



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Derleme Makale

Ekstrüde Ambalajlar ve Aktif Ambalaj Teknolojileri: Gıda Endüstrisindeki Kullanım Potansiyeli ve Yenilikçi Yaklaşımlar

İdil TEKİN, İrem ODABAŞ, İrem ŞEN, Berfu AZAK, Seda ERSUS*

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye

*Sorumlu yazar e-posta: seda.ersus@ege.edu.tr

Öz: Gıda ambalajları, ürünlerin korunması, taşınması ve tüketiciye sunulmasında kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, mikrobiyal bozulma gibi sorunlar endüstri için ciddi bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu problem doğrultusunda, modifiye atmosferde ambalajlama teknolojisi, akıllı ambalajlama teknolojisi ve aktif ambalajlama teknolojisi gibi çeşitli gıda ambalajlama uygulamaları geliştirilmiştir. Bu teknolojilerden biri olan aktif ambalajlama, ambalajın içine veya yüzeyine aktif bileşenlerin eklenmesiyle gıdaların raf ömrünü uzatmayı ve kalitesini artırmayı hedefleyen bir sistem olup özellikle mikrobiyal bozulma gibi sorunlara karşı etkili bir çözüm sunmaktadır. Bu amaçla, gıda ambalaj endüstrisinde genellikle düşük maliyetli ve iyi mekanik performansa sahip doğal, sentetik ve yarı sentetik polimerler kullanılmaktadır. Bu polimerler, ekstrüzyon kalıplama gibi teknolojilerle işlenerek çeşitli ambalaj filmleri elde edilmektedir. Gıda ambalajlama endüstrisindeki ambalaj filmlerinin aktif ambalaj olarak kullanım potansiyellerinin incelenmesinin hedeflendiği bu çalışmada çeşitli gıdalardaki uygulama örnekleri incelendiğinde, endüstride kullanılan aktif ambalajlama sistemlerinin başarılı sonuçlar verdiği, uygulanan ürünlerin raf ömrüne ve kalitesine katkıda bulunduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Aktif ambalajlama teknolojisi, Ekstrüzyon kalıplama, Film, Kalite, Polimer, Raf ömrü

Extruded Packages and Active Packaging Technologies: Potential Usage and Innovative Approaches in the Food Industry

Abstract: Food packaging plays a critical role in product protection, transportation, and presentation to consumers. However, issues such as microbial spoilage continue to pose serious challenges for the industry. In response, various food packaging technologies have been developed, including modified atmosphere packaging, smart packaging technology, and active packaging technology. One of these technologies, active packaging, is a system aimed at extending the shelf life and enhancing the quality of food by incorporating active components into or onto the packaging. This technology offers an effective solution, particularly against problems like microbial spoilage. For this purpose, the food packaging industry typically employs low-cost natural, synthetic, and semi-synthetic polymers with good mechanical performance. These polymers are processed using technologies such as extrusion moulding to produce various packaging films. This study aims to examine the potential of packaging films in the food packaging industry as active packaging. By reviewing application examples in various foods, it was found that active packaging systems used in the industry have yielded successful results, contributing to the shelf life and quality of the products.

Keywords: Active packaging technology, Extrusion molding, Film, Polymer, Quality, Shelf life

1. Giriş

Gıda ambalajları, gıda ürünlerini çevresel faktörlere karşı koruyarak, ürünlerin güvenli koşullarda taşınması ve dağıtılmasını sağlayan gıda işleme endüstrisinin temel unsurlarından biridir. Ürünlerin işlenmesinden nihai tüketimine kadar her aşamada kritik bir rol oynamaktadır. Ambalaj, sadece ürünün korunmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda ürün ile tüketici arasında bilgi aktarımını

Gönderilme Tarihi: 16.10.2024

Kabul Tarihi: 10.03.2025

Nasıl atıf yapılır: Tekin, İ., Odabaş, İ., Şen, İ., Azak, B., & Ersus, S. (2025). Ekstrüde ambalajlar ve aktif ambalaj teknolojileri: Gıda endüstrisindeki kullanım potansiyeli ve yenilikçi yaklaşımlar. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(1), 396-411. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1567936>

kolaylaştıran bir iletişim aracı işlevi görür (Pascall ve ark., 2022; Abbas ve ark., 2023). Bununla birlikte, gıdanın hazırlanmasını hızlandırması, kullanım kolaylığı, ergonomik tasarımı gibi özellikler, tüketici deneyimini optimize etmektedir. Tüketicilerin uzun raf ömrüne sahip, daha kaliteli, taze ve güvenli gıda ürünlerine olan artan talebi, ambalaj bilimi ve teknolojisinin sürekli yenilik ve gelişim göstermesini teşvik etmektedir (Yan ve ark., 2022; Stanley ve ark., 2023; Deshmukh ve ark., 2023).

Polimer bazlı malzemeler, esneklik, mekanik dayanıklılık ve üretim kolaylığı gibi avantajlı özellikleri nedeniyle günümüzde ambalaj malzemelerinin üretiminde önemli bir yer tutmaktadır (Zhang ve ark., 2022; Perera ve ark., 2023). Ancak gıda ambalajlama sektöründe, mikrobiyal bozulma hâlâ et, peynir, unlu mamuller, meyve ve sebze gibi birçok gıda ürününü tehdit eden kritik bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu bağlamda, gıdaların raf ömrünü uzatmak ve tüketicilerin daha güvenilir ve yüksek kaliteli gıda taleplerini karşılamak amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlardan biri olan aktif ambalajlama, yirminci yüzyılın başlarında literatüre girmiş olup, geleneksel ambalajlama yöntemlerine kıyasla daha gelişmiş bir koruma mekanizması sunmaktadır (Yuvaraj ve ark., 2021; Stanley ve ark., 2023; Deshmukh ve ark., 2023).

Geleneksel ambalajlama yöntemlerinden farklı olarak aktif ambalajlama, gıdanın raf ömrünü uzatmak, gıda güvenliğini sağlamak ve duyu kaliteyi artırmak amacıyla geliştirilmiş bir yaklaşımdır (Ahmed ve ark., 2022). Bu sistem, etilen tutucu, nem düzenleyici, oksijen tutucu ve antimikrobiyal maddeler gibi aktif bileşenlerin çeşitli yöntemlerle ambalaj materyalinin yapısına veya yüzeyine entegre edilmesi ve polimerlerle kombinasyonu yoluyla ambalajlama koşullarının optimize edilmesine dayanır (Fadiji ve ark., 2023). Aktif ambalajlama, ambalajın gıdayı koruma kapasitesini artırarak, ambalaj içerisindeki ürünlerin yüksek kalitede muhafazasını mümkün kılmaktadır (Çelebi Sezer & Bozkurt, 2021; Bakırcı & Terzioğlu, 2022; Tan ve ark., 2024).

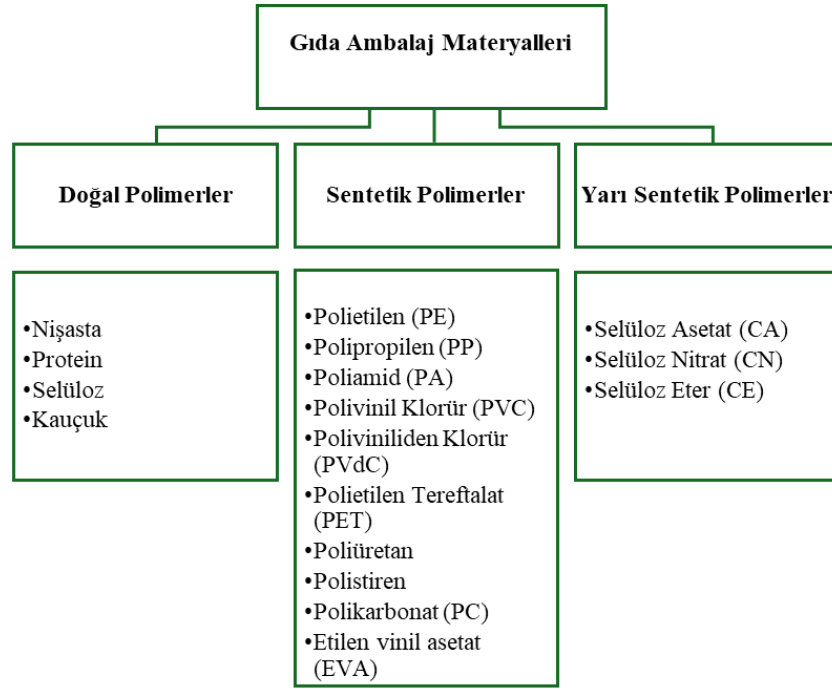
Gıda ambalaj endüstrisinde genellikle polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), polietilen (PE), poliamid (PA) ve polistiren (PS) gibi düşük maliyetli ve iyi mekanik performansa sahip polimerler kullanılmaktadır (Shaikh ve ark., 2021). Bununla birlikte, biyobozunur ve doğal kaynaklı malzemelere olan ilginin artmasıyla birlikte nişasta bazlı polimerler, polilaktik asit (PLA) ve selüloz türevleri gibi çevre dostu alternatifler de ambalaj üretiminde giderek daha fazla tercih edilmektedir (Ghasemlou ve ark., 2024). Streç film, lamine poşet, plastik ambalaj, plastik kap gibi çeşitli renk, tasarım ve şekillere sahip ambalajların seri üretiminde polimer işleme teknolojileri kullanılmaktadır. Bu teknolojilerden biri olan ekstrüzyon, büyük tasarım esnekliğine, düşük üretim maliyetine ve üretim sonrası işlemlere sahip olması nedeniyle gıda ambalaj endüstrisinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir (Nilsen-Nygaard ve ark., 2021; Stanley ve ark., 2023; Deshmukh ve ark., 2023).

Ekstrüzyonun endüstrideki yaygın kullanımı ve aktif ambalajlama teknolojisinin geleneksel yöntemlerin ötesinde sunduğu fonksiyonel avantajlar göz önüne alındığında gıda ambalajlama uygulamalarına yönelik bu çalışmada ekstrüde ambalajların aktif ambalaj olarak gıda endüstrisinde kullanım potansiyelleri konusundaki bilgilerin derlenmesi amaçlanmıştır.

2. Gıdalarda Ambalaj Materyali Olarak Kullanılan Materyallerin Sınıflandırılması

Gıda endüstrisinde ambalaj malzemelerinin çeşitliliği ve özellikleri, ürünlerin türüne ve ambalajlama gereksinimlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, ambalaj malzemelerinin doğal, sentetik ve yarı sentetik polimerler gibi farklı kategorilere ayrılması önem arz etmektedir. Yapılan sınıflandırma ve önemli örnekleri Şekil 1’de görülmektedir.

Doğal polimerler, doğal kaynaklardan elde edilen organik bileşiklerdir ve moleküler düzeyde tekrarlanan yapı birimlerinden oluşurlar. Sentetik polimerler, laboratuvar ortamında sentezlenen organik bileşiklerdir ve moleküler düzeyde yapı birimlerinden oluşurlar. Yarı sentetik polimerler ise doğal ve sentetik bileşenlerin bir karışımıdır (Kılınç & Toplan, 2023).



Şekil 1. Gıda ambalaj materyallerinin sınıflandırılması (Yoruç & Uğraşkan, 2017; Rahardiyan ve ark., 2023).

2.1. Doğal polimerler

Geleneksel plastiklere çevre dostu alternatifler geliştirme çabaları, biyolojik olarak parçalanabilen ambalaj malzemelerine yönelik araştırmaları teşvik etmiştir. Bu bağlamda, doğal polimerler biyobozunur ambalaj malzemeleri için önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir (Dhumal & Sarkar, 2018). Doğal polimerler; nişasta, protein, selüloz ve kauçuk gibi biyolojik kökenli makromoleküllerden oluşmaktadır (Tüylek, 2017).

Nişasta, hidroksil gruplarının oluşturduğu hidrojen bağları nedeniyle hidrofilik özellik gösteren doğal bir polimerdir. Ancak, nemin varlığında mekanik dayanıklılığının zayıflaması ve aşınmaya eğilimli olması nedeniyle doğrudan plastik malzeme olarak kullanımı sınırlıdır. Bununla birlikte, gliserol, sorbitol ve ksilitol gibi plastikleştiricilerle işlenerek termoplastik özellik kazanabilmektedir. Plastikleştiriciler, polimer zincirleri arasındaki moleküler etkileşimleri azaltarak polimerin hareketliliğini artırır, camsı geçiş sıcaklığını düşürür ve geçirgenlik özelliklerini iyileştirir. Nişasta bazlı termoplastik malzemeler, yüksek oksijen bariyeri özellikleri, biyobozunurluk ve yenilenebilirlik gibi avantajları sayesinde özellikle kısa ömürlü plastik uygulamalarında, gıda ambalajı sektöründe önemli bir potansiyele sahiptir (Tekin & Ersus, 2024).

Proteinler, amino asit bileşimlerine bağlı olarak üç boyutlu doğrusal yapıya sahip hetero-biyopolimerlerdir (Zubair & Ullah, 2020). Doğal polisakkaritlerden daha güçlü mekanik özelliklere sahip olmaları, düşük maliyetleri ve biyokütle atıklarından elde edilebilmeleri nedeniyle biyobozunur film üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca, protein bazlı filmler, düşük yoğunluklu polietilene kıyasla daha iyi oksijen (O₂) ve karbon dioksit (CO₂) bariyer özellikleri sunmaktadır (Chen ve ark., 2019). Sistin açısından zengin olan keratin, soya proteini ve buğday gluteni gibi proteinler, içerdikleri disülfid bağları sayesinde yüksek su stabilitesi sergileyerek ambalaj malzemesi olarak kullanım açısından avantaj sağlamaktadır (Hassan ve ark., 2024).

Bitki hücre duvarlarının temel bileşeni olan selüloz, günümüzde en yaygın kullanılan yenilenebilir polimer kaynaklarından biridir. Bitki liflerinden elde edilen selüloz, sürdürülebilir ve biyoyoumlu malzemelere olan talebi karşılamak açısından büyük bir potansiyel sunmaktadır. Yüksek kristalli yapısı nedeniyle suda ve birçok organik çözücude çözünmemesi, selülozun doğal stabilitesini artırmaktadır. Bununla birlikte, üstün mekanik dayanıklılığı ve suya karşı yüksek direnci sayesinde biyobozunur ambalaj uygulamalarında önemli bir bileşen olarak değerlendirilmektedir (Khalil ve ark., 2017; Abolore ve ark., 2024).

Kauçuk, bazı bitkilerin sütümsü öz suyundan doğal olarak veya petrol ve alkol bazlı sentetik süreçlerle elde edilen elastomerik bir polimerdir (Elfaleh ve ark., 2023). Günlük yaşamda geniş bir kullanım alanına sahip olan kauçuk ürünleri, özellikle gıda ve içme suyu ile temas eden uygulamalarda, sağlık endüstrisinde (şırınga, eldiven, tıbbi hortum ve tıplar gibi) önemli bir yer tutmaktadır. Kauçuğun yaygın olarak tercih edilmesinin başlıca nedenleri arasında çapraz bağlanma derecesinin yüksekliği, düşük sıvı geçirgenliği, iyi fiziksel ve kimyasal dayanıklılığı yer almaktadır. Ayrıca, farmasötik, gıda ve kozmetik ürünlerle uyumluluğu ve sıkı düzenleyici gereklilikleri karşılaması, kauçuk bazlı malzemelerin tercih edilme sebeplerini güçlendirmektedir (Vahapoğlu, 2013).

2.2. Sentetik polimerler

Sentetik polimerler, polietilen (PE), polipropilen (PP), poliamid (PA), polivinilklorür (PVC), poliviniliden klorür (PVdC), polietilen tereftalat (PET), poliüretan (PU), polistiren (PS), polikarbonat (PC) ve etilenvinilasetat (EVA) olarak on kategoriye ayrılmıştır.

Polietilen (PE), etilen molekülünün yüksek basınç altında veya düşük basınç ile katalizörler eşliğinde katılma polimerizasyonu ile üretilir (İbiş, 2013). Ucuz, hafif, esnek, birçok çözücüye dayanıklı ve çok yönlü olmasıyla birlikte tüm ticari plastikler arasında en basit yapıya sahip olan dünyanın en popüler plastigidir. Su buharına karşı düşük geçirgenliği nedeniyle polietilen, birçok malzemenin kaplanması yaygın olarak kullanılmaktadır (Melikoğlu ve ark., 2023).

Polipropilen (PP), propilenin polimerizasyonu ile elde edilen yarı kristal bir polimerdir. Sıkı, sert, dayanıklı ve kimyasal maddelere karşı dirençlidir (Torun, 2024). Yaygın olarak kullanılan plastikler arasında en hafif plastiktir. Erime noktası 165-170 °C olup yumuşamadan 120 °C'ye kadar kullanılabilir. Polipropilenin özellikleri molekül ağırlığına göre değişmekte olup, molekül ağırlığı yüksek olan yumuşak, düşük olan ise sert ve kırılkan yapıdadır. Kimyasal davranış bakımından yüksek yoğunluklu polietilene (HDPE) benzer ancak, HDPE'den daha sert ve şeffaf, su buharı ve gaz geçirmezlik değerleri bakımından ise HDPE'ye yakındır. Yağ geçirmezlik özelliği ve yırtılmalara karşı direnci iyi olup soğuğa dayanımı azdır (Aydemir, 2017).

Poliamid (PA), kaplama, kalıplama, lif gibi uygulanabilirliği yüksek, polimer zincirinin tekrarlanan bölümü olarak amid grubu içeren doğrusal, termoplastik bir polimerdir (Yurtbaşı, 2019). Yüksek mukavemet, yüksek elastikiyet, yüksek sıcaklık dayanımı ve yüksek aşınma direnci gerektiğinde poliamid (PA) polimerleri sıklıkla tercih edilmektedir (Nguyen ve ark., 2023). Organik buharlara karşı düşük geçirgenlik göstermesi sayesinde gıdalarda lezzet kaybı veya tat karışması gibi problemlerin önlenmesinde rol almaktadır (Aydemir, 2017).

Polivinilklorür (PVC), polietilen ve polipropilenden sonra dünya çapında en çok kullanılan termoplastik malzemelerden biridir. Yüksek ısıya karşı direnç göstermesi, yağlara, asitlere, hidrokarbonlara karşı dayanıklı olması ve düşük molekül ağırlığına sahip olmasıyla gıda ambalajlamada, temizlik ürünlerinde, tekstilde, tıbbi cihazlarda kullanılabilir (Boztepe, 2021).

Poliviniliden klorür (PVdC), doğrudan etilenden veya klordan elde edilebilen, ticari ismi 'Saran' olan şeffaf bir polimerdir. Su buharı, oksijen ve karbondioksit geçirimi diğer plastiklere göre daha azdır. Isı yalıtımı yüksektir. Su buharı, gazlar, kimyasal maddeler, yağ ve yağlı ürünlere karşı dayanıklı olması ve yüksek bariyer yeteneği bu maddenin gıda, ilaç, kozmetik, yağ vb. ürünlerin ambalaj uygulamalarında tercih edilmesini sağlamaktadır (Bozkurt, 2020).

Polietilen Tereftalat (PET), tereftalik asit (TPA) veya dimetil tereftalat (DMT) ile etilen glikolün (EG) adım polimerizasyonu ile üretilmektedir. Gaz ve su buharı geçirgenlik oranları düşük, kimyasallara karşı dirençli, yüksek transparanlığa sahip bir malzemedir. Polietilen Tereftalat kahve (koku geçirgenliğinin düşük olması sebebiyle), çay, dondurulmuş gıda, kuruyemiş, baharat gibi gıdaların ambalajlarında kullanılmakta ve yaklaşık olarak 300 °C'ye kadar ısıya dayanıklı bir yapısı bulunmaktadır (Aydemir, 2017; İşçi, 2023).

Poliüretanlar (PU), termoplastik elastomer ailesinde önemli bir yere sahiptir. Poliüretan elastomerlerin avantajları arasında istenilen modülde yüksek sağlamlık, aşınma ve kimyasallara karşı direnç, mükemmel mekanik ve elastik özellikler bulunmaktadır (Akdoğan ve ark., 2015).

Polistiren (PS), renksiz, şeffaf ve suya dayanıklı olan inert, lineer bir polimerdir. Asitlere ve bazlara karşı dayanıklı olan polistiren, yüksek dielektrik özelliği nedeniyle optik camlar ve optik cihazlar yapımında kullanılır. Elektrik yalıtım özelliğinin güçlü olması, üretim maliyetinin düşük olması, nem tutmaması, rutubetli ortamlarda elektrik özelliğini kaybetmemesi, şeffaflığı ve

kalıplanabilirliği gibi avantajlarından dolayı polistiren, geniş bir kullanım alanına sahip olan bir plastik malzemedir (Koçyiğit & Yalçın, 2019).

Polikarbonatlar (PC), çeşitli çekici mekanik özelliklere sahiptirler; bunlar arasında yüksek tokluk, şeffaflık, yüksek darbe direnci, yüksek sıcaklık direnci, iyi elektrik yalıtımı, UV direnci, sürtünme direnci ve hafiflik bulunmaktadır (Kausar, 2018). Polikarbonlar, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon, şişirme, termoform gibi seri üretim yöntemleriyle kolayca işlenebilmektedir. Özellikle gıda ile temas eden malzemelerde su damacanaları ve sofra malzemeleri üretiminde yaygın olarak kullanılan Polikarbon, karbonik asidin bisfenol esterinden ve bisfenol A [2, 2-bis (4-hidroksifenil) propan] (BPA) 'nın karbonil klorür veya difenil karbonat ile kondensasyon polimerizasyonu yoluyla elde edilmektedir (Wnuczek ve ark., 2021).

Etilen-vinil asetat (EVA) kopolimeri düşük sıcaklıklarda yüksek mekanik özelliklere ve dayanıma sahip olmakla birlikte polivinil klorürün bazı özelliklerini sergilemekte ancak vulkanize olmamaktadır. Etilen-vinil asetat kauçuğu ise parlak, net, yumuşak olup, düşük sıcaklıklarda yüksek tokluk, stres çatlaklarına karşı yüksek direnç ve UV ışınlarına karşı direnç gibi özelliklere sahiptir. EVA kopolimeri berrak, esnek ve yumuşak bir termoplastiktir. Düşük sıcaklıklarda bile esnektir, yüksek sürtünme katsayısına ve kimyasallara karşı dirence sahiptir. Uygulama alanları arasında ambalaj, yapıştırıcılar, streç filmler, ayakkabı tabanları, tek kullanımlık tıbbi ekipman, esnek oyuncaklar ve tel yalıtımı bulunur (Öksüz, 2019).

2.3. Yarı sentetik polimerler

Yarı sentetik polimerler; selüloz asetat (CA), selüloz nitrat (CN) ve selüloz eter (CE) olarak üçe ayrılır.

Selüloz asetat (CA), selülozun asetik anhidrit ve asetik asit ile sülfürik asidin varlığında reaksiyonuyla elde edilmektedir (Erinç ve ark., 2021). Kararlı hidrolitik özelliklere sahiptir, bozunabilir ve toksik değildir. Relatif olarak düşük maliyetli olup, ısıya dayanıklı, mükemmel film oluşturma özelliğine sahiptir ve yüksek kimyasal ve mekanik stabilite göstermektedir. CA, bir membran olarak, atık su arıtma, gaz ayırma, enerji üretimi, su tuzunu uzaklaştırma, yara pansumanı, biyomedikal amaçlar ve gıda ve ilaç endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Jain & Garg, 2021).

Selüloz nitrat (CN), ticari olarak selülozun nitrik asitle reaksiyonu sonucunda selüloz hidroksil gruplarının nitrat gruplarıyla değiştirilmesi/ikame edilmesi yoluyla üretilmektedir. Yüksek mekanik mukavemet, iyi çözünürlük ve plastikleştiricilerle uyumluluk gibi özelliklere sahip olduğundan patlayıcı, plastik, kaplama ve mürekkep endüstrilerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Seddiqi ve ark., 2021).

Selüloz eterleri (CE), genellikle selüloz hidroksil gruplarının alkil halojenler veya epoksitler gibi elektrofillerle nükleofilik reaksiyonuyla hazırlanan polimerlerdir. Gıda, ilaç ve kişisel bakım ürünleri, petrol sahası kimyasalları, inşaat, kâğıt, yapıştırıcılar, piller ve tekstil gibi birçok endüstride kalınlaştırıcılar, bağlayıcılar, yağlayıcılar, emülsifiye ediciler, reoloji değiştiriciler ve film oluşturmalar olarak geniş bir kullanım alanı bulurlar. Selüloz eterleri ve selüloz esterleri gibi ticari ürünler, örneğin salata soslarının, diyet gıdaların, kızarmış yiyeceklerin, unlu mamullerin, süt içermeyen çırpılmış sosların, ısıtılmış hazır gıdaların, ekstrüde ve şekillendirilmiş gıdaların, dondurulmuş tatlıların, içecekler ve şekerleme ürünlerinin formülasyonlarında önemli bir kullanım alanına sahiptir (Moradian ve ark., 2021).

3. Ambalaj Malzemelerinin Üretim Teknikleri

Ambalaj malzemelerinin üretiminde amaca yönelik olarak çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, kullanılan hammaddenin özelliklerine, ürünün kullanım amacına ve endüstriyel uygulamaya bağlı olarak değişebilmektedir. Genellikle kullanılan yöntemler; ekstrüzyon, kalıplama, döküm, laminasyon ve kaplama olarak sıralanabilir (Reichert ve ark., 2020). Ancak bu yöntemler arasında ekstrüzyon ve kalıplama, yüksek verimlilik, maliyet etkinliği ve geniş uygulama alanları sayesinde öne çıkmaktadır. Ekstrüzyon, özellikle plastik ve metal bazlı ambalaj malzemelerinin üretiminde en yaygın tercih edilen yöntemlerden biridir. Sürekli üretime olanak tanınması, hızlı üretim süreci ve çeşitli form ve boyutlarda ürün elde edilebilmesi gibi avantajları sayesinde diğer üretim tekniklerine kıyasla daha ekonomik ve verimli bir çözüm sunmaktadır. Bununla birlikte, kalınlık

kontrolünün zorluğu ve karmaşık geometrik formlar için ek işlem gereksinimi dezavantajlar arasında yer almaktadır (Altıparmak ve ark., 2022). Kalıplama, enjeksiyon, termofom ve sıkıştırma gibi alt yöntemlerle uygulanabilen ve yüksek hassasiyet gerektiren ambalajların üretiminde üstünlük sağlayan bir tekniktir. Detaylı ve kompleks tasarımların elde edilebilmesi, yüksek mekanik dayanım sunması ve farklı hammaddelere uyum sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bununla birlikte, kalıp maliyetlerinin yüksek olması ve üretim sürecinin nispeten daha uzun sürmesi, bu yöntemin sınırlamaları arasında yer almaktadır (Fu ve ark., 2020; Tatara, 2024).

3.1. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, polimerin basınç altında eritildikten sonra bir başlıktan geçirilip zorlanarak şekillendirildiği bir işlemdir. Termoplastik granüller, ekstrüderin içerisinde bir vida sistemi yardımıyla homojen bir şekilde eritilir ve ekstrüder çıkışında bulunan bir kalıba basılır. Ekstrüder, farklı ısı bölgeleri, ısı kontrol panelleri ve filtre gibi sistemlerle donatılmıştır. Erimiş plastik, kalıba basıldıktan sonra soğuyarak sertleşir ve ardından kalıp açılarak malzeme çıkarılır. Bu süreçte kimyasal bir reaksiyon gerçekleşmez. Ekstrüderler, tek vidalı ekstrüderler ve çift vidalı ekstrüderler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tek vidalı ekstrüderler malzemeyi yalnızca eritip şekillendirirken, çift vidalı ekstrüderler besleme, eritme, karıştırma ve gaz giderme gibi özelliklere sahiptir (Büyükyazı & Tavman, 2020; Şahin & Sayaslan, 2023).

3.2. Kalıplama

Kalıplama, enjeksiyon ve şişirme ile kalıplama olarak ikiye ayrılmaktadır. Enjeksiyon kalıplama farklı şekillerde, düzgün yüzeylere sahip ürünler üretmek için termoplastik malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan en eski ve en yaygın yöntemdir. Bu işlem sırasında polimerler yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmakta ve istenen şekli elde etmek için yüksek bir basınçla kalıp boşluğuna itilmektedir. Sıkıştırma, enjeksiyon, soğutma ve çıkarma işlemleri kalıplamanın önemli adımlarıdır (Sam ve ark., 2016). Ambalaj endüstrilerinde ön kalıplar, plastik şişeler, kutular, kapaklar, kavanozlar ve kaplar üretmek amacıyla yaygın olarak enjeksiyon ile kalıplanmaktadır (Stanley ve ark., 2023).

Şişirme ile kalıplama, şişirmeli ekstrüzyonun bir türüdür ve bir enjeksiyon işlemiyle gerçekleştirilir. Bu yöntem, iki aşamadan oluşur. İlk aşamada, eritilmiş plastik malzeme enjeksiyon kalıbına enjekte edilir ve nihai ürün haline getirilecek olan küçük bir plastik parça elde edilir. Preform adı verilen bu plastik parça tüp şekline sahiptir ve boyun kısmı bu aşamada şekillenir. Ardından, preform şişirme çubuğuna yerleştirilerek şişirme işlemine geçilir ve kalıbın şeklini alır (Sam ve ark., 2016).

4. Gıda Ambalajlama Uygulamaları

Gıdaların kalitesinin ve güvenliğinin korunması amacıyla modifiye atmosferde ambalajlama teknolojisi (MAP), akıllı ambalajlama teknolojisi ve aktif ambalajlama teknolojisi gibi çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Bu uygulamalar sayesinde ürünlerin tüketiciye ulaştırılması sırasında ürünlerde gerçekleşen değişimlerin izlenmesi veya ambalaj materyalinde/ortamında çeşitli değişiklikler yapılarak ürünlerin raf ömrünün artırılması ve kalitesinin ilk günkü gibi korunması hedeflenmektedir (Erdem ve ark., 2022).

4.1. Modifiye atmosferde ambalajlama teknolojisi (MAP)

MAP, ambalajdaki gıdayı çevreleyen havanın bileşimini değiştirerek taze veya minimum işlenmiş gıdaların raf ömrünü uzatmak için kullanılan bir tekniktir. MAP kullanımı, böceklerin veya mikroorganizmaların solunum hızını ve aktivitesini azaltmakta, meyve ve sebzelerde olgunlaşma kontrolü sağlamakta, kesilen ürünlerde olgunlaşmayı veya esmerleşmeyi geciktirmekte ve dolayısıyla raf ömrünü uzatmaktadır (Karagöz & Demirdöven, 2017). MAP tasarımının amacı, belirli bir ürünün uzun süre depolanması için en uygun atmosferi yaratacak koşulları belirlemek ve o atmosferi elde etmek için gereken süreyi en aza indirmektir. Yani, ürün ambalajı ile dış atmosfer arasındaki etkileşimler nedeniyle ambalaj içindeki istenen oksijen ve karbondioksit konsantrasyonunun dengeye en kısa sürede gelmesi ve bu atmosfer bileşiminin, ürünün maksimum sürede depolanabilmesi için gerekli seviyelerde

tutulmasıdır (Safaei ve ark., 2022). Modifiye atmosferde ambalajlama teknolojisi, aktif ve pasif olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir (Mulla ve ark., 2025).

Pasif modifikasyonda, gıda uygun bir ambalaj malzemesi ile ambalajlandıktan sonra, ambalaj içindeki atmosferik gaz bileşimi, gıdanın solunumu sonucunda otomatik olarak dengeye ulaşır. Pasif modifikasyonun amacı ortamdaki oksijen miktarını azaltarak ürünün solunum hızını yavaşlatmaktır. Pasif modifikasyonda, kimyasal kullanılmadan raf ömrünün uzatılması sağlandığından organik ürünler için ideal bir ambalajlama teknolojisidir (Kocamanlar, 2009).

Aktif modifikasyonda, istenen gaz bileşimi, pasif modifikasyonda olduğu gibi ambalaj içinde kendiliğinden değil, doğrudan enjekte edilerek sağlanır. MAP için eser gaz olarak karbon monoksit, azot ve nitrik oksitler, kükürt dioksit, etan ve klor gibi gazlar önerilir ancak bu eser gazların çoğu güvenlik sorunları, tüketici tepkisi, yasal kısıtlamalar ve maliyet nedeniyle kullanılmamaktadır. Bu nedenle MAP amaçlı ticari olarak kullanılan başlıca gazlar karbondioksit (CO₂), oksijen (O₂) ve azottur (N₂). Çoğu meyve ve sebze için, ürün ihtiyaçlarına bağlı olarak seçici olarak bu gazların iki veya üç farklı kombinasyonu kullanılır (Kocamanlar, 2009). Modifiye atmosfer ambalajlamada kullanılan koruyucu gaz veya gaz karışımları, gıdanın ihtiyaçları göz önünde bulundurularak gereken gaz konsantrasyonları belirlenerek hazırlanmaktadır (Czerwiński ve ark., 2021).

4.2. Akıllı ambalajlama teknolojisi

Bu teknoloji, ambalajlı gıdaların üretimden satışa kadar olan süreç boyunca dağıtım ve depolanması sırasında sıcaklık değişimleri ve mikroorganizmalar gibi bozulmaya neden olan unsurların takibini sağlayan, ürün kalitesini ve tazeliğini izlemeye yardımcı olan, ambalaj içinde ve dışında kullanılabilen bir teknolojidir. Akıllı ambalajlama sisteminde kullanılan göstergeler, film üzerine yapıştırılabilir veya ambalaj içerisine entegre edilebilir. Bu şekilde tedarik zinciri boyunca ürün kalitesinin izlenmesi, kritik noktaların kontrol edilmesi ve daha ayrıntılı bilgi sağlanması için olanak sağlanır (Hepsağ & Varol, 2018). Akıllı ambalajlama sistemleri akıllı etiketler ve ambalaj indikatörleri olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır (Takma & Nadeem, 2019).

Akıllı etiketler hem üreticilere hem de tüketicilere çeşitli avantajlar sunar. Üreticiler açısından, bu etiketler gıda güvenliği risklerini azaltmaya yardımcı olurken; perakendeciler, sıcaklık dalgalanmaları nedeniyle oluşabilecek bozulmaları minimize ederek taze ve hassas gıda satışlarını artırabilir. Tüketicilere ise en taze ürünü seçme imkânı sunarak, soğuk zincir takibi yapmalarını sağlar ve gıda güvenliği konusundaki endişelerini hafifletir. Barkodlar ve radyo frekansı ile tanımlama (RFID) etiketleri bu akıllı etiketlerin örnekleri arasında yer alır (Yüceer & Caner, 2023).

Barkod, bir harf veya sayı biçiminde yazılarak bulunduğu nesne hakkındaki bilgileri temsil eder. Barkod bu bilgileri, depolandığı ve işlendiği sisteme ileten, optik barkod tarayıcı ile okunabilen bir sistemdir. Barkod, bir ürünün bulunduğu yeri, tedarik zincirinin herhangi bir noktasında takip etmeyi sağlar. Barkodlar mürekkeple basılan farklı genişlikteki çubuklar ve altlarındaki sayılardan oluşmaktadır. Bir barkod on iki haneden oluşmaktadır. İlk iki hane barkodun oluşturulduğu ülkeyi gösterirken takip eden dört rakam ise ürünü kimin ürettiğini belirtir. Son altı hane ise üretici tarafından belirlenen ürün kodudur. Bu sistem sayesinde, her ürün kendi bireysel koduna sahiptir ve her kod optik tarayıcı sistemleri ile okunabilir (Lee & Rahman, 2014).

RFID etiketi, radyo dalgalarını kullanarak etiket okumayı sağlayan ve ürünü uzaktan izleme imkânı veren bir teknolojidir. Çalışma prensibi; mikroçiplerin ürünlere yerleştirilerek, fiziksel etkileşim yerine, ürünlerin kimliklerinin radyo dalgalarıyla okunabilmesidir. Gıda endüstrisinde bu sistem genellikle tedarik zinciri yönetimi, gıda izlenebilirliği ve geri çağırma gibi gıda güvenliğini artıran alanlarda kullanılır. Kullanılan sistemde depoya gelen paletlere RFID'li akıllı etiketler yapıştırılmaktadır. Depo giriş ve çıkışlarına kurulan RFID antenler, depo içerisinde bir palet okunduğunda tüm bilgileri otomatik olarak sisteme göndermektedir. Bu, ürünlerin yeterli miktarda uygun raflara yerleştirilmesini ve sevkiyat ve yerleştirme işlemlerinin zamanında tamamlanmasını sağlamaktadır (Yüksel & Zaim, 2009).

Ambalaj indikatörleri, genellikle karakteristik bir renk değişimi ile bir hedef maddenin varlığını, yokluğunu veya iki ya da daha fazla madde arasındaki reaksiyonun derecesini gösteren materyallerdir (Lee & Rahman, 2014). Bu indikatörler, ambalajın içine veya dışına yerleştirilebilir ve çevresel koşullara, gaz içeriğine bağlı olarak gıdanın kalitesi hakkında bilgi sağlar. Gıdanın ambalajda bulunduğu süre boyunca sıcaklık, mikrobiyal bozulma, ambalajın bütünlüğü, fiziksel hasar ve orijinallik gibi

özelliklerin izlenmesinde farklı indikatörler kullanılır. Bazı indikatörler gıdayla doğrudan reaksiyona girerken, bazıları ise herhangi bir etkileşim olmaksızın bilgi sağlar (Sürengil & Öztürk, 2017). Ambalaj indikatörleri arasında sıcaklık-süre indikatörleri, sızıntı (O_2 ve CO_2 indikatörleri), tazelik indikatörleri ve biyosensörler yer almaktadır (Kadağan & Gürbüz, 2022).

Gıda ambalajlarında kullanılan sensörler, ürünlerin tazeliğini izlemenin yanı sıra mikrobiyal bozulma, oksidatif acılaşma ve sıcaklıkla ilişkili değişiklikleri tespit etmek amacıyla kullanılır (Kokangül & Fenercioğlu, 2012). Biyosensörler, hücrelerde ve moleküllerde meydana gelen değişiklikleri algılayarak analiz edilecek maddeyi ölçmek ve tanımlamak için kullanılır. Bu sensörler, çok düşük konsantrasyonlardaki maddeleri bile etkili bir şekilde tespit edebilir. Biyosensör, malzemenin biyolojik bileşene bağlanmasıyla orantılı bir sinyal üretir. Örneğin, bir yiyecekte bakteri konsantrasyonu yüksekse, biyosensör güçlü bir sinyal üreterek yiyeceğin güvenli olmadığını işaret eder (Naresh & Lee, 2021).

Zaman-sıcaklık indikatörleri (Time-Temperature Indicators/TTI) renk değiştirerek tüketicileri bilgilendirme amacıyla kullanılmaktadır. Bu indikatörler çevresel faktörlere duyarlıdır, ürünün maruz kaldığı ısı ve nem gibi dış etmenler sonucunda üründe meydana gelen kimyasal, enzimsel, mikrobiyal ve mekanik değişimleri renk değiştirerek belirtmektedir. Bu nedenle de yaygın bir kullanım alanı bulunmaktadır (Şahin Nadeem & Konuk Takma, 2019).

Tazelik indikatörleri, gıdalarda mikrobiyal faaliyet sonucu oluşan metabolitler (örneğin asetik asit, laktik asit, glikoz, etanol, uçucu azot bileşikleri, biyojenik aminler, karbondioksit, ATP bozunma ürünleri ve sülfür bileşikleri) genellikle gıda tazeliğinin değerlendirilmesinde öncelikli olarak ele alınır (Yüceer & Caner, 2023). Tazelik göstergesi, sadece sıcaklığa bağlı biyokimyasal değişiklikleri veya ambalaj sızıntılarını belirtmek yerine, mikrobiyal metabolizma sonucu oluşan ürünleri kullanarak gıda ürünlerinde meydana gelen değişiklikleri gösteren, doğrudan ürün kalite bilgisi sağlamak için geliştirilen bir ambalaj sistemi olarak tanımlanmaktadır (Şahin Nadeem & Konuk Takma, 2019; Yüceer & Caner, 2023).

Sızıntı indikatörleri, modifiye atmosferle ambalajlanan ürünlerde kullanılan bazı gazların varlığını veya yokluğunu tespit eden ve ambalajın bütünlüğü ile olası sızıntılar hakkında bilgi sağlayan sistemlerdir. Ambalajdaki bir sızıntı, koruyucu atmosferi bozarak dış ortamdan mikroorganizmaların içeriye girmesine yol açar. Bu durum mikrobiyal büyümeyi hızlandırır ve ürünün daha kısa sürede bozulmasına neden olur. Sızıntı indikatörleri, kimyasal veya enzimatik reaksiyonlar sonucunda renk değişimi gösterir. Oksijen ve karbondioksit indikatörleri olmak üzere iki tür sızıntı indikatörü yaygın olarak kullanılmaktadır (Özçandır & Yetim, 2010).

4.3. Aktif ambalajlama teknolojisi

Aktif ambalajlama, “Ambalajlı gıdanın kalitesini göz önünde bulundurarak, gıdanın raf ömrünü uzatmak veya güvenliğini ve duyuşal özelliklerini geliştirmek amacıyla ambalajlı gıdanın ortamını değiştirmektir.” şeklinde tanımlanmaktadır.

Aktif ambalajlama teknolojisindeki temel ilkeler, ambalaj malzemesi olarak kullanılan polimerin kendine özgü özelliklerine veya polimerin içine belirli maddelerin eklenmesine dayanmaktadır. Bu maddelere, organik asitler, enzimler, bakteriyosinler, fungusitler, doğal özler, iyonlar ve etanol örnek verilebilir. Aynı zamanda bu etken maddelerin dahil edilebilmesi amacıyla kâğıt, plastik, metal veya bu malzemelerin karışımlarından elde edilen ambalaj materyalleri kullanılabilir (Tuncalı, 2015).

Aktif ambalajlama teknolojisi, iki ana türde sınıflandırılabilir: istenmeyen maddelerin uzaklaştırılması ve kontrollü salınım (Karagöz & Demirdöven, 2017). İstenmeyen maddeler arasında oksijen, karbondioksit, etilen ve nem yer alır; bu gazların ortamdaki dengesi, gıdaların tazeliği ve raf ömrü için önemlidir (Çelik & Tümer, 2016). Bu gazları tutmak için ambalaj içerisine tablet veya kesecikler şeklinde aktif bileşenler eklenir (Vasile & Baican, 2021). Etilen, oksijen ve karbondioksit tutucular, bu amaçla geliştirilen en önemli aktif ambalajlama sistemleridir (Karagöz & Demirdöven, 2017).

Kontrollü salınımda, gıdaların bozulmalara karşı korunmasında antioksidanlar ve antimikrobiyaller gibi maddelerin kullanımı, aktif ambalajlama sistemleri ile daha etkili hale getirilmektedir (Piergiorganni ve Limbo, 2010). Bu sistemler, uçucu antimikrobiyal ajanların ambalaj filmine veya polimerine entegre edilmesi ya da antimikrobiyal özellik taşıyan polimerlerin kullanılması

ile uygulanır (Kapetanakou & Skandamis, 2016). Yaygın olarak kullanılan antimikrobiyaller arasında doğal uçucu yağlar, etanol, kükürt dioksit, klordioksit, bakteriyosinler, gümüş iyonları ve organik asitler bulunmaktadır (Akgün, 2017).

5. Gıda Endüstrisindeki Uygulamalar

Meyve ve sebzelerde bulunan ve bir bitki hormonu olan etilen, bitkilerde solunum hızını ve olgunlaşmayı desteklemektedir (Sezer & Ayhan, 2017). Etilen gazının ortamda bulunması sebebiyle solunum hızında meydana gelen artış, birçok meyve ve sebzenin olgunlaşmasına ve yumuşamasına sebep olmaktadır. Doku yumuşaması, ürünlerin mikroorganizmalara karşı daha dirençsiz hale gelmesine neden olmaktadır (Tiribolulu, 2019). Dolayısıyla, meyve ve sebzelerin raf ömrünü artırmak ve tazeliğini korumak amacıyla, ambalaj atmosferinde bulunan etilen gazının ortamdaki uzaklaştırılması gerekmektedir (Sezer & Ayhan, 2017). Etilen tutucu aktif ambalajlama sistemleri, meyve sebzelerdeki etilenin kontrolü için geliştirilmiş sistemlerden biridir (Aday, 2021).

Gıda sektörü içerisinde yer alan et ve et ürünleri, uygun şekilde işlenmediği, ambalajlanmadığı ve satışa sunulmadığı sürece kısa sürede bozulabilen gıdalardır. Yüksek oranda su ve yine oransal olarak yüksek oranda yağ içeren et ve et ürünleri, lipid oksidasyonuna ve mikrobiyal kontaminasyona duyarlı ürünlerdir (Doğanlar & Ceritoğlu, 2023). Et ve et ürünleri gibi çabuk bozulan gıdaların soğukta muhafazası sırasında mikroorganizma gelişimini kontrol altına alarak raf ömrünü uzatmak amacıyla vakum, modifiye atmosfer (MAP), aktif ve akıllı ambalajlama gibi teknikler kullanılmaktadır (Bağdatlı & Kayaardı, 2010).

Fırıncılık ürünlerinde önemli bir mikrobiyal bozulma türü olan küflenmenin önlenmesi, koku ve renk gibi duyu kalite özelliklerinin korunabilmesi ve besin değerindeki azalmanın engellenebilmesi için ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması gerekmektedir. Oksijenin ortamdaki uzaklaştırılabilmesi için kullanılan en yaygın aktif ambalajlama sistemi, oksijen tutuculardır. Bunun yanı sıra, et ürünlerinde olduğu gibi neme duyarlı gıdalardan olan hububat ürünlerinde de nem düzenleyiciler kullanılmaktadır (Postoğlu, 2018).

Çeşitli gıdalarda yapılan çalışmalarda aktif ambalajlama teknolojilerinin kullanıldığı ürünlerde, raf ömrünün ve kalitenin önemli ölçüde korunduğu belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Farklı ambalajlama teknolojilerinin gıda uygulamaları ve raf ömrüne etkileri

Gıda Örneği	Kullanılan Teknoloji	Çalışılan Materyal	Deney Süresi/Ortamı	Sonuç
Çin hünnapı	Etilen tutucu	Nano-Ag, nano-TiO ₂ , kaolin ve polietilen esaslı nano malzeme	4 °C'de 12 gün	Nano ambalajlı örneklerde, meyve yumuşaklığı, ağırlık kaybı ve esmerleşmenin kontrol örneklerine göre önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir (Li ve ark., 2011).
Etilene maruz bırakılmış kivi	Etilen Tutucu	Nano-gümüş, nano-TiO ₂ ve montmorillonit esaslı ambalaj materyali	4 °C'de 42 gün	Nanokompozit bazlı ambalajın polietilen ambalajlı kontrol örneğine göre kalite özelliklerini daha yüksek oranda koruduğu belirlenmiştir (Li ve ark., 2011).
Patojen inoküle edilmiş parçalanmış tavuk eti	Antimikrobiyal ambalajlama	%4 gümüş-bakır nanoparçacıklarını ve %50 tarçın esansiyel yağı içeren lineer alçak yoğunluklu polietilen	4 °C'de 21 gün	Depolama esnasında <i>Salmonella typhimurium</i> ve <i>Campylobacter jejuni</i> 'nin gelişiminin tamamen engellendiği ve <i>Listeria monocytogenes</i> 'in ise gelişiminin büyük ölçüde yavaşlatıldığı belirlenmiştir (Ahmed ve ark., 2018a; 2018b).
Frankfurter sosis	Antimikrobiyal ambalajlama	Nisin içeren metil ve hidroksi metil selüloz ile kaplanmış düşük yoğunluklu polietilen film (LDPE)	4 °C'de 60 gün	156.3 IU/ml düzeyindeki nisin frankfurter sosislerin yüzeyine inoküle edilen <i>L. monocytogenes</i> seviyesinde önemli bir değişme sağlamazken; 7500 ve 10 000 IU/ml düzeyindeki nisin yaklaşık 4 log'luk azalma sağladığı bulunmuştur (Çelebi Sezer & Bozkurt, 2021).
3 günlük fermentasyon ve ısıtılardan geçirilmiş sucuk	Antimikrobiyal ambalajlama	Kitosan ve gümüş katkılı zeolit (AgZeo) ile formüle edilmiş kılıf	4 °C'de 12 gün	Aktif kılıfların kullanımının toplam aerobik bakteri ve LAB sayısını azalttığı belirlenmiştir (Çelebi Sezer & Bozkurt, 2019).

Çizelge 1. Farklı ambalajlama teknolojilerinin gıda uygulamaları ve raf ömrüne etkileri (devam)

Gıda Örneği	Kullanılan Teknoloji	Çalışılan Materyal	Deney Süresi/Ortamı	Sonuç
Kiraz domates (<i>Lycopersicon esculentum</i> L.)	Etilen Tutucu ve MAP	Yapısında etilen tutucu katkı içeren düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ambalajda Katkısız LDPE ambalajda pasif MAP altında	4 °C ve 10 °C’de %60 bağıl nemde 32 gün	En az etilen üretimi 4 °C’de etilen tutucu içeren aktif ambalajlarda gerçekleşmiş ve fiziksel, kimyasal ve duyu analizi sonuçları da dikkate alındığında etilen tutucu içeren aktif ambalajlarda kiraz domatesin 4 °C’de 32 gün raf ömrüne sahip olduğu tespit edilmiştir (Tiribolulu & Ayhan, 2023).
Mantar (<i>Agaricus bisporus</i>)	Etilen Tutucu ve pasif MAP	Pasif MAP altında Zeolit bulunan düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) Pasif MAP altında düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)	4 °C’de %50 bağıl nemde 16 gün	Ambalajsız mantarlarda %20’ye yakın bir ağırlık kaybı görülürken Zeolit içeren ve içermeyen LDPE ambalajlarda ağırlık kaybı açısından önemli bir değişim gözlenmemiştir. Ambalajsız mantarların 4 günlük kabul edilebilirliği zeolit içeren ve içermeyen LDPE ambalajlar sayesinde 8 güne çıkarılmıştır (Kütahneli ve ark., 2020).
Ön kurutma işlemi (180°C’de 4 dakika) ile nem değeri %34’e düşürülmüş mantı	MAP	%80 CO ₂ + %20 N ₂ %60 CO ₂ + %40 N ₂ %40 CO ₂ + %60 N ₂ %20 O ₂ + %40 CO ₂ %40 N ₂	4 °C’de 90 gün	Depolama süresince hiçbir mantı örneğinde <i>Escherichia coli</i> , sülfid redükte eden anaerob bakteri ve <i>Salmonella spp.</i> tespit edilmemiştir. %80 CO ₂ içeren ambalajdaki toplam aerobik mezofilik mikroorganizma ve küf-maya sayısı diğer ambalajlara göre daha düşük seviyede seyretmiştir. Kontrol örneğinde yüksek mikroorganizma sayısı ve lipid oksidasyonu görülmüş olup, bu durum ürünlerin 60.günden itibaren ürünlerin duyu kabul edilebilirlik sınırının altında kalmasına yol açmıştır. MAP uygulamasında ambalaj içerisindeki CO ₂ miktarının artışı mantılardaki tekstürün ve lezzetin ilk güne yakın değerlerde olmasına katkıda bulunmuştur (Akkaya, 2024).
Hatay peyniri	MAP	Modifiye atmosfer (%50 CO ₂ ve %50 N ₂) Hava (%21 O ₂ ve %79 N ₂) Vakum altında farklı ambalaj materyalleri ile Koekstrüde PA/PE OPET/OPA/PP PP/PA/EVOH/PE	4 °C’de 60 gün	Ambalajsız muhafaza edilen Hatay peynirinin raf ömrü kuruma, ufalanma, sararma, tat bozulması gibi sebeplerden dolayı 5 gün olarak belirlenirken ambalajlı uygulamalardaki ürünlerin tüm duyu özellikleri 60 gün süresince kabul edilebilir bulunmuştur. En düşük gaz geçirgenliğine sahip malzeme (PP/PA/EVOH/PE) ile ambalajlanmış ve vakum uygulanmış ürünün başlangıç kalitesini 60 gün boyunca en iyi şekilde koruduğu belirlenmiştir (Toplu ve ark., 2023).
Levrek (<i>Dicentrarchus labrax</i>) filetosu	Antimikrobiyal ve vakum ambalajlama	Farklı konsantrasyonlarda (%0,2, %0,4 ve %0,8) nisine daldırılmış levrekler poliamid bazlı poşetler ile vakum ambalajlama	4±2 °C’de 18 gün	Nisin uygulanarak vakum ambalajlanmış levrek örneklerindeki lipid oksidasyonunun kontrol örneğine kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiş ve en yüksek çoklu doymamış yağ asidi içeriğinin %8 nisin ile muamele edilmiş levrekte bulunduğu belirlenmiştir. Doymamış yağ asitlerinde görülen oto-oksidasyonun üründe kimyasal bozulmalara sebep olduğu bilindiğinden, nisin uygulamasının oto-oksidasyon reaksiyonlarını geciktirdiği, dolayısıyla ürünün raf ömrüne katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Uçar ve ark., 2020).

Çizelge 1. Farklı ambalajlama teknolojilerinin gıda uygulamaları ve raf ömrüne etkileri (devam)

Gıda Örneği	Kullanılan Teknoloji	Çalışılan Materyal	Deney Süresi/Ortamı	Sonuç
Pandispanya kek	MAP	%50 CO ₂ : %50 N ₂ , %100 N ₂	15-20 °C, %53-61 bağıl nem	Kontrol grubunun raf ömrü 3 gün olup 6.günün sonunda küf gelişimi gözlemlendiği bildirilmiştir. %100N ₂ ile ambalajlanmış üründe 13 güne kadar herhangi bir küf gelişimi gözlenmezken %50CO ₂ : %50N ₂ ile ambalajlanmış ürünlerin %60'ında küf gelişimi gözlenmiştir. %100N ₂ ile ambalajlanmış ürünlerdeki mezofilik aerobik bakteri sayısının %50CO ₂ : %50N ₂ ile ambalajlanmış ürüne göre daha az olduğu belirlenmiştir. %50CO ₂ : %50N ₂ ile modifiye atmosferde ambalajlanmış kek örneklerinin raf ömrünün kontrol grubu örneklerine göre 2-3 gün daha uzun olduğu belirlenmiştir (Uçar & Hayta, 2012).
Dilimlenmiş buğday unu ekmeği	Etanol tutucu ve Oksijen tutucu	PET-SiOx//LDPE ambalajlama materyali ile ambalajlanmış kimyasal ticari koruyucu içeren, etanol tutucu içeren ve hem etanol hem de oksijen tutucu içeren olmak üzere dört farklı örnek	20 °C'de 30 gün	Bu örneklerde 30 günlük depolama sonunda küf ve maya sayısı sırasıyla şöyledir: 5.1; 3.8; 2.0 ve 2.0 kob/g. <i>Bacillus cereus</i> sayısı ise: 4,7; 2.5; 2.3 ve 2.0 kob/g'dır. Lipid oksidasyonu ve uçucu bileşenlerin kaybından dolayı koruyucu içermeyen ve kimyasal ticari koruyucu içeren örneklerde depolama süresince aroma kayıpları meydana gelmiştir. Ne etanol tutucu içeren örneklerde ne de hem etanol hem de oksijen tutucu içeren örneklerde koku, tat ve tekstür açısından olumsuz bir etki tespit edilmemiştir. Duyusal (tekstürel) ve mikrobiyolojik verilere dayanarak, koruyucu içermeyen örnekler için raf ömrünün 4 gün, kimyasal ticari koruyucu içeren örnekler için 6 gün, etanol tutucu içeren örnekler için 24 gün ve hem etanol hem de oksijen tutucu içeren örnekler için en az 30 gün olarak belirlenmiştir (Latou ve ark., 2010).

6. Sonuç

Aktif ambalajlama uygulamaları, gıdaların raf ömrünü uzatmada dikkate değer bir etki göstermektedir. Bu yöntem hem üreticiler hem de tüketiciler için önemli avantajlar sunarak gıda tedarik zincirinde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar, meyve ve sebzelerde yaygın olarak kullanılan etilen tutucuların meyve yumuşaklığı, ağırlık kaybı ve esmerleşme gibi parametreleri önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Et ürünlerinde kullanılan antimikrobiyal ambalajlama uygulamalarının bazı mikroorganizmaların gelişimini tamamen engellediği, bazılarının ise üremesini ciddi derecede yavaşlattığı görülmektedir. Ayrıca, et ürünlerinde kullanılan nem tutucuların, ürünlerdeki su aktivitesini düşürerek bazı mikroorganizmaların büyümesini önemli ölçüde yavaşlattığı ifade edilmektedir. Hububat ürünlerinde yaygın kullanılan oksijen tutucular ise aerobik mikroorganizmaların gelişimini geciktirmekte ve ürünlerin korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda, aktif ambalajlama teknikleri, gıdaların raf ömrünü uzatmanın yanı sıra, kalite, tazelik ve güvenilirliği yüksek düzeyde muhafaza etmektedir.

Kaynakça

Abbas, H., Zhao, L., Gong, X., & Faiz, N. (2023). The perishable products case to achieve sustainable food quality and safety goals implementing on-field sustainable supply chain model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 87, 101562. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101562>

- Abolore, R. S., Jaiswal, S., & Jaiswal, A. K. (2024). Green and sustainable pretreatment methods for cellulose extraction from lignocellulosic biomass and its applications: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 7, 100396. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100396>
- Aday, M. S. (2021). Meyve ve sebzelerde aktif ambalajlama teknolojisinin kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 122-130. <https://doi.org/10.31590/ejosat.840317>
- Ahmed, J., Arfat, Y. A., Bher, A., Mulla, M., Jacob, H., & Auras, R. (2018a). Active chicken meat packaging based on polylactide films and bimetallic Ag-Cu nanoparticles and essential oil. *Journal of Food Science*, 83(5), 1299–1310. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14121>
- Ahmed, J., Mulla, M., Arfat, Y. A., Bher, A., Jacob, H., & Auras, R. (2018b). Compression molded LLDPE films loaded with bimetallic (Ag-Cu) nanoparticles and cinnamon essential oil for chicken meat packaging applications. *LWT-Food Science and Technology*. 93, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.051>
- Ahmed, M. W., Haque, M. A., Mohibbullah, M., Khan, M. S. I., Islam, M. A., Mondal, M. H. T., & Ahmmmed, R. (2022). A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100913. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100913>
- Akdoğan, E., Tarakçılar, A. R., Topcu, M. & Yurtseven, R. (2015). The effects of aluminium hydroxide and magnesium hydroxide on the mechanical properties of thermoplastic polyurethane materials. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(8), 376-380. <https://dx.doi.org/10.5505/pajes.2015.24572>
- Akgün, B. (2017). *Development of a novel active packaging system based on layer by layer deposition of natural antioxidants and antimicrobials to extend food products' shelf life*. Master of Science Thesis, İzmir Institute of Technology, İzmir, Turkey.
- Akkaya, E. (2024). Modifiye atmosfer ile paketlemenin etli mantının raf ömrü ve kalite özelliklerine etkisi. *Food and Health*, 10(1), 64-76. <https://doi.org/10.3153/FH24006>
- Altıparmak, S. C., Yardley, V. A., Shi, Z., & Lin, J. (2022). Extrusion-based additive manufacturing technologies: State of the art and future perspectives. *Journal of Manufacturing Processes*, 83, 607-636. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.09.032>
- Aydemir, C. (2017). *Ambalaj üretiminde kullanılan plastik filmler*. Plastik Ambalaj Teknolojisi. <https://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/2249-ambalaj-ueretiminde-kullan-lan-plastik-filmler>
- Bağdatlı, A. B., & Kayaardı, S. (2010). Et ve et ürünlerinde kullanılan paketleme yöntemleri. *Akademik Gıda*, 8 (2), 24-30.
- Bakırcı, İ., & Terzioğlu, M. E. (2022). New packaging methods used in the dairy industry. *ATA-Gıda Dergisi*, 1-8.
- Bozkurt, İ. B. (2020). *Polimerik gıda ambalaj malzemelerinde gaz difüzyonunun ve geçirgenliğinin moment tekniği ile belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Elâzığ, Türkiye.
- Boztepe, Ç. H. (2021). *PVC esaslı kompozit film üretimi ve karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı, Eskişehir, Türkiye.
- Büyükyazı, A. M., & Tavman, Ş. (2020). Gıda endüstrisinde ekstrüzyon teknolojisinin kullanımı ve yapılan optimizasyon çalışmaları. *Gıda*, 45(4), 774-785. <https://doi.org/10.15237/gida.GD20036>
- Chen, H., Wang, J., Cheng, Y., Wang, C., Liu, H., Bian, H., ... & Han, W. (2019). Application of protein-based films and coatings for food packaging: A review. *Polymers*, 11(12), 2039. <https://doi.org/10.3390/polym11122039>
- Czerwiński, K., Rydzkowski, T., Wróblewska-Krepsztul, J., & Thakur, V. K. (2021). Towards impact of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life of polymer-film-packed food products: Challenges and sustainable developments. *Coatings*, 11(12), 1504. <https://doi.org/10.3390/coatings11121504>
- Çelebi Sezer, Y., & Bozkurt, H. (2019). Use of novel casing in sucuk production: Antimicrobials incorporated into multilayer plastic film. *Acta Alimentaria*, 48(1), 1-8. <https://doi.org/10.1556/066.2018.0001>

- Çelebi Sezer, Y., & Bozkurt, H. (2021). Et ve et ürünlerinin üretimi ve saklanması antimitrobyal ambalajlama sistemlerinin kullanımı. *Food and Health*, 7(2), 150-163. <https://doi.org/10.3153/FH21016>
- Çelik, İ., & Tümer, G. (2016). Gıda ambalajlamada son gelişmeler. *Akademik Gıda*, 14(2), 180-188.
- Deshmukh, R. K., Hakim, L., & Gaikwad, K. K. (2023). Active packaging materials. *Current Food Science and Technology Reports*, 1(2), 123-132. <https://doi.org/10.1007/s43555-023-00004-6>
- Dhumal, C. V., & Sarkar, P. (2018). Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4369-4383. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3402-9>
- Doğanlar, O., & Ceritoğlu, F. (2023). Ziraat & orman, su ürünlerinde güncel araştırmalar. Gece Kitaplığı.
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., & Garnier, C. (2023). A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. *Results in Engineering*, 19, 101271. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101271>
- Erdem, M. E., Tunçtaş, N., Köstekli, B., & Keskin, İ. (2022). Su Ürünlerinde Kullanılan Paketleme Yöntemleri: Vakum Paketleme, MAP, Biosensörler, Oksijen Emici Etiketler. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 7(2), 128-137. <https://doi.org/10.35229/jaes.1068174>
- Erinç, Ö., Erinç, H., Mert, B., & Özbey, A. (2021). Lityum klorit/dimetilaseta mit ortamında nanoselülozun asetik anhidrit ve farklı yağ asitleri ile esterifikasyonunun optimizasyonu. *Gıda*, 46(6), 1467-1480. <https://doi.org/10.15237/gida.GD21118>
- Fadiji, T., Rashvand, M., Daramola, M. O., & Iwarere, S. A. (2023). A review on antimicrobial packaging for extending the shelf life of food. *Processes*, 11(2), 590. <https://doi.org/10.3390/pr11020590>
- Fu, H., Xu, H., Liu, Y., Yang, Z., Kormakov, S., Wu, D., & Sun, J. (2020). Overview of injection molding technology for processing polymers and their composites. *ES Materials & Manufacturing*, 8(20), 3-23. <https://doi.org/10.30919/esmm5f713>
- Ghasemlou, M., Barrow, C. J., & Adhikari, B. (2024). The future of bioplastics in food packaging: An industrial perspective. *Food Packaging and Shelf Life*, 43, 101279.
- Hassan, F., Mu, B., & Yang, Y. (2024). Natural polysaccharides and proteins-based films for potential food packaging and mulch applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 261, 129628. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129628>
- Hepsağ, F., & Varol, T. (2018). Gıda endüstrisinde akıllı ambalaj kullanımı ve gıdalarda izlenebilirlik. *Adyutayam Dergisi*, 6(1), 29-39.
- İbiş, A. (2013). *Poliolefin harmanların viskoelastik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- İşçi, G., (2023). *Polietilen tereftalat (pet) materyaller ile ambalajlanan içeceklerin farklı depolama koşullarındaki migrasyon seviyelerinin belirlenmesi ve gıda güvenliği açısından değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Jain, H., & Garg, M. C. (2021). Fabrication of polymeric nanocomposite forward osmosis membranes for water desalination—A review. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101561. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101561>
- Kadağan, Ö., & Gürbüz, İ. B. (2022). Gıda ürünlerinde akıllı ambalaj sistemleri. XVII. XVII. Ekonomi, İşletme ve Yönetim Üzerine Uluslararası Balkan ve Yakın Doğu Kongresi, 12-13.
- Kapetanakou, A. E., & Skandamis, P. N. (2016). Applications of active packaging for increasing microbial stability in foods: Natural volatile antimicrobial compounds. *Current Opinion in Food Science*, 12, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.06.001>
- Karagöz, Ş., & Demirdöven, A. (2017). Gıda ambalajlamada güncel uygulamalar: modifiye atmosfer, aktif, akıllı ve nanoteknolojik ambalajlama uygulamaları. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(1), 9-21.
- Kausar, A. (2018). A review of filled and pristine polycarbonate blends and their applications. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 34(1), 60-97. <https://doi.org/10.1177/8756087917691088>

- Khalil, H. P. S. A., Tye, Y. Y., Saurabh, C. K., Leh, C. P., Lai, T. K., Chong, E. W. N., ... & Syakir, M. I. (2017). Biodegradable polymer films from seaweed polysaccharides: A review on cellulose as a reinforcement material. *Express Polymer Letters*, 11(4), 244-265. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2017.26>
- Kılınç, Ö., & Toplan, N. (2023). Amorf polimerler. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 5(3), 131-148. <https://doi.org/10.46740/alku.1299835>
- Kocamanlar, E. (2009). Ambalaj ve fonksiyonları. *Ambalaj Bülteni*, Eylül/Ekim, 34-38.
- Koçyiğit, N., & Yalçın, N. (2019). Polistiren üretimi için kesikli reaktör tasarımı. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 137-144. <https://doi.org/10.17100/nevbittek.556835>
- Kokangül, G., & Fenercioğlu, H. (2012). Gıda endüstrisinde akıllı ambalaj kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2), 31-43.
- Kütahneçi, E., Al Obaidi, A., & Ayhan, Z. (2020). Effect of ethylene scavenging-active packaging on quality and shelf life of button mushrooms (*agaricus bisporus*). *Akademik Gıda*, 18(4), 367-374. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.850863>
- Latou, E., Mexis, S. F., Badeka, A. V., & Kontominas, M. G. (2010). Shelf life extension of sliced wheat bread using either an ethanol emitter or an ethanol emitter combined with an oxygen absorber as alternatives to chemical preservatives. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 457-465. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.07.011>
- Lee, S. J., & Rahman, A. M. (2014). Intelligent packaging for food products. In *Innovations in food packaging* (pp. 171-209). Academic Press.
- Li, X., Li, W., Jiang, Y., Ding, Y., Yun, J., Tang, Y., & Zhang, P. (2011). Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut 'Fuji' apple. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(9), 1947-1955. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02706.x>
- Melikoğlu, A. Y., Tekin, I., Hayatioğlu, N., & Ersus, S. (2023). Development of environmentally friendly composite packaging films from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) plant wastes. *Food Bioscience*, 55, 102991. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102991>
- Moradian, M., Alam, M. N., & van de Ven, T. G. (2021). Influence of carboxyl charge density on properties of extruded cellulose films. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(38), 13756-13763. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c01716>
- Mulla, M. F. Z., Shonte, T., & Pathania, S. (2025). Quality parameters and shelf life of strawberry (cv. Centenary) fruits as affected by active modified atmosphere packaging. *International Journal of Food Science and Technology*, vva010. <https://doi.org/10.1093/ijfood/vva010>
- Nareesh, V., & Lee, N. (2021). A review on biosensors and recent development of nanostructured materials-enabled biosensors. *Sensors*, 21(4), 1109. <https://doi.org/10.3390/s21041109>
- Nguyen, V. T., Uyen, T. M. T., Minh, P. S., Do, T. T., Huynh, T. H., Nguyen, T., ... & Nguyen, V. T. T. (2023). Weld line strength of polyamide fiberglass composite at different processing parameters in injection molding technique. *Polymers*, 15(20), 4102. <https://doi.org/10.3390/polym15204102>
- Nilsen-Nygaard, J., Fernández, E. N., Radusin, T., Rotabakk, B. T., Sarfraz, J., Sharmin, N., ... & Pettersen, M. K. (2021). Current status of biobased and biodegradable food packaging materials: Impact on food quality and effect of innovative processing technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1333-1380. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12715>
- Öksüz, A., (2019). *Polipropilen/cam elyaf/etilen vinil asetat polimer kompozitinin özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Özçandır, S., & Yetim, H. (2010). Akıllı ambalajlama teknolojisi ve gıdalarda izlenebilirlik. *Electronic Journal of Food Technologies*, 5(1), 1-11.
- Pascall, M. A., DeAngelo, K., Richards, J., & Arensberg, M. B. (2022). Role and importance of functional food packaging in specialized products for vulnerable populations: Implications for innovation and policy development for sustainability. *Foods*, 11(19), 3043. <https://doi.org/10.3390/foods11193043>
- Perera, K. Y., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2023). Biopolymer-based sustainable food packaging materials: challenges, solutions, and applications. *Foods*, 12(12), 2422. <https://doi.org/10.3390/foods12122422>

- Piergiovanni, L., & Limbo, S. (2010). *Food packaging: Materiali, tecnologie e soluzioni*. Springer Science & Business Media.
- Postoğlu, E. (2018). *Aktif ambalajlama ve modifiye atmosfer paketlenme uygulamalarının dilimlenmiş ekmeğin raf ömrüne etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Rahardiyan, D., Moko, E. M., Tan, J. S., & Lee, C. K. (2023). Thermoplastic starch (TPS) bioplastic, the green solution for single-use petroleum plastic food packaging—A review. *Enzyme and Microbial Technology*, 168, 110260. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2023.110260>
- Reichert, C. L., Bugnicourt, E., Coltelli, M. B., Cinelli, P., Lazzeri, A., Canesi, I., ... & Schmid, M. (2020). Bio-based packaging: Materials, modifications, industrial applications and sustainability. *Polymers*, 12(7), 1558. <https://doi.org/10.3390/polym12071558>
- Safaei, F. S., Sedaghat, N., & Sharif, A. (2022). Effect of packaging material and oxygen concentration on quality of Ghavoot during the storage. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05083-8>
- Sam, S. T., Nuradibah, M. A., Chin, K. M., & Hani, N. (2016). Current application and challenges on packaging industry based on natural polymer blending. *Natural Polymers: Industry Techniques and Applications*, 163-184. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26414-1_6
- Seddiqi, H., Oliaei, E., Honarkar, H., Jin, J., Geonzon, L. C., Bacabac, R. G., & Klein-Nulend, J. (2021). Cellulose and its derivatives: towards biomedical applications. *Cellulose*, 28(4), 1893-1931. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03674-w>
- Sezer, E., & Ayhan, Z., (2017). Meyve ve sebzelerde etilen tutucu içeren aktif ambalajlama sistemlerinin uygulanması ve raf ömrüne etkisi. *Akademik Gıda*, 15(2), 182-191. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.333675>
- Shaikh, S., Yaqoob, M., & Aggarwal, P. (2021). An overview of biodegradable packaging in food industry. *Current Research in Food Science*, 4, 503-520. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.005>
- Stanley, J., John, A., Pušnik Črešnar, K., Fras Zemljič, L., Lambropoulou, D. A., & Bikiaris, D.N. (2023). Active agents incorporated in polymeric substrates to enhance antibacterial and antioxidant properties in food packaging applications. *Macromol*, 3(1), 1-27. <https://doi.org/10.3390/macromol3010001>
- Sürengil G., & Öztürk F., (2017). *Su ürünleri tazeliğinin belirlenmesinde yeni yaklaşımlar tazelik indikatörleri*. 19. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, 2017, Eylül 12-15.
- Şahin Nadeem, H., & Konuk Takma, D. (2019). Gıdalarda akıllı ambalajlama teknolojisi ve güncel uygulamalar. *Gıda*, 44(1), 131-142. <https://doi.org/10.15237/gida.GD18106>
- Şahin, N., & Sayaslan, A. (2023). Ekstrüzyon teknolojisi ve buğday öğütme yan ürünlerinin ekstrüde gıda üretiminde kullanımı. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 37(1), 241-261. <https://doi.org/10.20479/bursauludagziraat.1089981>
- Takma, D. K., & Nadeem, H. Ş. (2019). Gıdalarda akıllı ambalajlama teknolojisi ve güncel uygulamalar. *GIDA*, 44(1), 131-142.
- Tan, W., McClements, D. J., Chen, J., & Ma, D. (2024). Novel biopolymer-based active packaging material for food applications: Cinnamaldehyde-loaded calcium nanoparticles incorporated into alginate-carboxymethyl cellulose films. *Food Packaging and Shelf Life*, 45, 101351. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2024.101351>
- Tatara, R. A. (2024). Compression molding. In *Applied plastics engineering handbook* (pp. 389-424). William Andrew Publishing.
- Tekin, İ., & Ersus, S. (2024). Development of thermoplastic starch/poly (butylene adipate-co-terephthalate) biobased active packaging films and potential usage in the food industry. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(33), e55824. <https://doi.org/10.1002/app.55824>
- Tiribolulu, T., (2019). *Aktif ambalajlama ve depolama sıcaklığının kiraz domates ve badem hıyarın raf ömrüne etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Tiribolulu, T., & Ayhan, Z. (2023). Etilen tutucu içeren aktif ambalajlamanın ve depolama sıcaklığının kiraz domatesin hasat sonrası kalitesi üzerine etkileri. *Gıda*, 48 (5), 934-951. <https://doi.org/10.15237/gida.GD23042>

- Toplu, B., Sıçramaz, H., & Ayhan, Z. (2023). Farklı ambalaj materyalleri ve vakum/modifiye atmosfer ambalajlamanın dilimlenmiş Hatay peynirinin kalitesi ve raf ömrüne etkisi. *Gıda*, 48 (3) 587-601. <https://doi.org/10.15237/gida.GD23032>
- Torun, H., (2024). *Polipropilen geri dönüşümünde kullanılabilecek katkı maddeleri ile orijinal hammadde özelliklerinde geri dönüşümlü polipropilenin elde edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye.
- Tuncalı, Y., (2015). *Production of the fresh produce packaging material from low density polyethylene and polymethylpentene polymers*. M.Sc. Thesis, Department of Polymer Science and Technology, Istanbul Technical University, İstanbul, Turkey.
- Tüylek, Z. (2017). Biyomateryaller ve sağlıkta kullanımı. *Bozok Tıp Dergisi*, 7(4), 80-89.
- Uçar, B., & Hayta, M. (2012). Kek kalitesinin ve raf ömrünün iyileştirilmesi. *Gıda*, 37(6).
- Uçar, Y., Özoğul, F., Durmuş, M., Köşker, A. R., & Özoğul, Y. (2020). Farklı konsantrasyonlarda kullanılan nisin vakum paketlenerek soğukta ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) depolanan levrek (*Dicentrarchus labrax*) filetoalarının yağ asit profili üzerine etkileri. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 43-51. <https://doi.org/10.12714/egejfas.37.1.06>
- Vahapoğlu, V. (2013). Kauçuk türü malzemeler: sınıflandırma. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 25-34.
- Vasile, C., & Baican, M. (2021). Progresses in food packaging, food quality, and safety—controlled-release antioxidant and/or antimicrobial packaging. *Molecules*, 26(5), 1263. <https://doi.org/10.3390/molecules26051263>
- Wnuczek, K., Puszka, A., & Podkościelna, B. (2021). Synthesis and spectroscopic analyses of new polycarbonates based on bisphenol A-free components. *Polymers*, 13(24), 4437. <https://doi.org/10.3390/polym13244437>
- Yan, M. R., Hsieh, S., & Ricacho, N. (2022). Innovative food packaging, food quality and safety, and consumer perspectives. *Processes*, 10(4), 747. <https://doi.org/10.3390/pr10040747>
- Yoruç, A. B. H., & Uğraşkan, V. (2017). Yeşil polimerler ve uygulamaları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 318-337.
- Yurtbaşı, Z., (2019). *Poliamid nanokompozit lifler*. Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova, Türkiye.
- Yuvaraj, D., Iyyappan, J., Gnanasekaran, R., Ishwarya, G., Harshini, R. P., Dhithya, V., ... & Gomathi, K. (2021). Advances in bio food packaging—An overview. *Heliyon*, 7(9).
- Yüceer, M., & Caner, C. (2023). Gıda sanayiinde akıllı ambalajlama ve uygulamaları. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi* (30), 57-68. <https://doi.org/10.56833/gidaveyem.1329885>
- Yüksel, M., E., & Zaim, A., H., (2009). Yeni nesil teknoloji olarak RFID, RFID sistem yapıları ve bir RFID sistem tasarımı yaklaşımı. *5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*. Karabük.
- Zhang, M., Biesold, G. M., Choi, W., Yu, J., Deng, Y., Silvestre, C., & Lin, Z. (2022). Recent advances in polymers and polymer composites for food packaging. *Materials Today*, 53, 134-161. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.01.022>
- Zubair, M., & Ullah, A., (2020). Recent advances in protein derived bionanocomposites for food packaging applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(3), 406-434. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1534800>