



Edible Films and Coatings in Food Systems

Semra Bozkurt^{1,a}, Özgül Altay^{2,b}, Mehmet Koç^{1,c}, Figen Kaymak Ertekin^{2,d,*}

¹Department of Food Engineering, Aydın Adnan Menderes University, 09100 Aydın, Türkiye

²Department of Food Engineering, Ege University, 35100 İzmir, Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 29/03/2022 Accepted : 08/11/2022</p> <p>Keywords: Edible films and coatings Protein Polysaccharide Lipid Mechanical and Physical Properties</p>	<p>Reducing the negative effects of synthetic packaging on the environment and increasing consumer demands for the natural preservation of food has pioneered the search for alternative methods in this field. Edible films and coatings, one of the innovations in packaging technology, are used to extend the shelf life of foods and improve their quality by acting as a barrier against moisture, gas, oil, and flavor transmission. Different biopolymers such as protein, polysaccharides, and lipids are used in the production of edible films and coatings that are applied to the surface of foods as a thin layer or can be used as packaging material. In addition to these biopolymers, plasticizers, emulsifiers, antioxidants and antimicrobials can be used to improve the mechanical and functional properties of edible films and coatings. The method used to make the films, the type of coating material used, the type and concentration of plasticizer used, the drying process used during the film preparation stage, and environmental factors (temperature, relative humidity, pressure) all have an impact on the physical and mechanical properties of edible films or coatings. In this review article, the film materials used for edible films and coatings, film preparation methods, environmental and structural factors affecting the structure of the films were compiled together, and the effects of these factors on the quality properties of the films were evaluated. At the same time, the usage areas of edible films in food were also evaluated.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 11(1): 1-9, 2023

Gıda Sistemlerinde Yenilebilir Filmler ve Kaplamalar

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makale</i></p> <p>Geliş : 29/03/2022 Kabul : 08/11/2022</p> <p>Anahtar Kelimeler: Yenilebilir film ve kaplamalar Protein Polisakkarit Lipid Mekanik ve Fiziksel Özellikler</p>	<p>Sentetik ambalajların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması ve gıdaların doğal yollarla korunmasına yönelik tüketici taleplerinin artması bu alanda alternatif yöntemlerin araştırılmasına öncülük etmiştir. Ambalaj teknolojisindeki yeniliklerden biri olan yenilebilir film ve kaplamalar, nem, gaz, yağ ve aroma geçişine karşı bariyer işlevi görerek gıdaların raf ömrünü uzatmak ve kalitesini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Gıdaların yüzeyine ince bir tabaka şeklinde uygulanan veya ambalaj materyali olarak kullanılabilen yenilenebilir film ve kaplamaların üretiminde protein, polisakkarit ve lipid gibi farklı biyopolimerler kullanılmaktadır. Bu biyopolimerlere ek olarak yenilebilir film ve kaplamaların mekanik ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmek amacıyla plastikleştirici madde, emülsifiyerler, antioksidan ve antimikrobiyal maddelerden de yararlanılabilmektedir. Filmlerin yapılma tekniği, kullanılan kaplama materyali tipi, kullanılan plastikleştirici madde cinsi ve konsantrasyonu, film hazırlama aşamasında yapılan kurutma işlemi ve çevresel faktörler (sıcaklık, bağıl nem, basınç) yenilebilir film veya kaplamaların fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir. Bu derleme makalede yenilebilir film ve kaplamalar için kullanılan film materyalleri, film hazırlama yöntemleri, filmlerin yapısını etkileyen çevresel ve yapısal faktörler bir arada derlenmiş, bu faktörlerin filmlerin kalite özellikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Aynı zamanda yenilebilir filmlerin gıdalarda kullanım alanları da değerlendirilmiştir.</p>

^a semrabozkurt35@gmail.com

^b <https://orcid.org/0000-0002-7132-9773>

^c mehmet197@gmail.com

^d <https://orcid.org/0000-0002-7295-7640>

^e ozgullaltay@gmail.com

^f <https://orcid.org/0000-0003-0067-9319>

^g figen.ertekin@ege.edu.tr

^h <https://orcid.org/0000-0001-5042-3659>



Giriş

Yenilebilir film ve kaplamalar, protein, lipid ve polisakkaritlerden hazırlanan sürekli matrisler olarak tanımlanmaktadır (Çağrı, 2002). Bu kaplamalar, gıdaların duysal ve tekstürel özelliklerini koruması, raf ömrünü uzatarak gıdada depolama sırasında oluşabilecek kalite kayıplarının engellenmesi gibi amaçlarla gıdaların yüzeylerine ince tabaka şeklinde uygulanmaktadır. Aynı zamanda gıdaya oksijen, nem, karbondioksit geçişini sınırlar ve gıdada meydana gelebilecek aroma kayıplarını engellerler (Hua ve ark., 2011). Bu yararların yanı sıra maliyetlerinin düşük olması da gıda endüstrisinde yenilebilir film kaplamaların yaygın olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Günümüzde yenilebilir film ve kaplamalara olan ilgi artış gösterse de bu kaplamaların kullanımı çok eskiye dayanmaktadır. Yener, (2007), 12 ve 13. Yüzyılda narenciyelerin dış kısmının ince tabaka halinde balmumu ile kaplanarak narenciyenin su kaybının engellendiğini belirtmiştir. Yapılan bir başka çalışmada, 16. Yüzyılda etlerin yüzeyinin yağ ile kaplanarak etlerde olumsuz bir duyum olan su kaybının engellendiği belirtilmiştir (Kester ve Fennema, 1986). Günümüzde de işlenmiş et ürünleri, antimikrobiyal ve antioksidan maddeler, vitaminler, aroma maddeleri ve lezzet bileşenlerinin kaplanması gibi uygulamalar bulunmaktadır (Han, 2014). Yenilebilir film ve kaplamaların, ambalaj materyalleri olarak da kullanımı mevcuttur. Sentetik yapıda olan geleneksel ambalaj materyalleri, ekonomik ve kullanışlı olmalarına karşın biyobozunur olmadıkları için çevresel kirlilik etmenleridir. Günümüzde, gıda ile tüketime uygun, biyobozunur dolayısıyla çevresel kirliliklere karşı da alternatifler sunabilen, yenilebilir film ve kaplamaların ambalaj materyali olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Ayana, 2007).

Filmlerin üretimi sırasında, film materyalleri, film yapısına uygun çözenler içerisinde (su, alkol, su-alkol karışımları veya diğer çözen karışımları) tam olarak çözünmüş ve dağılmış olmalıdır. Ayrıca kullanılan plastikleştiriciler ve özel polimerler de dağılımı kolaylaştırmakta, aynı zamanda pH ayarlanması ve/veya film çözeltisini ısıtma gibi işlemler yapılmaktadır. Çözelti içerisinde homojen dağıtılmış olan film materyalleri son film formuna getirilebilmek amacı ile uygun sıcaklık ve bağıl nemde kurutulmalıdır (Bourtoom, 2008).

Yenilebilir Film ve Kaplamaların Özellikleri

Yenilebilir film ve kaplamaların kullanım amacı, gıdaların depolanması süresince meydana gelebilecek bozulmalara göre değişiklik göstermektedir. Yenilebilir film ve kaplamalarda kullanılacak olan film bileşenleri, bileşenlerin yapısı ve özellikleri, nem ve gazların transfer mekanizmasını etkilediğinden kaplama işlemi yapılacak olan çekirdek materyalinde meydana gelecek bozulma etmenleri göz önünde bulundurularak kaplama materyalleri seçilmelidir.

Yenilenilir film ve kaplamaların sahip olması gereken temel özellikler aşağıda sıralanmıştır (Erkmen ve Barazi, 2018).

- Tüketim açısından güvenli olmalı
- Biyobozunur olmalı, alerjen ve toksik olmamalıdır.

- Kaplama işlemi yapılacak olan gıdanın dış yüzeyinde homojen film katmanını oluşturabilmeli.
- Depolama sırasında stabilitesini korumalıdır.
- Gıdayı sadece kimyasal bozunmalara karşı değil, herhangi hasara karşı da korumalı, mekanik açıdan dayanıklı olmalıdır.
- Film oluşturma işlemi sırasında çözücü faz içerisinde homojen olarak dağılmalıdır.
- Gıdanın içinde ve dışında nem ve gaz transferini kontrol edebilmelidir.
- Gerekli aroma lezzet ve besin özelliklerinin kaybını önleyebilecek özellikte olmalı.
- Biyokimyasal, fizikokimyasal ve mikrobiyal stabilite sağlamalı
- Ürünün duysal ve tekstürel özelliklerini depolama süresince korumalı veya bu özellikleri geliştirmelidir.
- Biyobozunur olması özelliği ile doğayı kirletmemelidir.
- Film materyallerinin temini ve üretimi kolay olmalıdır.

Yenilebilir Film ve Kaplamaların Bileşenleri

Yenilebilir film ve kaplamalarda kaplama materyallerinin kompozisyonu son ürünü doğrudan etkilemektedir. Kaplama materyallerinin bir arada kullanımı etkili kaplama işleminin yapılması açısından önemlidir. Çünkü kaplama materyallerinin istenen tüm özelliklerinin bir kaplama materyalinde bulunması neredeyse imkansızdır (Koç ve ark., 2010). Lipitler, proteinler ve polisakkaritlerden oluşan her bir film bileşiminin farklı karakteristik özelliklerinin bir arada kullanılması amacı ile kompozit filmler tasarlanmıştır. Bu filmlerin üretilme amacı, lipitler, proteinler ve polisakkaritlerin olumlu özelliklerinin bir arada kullanılarak filmin bariyer özelliklerinin geliştirilmesidir. Heterojen filmler, emülsiyon, süspansiyon, çok katmanlı filmler veya sürekli fazda bir çözücü içerisinde solüsyon formu oluşturulması şeklinde uygulanır. Genellikle lipitler çekirdek materyaline nem geçişini azaltmak, proteinler mekanik dayanıklılık sağlamak, polisakkaritler ise gazların transferini kontrol altına almak amacıyla kullanılmaktadır (Dhumal ve Sarkar, 2018). Bu üç temel kaplama materyali bileşeni dışında, çözücü tipi (su ve etanol en çok kullanılır.) hazırlanan film çözeltileri içerisine eklenen plastikleştirici maddeler filmlerin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir (Regubalan ve ark., 2018). Yaygın olarak kullanılan plastikleştirici polioller; gliserol ve türevleri, sorbitol, polietilen glikoller ile lipid ve türevleri (fosfolipitler ve yağ asitleri) mono, di veya oligosakkaritler plastikleştirici madde olarak kullanılmaktadır (Chi ve ark., 2014).

Proteinler

Proteinler, sahip oldukları fonksiyonel özellikler ve lezzet bileşenlerinin bağlanmasında etkili kaplama materyalleridir (Giroux ve ark., 2011). Peynir altı suyu proteinleri, kazein ve kazeinatlar proteinler arasında en yaygın olarak tercih edilenleridir. Jelatin, etkin film oluşturması, kaplama sistemlerinde uygulamalarının kolay olması, kazein ve kazeinatlar emülsifiye etme özelliklerinin gelişmiş olması amacı ile daha yaygın olarak kullanılırken peynir altı suyu proteinleri sıcaklığa karşı

duyarlı olmaları nedeni ile jelatin ve kazeinlere kıyasla daha az tercih edilmektedirler (Sliwinski ve ark., 2020). Protein bazlı yenilebilir film ve kaplamalar oksijen, karbondioksit, aroma bileşenleri ve lipid transferine karşı iyi bir bariyer özellik göstermelerine rağmen hidrofilik yapıda olduklarından su buharı geçirgenliklerinin yüksek olması bu grubun dezavantajını oluşturmaktadır (Popović ve ark., 2012). Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda, konsantrasyon, kompozisyon, çözeltinin pH'sı, hazırlama koşulları, büyüklük ve plastikleştirici maddelerin türü gibi tüm etkenlerin, protein filmlerin geçirgenlik özelliklerini etkilediğini göstermiştir (Skurtys ve ark., 2010).

Polisakkaritler

Protein ve polisakkaritler genel olarak hidrokolloitler adı ile bilinmektedir ve hidrokolloitler çoklu hidroksil grupları içeren hayvan, bitki, mikrobiyal veya sentetik orjinli polimerlerdir (Skurtys ve ark., 2010). Yenilebilir film ve kaplamalar alanında hidrokolloitler çeşitli avantajları ile yaygın kullanım alanına sahiptir. En çok bilinen ve yaygın olarak kullanılan hidrokolloitler; karboksimetil selüloz, keçiyoynuzu zamkı, guar gam, etil selüloz, kazein ve türevleri, gliserol ve sorbitol gibi plastikleştiriciler ile desteklenen jelatin ve buğday glutenidir. Polisakkaritler, monosakkaritlerin glikozidik bağlarla bağlanması sonucunda oluşan kompleks yapıdaki karbonhidratlardır. Düşük maliyetli olmaları, kolay elde edilebilir olmaları ve bu avantajların yanında film oluşturma özelliklerinin oldukça iyi olması, pürüzsüz ve küresel kapsül oluşumunu sağlaması ve çekirdek materyali ile kaplama materyali arasındaki yapışma kuvvetini artırarak bu iki materyalin birbirine daha iyi tutunmasını sağlaması gibi nedenlerden dolayı polisakkaritler, yenilebilir film ve kaplama üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Koç ve ark., 2010). Polisakkaritlerin bu özelliklerinin yanı sıra hidrofilik yapıda olmaları, su buharı bariyeri özelliklerinin kötü olmasına neden olmaktadır. Polisakkarit polimerlerden yapılan kaplamalar, iyi su buharı bariyeri sağlayamamasına rağmen, nem kaybını geciktiren ajan olarak gıdalarda kullanılmaktadır (Boutoom, 2008; Dursun ve Erkan, 2009). Polisakkarit bazlı yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde, nişasta ve nişasta hidrozalatları, kitosan, agar, aljinat, karragenan, pektin, selüloz ve türevleri, maltodekstrin gibi maddeler kullanılmaktadır (Espitia ve ark., 2014).

Lipidler

Lipitler, yüzey aktif maddelerden, monogliseritlerden ve balmumundan oluşur ve yenilebilir film kaplamalarda bağl düşük polarite nedeniyle nem transferini engelleyici olarak kullanılırlar. Bu özellikleri ile kullanıldıkları ürünün solunumunu azaltarak raf ömrünün uzamasına, dış görünüşlerini geliştirerek parlak görünümüne sahip olmalarına olanak sağlamaktadırlar. Tüm bu avantajların yanı sıra mekanik özelliklerinin zayıf olması ve film oluşumunda sıcaklık ve çözücü madde gerektirmeleri lipitlerin dezavantajını oluşturmaktadır (Dursun ve Erkan, 2009). Lipitlerin nemli veya hidrofilik yüzeylere uygulanması çekirdek materyali ile film katmanları arasındaki çekim kuvvetinin zayıflamasına neden olduğundan ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi gerektiğinden lipitlerin protein, selüloz ve türevleri gibi pürüzsüz kapsül oluşturma özelliğine sahip dayanıklı ajanlar ile kullanılması önerilmektedir (Bourtoom, 2008).

Ayrıca oksidasyona karşı hassas olan gıda bileşenlerinin enkapsülasyonunda da lipid bazlı film ve kaplamalar oksijen bariyeri olarak kullanılmaktadır (Han, 2014).

Kompozit Film ve Kaplamalar

Kompozit film ve kaplamalar her bir kaplama materyallerinin farklı film oluşturma özelliklerinin bir arada kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu kaplama materyalleri, emülsiyon oluşturularak, süspansiyon veya karışmayan bileşik dispersiyonu olarak, katmanlar şeklinde veya bir çözücü içerisinde çözelti haline getirilerek çekirdek materyali üzerine uygulanırlar. Hangi yöntemin uygulanacağını belirlemede, çekirdek materyalinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile kullanılacağı yer önemli rol oynamaktadır (Koç ve ark., 2010). Katman halinde uygulanan film ve kaplamalarda hedef fonksiyona bağlı olarak farklı materyallerin kombinasyonu kullanılabilen ve katman sayısı artırılabilir (Galus ve Kadzińska, 2015). Yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde hem bariyer özelliklerinin hem de dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi için farklı kaplama materyalleri kombinasyonlarından faydalanılır (Yousuf ve Qadri, 2020). Kullanılan polimerlerin kombinasyonu protein ve karbonhidrat, protein ve lipid veya karbonhidrat ve lipidler şeklinde olabilir. Günümüzde kompozit filmlerin özelliklerinin geliştirilmesi üzerinde yapılan çalışmalarda lipit ve hidroksipropil metil selüloz, metil selüloz ve yağ asitleri, metil selüloz ve lipitler, peynir altı suyu proteini ve lipitler, jelatin ve çözünür nişasta, mısır zeini, hidroksipropil nişasta ve jelatin, mısır zeini ve mısır nişastası, kazein ve lipitler, soya protein izolatu ve jelatin, soya protein izolatu ve polilaktik asit kullanılmıştır (Bourtoom, 2008).

Yenilebilir Film ve Kaplamalarda Kalite Parametreleri

Gaz ve nem bariyer özellikleri, nem sorpsiyon kapasitesi, ışık geçirgenliği, mekanik özellikler, çözünürlük, adhezyon, kohezyon, mikrobiyal stabilite, duyu ve organoleptik özellikler yenilebilir filmlerde önemli olan kalite parametreleridir.

Yenilebilir filmlerin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan bazı parametreler (Çizelge 1) aşağıda verilmiştir (Erkmen ve Bozoglu, 2016). Çizelge 1'de verilen kalite parametreleri dış ve iç faktörlere göre değişkenlik göstermektedir. Dış faktörleri sıcaklık, bağıl nem, basınç ve pH; iç faktörleri ise filmleri oluşturan bileşenlerin kimyasal özellikleri ve konsantrasyonu oluşturmaktadır (Monteiro Fritz ve ark., 2019; Han, 2014; Siracusa ve ark., 2018).

Yenilebilir film ve kaplamaların özelliklerini etkileyen faktörler

Yenilebilir film ve kaplamalar gıdayı nem ve gaz geçirgenliğine karşı korurken aynı zamanda gıdada gerçekleşecek solunumu da minimuma indirgeyerek gıdanın raf ömrünü uzatırlar. Aynı zamanda gıdanın yüzeyinin daha parlak ve daha pürüzsüz görünmesini sağlayarak duyu özelliklerini iyileştirirler. Kullanılan kaplama materyali tipine (protein, karbonhidrat, lipid) göre yenilebilir film ve kaplamaların mekanik ve fiziksel özellikleri değişmektedir. Bu özellikler aynı zamanda film

ve kaplamanın yapıma tekniğine, plastikleştirici madde cinsi ve konsantrasyonuna, filmin kalınlığına, kurutma koşullarına, sıcaklık, basınç ve bağıl neme bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Monteiro Fritz ve ark., 2019; Siracusa ve ark., 2020).

Film Hazırlama Yöntemleri

Isıl jelleştirme, çözücü uzaklaştırma ve eriyiğin katılaştırılması ve ekstrüzyon yöntemleri yenilebilir film ve kaplama üretiminde yaygın olarak kullanılan üç yöntemdir.

Çözücü uzaklaştırma yöntemi; film oluşturma çözeltisindeki makro moleküllerin bu moleküllere en uygun çözücülerde çözündürülmesinin ardından elde edilen çözelti içerisine sürekli yapının elde edilebilmesi amacı ile çapraz bağlayıcı maddeler olan plastikleştirici maddelerin çözelti içerisine eklenmesi işlemlerine dayanan bir yöntemdir. Hazırlanan film çözeltisinin uygun bir yüzeye dökülüp kurutulmasının ardından yüzeyden soyulması ile film üretimi gerçekleştirilir (Tural ve ark., 2017). Bu yöntem daha çok polisakkarit bazlı film ve kaplama üretimi yönteminde kullanılan bir tekniktir.

Isıl jelleşme yöntemi, protein bazlı yenilebilir filmlerin üretiminde kullanılmaktadır. Protein bazlı yenilebilir filmler, asit, baz, çözücü veya ısı uygulaması ile denatürasyonu prensibine dayanmaktadır (Rhim ve Ng, 2007). Isıl jelleşme yönteminde uygulanan ısıtma işlemi sonucu, molekül içi ve moleküller arasındaki disülfid bağları denatürasyona bağlı olarak parçalanır ve ardından uygulanan soğutma ve kurutma işlemi sonucunda parçalanmış bu bağlar yeniden kurulur ve film yapısı oluşturulur. Lipit bazlı yenilebilir filmlerde ise (soğutma işlemi ile) eriyiğin katılaştırılması yöntemi kullanılmaktadır (Tural ve ark., 2017).

Film oluşturma işlemlerinde kullanılan ekstrüzyon yöntemi, minimum su ve solvent kullanımına ihtiyaç duyulması nedeni ile kuru yöntem olarak da bilinmektedir. Bu yöntemin başlıca avantajları, kısa işlem süresi, filmlerin mekanik ve optik özelliklerinin gelişmesini sağlamasıdır (Suhag ve ark., 2020) Gıda sektöründe, yüksek performansı, düşük maliyeti, verimli olması solvent kullanılmaması, yüksek viskoziteli polimerlerin kullanılabilmesi, ile tercih edilen bir yöntemdir (Raghav ve ark., 2016). Belirli polimerlerin kullanımına izin vermesi, yalnızca sıcaklığa dayanıklı ve düşük nemli hammadde karışımlarının kullanılabilmesi, özel ekipmanın daha yüksek bir başlangıç maliyeti ve daha yüksek bir bakım maliyetinin olması ise bu sistemlerin dezavantajlarıdır (Andreuccetti ve ark., 2012)

Kullanılan Materyal Yapısı (Protein, Karbonhidrat, Lipid), ve Konsantrasyonu

Bitkisel veya hayvansal kaynaklı birçok lipit, protein ve polisakkarit tek veya karışım halinde yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde kullanılmaktadır. Kimyasal özellikleri farklı olan bu üç temel materyal, farklı film özelliklerine sahiptir. En genel anlamda lipitler, nem transferine karşı bariyer özelliği kazandırmak, proteinler mekanik dayanıklılık kazandırmak, polisakkaritler ise oksijen ve diğer gazların geçirgenliğini kontrol altında tutmak amacı ile kullanılmaktadır (Robertson, 2013). Yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde bu ana materyallerin yanı sıra çözücü, plastikleştirici,

emülsüfiyer, antioksidan ve antimikrobiyal ajanlardan da yararlanılmaktadır (Üstünol, 2009).

Protein kaynaklı filmler genellikle proteinlerin dispersiyonlarından veya protein çözeltilerinden elde edilmektedir. 20 farklı amino asit içermesi ile intermoleküler bağlanma potansiyellerinin yüksek olması, proteinleri polisakkaritlerden ayıran özelliklerden biridir. İntermoleküler bağlanma potansiyellerinin yüksek olması nedeni ile çeşitli asidik veya bazik çözeltilerde, alkol su karışımlarında ısı ile çözünerek film fonksiyonları geliştirilebilmektedir. Geliştirilen bu fonksiyonları ile protein bazlı filmlerin mekanik ve bariyer özellikleri polisakkarit bazlı filmlerden daha iyidir (Hassan ve ark., 2018). Protein bazlı yenilebilir filmlerin gaz ve aroma transferine karşı bariyer özellikleri oldukça iyi iken su buharı geçirgenliği bariyer özellikleri zayıftır (Shit ve Shah, 2014; Şuput et al., 2015). Yapılan çalışmalarda, kullanılan film materyallerinin hepsi protein olmasına rağmen fiziksel ve mekanik özellikleri birbirinden farklı film ve kaplamalar elde edilmiştir. Bu durum proteinlerin amino asit bileşimi, kristallik, hidrofobiklik/hidrofiliklik, yüzey yükü, izoelektrik nokta, moleküler boyut ve üç boyutlu yapısından kaynaklanmaktadır (Dangaran, 2009). Protein bazlı yenilebilir film materyalleri olarak jelatin, kazein, peynir altı suyu proteini, bezelye proteini, soya proteini yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu film materyalleri aynı zamanda kullanıldıkları gıdaları besin değeri açısından da zenginleştirmektedirler (Dursun ve Erkan, 2009). Bazı protein türleri, film oluşturma özellikleri ile gıda sanayinde ambalaj materyali olarak da kullanılmaktadır. Zein ve kazeinler şekerleme endüstrisinde, et ve et ürününün kaplanmasında kullanılmaktadırlar (Seydim ve Sarikus, 2006). Peynir altı suyu proteinleri ile kaplanmış olan dondurulmuş balık ürünlerinin antioksidan özelliklerinin geliştiği yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir. Aynı zamanda peynir altı suyu proteinleri ve astile edilmiş monogliserit karışımları ile kaplanan kahvaltılık gevreklerde nem geçirgenliği, kuru üzümde ise yapışkanlık probleminin giderilebildiği tespit edilmiştir (Seydim ve Sarikus, 2006). Proteinlerin film oluşturma özellikleri iki faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler; film materyali özellikleri (proteinleri oluşturan asitlerin kompozisyonu, molekül ağırlığı, hidrofilik/hidrofobik özellikleri, proteinin ve kullanılan plastikleştirici maddenin kristallenme derecesi) ve üretim parametreleri (sıcaklık, kurutma koşulları ve kurutma ortamı bağıl nem)dir (Baysal ve İçier, 2012). Bağıl nemin düşük olması, proteinlerin bariyer özelliklerinin iyi olması için önemli bir parametredir. McHugh ve ark., (1994) ve Gounga ve ark., (2007) peynir altı suyu protein izolatu, Kokoszka ve ark., (2010) soya proteini, Sharma ve Singh (2016) susam proteini kullanarak yaptıkları çalışmalarda protein konsantrasyonunun filmlerin özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonunda, protein konsantrasyonunun filmlerin su buharı geçirgenliği, oksijen geçirgenliği, kalınlık, çekme gerilimi ve çözünürlük özelliklerini önemli derecede etkilediği bulunmuş ve su buharı geçirgenliğindeki artış nedeni olarak proteinlerin hidrofilik yapıda olması dolayısıyla konsantrasyon arttırıldığında geçirgenlik değerini arttırabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Çizelge 1. Yenilebilir filmlerin kalite parametreleri ve önemleri

Kalite parametreleri	Önemi
Buhar geçirgenliği	Özellikle kuru gıdaların nem kapmasında taze gıdalarda ise su buharından kaynaklanan kalite kaybını önlemektedir.
Oksijen geçirgenliği	Meyve ve sebzelerde, solunumdan kaynaklanan, yağ içeriği yüksek gıdalarda ise oksidasyondan kaynaklanan kalite kayıplarını önlemektedir.
Mekanik özellikler	Özellikle ambalaj materyali olarak kullanılacak filmlerde önemlidir. Filmlerin mekanik kuvvetlere karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Bu dayanıklılık üzerine ektili olan özellikler; uzama miktarı, çekmeye dayanıklılık, elastik modül, camsı geçiş sıcaklığı ve kopma uzaması değerleridir.
Kimyasal özellikler	Özellikle su içeriği yüksek gıdalarda çözünürlük ve hidrofobik-hidrofilik etkileşimleri bu materyallerin biyobozunurluklarını belirlemede etkilidir.
Opaklık ve ışık geçirgenliği	Oksidasyonu önlemek amacı ile yağ içeriği yüksek gıdalarda bu özellikten yararlanılmaktadır.
Antimikrobial özellikler	Minimum inhibitör konsantrasyonları, minimum bakterisidal konsantrasyonlar, maksimum tolere edilen konsantrasyonlar ve doğal antimikrobiyal içeren yenilebilir filmlerde hedef organizmalara karşı antimikrobiyal aktivite.
Organoleptik özellikler	Koku, tat, koku, renk gibi tüketicinin tercih etmesini sağlayabilecek özellikler açısından önemlidir.

Polisakkaritler yapı taşları olan monosakkaritlerin glikozit bağları ile bağlanması sonucunda oluşan karbonhidratlardır.

Yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde iyi film oluşturma özelliklerinin yanı sıra ucuz olmaları, kolay bulunabilir olmaları, mekanik özelliklerinin iyi olması ile de tercih edilmektedirler. Polisakkaritler ya bir şeker monomerinden veya tekrar eden bir dimerden oluşan doğrusal veya doğrusal omurga üzerinde doğrusal bir şeker yan zinciri ya da farklı şekerlerin karışımından oluşan dallanmış bir yapıda olabilirler ve bu yapı film oluşturma özelliklerinin, çözünürlük değerlerinin, jelleşme ve emülsifiye edici özelliklerinin, birbirleri veya diğer bileşenlerle olan sinerji ve uyumsuzluk; kıvamlaştırma özelliklerinin farklılaşmasını sağlamaktadır (Nieto, 2009). Polisakkaritler hidrofilik yapıdadırlar ve bu yapılarından dolayı su buharı bariyeri özellikleri zayıftır ancak gaz geçirgenliğine karşı bariyer özellikleri oldukça iyidir. Bu özellikleri sayesinde modifiye atmosfer ile anaerobik ortam yaratmaya gerek kalmadan gıdaların raf ömrünü arttırmakta ve tazelikliğini korumaktadırlar (Yang ve Paulson, 2000). Gaz bariyer özelliklerinin yanı sıra yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde polisakkaritler mekanik özelliklerinin iyi olması ile ürünleri darbelere karşı korumak amacı ile de kullanılmaktadırlar. Çeşitli nişasta ve türevleri, selüloz ve türevleri, pektin, aljinat, karragenan kitosan ve pullunan yaygın olarak kullanılan polisakkarit bazlı film materyalleridir (Şuput ve ark., 2015).

Yenilebilir film ve kaplamalarda lipit bazlı kaplama materyalleri, hidrofobik ve apolar yapıda olmaları ve dolayısıyla nem bariyer özelliklerinin iyi olması amacı ile kullanılmaktadırlar. Bu özellikleri ile kırmızı ve beyaz etlerin korunması, taze meyve ve sebzelerin kurumasının önlenmesi amacı ile yaygın olarak kullanılmaktadır (Morillon ve ark., 2002). Doymamışlık derecesi, hidrokarbon zincirlerinin uzunluğu, polar bileşenlerin varlığı lipitlerin özelliklerini etkileyen faktörlerdir. Ortak kimyasal yapıya sahip lipit bileşenlerinin zincir uzunluklarının farklı olması polaritede farklılığa neden olacağından lipit bazlı filmlerin bariyer özelliğini ve suda çözünürlüğünü değiştirmektedir (Rhim ve Shellhammer,

2005). McHugh ve Krochta (1994) yaptıkları bir çalışmanın sonucu olarak lipitlerin bariyer özelliklerinin yapılarındaki karbon atomu (14'den 18'e) sayısının artması ile arttığını ancak 18'den fazla karbon atomu içermelerinin polimer ağın heterojen bir yapı kazanmasına neden olduğundan bariyer özelliklerinin zayıfladığını belirtmişlerdir. Lipitlerin sıvı ya da katı halde bulunması, nem geçirgenliğini etkilemekte, katı formda bulunan lipitlerin filmlerde daha etkili katman oluşturmaları sayesinde suyun difüzyonunu sınırladığı bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda palm yağı, stearik asit, balmumu ve parafin gibi katı yağların, oleik asit gibi sıvı/doymamış yağ içeren selüloz eter bazlı filmlerden çok daha düşük su buharı geçirgenliğine sahip oldukları belirtilmiştir (Debeaufort ve Voilley, 2009). Katı yağ kullanımı arttırıldığında filmlerin nem bariyeri özelliğinin artacağı düşünülse de yağın türüne göre değişen kritik bir değerin üstüne çıkıldığında yapıdaki yapısal bozukluklardan (gözenekliliğin artması) dolayı geçirgenlik değerlerinin de aynı oranda artış göstereceği unutulmamalıdır (Debeaufort ve Voilley, 2009). Belirtilen fiziksel hal faktörünün dışında, doymamışlık derecesi ve yağ polimorfizmi de kristalleşme oranını dolayısıyla filmlerin geçirgenliğini ve suda çözünürlüğünü değiştirmektedir. Lipitlerden elde edilen filmler yapısal olarak daha kalın ve kırılabilirdir. Bu durumun yaratacağı sorunların engellenebilmesi amacı ile yenilebilir film ve kaplamalarda lipitler farklı avantajlara sahip polisakkaritler ve proteinler ile birlikte kullanılmaktadır (Tufan, 2018).

Plastikleştirici Madde ve Konsantrasyonu

Plastikleştiriciler düşük molekül ağırlıklı küçük moleküllerdir. Film ve kaplamalarda kullanım amaçları, moleküller arası güçleri azaltıp biyopolimer zincirlerinin hareketlerini daha serbest hale getirerek filmlerin mekanik özelliklerini geliştirmek, kırılabilirliği azaltmak ve esneklik kazandırmaktır (Üstünoğlu, 2009). Plastikleştirici maddeler aynı zamanda filmlerin parlaklığını arttırmak amacı ile kullanılmaktadır. Glukoz-fruktoz şurupları, glukoz, sakkaroz, mono, di veya oligosakkaritler; gliserol, sorbitol, gliserol türevleri, polietilen glikoller gibi polioller;

fosfolipitler ve yağ asitleri gibi lipit ve türevleri kullanılan plastikleştirici maddelerdir (Altay, 2020). Bu plastikleştirici maddeler arasında en yaygın olarak kullanılan gliserol, gliserin veya 1, 2, 3 propanetriol olarak bilinen bileşiktir. Berrak, su beyazı viskoz bir sıvı olan gliserolün aynı zamanda higroskopik özelliği de bulunmaktadır. Bu nedenle neme karşı duyarlı çekirdek materyallerinin enkapsülasyonunda kullanım miktarlarına ve konsantrasyonlarına dikkat edilmelidir (Seydim ve Sarıkuş, 2006). Yaygın olarak kullanılan bir diğer plastikleştirici madde olan sorbitol su buharı bariyer özelliği olarak gliserolden yaklaşık dört kat daha iyi olsa da tadının nötr olmaması, tatlılık vermesi nedeni ile kullanım alanı kısıtlıdır. Kullanılan plastikleştirici maddenin türü ve konsantrasyonu aynı zamanda filmlerin optik özelliklerini de etkilemektedir. Gliserol konsantrasyonunun artması ile UV ve görünür bölgede ışık geçirimi artmakta, yüksek geçirgenlik değerleri, kırılma indeksini değiştiren ve film matrisi boyunca ışık geçişini kısıtlayan ve daha fazla polimer zincir sıkışması nedeniyle olabilecek daha opak bir film görünümüne neden olmaktadır (Bozkurt, 2019).

Kurutma Koşulları

Hazırlanan film materyalinin film formuna getirilmesi için yapılan kurutma işlem koşulları (sıcaklık, bağıl nem, enerji kaynağı tipi) filmlerin özellikleri üzerine etkili olan bir diğer parametredir. Seçilen kurutma yöntemi de filmin morfolojisi, bariyer özellikleri ve görünümü üzerinde etkili olan parametrelerdendir. Film materyalleri ile hazırlanan çözeltiler, sıcak hava ile mikrodalga veya kızılötesi kurutma yöntemi ile kurutulabilmektedirler (Pérez-Gago ve Krochta, 2000). Yapılan bir çalışmada peyniraltı suyu proteinleri ile hazırlanan film çözeltileri mikrodalga kurutma yöntemi ile kurutulmuş ve ortam koşullarında kurutulan filmler ile bariyer özellikleri kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir artış gözlemlenirse de mikrodalga kurutma sonucunda film parlaklığı önemli ölçüde artmış ve kuruma süresi 5 dakikaya kısaltılmıştır (Kaya ve Kaya, 2000). Yapılan bir diğer çalışmada sıcaklığın filmlerin bariyer özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Peynir altı suyu protein izolatu kullanılan bu çalışmada sıcaklık arttıkça filmlerin su buharı geçirgenliklerinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir (Pérez-Gago ve Krochta, 1999).

Filmin Kalınlığı

Hazırlanan filmin kalınlığı, filmin bariyer özellikleri üzerinde etkili bir parametredir. Aşağıdaki Eşitlik 1 ve 2'ye göre, su buharı aktarım hızı (WVTR), geçirgenliğin (P), kalınlık (x) ve kısmi buhar basıncı gradyanı (Δp) ile normalize edildiği belirli bir süre boyunca (Δt), filmin kesit alanına (A) aktarılan su buharı miktarına karşılık gelmektedir (Debeaufort ve Voilley, 1993).

$$WVTR = \frac{\Delta m}{\Delta t} (\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}) \quad (1)$$

$$P = WVTR \frac{x}{\Delta p} (\text{gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}) \quad (2)$$

Film kalınlığının etkisi, filmi oluşturan bileşenlerin yapısına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Şöyle ki filmin bariyer özelliklerinin kalınlık ile artması

beklenirken bu durumun tam tersi olduğu yapılan çalışmalar ile gözlemlenmektedir. Bu durum filmlerin suya karşı afinitesini göstermekte olup formülasyondaki hidrofilik bileşiklerin varlığından kaynaklanabilmektedir (McHugh ve ark., 1993). Lipit bazlı kaplama materyallerinin gaz geçişlerine karşı direnç özelliği, yapılarına bağlıdır. Yapılarında bulunan kristaller ne kadar yoğun ve homojen olarak dağılır ve yönlendirilirse gaz bariyer özellikleri o derece gelişmektedir. Filmlerin suya karşı bariyer özelliği ise daha karışık bir kavramdır. Film bileşenlerinin suya karşı afiniteleri su geçirgenlikleri konusunda önem arz etmektedir. Bu nedenle su transferi özelliği, hidrofobik maddeler durumunda bile, difüzyon (kinetik faktör) ve sorpsiyon (termodinamik faktör) olaylarına bağlıdır. Yapılan bir çalışmada, film kalınlıklarının su buharı üzerindeki etkisi incelenmiş ve kalınlık arttıkça beklenen aksine su buharı geçirgenliği özelliklerinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Hidrofilik filmlerde kalınlığın artması ile artan su buharı geçirgenliği değerlerinin kütle transferine karşı artan bir direnç sergilemesi ve filmin iç yüzeyindeki denge su buharı kısmi basıncın artmasından kaynaklandığını öne sürmüşlerdir. Yapılan çalışmalarda, bağıl nemin kalınlığın üzerine etkisi olduğu ve kalınlıktaki artışla birlikte bağıl nemin arttığı ve dolayısıyla su buharı geçirgenliği değerlerinin de arttığı sonucuna ulaşılmıştır (McHugh ve ark., 1993).

Bağıl Nem

Yenilebilir film ve kaplamaların özelliklerini etkileyen faktörlerden bir diğeri olan bağıl nem arttıkça filmlerin su buharı ve gazlara karşı bariyer etkinliğinin azaldığı çoğu çalışma tarafından belirtilmiştir (McHugh ve Krochta, 1994). Bu durum, ortamda bulunan nemin, hidrofilik filmlerde plastikleştirici olarak rol oynamasından kaynaklanmaktadır. Amorf yapıda bulunan materyaller, moleküler hareketliliğin bir sonucu olarak camsı veya kauçuğumsu (lastiksi/elastikimsi) halde bulunabilir. Camsı geçiş sıcaklığının üzerinde etkili olduğundan cam- kauçuk geçişi, filmlerin difüzyonundaki ve esnekliğindeki değişikliklere neden olan moleküler hareketliliği etkilemektedir. Hareketliliğin az olduğu durumlarda, difüzyon daha zor hale gelecektir (Gontard ve ark., 1994). Yenilebilir film ve kaplamaların gaz geçirgenliklerinin bağıl neme bağlı olarak artışları hidrofilik özellik taşıma derecelerine göre değişebilmektedir. Örneğin buğday glutenin yüksek amir grubundan dolayı oksijen geçirgenliği bağıl neme karşı hassastır (Gontard ve ark., 1992).

Sıcaklık

Sıcaklık, tüm termodinamik ve kinetik olayları etkilediğinden transferler üzerinde de etkili olmaktadır. Nem transferi termodinamik (Sorpsiyon) veya kinetik (Difüzyon) ile gerçekleşmektedir ve sıcaklık arttığında geçirgenlik artar veya azalır (Morillon ve ark., 2002). Sıcaklık nedeni ile film yapısında herhangi değişiklik olmadığı sürece yayılma, geçirgenlik ve çözünürlük katsayıları Arrhenius yasasına göre değişmektedir. Difüzyon işleminde aktivasyon enerjisi değeri pozitif olduğu için difüzyon ile nem transferi işlemi sıcaklık ile artış göstermektedir. Polimer kısımların hareketinin artması ve moleküllerin artan enerji seviyelerine bağlı olarak geçirgenlik değerleri genel olarak sıcaklık ile artmaktadır.

Yapılan bir çalışmada su buharı geçirgenlik değerlerinin sıcaklık arttıkça arttığı bulgulanmıştır (Labuza ve Contreras-Medellin,1981), plastik filmlerde sıcaklık arttıkça su buharı geçirgenlik katsayılarının arttığını bulgulanmıştır. Yapılan bir başka çalışmada sıcaklık 25 ile 40°C arasında değiştiğinde polietilen balmumlarının su buharı geçirgenliğinde artış olduğu gözlemlenmiştir (Hagenmaier ve Shaw, 1991). Bu nem transferinin difüzyon ile gerçekleştiğini göstermektedir (Chinnan ve Park 1995). Ayrıca lipid bazlı filmlerde sıcaklık katı yağ içeriğini değiştirdiğinden filmin hem yapı hem de bariyer verimliliğini etkilemektedir (Morillon ve ark., 2002).

Su Buharı Basıncı

Yapılan çalışmalar hidrofilik filmlerde su buharı geçirgenliği değerlerinin su buharı basıncı ile değiştiği sonucuna varmışlardır. Lipid bazlı yenilebilir filmlerde su buharı geçirgenliği su moleküllerinin polar olmayan film yapısında kümelenmesi nedeniyle su buharı basınç gradyanına bağlı görünmektedir (Contreras-Medellin ve Labuza, 1981).

Protein Denatürasyonu

Protein bazlı yenilebilir film ve kaplamalarda denatürasyon işlemi genellikle pH ve/veya sıcaklık ayarlaması ile yapılmaktadır. Yapılan denatürasyon işlemi, protein molekülleri arasındaki zincir etkileşimlerini arttırmakta, filmin yapısını güçlendirerek geçirgenlik değerini azaltmaktadır. Yapılan bir çalışmada susam proteini ile farklı sıcaklıklarda (70, 80 ve 90°C) film çözümleri elde edilmiş, sıcaklık artışı ile elde edilen filmlerin çözünürlük değerlerinin azaldığı bulgulanmıştır. Bu sonuç, protein yapısında meydana gelen denatürasyon ile açıklanmıştır (Sharma ve Singh, 2016). Protein bazlı filmlerin özelliklerini etkilen bir diğer parametre pH dır. Gontard ve ark. (1992) gluten kullanarak yaptıkları bir çalışmada, elde edilen filmin pH'sının opaklık, su buharı geçirgenliği ve çözünürlük üzerine etkili olduğunu bulgulanmışlardır.

Penetran Özellikleri ve Suyun Hali

Penetran suyun özellikleri ve hali filmlerin özelliklerini etkileyen bir diğer faktördür. Gözenekli yapıların aksine yoğun yapılar söz konusu olduğunda, penetran maddenin özellikleri, film bileşenleri ile etkileşimini, aynı zamanda transfer mekanizmalarını da etkiler. Su moleküllerinin boyutu ve şekli, gıda matrisinde meydana gelecek olan difüzyonu etkilerken aynı zamanda polarite ve yoğunlaşma değerleri sorpsiyonu değiştirir. Su polar yapıda bir bileşik olduğu için gıda materyallerinde hem emilme hem yayılma değerini arttırmaktadır. Yoğun olan materyaller neme karşı, yoğunlaşmayan gazlardan daha geçirendir (Morillon ve ark., 2002).

Yenilebilir Film ve Kaplamaların Gıdalara Uygulama Yöntemleri

Yenilebilir film ve kaplama uygulamalarında kullanılan proteinler ve polisakaritler film çözümlerinin oluşturulabilmesi amacı ile polimerizasyon, jelleştirme gibi ön işlemlerden geçirilirler. Bir diğer kaplama materyallerinden olan lipid bazlı kaplama materyalleri ise erime, kristallendirme veya çözücü uzaklaştırma gibi ön

işlemlere tabi tutulurlar. Yenilebilir filmler; yayma, dökme, ekstrüzyon, pan kaplama, rulo kaplama ve laminasyon teknikleri ile yenilebilir kaplamalar ise; püskürtme-akışkanlaştırma, tambura kaplama, püskürtme, pan kaplama teknikleri ile hazırlanmaktadır (Tufan, 2018). Yenilebilir filmler, yenilebilir kaplamalar, yenilebilir tabakalar şeklinde gruplandırılır. Kalınlığı 254 µm'den daha büyük olan yenilebilir tabakalar ve kalınlığı 254 µm'den daha küçük olan yenilebilir filmler, gıdadan ayrı olarak işlenen gıdaların ambalajlanmasında kullanılan materyaller iken yenilebilir kaplamalar ise direkt gıda üzerine ince tabaka şeklinde uygulanan materyallerdir (Aguirre- Joya ve ark., 2018). Özetle yenilebilir film ile kaplamalar arasındaki temel fark, yenilebilir kaplamaların genellikle püskürtme şeklinde veya daldırma metoduyla gıdaya uygulanması, yenilebilir filmlerin ise katı bir tabaka şeklinde hazırlanıp daha sonra gıdanın bu film ile sarılmasıdır (Tural ve Turhan 2017). Öte yandan, yenilebilir kaplamalar daldırma, püskürtme, akışkan yatak kaplama, tava kaplama ve tambur kaplama teknikleri kullanılarak uygulanmaktadır (Monteiro Fritz ve ark., 2019; Suhag ve ark., 2020). Kuru katı parçacıkların kaplanmasında yaygın olarak kullanılan yöntem akışkan yatak kaplamadır.

Sonuç

Yenilebilir film ve kaplamalar, gıdaların raf ömrünü arttırma, kalite kayıplarını azaltma, bozulma reaksiyonlarını önleme, duyuşal özelliklerini koruma ve fonksiyonel özelliklerini geliştirme gibi farklı potansiyel uygulamalarıyla son yıllarda büyük ilgi uyandırmıştır. Ayrıca doğal polimerlerden elde edilmeleri, tüketilebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir özellikte olmaları sentetik ambalaj materyallerinin neden olduğu çevre kirliliğinin önüne geçme konusunda atılmış büyük bir adımdır.

Yenilebilir film ve kaplamaların birçok fonksiyonu, sentetik ambalaj filmleri ile benzerlik göstermekle birlikte yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde kullanılacak materyallerin, belirli uygulamalara, gıdanın türüne ve kalite bozulmasının başlıca mekanizmasına bağlı olarak seçilmesi gerekmektedir. Yenilebilir film ve kaplamaların fonksiyonel özellikleri ve etkinliği, yapısal ve çevresel faktörlerle doğrudan ilişkilidir. Yenilebilir film ve kaplamaların fonksiyonel özelliklerinin hedef gıda ile ilgili tüm proses, taşıma ve depolama koşullarında stabilize edilmesi ve mekanik özelliklerinin amaçlanan uygulamaya göre uyarlanabilmesi için bu parametrelerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bununla birlikte, çoğu biyopolimer ticari ambalaj materyallerine kıyasla nispeten hidrofiliktir. Yenilebilir film ve kaplamaların endüstriyel boyutta uygulanabilmesi için biyopolimerlerin film oluşturma mekanizmalarının tanımlanarak özelliklerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle yenilebilir film ve kaplama teknolojisinde daha fazla bilimsel araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynaklar

Aguirre-Joya JA, De Leon-Zapata MA, Alvarez-Perez OB, Torres-León C, Nieto-Oropeza DE, Ventura-Sobrevilla JM, Aguilar CN. 2018. Basic and applied concepts of edible packaging for foods. In Food packaging and preservation (pp. 1-61). Academic Press.

- Andreuccetti C, Carvalho RA, Galicia-García T, Martínez-Busto F, González-Núñez R, Grosso CR. 2012. Functional properties of gelatin-based films containing *Yucca schidigera* extract produced via casting, extrusion and blown extrusion processes: A preliminary study. *Journal of Food Engineering*, 113(1): 33-40.
- Altay Ö. 2020. Akışkan yatak kaplama teknolojisi ile kontrollü salınımına sahip kuru ekmek mayası üretimi ve optimum koşullarda kaplanmış mayanın model gıda olarak ekmek üretiminde test edilmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ayana B. 2007. Production of antimicrobial edible films and characterization.
- Baysal T, İçier F. 2012. Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler. Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Bourtoom T. 2008. Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3): 237-248. 197. ISSN: 0127-7324.
- Bourtoom T. 2009. Edible protein films: properties enhancement. *International Food Research Journal*, 16(1):1-9. ISSN: 1985-4668
- Bozkurt S. 2019. Ekmek mayasının (*Saccharomyces cerevisiae*) akışkan yatak kaplama yöntemi ile kaplanmasında farklı kaplama materyallerinin etkisi (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Cagri A, Ustunol Z, Ryser ET. 2002. Inhibition of three pathogens on bologna and summer sausage using antimicrobial edible films. *Journal of Food Science*, 67(6): 2317-2324.
- Chi C, Wang X, Xie J, Zhou R. 2014. Development and prospect of edible films preservation technology. *Journal of Food Safety and Quality*, 5(9): 2929-2934.
- Chinnan MS, Park HJ. 1995. Effect Of Plasticizer Level And Temperature On Water Vapor Transmission Of Cellulose-Based Edible Films 1. *Journal of Food Process Engineering*, 18(4): 417-429.
- Contreras-Medellin R, Labuza TP. 1981. Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Food World* 26: 335 – 342. ISSN: 0146-6283.
- Dangaran K, Tomasula PM, Phoebe Qi P. 2009. Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings. In: Embuscado ME, Huber KC (editors). *Edible films and coatings for food applications*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. pp. 25-57. ISBN 978-0-387-92823-4, e-ISBN 978-0-387-92824-1.
- Debeaufort F, Martin-Polo M, Voilley A. 1993. Polarity homogeneity and structure affect water vapor permeability of model edible films. *Journal of Food Science*, 58(2): 426-429.
- Debeaufort F, Voilley A. 2009. Lipid-Based Edible Films and Coatings. In: Embuscado ME, Huber KC (editors). *Edible films and coatings for food applications* Springer Dordrecht Heidelberg, London, New York. pp. 135-169. ISBN 978-0-387-92823-4, e-ISBN 978-0-387-92824-1.
- Raghav PK, Agarwal N, Saini M. 2016. Edible coating of fruits and vegetables: A review. *Education*, 1, 2455-5630.
- Dhumal CV, Sarkar P. 2018. Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *Journal of food science and technology*, 55(11): 4369-4383.
- Dursun S, Erkan N. 2009. Yenilebilir protein filmler ve su ürünlerinde kullanımı. *Journal of Fisheries Sciences*. com, 3(4): 352.
- Erkmen O, Barazi AO. 2018. General Characteristics of Edible Films. *Journal of Food Biotechnology Research*, 2: 1-3. Available from: <http://www.imedpub.com/journal-food-biotechnology-research/>.
- Erkmen O, Bozoglu TF. 2016. *Food Microbiology, 2 Volume Set: Principles into Practice*. John Wiley and Sons.
- Espitia PJP, Du WX, De Jesús Avena-Bustillos R, Soares NDFF, McHugh TH. 2014. Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties-A review. *Food hydrocolloids*, 35: 287-296.
- Galus S, Kadzińska, J. 2015. Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science and Technology*, 45(2): 273-283.
- Gennadios A, Brandenburg AH, Weller CL, Testin RF. 1993. Effect of pH on properties of wheat gluten and soy protein isolate films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(11):
- Giroux HJ, Britten M. 2011. Encapsulation of hydrophobic aroma in whey protein nanoparticles. *Journal of Microencapsulation*, 28(5).
- Gontard N, Guilbert S, Cuq JL. 1992. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 57(1): 190-195.
- Gontard N, Guilbert S. 1994. Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. In: Mathlouthi M (editor). *Food Packaging and Preservation* Springer, Boston, MA. pp. 159-181
- Gounga ME, Xu SY, Wang Z. 2007. Whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan addition in film formation. *Journal of Food Engineering*, 83(4): 521-530.
- Hagenmaier RD, Shaw PE. 1991. Permeability of coatings made with multilayered polyethylene wax. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39(10): 1705-1708
- Han JH. 2014. A review of food packaging technologies and innovations. In: *Innovations in Food Packaging*. Elsevier London. pp. 3-12.
- Hassan B, Chatha SAS, Hussain AI, Zia KM, Akhtar N. 2018. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International journal of biological macromolecules*, 109: 1095-1107.
- Hua SS, Du WX, Avena Bustillos R, McHugh T. 2011. Novel approach to inhibit the growth of *Aspergillus flavus* and aflatoxin production by essential oil edible film. In *American Society for Microbiology General Meeting*.
- Kamper SL, Fennema O. 1984. Water vapor permeability of an edible, fatty acid, bilayer film. *Journal of Food Science*, 49(6): 1482-1485.
- Kaya S, Kaya A. 2000. Microwave drying effects on properties of whey protein isolate edible films. *Journal of Food Engineering*, 43(2): 91-96.
- Kester JJ, Fennema OR. 1986. Edible films and coatings: a review. *Food Technology*, 40(12): 47 – 59.
- Koç M, Sakin M, Kaymak-Ertekin F. 2010. Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanım. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(1): 79-90. Available from: https://www.journalagent.com/pajes/pdfs/PAJES_16_1_77_86.
- Kokoszka S, Debeaufort F, Hambleton A, Lenart A, Voilley A. 2010. Protein and glycerol contents affect physico-chemical properties of soy protein isolate-based edible films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(3): 503-510.
- Krochta JM, Baldwin EA, Nisperos-Carriedo M. 1994. *Edible coatings and films to improve food quality*. Florida: CRC Press.
- Krochta JM, Mulder-Johnston C. 1997. *Edible and Biodegradable Polymer Films Challenges and Opportunities (Scientific Status Summary)*, *Food Technology*, 51(2):61-74. OCLC: 45381874.
- Labuza T, Contreras-Medellin R. 1981. Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal Foods World (USA)*, 26(7): 335-340.
- Lopusiewicz Ł, Drozłowska E, Trocer P, Kostek M, Śliwiński M, Henriques MH, Sobolewski P. 2020. Whey protein concentrate/isolate biofunctional films modified with melanin from watermelon (*Citrullus lanatus*) seeds. *Materials*, 13(17): 3876.

- McHugh TH, Avena-Bustillos R, Krochta JM. 1993. Hydrophilic edible films: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *Journal of Food Science*, 58(4): 899-903.
- McHugh TH, Krochta JM. 1994. Sorbitol-vsglycerol-plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(4): 841-845.
- Monteiro Fritz AR, Fonseca JDM, Trevisol TC, Fagundes C, Valencia GA. 2019. Active, eco-friendly and edible coatings in the post-harvest—a critical discussion. *Polymers for agri-food applications*, 433-463.
- Morillon V, Debeaufort F, Blond G, Capelle M, Voilley A. 2002. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(1): 67-89.
- Nieto MB. 2009. Structure and Function of Polysaccharide Gum-Based Edible Films and Coatings. In: Embuscado ME, Huber KC (editors). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer Dordrecht Heidelberg London, New York. pp. 57-113.
- Pérez-Gago MB, Nadaud P, Krochta JM. 1999. Water vapor permeability, solubility, and tensile properties of heat-denatured versus native whey protein films. *Journal of food science*, 64(6): 1034-1037.
- Popović S, Peričin D, Vaštag T, Lazić V, Popović L. 2012. Pumpkin oil cake protein isolate films as potential gas barrier coating. *Journal of Food Engineering*, 110(3): 374-379.
- Regubalan B, Pandit P, Maiti S, Nadathur GT, Mallick A. 2018. Potential bio-based edible films, foams, and hydrogels for food packaging. In *Bio-based materials for food packaging* (pp. 105-123). Springer, Singapore.
- Rhim JWN, PK. 2007. Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 47(4): 411-433.
- Rhim JW, Lee JH, Kwak HS. 2005. Mechanical and water barrier properties of soy protein and clay mineral composite films. *Food Science and Biotechnology*, 14(1): 112-116.
- Robertson GL. 2013. *Food Packaging: Principle and Practice*. Third Edition, CRC Press, Boca Raton, 703p.
- Seydim AC, Sarikus G. 2006. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food research international*, 39(5): 639-644.
- Sharma L, Singh C. 2016. Sesame protein based edible films: Development and characterization. *Food Hydrocolloids*, 61: 139-147.
- Shit SC, Shah PM. 2014. Edible polymers: Challenges and opportunities. *Journal of Polymers*, 2014. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/arch/ive/2014/427259/>.
- Siracusa V, Romani S, Gigli M, Mannozi C, Cecchini JP, Tylewicz U, Lotti N. 2018. Characterization of active edible films based on citral essential oil, alginate and pectin. *Materials*, 11(10): 1980.
- Skurtys O. 2010. *Food hydrocolloid edible films and coatings*. Nova Sciences Publishers, Inc.
- Suhag R, Kumar N, Petkoska AT, Upadhyay A. 2020. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582.
- Šuput DZ, Lazić VL, Popović SZ, Hromiš NM. 2015. Edible films and coatings: Sources, properties and application. *Food and Feed Research*, 42(1): 11-22.
- Tufan M. 2018. *Ayçiçeği Sapından Yenilebilir Cmc Film Üretimi ve Karakterizasyonu* (Doctoral dissertation, Anadolu University (Türkiye)).
- Tural S, Turhan S. 2017. Properties of edible films made from anchovy by-product proteins and determination of optimum protein and glycerol concentration by the TOPSIS method. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 26(6): 640-654.
- Üstünol Z. 2009. *Edible Films and Coatings for Meat and Poultry*. In *Edible Films and Coatings for Food Applications*, Edited by Milda E. Embuscado, Kerry C. Huber, Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 403p.
- Yang L, Paulson AT. 2000. Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. *Food Research International*, 33(7): 563-570.
- Yener FYG. 2007. *Development of antimicrobial protective food coating materials from edible alginate films* (Master's thesis, Izmir Institute of Technology).
- Yousuf B, Qadri OS. 2020. Preservation of fresh-cut fruits and vegetables by edible coatings. In *Fresh-Cut Fruits and Vegetables* (pp. 225-242). Academic Press.