-34. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Korkmaz, F. (2016). *Yenilebilir Biyofilm Olarak Kinoa (Chenopodium Quinoa)'Nın Gökkuşağı Alabalığı (Onchorynchus Mykiss) Filetolarının Raf Ömrü Üzerine Etkisinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 19-25. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Kumar, L., Ramakanth, D., Akhila, K., Gaikwad, K.K. (2022). Edible films and coatings for food packaging applications: a review, *Environmental Chemistry Letters* 20:875–900, <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01339-z>
- Kurt, A.S., Cekmecelioglu, D. (2021). Bacterial cellulase production using grape pomace hydrolysate by shake-flask submerged fermentation. *Biomass Convers Biorefinery* 1:1–8. <https://doi.org/10.1007/S13399-021-01595-7>
- Kurt, A. (2013). *Salep Glukomannanın Film Oluşturma Özellikleri ve Emülsiyon Stabilitesine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 51-60. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Licciardello, F., Kharchoufi, S., Muratore, G., Restuccia, C. (2018). Effect of edible coating combined with pomegranate peel extract on the quality maintenance of white shrimps (*Parapenaeus longirostris*) during refrigerated storage, *Food Packaging and Shelf Life*, 17 (2018) 114–119.
- Liu, C., Huang, J., Zheng, X., Liu, S., Lu, K., Tang, K., Liu, J. (2020). Heat sealable soluble soybean polysaccharide/gelatin blend edible films for food packaging applications, *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100485.
- Massoud, R., Khodaeii, D., Hamidi-Esfahani, Z., Khosravi-Darani, K. (2021). The effect of edible probiotic coating on quality of fresh fruits and vegetables: fresh strawberries as a case study. *Biomass Convers Biorefinery* 2021:1–10. <https://doi.org/10.1007/S13399-021-01332-0>
- Memiş, S. (2017). *Çemen Tohumu Bazlı Nanokil Katkılı Biyobozunur Nanokompozit Film Üretimi Ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 29-42. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Meng, X., Lv, Z., Jiang, T., Tan, Y., Sun, S., Feng, J. (2023). Preparation and Characterization of a Novel Artemisia Oil Packaging Film and Its Application in Mango Preservation. *Foods*, 12, 2969. <https://doi.org/10.3390/foods12152969>
- Meys, R., Frick, F., Westhues, S. et al. (2020). Towards a circular economy for plastic packaging wastes—the environmental potential of chemical recycling. *Resour Conserv Recycl* 162:105010. <https://doi.org/10.1016/j.resourcon.2020.105010>
- Mohamed, S.A.A., El-Sakhawy, M., El-Sakhawy, M.A.M., (2020). Polysaccharides, protein and lipid -based natural edible films in food packaging: a review. *Carbohydr Polym* 238:116178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>
- Oloye, M.T., Jabar, J.M., Adetuyi, A.O., Lajide, L., (2021). Extraction and characterization of pectin from fruit peels of *Irvingia gabonensis* and pulp of *Cola milleni* and *Theobroma cacao* as precursor for industrial applications. *Biomass Convers Biorefinery* 2021:1–9. <https://doi.org/10.1007/S13399-021-01366-4>
- Özdemir, K.S., Gökmen, V. (2019). Effect of chitosan-ascorbic acid coatings on the refrigerated storage stability of fresh-cut apples, *Journal of Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 9, 503.

- Özmert Ergin, S. (2015). *Kiraz ve Kayısı Ağacı Reçinelerinin Yenilebilir Film Özelliklerinin İncelenmesi ve Gıda Kaplamasında Kullanımları*. Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 35-46. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Öztürk, G. (2009). *Likopen İçeren Yenilebilir Filmlerin Sığır Kıymasının Oksidatif Stabilitesine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 15-17. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Pekdoğan, E. (2021). *Işkın (Rheum Ribes L.) İlaveli Yenilebilir Film Üretimi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt, 30-33. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Polat, H. (2007). *İşlenmiş Et Ürünlerinde Yenilebilir Filmlerin ve Kaplamaların Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 22-27. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Ramakanth, D., Singh, S., Maji, P.K., Lee, Y.S., Gaikwad, K.K. (2021). Advanced packaging for distribution and storage of COVID-19 vaccines: a review. *Environ Chem Lett* 19:3597–3608. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01256-1>
- Ravishankar, S., Zhu, L., Olsen, C. W., McHugh, T. H., Friedman, M. (2009). Edible apple film wraps containing plant antimicrobials inactivate foodborne pathogens on meat and poultry products, *Journal of Food Science*, 74(8).
- Ribeiro, A.M., Estevinho, B.N., Rocha, F. (2020). Preparation and incorporation of functional ingredients in edible films and coatings. *Food Bioprocess Technol* 142(14):209–231. <https://doi.org/10.1007/S11947-020-02528-4>
- Sabbah, M., Al-Asmar, A., Younis, D., Al-Rimawi, F., Famiglietti, M., Mariniello, L. (2023). Production and Characterization of Active Pectin Films with Olive or Guava Leaf Extract Used as Soluble Sachets for Chicken Stock Powder. *Coatings*. 13(7):1253. <https://doi.org/10.3390/coatings13071253>
- Sahin, F. (2019). *Gıda Ambalajı Olarak Yenilebilir Biyokompozit Filmlerin Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 30-34. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Saklani, P.S., Nath, S., Kishor, Das, S., Singh, S.M., (2019). A review of edible packaging for foods. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2019.807.359>
- Sari, Y.W., Putri, S.Y., Intan, N. et al. (2021). The effect of sorbitol and sweet sorghum to carrageenan ratio on the physicochemical properties of sweet sorghum/carrageenan bioplastics. *Biomass Convers Biorefinery* 2021:1–10. <https://doi.org/10.1007/S13399-020-01254-3>
- Sarıcaoğlu, F.T. (2018). *Mekanik olarak ayrılmış tavuk eti proteinlerinden antioksidan ve antimikrobiyal katkı yenilebilir film üretimi ve ısıl işlem görmüş sucuklarda kullanımı*, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 143. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Setyawati, S.R., Hanafi, H., Nurdiani, N., Widyahapsari, D.A.N. (2020). Production and Characterization of Edible Film from Catfish (*Clarias Gariepinus*) Bone Gelatin Incorporated with Red Dragon Fruit (*Hylocereus Polyrhizus Britton and Rose*) Peel Extract. *Orient J Chem*;36(4). <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/360420>
- Silva, O. A., Pellá, M. G., Pellá, M. G., Caetano, J., Simões, M. R., Bittencourt, P. R., Dragunski, D. C. 2019. Synthesis and characterization of a low solubility edible film based on native cassava starch, *International journal of biological macromolecules*, 128, 290-296
- Singh, G., Singh, S., Kumar, B., Gaikwad, K.K. (2021a) Active barrier chitosan films containing gallic acid based oxygen scavenger. *J Food Meas Charact* 15:585–593. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00669-w>
- Singh, S., Gaikwad, K.K., Lee, Y.S. (2018). Antimicrobial and antioxidant properties of polyvinyl alcohol bio composite films containing seaweed extracted cellulose nano-crystal and basil leaves extract. *Int J Biol Macromol* 107:1879–1887. <https://doi.org/10.1016/j.ijbio mac.2017.10.057>

- Singh, S., Maji, P.K., Lee, Y.S., Gaikwad, K.K. (2021b). Applications of gaseous chlorine dioxide for antimicrobial food packaging: a review. *Environ Chem Lett* 19:253–270. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01085-8>
- Sundqvist-Andberg, H., Åkerman, M. (2021). Sustainability governance and contested plastic food packaging – An integrative review. *J Clean Prod* 306:127111. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127111>.
- Sogut, E., Cakmak, H. (2022). Using of Lignocellulosic Fiber Extracted from Artichoke Outer Petal Leaves as Filler in Potato Starch-Based Composite Films. *Waste Biomass Valor* 13, 4861–4868 <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01855-1>
- Sürengil, G., (2014). *Defne (Laurus Nobilis) ve Fesleğen (Ocimum Basilicum) Ekstraktları Kullanılarak Üretilen Yenilebilir Filmlerin Alabalık (Oncorhynchus Mykiss) Filetolarına Etkilerinin Tespiti*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 30-48. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Torres, F. G., Troncoso, O. P., Torres, C., Díaz, D. A., Amaya, E. (2011). Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops, *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(4), 603–606.
- Tran, T.T.B., Vu, B.N., Saifullah, M., Nguyen, M.H., Pristijono, P., Kirkman, T., Vuong, Q.V. (2021). Impact of Various Essential Oils and Plant Extracts on the Characterization of the Composite Seaweed Hydrocolloid and Gac Pulp (*Momordica cochinchinensis*) Edible Film. *Processes*, 9, 2038. <https://doi.org/10.3390/pr9112038>
- Tufan, M. (2017). *Ayçiçeği Sapından Yenilebilir Cmc Film Üretimi ve Karakterizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 36-38. Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Tulamandi, S., Rangarajan, V., Rizvi, S. H. S., Singhal, R. S., Chattopadhyay, R. K., Saha, N. C. (2016). A biodegradable and edible packaging film based on papaya puree, gelatin, and defatted soy protein. *Food Packaging and Shelf Life* 10, 60–71.
- Uçan, F., Mercimek, H. A. (2013). Gıda endüstrisinde kitosan filmlerin önemi, *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1(2), 79-85.
- Valenzuela, C., Abugoch, L., Tapia, C. (2013). Quinoa Protein-Chitosan-Sunflower Oil Edible Film: Mechanical, Barrier and Structural Properties, *Lwt-Food Sci Technology*, 50; 531–7.
- Yıldız, O. P. ve Yangılar, F. (2016). Yenilebilir film ve kaplamaların gıda endüstrisinde kullanımı, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1), 27–35.
- Yuan, G., Lv, H., Tang, W., Zhang, X., Sun, H., (2016). Effect of chitosan coating combined with pomegranate peel extract on the quality of Pacific white shrimp during iced storage. *Food Control*, 59.
- Zamudio-Flores, P. B., Ochoa-Reyes, E., Ornelas-Paz, J. D. J., Tirado-Gallegos, J. M., Bello-Pérez, L. A., Rubio-Ríos, A., & Cárdenas-Felix, R. G. (2015). Caracterización fisicoquímica, mecánica y estructural de películas de almidones oxidados de avena y plátano adicionadas con betalainas. *Agrociencia*, 49(5), 483–498, <https://doi.org/10.13005/ojc/360420>