

GIDA AMBALAJ SİSTEMLERİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR: AKILLI AMBALAJ SİSTEMLERİ



Yasin Akkemik^{1,a*}, Ahmet Güner^{2,b}

¹Selçuk Üniversitesi, Karapınar Aydoğanlar MYO, Gıda İşleme Bölümü, Konya, Türkiye
²Selçuk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Konya, Türkiye

*Corresponding Author

E-mail: yasinakkemik@selcuk.edu.tr

(Geliş 28 Ocak 2020; kabul 23 Nisan 2020)

a:  <https://orcid.org/0000-0002-9086-0324>, b:  <https://orcid.org/0000-0001-9661-555X>

ÖZET. Gıdanın amaçlanan kullanımına uygun olarak hazırlanması ve/veya tüketilmesine kadar geçen sürede başvuru bir takım önlemlerle gıdaların halk sağlığı bakımından güvenilir hale getirilmesi ve bu durumun sürdürülmesi, gıda güvenliği anlayışı ve tüketicilerin beklentisi açısından günümüzde oldukça önem arz etmektedir. Bu bağlamda geleneksel ambalajlama metotları ile tüketicilerin değişen beklentilerini karşılamak ve gıda güvenliği risklerini en aza indirmek artık mümkün olmamaktadır. Geleneksel ambalajlama metotlarının raf ömrünü uzatma ve gıda güvenliğini sağlama noktasında bazı kısıtlamaları vardır. Geleneksel ambalajlama tekniklerine alternatif olarak aktif ve akıllı ambalaj sistemlerinden oluşan yenilikçi yaklaşım ile gıdaların raf ömrü uzatılarak halk sağlığı korunurken, gıdaya albeni katılarak da alternatiflerine göre önemli avantajlar sağlanmaktadır. Bütün bunlara karşın akıllı ambalajlamaya ilişkin tüketici algısının zayıf olması, akıllı ambalaj atıklarının geri dönüşüm sistemleri ile yeniden kullanılabilmesindeki zorluklar ve firmaların yeni teknolojiler satın almadaki isteksiz tutumları ülkemizde ve dünya genelinde bu sistemlerin gelişmesindeki en büyük engellerdendir. Fakat artarak devam eden araştırmalar ile bu algıların ortadan kalkacağına inanılmaktadır. Bu makalede akıllı ambalaj sistemlerinden olan göstergeler, barkodlar, radyo frekansı tanımlama cihazları (RFID) ve sensörler tanıtılarak ülkemiz ve dünya genelindeki yasal durumu, zayıf ve gelişime açık yönleri hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ambalajlama, Aktif Ambalajlama, Gıda Güvenliği, Halk Sağlığı

NEW APPROACHES IN FOOD PACKING SYSTEMS: SMART PACKING SYSTEMS

ABSTRACT. Making food safe in terms of public health by means of a number of measures applied until the preparation and / or consumption of the food in accordance with its intended use is of great importance in terms of understanding of food safety and consumer expectations. In this context, it is no longer possible to meet the changing expectations of consumers with traditional packaging methods and to minimize food safety risks. Conventional packaging methods have some limitations in terms of extending shelf life and ensuring food safety. As an alternative to traditional packaging techniques, an innovative approach consisting of active and intelligent packaging systems protects public health by prolonging the shelf life of foods, while providing significant advantages compared to alternatives by showing off to food. In spite of all these, weak consumer perception about smart packaging, difficulties in reusing smart packaging wastes with recycling systems and unwilling attitudes of companies to purchase new technologies are among the biggest obstacles in the development of these systems in our country and worldwide. However, it is believed that these perceptions will disappear with increasing research. In this article, indicators, barcodes, radio frequency identification devices (RFID) and sensors, which are among the smart packaging systems, are introduced and information is given about the legal status, weaknesses and developmental aspects of our country and worldwide.

Keywords: Active Packaging, Food Safety, Public Health, Smart Packaging

GİRİŞ

Ambalajın temel fonksiyonu, gıdaları içerisinde bulundurmak, dış ortamın zararlı etkilerinden ve dağıtım hasarından korumak, depolamada kolaylık sağlamak, içerikleri hakkında bilgi sağlayarak tüketicilerle iletişim kurmaktır [1].

Günümüzde ambalaj; sadece bir ürünü ambalajlamakla kalmayıp, aynı ürünü alternatiflerinden farklılaştırıp, tasarım ve şekil yönünden görünürlüğünü artırarak tüketicinin ilgisini çekmede önemli rol oynar [2]. Ambalajlama ile tüketicilerin günlük hayatlarında gıda hazırlama ve gıdaların evde muhafazası daha kolay hale getirilmektedir.

Geleneksel gıda ambalajlama tekniklerinin yakın zamana kadar gıda dağıtım sistemlerinin gelişimine yaptığı muazzam katkısına rağmen, geleneksel yöntemlerle tüketicinin artan taleplerini karşılamak artık mümkün değildir. Geleneksel ambalajlama sistemlerinin özellikle raf ömrünü uzatma ve gıdaların güvenliğini sağlama noktasında bazı sınırlamaları vardır. Bu nedenle, artan tüketici taleplerini ve endüstriyel üretim trendlerini karşılamak üzere, aktif ve akıllı ambalajlama sistemleri geliştirilmiştir [3]. Son 25 yılda, bu yeni ve ileri teknolojiler çok fazla araştırmanın odak noktası olmuştur. Perakendecilik uygulamalarını etkileme potansiyelleri (örn., belirli bir markanın daha uzun raf ömrü nedeniyle piyasa hakimiyeti) tüketicilerin yaşam tarzını etkilemiş ve özellikle taze yiyeceklerin alışverişi sırasında daha az zaman harcanmasına neden olarak büyük ilgi görmüştür. Böylece geleneksel yiyecek ve içecek ambalajlama sistemlerinin yerini almışlardır [4].

AKTİF VE AKILLI AMBALAJLARIN TARİHÇESİ

19. yüzyıldan bu yana sanayileşme ve kentleşme sonucu alüminyum folyo, elektrikle çalışan ambalajlama makineleri, plastikler (örn., polietilen, polivinil klorür), aseptik ambalajlama, metal bidon, fleksografik baskı ve esnek ambalajlar da dahil olmak üzere, gıda ambalaj sektöründe büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. 1940'larda, gıda ambalajı tamamen tek kullanımlık ambalaj dönemine girmiştir. 1980'lerde mikrodalga teknolojisinin ortaya çıkışı, özel ambalajların geliştirilmesini teşvik etmiştir. Daha sonra, aktif ve akıllı (A&A) ambalaj teknolojileri, gıdaların kullanılma ve dağıtılma biçimlerinde daha da büyük değişiklikler başlatmıştır [5].

A&A ambalaj malzemelerinin kullanımı ilk defa 1970'lerin ortalarında Japonya'da başlamış, Avrupa ve ABD'de ise bu endüstri 1990'ların ortalarından itibaren faaliyete geçmiştir. Sağlık bilincinin artması ve artan gıda güvenliği endişeleri A&A gıda ambalajlarının gittikçe daha fazla tüketici tarafından kabul görmesine neden olmuştur. Dolayısıyla A&A ambalajlamanın pazar değeri 2011'de 11.7 milyon dolar iken 2021'in sonuna kadar yaklaşık iki kat artarak 24.65 milyona çıkması beklenmektedir [5].

AKTİF VE AKILLI AMBALAJLAR

Aktif ambalajlama, ambalajlanmış gıdaların kalitesini korurken, raf ömrünü uzatan ve/veya güvenliğini ya da duyu niteliklerini geliştiren bir sistemdir [4]. Ambalaj sisteminin performansını arttırmak için aktif ilave bileşenlerin ambalaj malzemesine eklendiği aktif ambalajlamada kullanılan malzemeler (Tablo 1) gıdayı çevreleyen ortama giren veya ambalaj içerisinde biriken maddeleri emerek fonksiyon gösterirler [5].

Tablo 1. Aktif bileşenlere örnekler [5]

Emici Sistemler	Nem Emiciler: Polimerik lifler ve yapıştırıcılar veya granüler poliakrilatlar içeren pedler.
Serbast Bırakma Sistemleri	Atıcılar: Oksijen, etilen Koruyucu maddeler, antioksidanlar, tatlandırıcılar, enzimler.
Ambalajın Çeperine Aşlanmış veya Sabitlenmiş Maddeler İçeren Sistemler	

Akıllı ambalajlama gıda ambalaj malzemesiyle birleştirilen veya üzerine etiketlenen sistemlerdir. Ürün kalitesini ve kritik noktaları tedarik zinciri boyunca izleyerek daha ayrıntılı bilgi vermek için (örn., kurcalamanın kanıtı, ambalaj bütünlüğü, zaman sıcaklık göstergeleri, patojn tespiti, izlenebilirlik, mikrobiyal çoğalma inhibisyonu) geliştirilmiş olanaklar sunarlar [6]. Akıllı ambalajlamada farklı sistemler kullanılmaktadır. Bunlar başlıca göstergeler, barkodlar, radyo frekans tanımlama etiketleri ve sensörlerden oluşurlar.

GÖSTERGELER (İNDİKATÖRLER)

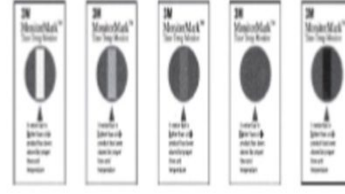
Göstergeler, bir hedef maddenin varlığını veya yokluğunu ya da iki veya daha fazla madde arasındaki reaksiyon derecesini genellikle karakteristik bir renk değişimiyle gösteren cihazlardır [5]. Zaman-Sıcaklık göstergeleri, sağlık veya gaz göstergeleri, tazelik ve bozulma göstergeleri olarak 3 guruba ayrılırlar.

Zaman-Sıcaklık Göstergeleri (Time-Temperature Indicators/TTI's)

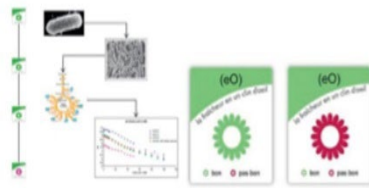
Soğutulmuş ürünlerin zaman ve sıcaklıklarının gıda zinciri boyunca sürekli izlenmesi için geliştirilen araçlardır. İdeal bir TTI, takılı olduğu ürünün tam veya kısmi sıcaklık geçmişini yansıtan, zamana bağlı sıcaklık değişimini gösterebilen basit ve ucuz bir cihazdır [7]. Günümüze kadar geliştirilmiş çoğu TTI'ların temel çalışma prensipleri genellikle mekanik, kimyasal, elektrokimyasal, enzimatik veya mikrobiyolojik reaksiyonları içerir. Bu da genellikle etikette görünür bir cevap olarak ifade edilen, geri dönüşü olmayan bir renk değişimi ile sonuçlanır [8]. Renk değişim oranı sıcaklığa bağlıdır. Bu oran, gıda bozulmasından sorumlu olan bozulma reaksiyonlarını yansıtacak şekilde daha yüksek sıcaklıklarda artar. TTI'lar çalışma prensiplerine göre Difüzyon Bazlı, Mikrobiyal, Enzimatik, Polimer Bazlı ve Fitokromik TTI'lar olarak 5 farklı guruba ayrılırlar (Şekil 1).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



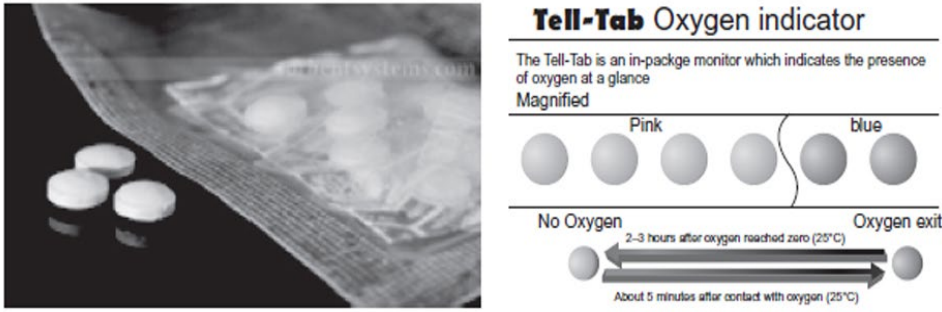
(g)

Şekil 1. a) M MonitorMark™ TTI Ürünü [5], b) Difüzyon Bazlı 3 M™ Freshness Check™ TTI'lar [9], c) Mikrobiyal TTI'ların (eO) yanıt ölççeği [5], d) Cryolog'un TRACEO TTI'ları [5], e) Enzimatik CheckPoints TTI'nin uygulama sırasındaki yeşil rengi (solda) ürünün taze olduğunu, turuncu kırmızı (sağda) rengi ise raf ömrünün bittiğini işaret eder [10], f) Lifeline Technology'nin Fresh Checks TTI ürünü [11], g) Fitokromik OnVut TTI [5]

Sağlamlık veya Gaz Göstergeleri

Sağlamlık veya gaz göstergeleri; ambalaj içerisindeki gaz konsantrasyonlarındaki değişiklikleri izleyebilen ve bu sayede gıdaların kalitesinin belirlenmesine yardımcı olan göstergelerdir. Bu göstergeler kimyasal ya da enzimatik reaksiyonlar neticesinde renkleri değişerek oksijen ya da karbondioksitin varlığı ya da yokluğu hakkında bilgi verirler. Ambalajdaki gazlı ortamı izledikleri için gıda ile doğrudan temas halinde olmalıdırlar.

Oksijen, gıdalardaki aerobik mikroorganizmaların gelişmesini, enzimlerin meyve ile sebzelerdeki reaksiyonlarını ve askorbik asit ile lipidlerin oksidasyonunu etkileyerek birçok gıdanın bozulmasından sorumludur. Dolayısıyla gıdaların kontrollü atmosfer paketlenmesinde başvurulan çeşitli gaz göstergeleri arasında en yaygın kullanılan oksijen göstergeleri oksijen bağlama reaksiyonu, redoks reaksiyonu veya bir ışıkla aktive edilmiş redoks reaksiyonu sonucunda renk değişimine dayanır. IMPAK Corporation tarafından Tell-Tab (Şekil 2) olarak adlandırılan bir oksijen göstergesi tablet formu göstergeleri geliştirilmiştir. Bu göstergeler kullanılmadan önce oksijensiz, serin ve karanlık bir ortamda korunurlar. Ürün ambalaj içinde oksijene maruz kaldığında, orijinal pembe renginden mavi veya mor renge döner ve oksijen seviyesi azaldıkça, rengin geri dönüşümü meydana gelir [12].

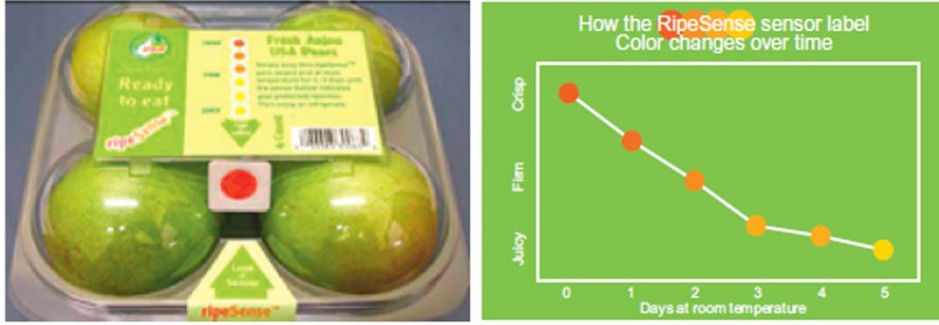


Şekil 2. Oksijen İndikatörü [5]

Tazelik ve Bozulma Göstergeleri

Gıdalarda mikroorganizmaların faaliyetlerine bağlı olarak meydana gelen metabolitler (örn., asetik ve laktik asit, glikoz, etanol, uçucu nitrojen bileşikleri, biyojenik aminler, karbon dioksit, ATP bozunma ürünleri ve sülfürik bileşikler) genellikle bir gıdanın tazeliğinin değerlendirilmesinde ön planda tutulur [13]. Bir tazelik göstergesi, sadece sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen biyokimyasal değişiklikleri veya ambalaj sızıntılarını göstermek yerine gıdada meydana gelen değişimleri, mikroorganizmaların metabolizmaları sonucu oluşan ürünleri kullanarak gösteren, doğrudan ürün kalite bilgisi sağlamak için geliştirilmiş ambalaj sistemi olarak tanımlanır [14].

RepeSenses, meyvelerin tercih edilen olgunlaşma derecesini (armut için tasarlanmış) gösteren, dünyanın ilk akıllı göstergesidir (Şekil 3). Gösterge, meyve olgunlaştığı zaman salınan doğal aroma bileşiklerini (metabolitleri) tespit ederek çalışır. Göstergenin ilk rengi kırmızıdır (gevrek meyveyi), renk yavaş yavaş turuncuya (sert meyve) ve sonunda sarıya döner (armutların tamamen olgun ve en tatlı olduğu dönem). Gösterge istenen olgunluk rengine ulaştığında, meyve, olgunlaşma sürecini önemli ölçüde yavaşlatmak için soğuk muhafazaya alınır. Gösterge perakendecilerin taze meyve satmasına olanak tanır. Teknoloji ayrıca, kivi, kavun, mango, avokado ve çekirdekli diğer meyvelere de uygulanmıştır [5].



Şekil 3. RipeSenses tazelik göstergesi [5]

BARKODLAR

Barkod, bir harf veya sayı biçiminde yazılarak bulunduğu nesne hakkındaki bilgileri temsil eder. Barkod bu bilgileri, depolandığı ve işlendiği bir sisteme gönderen, optik barkod tarayıcı tarafından okunabilen bir sistemdir. Günümüzde böyle bir sistem, çok basit oluşu ve düşük maliyeti nedeniyle en popüler veri taşıyıcısı haline gelmiştir. Barkod, bir ürünün bulunduğu yeri, tedarik zincirinin herhangi bir noktasında takip etmeyi sağlar. Ticari olarak, piyasada çeşitli tipte barkodlar mevcuttur, ancak Evrensel Ürün Kodu (UPC) barkodu en yaygın olanıdır [5].

UPC barkodu, 1970'lerde General Motorlu taşıtların parçalarını izlemek için kullanılmıştır. Bu tarihten itibaren, perakende sektörünün bu sistemi benimsemesi ile gıda endüstrisinde de stok kontrolü, yeniden sipariş ve ödeme işlemlerini kolaylaştırmak için kullanılmaya başlanmıştır [15]. Barkodlar mürekkeple basılan, farklı genişlikte olan çubuk formunda ve altlarındaki sayılar ile ayrılmışlardır (Şekil 4). Barkodlar mağazalardaki ürünleri tanımlamak için kullanılırlar. Bir barkod 12 haneden oluşur, bunlardan ilk ikisi barkodun oluşturulduğu ülkeyi gösterir, takip eden dört rakam ise ürünü kimin ürettiğini belirtir. Son altı rakam, üretici tarafından atanan ürün kodudur. Bu sistem sayesinde, her ürün kendi bireysel koduna sahiptir ve her kod optik tarayıcı sistemleri ile okunabilir [5].



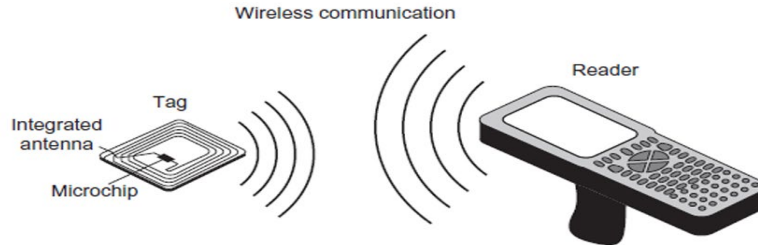
Şekil 4. Barkod [5]

RADYO FREKANS TANIMLAMA CİHAZLARI (RFID)

RFID, otomatik ürün tanımlaması ve izlenebilirliği amacıyla, bir nesneye eklenmiş etiketten veri aktarmak için radyo frekanslı elektromanyetik alanları kullanan akıllı bir ambalajın ayrı bir elektronik bilgi tabanlı formunu temsil eder. RFID, manuel sistemler veya barkodlar gibi teknolojilere göre daha üstündür ve görsel temas gerektirmeden okunabilir. Ayrıca, engelsiz bir görüş hattı gerektirmez ve daha uzun bir okuma aralığına sahiptir. Çok güçlüdür, aşırı sıcaklıklar ve farklı basınçlar altında çalışabilir,

100 metreden daha uzun mesafelerde okuma yapabilir. Birçok etiket aynı anda okunabilir (saniyede 100, hatta yeni çalışmalarla saniyede 1000 etikete kadar çıkılabileceğini göstermektedir). Yazma yeteneğine (saniyede 5 etiket) sahiptirler ve 1MB'ye kadar veri dopalayabilirler. Ayrıca, bu sistem zaman-sıcaklık geçmişi ve mikrobiyolojik verileri toplamak için bir TTI veya bir biyosensör ile entegre edilebilir [16]. Son yıllarda, RFID sistemleri, birçok gıda endüstrisinde tedarik zincirinin takibi için olduğu kadar, güvenliği izlemek ve erişim kontrolü gibi sayısız uygulamalarından dolayı popülerlik kazanmıştır. RFID etiketleri gıdalara, otomobillere, ilaçlara, hayvanlara, giysilere veya eşyalara ve hatta evcil hayvanlara da implante edilebilir. Bu sistem hali hazırda en yaygın olarak bozulabilir gıdaların sıcaklık takibi için kullanılmaktadır [17].

2004 yılında, Walmart Firması ilk RFID sistemini tedarik zincirine sunmuştur. Ayrıca E-Provenance (Fransa) firması da üretilen şarapların kalitesini ve kökenlerini izlemek için bir RFID teknolojisi başlatmıştır. RFID teknolojisinin en büyük kullanıcıları sırasıyla ABD Savunma Bakanlığı ve Walmart Firması'dır. RFID teknolojisinin barkodlar üzerindeki çeşitli avantajlarına rağmen, pratik uygulamaları ile ilgili bir takım olumsuzlukları vardır. Bu teknolojinin yavaş yayılmasının en büyük sebebi sistemin yüksek maliyetidir [18]. Bir başka dezavantaj ise, insan vücudundaki yüksek su içeriğinden kaynaklanan etkileşim nedeniyle insan bedeninin yakınındaki ultra yüksek frekanslı etiketlerin okunmasıdır. Bunun sebebi su moleküllerinin (birçok gıda yüksek rutubet içerir) sinyalleri absorbe edebilmesi ve sinyal kaybına yol açması, ayrıca metallerin ise sinyalleri yansıtabilmesidir [19]. Tüketici bilgilerinin (örn., satın alma alışkanlıkları, hareketler) ifşa edilmesi bu sistemin yaygın olarak kullanılmasına etik yönden bir engelidir. Bu kısıtlamalara rağmen, sürekli araştırma, geliştirme ve RFID sistemlerinin maliyetlerindeki düşüşler, bu teknolojinin yakın gelecekte gıda endüstrisinde daha geniş çapta kullanılmasına yol açacaktır (Şekil 5) [5].



Şekil 5. Basit bir radyofrekans alt sistemi örneği [20]

SENSÖRLER

Oksijene duyarlı gıdaların geleneksel yöntemlerle ambalajlanmasında başvurulan modifiye atmosfer veya vakumlu ambalajlama sistemlerinde dahi ambalaj materyalindeki mikro gözenekler, delikler vb'den dolayı ambalajın içerisine oksijen girişi engellenemez. Modifiye atmosfer ve vakumlu ambalaj sistemlerinde, raf ömrü ve gıda kalitesi artmasına rağmen, oksijen ve mikroorganizma sayılarına bağlı olarak mikroaerofilik bozulma ve lipit oksidasyonu oluşabilir [21]. Ayrıca ambalaj içerisindeki oksijen konsantrasyonunun ölçülememesi, ambalajların imha edilmesi veya yeniden kapatılması, pahalı ve zaman alıcı olması gibi bazı dezavantajları vardır. Bu nedenle, geleneksel tekniklerde uygulanan zaman alıcı ve pahalı kalite ölçümlerinin yerine daha hızlı, güvenilir ve ucuz sensörlerin geliştirilmesi için daha fazla çaba sarf edilmektedir [22].

Çoğu sensör bir reseptör ve bir transdüserden oluşmuştur. Reseptörler, fiziksel veya kimyasal verileri enerji biçimine dönüştürürken, dönüştürücü bu enerjiyi faydalı bir analitik sinyale dönüştürür. Yakın zamana kadar, sensör geliştirmede ağırlıklı olarak biyomedikal ve çevresel uygulamalara odaklanılmıştır [23]. Ancak bu tür sensörler gıda ambalajlama uygulamaları için uygun değildir. Hem sanayi hem de tüketici açısından geliştirme ve üretim maliyetlerinin yüksek olması, yoğun endüstri spesifikasyonları, güvenlik hususları ve nispeten sınırlı talep (biyomedikal sektöre kıyasla), gıda endüstrisinde bu tür sistemlerin yaygın olarak benimsenmesinin önündeki başlıca engellerdir [5].

Biyosensörler

Biyosensörler, balık, et ve diğer gıda maddelerinin tazeliğini göstermek ve meşrubatlarda toplam mikrobiyal yükün ve şeker miktarının hızlı bir şekilde tanımlanması için etkili bir şekilde kullanılmaktadır [5]. İdeal bir biyosensör, ekonomik, küçük, taşınabilir ve yarı kalifiye bir operatör tarafından kullanılabilir. Ayrıca gerekli hassasiyet, yüksek özgüllük ve duyarlılığa da sahip olmalıdır. Kolayca kalibre edilebilmeli ve arka plan sinyali olmaksızın yüksek doğruluk ve dinamik aralıklara sahip olmalıdır. Normal depolama koşulları altında maruz kalabileceği karıştırma, sıcaklık veya pH gibi fiziksel parametrelerden bağımsız olarak stabil olmalıdır. Ayrıca iyi dinamik yanıt (kısa ölçüm süresi) sunmalı ve biyo-uyumlu (toksik veya antijenik etki olmaksızın) olmalıdır [5].

Food Sentinel Systems, balık, kümes hayvanları, et ve bazı sıvı ürün ambalajlarında sürekli olarak patojenleri tespit edebilen ucuz bir biyosensör barkod etiketidir (Şekil 6). Barkod sisteminin bir bölümünü oluşturan membrana spesifik bir patojen antikoru tatbik edilir. Böylece *Salmonella* spp., *E. coli* 0157: H7 veya *Listeria monocytogenes* gibi kontaminasyonlara maruz kaldığında, membran üzerinde lokalize bir koyu çubuk meydana getirerek barkodu taranamaz hale sokar [24]. Sonuçta barkod okunamaz ve ürünün satışı engellenmiş olur.



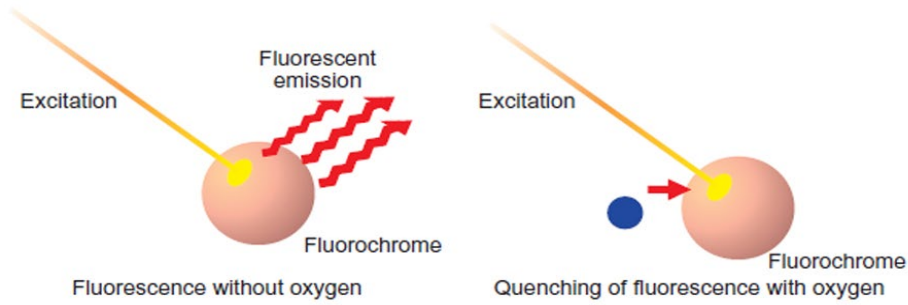
Şekil 6. Biyosensör [5]

Gaz Sensörleri

Gaz sensörleri, gaz halindeki bir analitin varlığına geri dönüşlü ve nicel olarak yanıt veren ve harici bir cihaz tarafından izlenen cihazlardır [25]. Geleneksel sistemlerin aksine, gaz sensörleri kimyasal olarak inerttir. Dolayısıyla ne kimyasal reaksiyonlarda yer alır ne de analit tüketir [26]. Böylece ürün analitiğini veya mikrobiyal kontaminasyonu tespit ederek, hidrojen sülfür, karbon dioksit ve aminler gibi gaz analitlerini algılayarak kalite kontrolünü artırmaya yardımcı olur.

Floresan Bazlı Oksijen Sensörleri

Çok hassas, çok yönlü, düşük toksisiteli ve invaziv olmadığı için birçok optik kimyasal sensör arasında floresan bazlı oksijen sensörleri özel bir ilgi çekmiştir [27]. Bazı boya molekülleri, absorpsiyon maksimumlarında ışığı absorbe ettiğinde, uyarılmış durumlar sergilerler ve spesifik dalga boylarında radyasyon yayarlar (flüoresans veya fosforesans) (Şekil 7). Bu uyarılmış parlayan (luminesan) boyaların söndürülmesi oksijen molekülleriyle çarpışması sırasında oluşur. Bu enerji transfer mekanizması nedeniyle, lüminesans yoğunluğu zamanla azalır ve söndürme derecesi, sistem içindeki oksijen konsantrasyonu ile orantılıdır. Ambalajın tepe boşluğundaki moleküler oksijenin varlığı parıldamayı dinamik bir tarzda söndürür Daha sonra oksijen konsantrasyonu, önceden belirlenmiş bir kalibrasyon kullanılarak, lüminesans parametrelerindeki değişiklik derecesine göre tahmin edilir. İşlem tersine çevrilebilir ve güvenilirdir [5].



Şekil 7. Oksijen ile floresan söndürme [28]

AVRUPA'DA VE ABD'DE AKILLI AMBALAJLARIN YASAL KARŞILIĞI

Gıda ile temas eden materyaller için Avrupa ve ABD'de bulunan yönetmelikler farklılık gösterir. Avrupa yaklaşımı, tüm kirleticilerin açık bir şekilde uzaklaştırılması ve yönetmeliklerle kamuya açıklanması, ayrıca tüm toksikolojik değerlendirmelerin yapılması gerektiği teorisine dayanmaktadır. Avrupa yaklaşımında olası maruziyet seviyesine bakılmaksızın, tüm maddelerin toksikolojik verilerinin elde edilmesi gereklidir. ABD'de ise, minimal düzeylerde toksikolojik endişeye neden olmayan, gıda bileşenlerinin bir parçası haline gelmesi beklenmeyen veya herhangi bir halk sağlığı sorununa yol açması beklenmeyen maddelerin kullanımına izin verilir. Kısacası, ABD yaklaşımına göre “dozun artması zehir etkisi yapar” düşüncesi büyük bir öneme sahiptir. Böylece tüm maddeler için toksikolojik değerlendirme gerekli değildir veya maruz kalma değerlendirmeleri ile büyük ölçüde minimize edilmesi mümkündür [5].

1935/2004 / EC Sayılı Yönetmelik

Avrupa pazarında ambalajlanmış gıdaların güvenliğini, kalitesini ve raf ömrünü arttırmak için aktif ve akıllı ambalajlama rehberi 2014 yılında yayımlanmıştır. Bu rehber göre, aktif ve akıllı ambalajlama materyalleri, iyi imalat uygulamalarına göre üretilmeli ve bileşenlerini insan sağlığına zararlı olabilecek miktarlarda gıdaya aktarmamalıdır. Ayrıca gıda bileşiminde kabul edilemez bir değişikliğe ve organoleptik özelliklerin bozulmasına neden olmamalı, reklamı ve sunumu tüketicileri yanıltmamalıdır [29].

450/2009/EC Sayılı Yönetmelik

Aktif ve akıllı bileşenlerde sadece AB listesinde kullanımına izin verilen maddeler kullanılmalıdır. İzin verilen bu maddeler ayrı bir kaba konulabilir veya doğrudan ambalaj malzemesine eklenebilir. Ambalajın dış yüzeyine yerleştirilmedikleri ve/veya yiyeceklerden fonksiyonel bir bariyerle (bir veya daha fazla gıda ile temas eden malzeme katmanından yapılan ve maddelerin gıdaya geçmesini önleyen bir bariyer) ayrılmadıkları takdirde yasal izin almaları şartına tabidirler. Aktif ve akıllı ambalajların yenilmez kısımları “Yemiyorum (Do Not Eat)” ve/veya göz alıcı, açıkça okunabilir ve kalıcı bir sembolle etiketlenmelidir (Şekil 8) [30].



Şekil 8. Yenilmeyen parçalar için gıda temas malzemesi etiketlemede kullanılan sembol [30]

TÜRKİYE’DE AKILI AMBALAJLARIN YASAL KARŞILIĞI

Akıllı ambalaj sistemlerinden Türkiye’de en yaygın kullanılan RFID, gıda zincirinin ilk basamağından başlayarak son tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen tüm basamaklarda ürün ile ilgili bilgileri tutmaktadır. RFID teknolojisinin Türkiye’de örnekleri kargo firmaları ile başlamıştır. Ürün kargoya verildikten sonra alıcısına ulaşıncaya kadar geçen tüm süreçte kargonun yeri tespit edilebilmektedir. Aynı işlemi et, tavuk ve balık ürünleri sevkiyatı yapan firmalar da kullanmaya başlamıştır. Ancak doğrudan tüketiciye erişim noktasında RFID teknolojisi henüz ülkemizde kullanılmamaktadır [31]. Tablo 2’de Türk Gıda Kodeksi’nde A&A ambalajlar ile ilgili yer alan tanımlar gösterilmiştir.

Tablo 2. Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemelere Dair Yönetmeliğinde aktif ve akıllı malzemeler ile ilgili yer alan ifadeler [32]

Tanım	Tarif
Akıllı Madde ve Malzeme	Gıda ile temas eden akıllı madde ve malzeme
Aktif Madde ve Malzeme	Gıda ile temas eden aktif madde ve malzeme
Gıda ile Temas Eden Akıllı Madde ve Malzemeler	Ambalajlı gıdanın veya gıdanın içerisinde bulunduğu ortamın durumunu gösteren madde ve malzemeler
Gıda ile Temas Eden Aktif Madde ve Malzemeler	Bileşenlerini gıdaya ya da gıdanın bulunduğu ortama salacak ya da ambalajlı gıdanın bulunduğu ortamdan maddeleri absorbe edecek şekilde tasarlanan, ambalajlı gıdanın raf ömrünü uzatması veya mevcut durumunu koruması ya da iyileştirmesi beklenen madde ve malzeme

AKILLI AMBALAJ SİSTEMLERİNİN ZAYIF VE GELİŞİME AÇIK YÖNLERİ

Akıllı ambalajlardan elde edilen atıkların geri dönüşüm için çoğunlukla uygun olmadığı ve bu nedenle gıda endüstrisinde büyük bir sorun teşkil ettiği bildirilmiştir [33]. Yapılan çalışmalar bazı ambalaj atıklarının geri dönüşümünün zor olduğunu göstermiştir [34]. Bu nedenle, akıllı ambalajın tasarımındaki ve üretimindeki en önemli zorluk, ambalaj atıklarının arıtılması ve geri dönüşümü konusunda araştırma yapmak gerekliliğidir.

Ambalaj malzemelerinin üretiminde polisakaritler ve proteinler gibi doğal maddelerin kullanımı akıllı ambalaj sistemlerinin geliştirilmesinde, büyük bir potansiyele sahiptir. Doğal maddeler, bariyer özelliklerini geliştirerek ya da antimikrobiyal aktivite sergileyerek, doğal ve sentetik ambalaj malzemelerinin işlevselliğini artırabilirler. Bu amaçla uçucu yağlar ve doğal ekstratlar da kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Uçucu yağlar ve doğal ekstratlar, çoğu zaman doğal ambalaj malzemelerinin zayıf yönlerini; su buharına karşı bariyer özelliklerini geliştirerek ya da çok çeşitli ambalaj malzemelerinde doğal antimikrobiyal ve antioksidan katkı maddeleri olarak işlev görebilerek telafi etmektedirler. Özellikle esansiyel yağlardan kaynaklı, gıdalarda istenmeyen koku veya tat oluşması mümkündür. Fakat genellikle güvenli olması ve farklı paketleme yöntemlerinin birleştirilmesiyle ihtiyaç duyulan konsantrasyonlarının azaltılabilmesi nedeniyle, kullanımında bir engel oluşturmamaktadır [35].

Esansiyel yağlar, MAP teknolojileriyle birleştirilerek iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ortaya çıkan yeni MAP sistemi, taze etlerde rengin korunması için yüksek oksijen seviyelerinin kullanılmasına izin verirken, doğal antioksidanların mevcudiyeti nedeniyle oksidatif işlemlerden korur ve mikrobiyal gelişimin baskılanmasına yardımcı olur. Böyle bir sinerjistik etki, gıdanın raf ömrünün önemli ölçüde uzamasına ve çok çeşitli et ürünlerinin kalitesinin geliştirilmesine neden olmuştur. Ayrıca, doğal bileşiklerin ve bunların sinerjistik etkilerinin kullanılması ile sentetik katkı maddelerinin kullanımının azaltılması, ürün kalitesinin artırılması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi de mümkündür [36].

Nanomalzemeler de aynı hedeflere ulaşmak için kullanılabilir. Bu nedenle fonksiyonel özellikleri araştırılmaktadır. Bu alanda devam eden araştırmalar neticesinde oksidatif veya mikrobiyal bozulmayı etkili bir şekilde azaltan sonuçlar elde edilmiştir. Yasal engeller ve olası sağlık riskleri nedeniyle, nanomalzemelerin geniş çaplı uygulanmalarına izin verilmesinden önce daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Araştırmalar özellikle nanomalzemelerin gıda ile doğrudan temas halinde olduğu veya gıdaya eklendiği durumlarda önemlidir [37].

Mikrobiyal ajanlar, patojenlerin üremesinin engellenmesi için etkili olabilirler. Ancak yasal düzenlemeler ve tüketici hassasiyeti, yakın gelecekte ticari kullanımlarını önleyebilir. Ayrıca, ambalaja gömülü bakteriyofajların etkinliği ve rekabetçi mikroorganizmaların neden olabileceği olumsuz duyuşsal etkiler, bu tür yaklaşımların ticarileştirilmesinden önce ele alınmalıdır [35].

SONUÇ

Akıllı gıda ambalajı uzun zamandır ilgi odağı olmasına karşın ticarileşmesi özellikle Türkiye’de hala başlangıç aşamasındadır. Bu yenilikçi teknolojinin birçok faydası gıda endüstrisi tarafından iyi bilinmesine rağmen, firmalar bu teknolojiyi yeni üretim ve yönetim sistemlerinin kurulması, ek masraflara ve tüketicilerde henüz tam olarak anlamadığından bazı rahatsızlıklara neden olmasından dolayı uygulama konusunda isteksizdirler. Ayrıca akıllı ambalaj üreticileri, ürünlerini tanıtmak için gerektiği kadar

reklam yapmamaktadır. Tüketiciler ise birçok faydasından dolayı akıllı ambalajı tercih etmelidirler. Ancak, bazı tüketiciler, geleneksel ambalajlara kıyasla akıllı ambalaj kullanımının önemli bir fark yaratacağına inanmayabilirler.

Gelecekte resmi kurumların ortaya koyacağı bazı yasal zorunluluklar ve ekonomik teşvikler, teknolojinin kullanım kolaylığını artıracak iyileştirmeler gibi muhtemel çözümler bulunarak kullanım artırılabilir. Bu bağlamda tehlike analizi ve kritik kontrol noktaları (HACCP) kavramı ilk ortaya çıktığı zaman, firmaların bunu kabul etmekte isteksiz oldukları, ancak resmi kurumlar tarafından sisteme geçmenin bazı faydalar sunduğunun anlatılmasıyla, HACCP'nin yaygın bir şekilde uygulandığı unutulmamalıdır. Dolayısıyla akıllı gıda ambalajı HACCP ile aynı gemide değerlendirilebilir. Bu nedenle firmaların ve resmi kurumların birlikte çalışması ve geçmiş deneyimlerden faydalanarak akıllı ambalaj kullanımını yaygınlaştırmaları halk sağlığı açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] Robertson, G. L. (2013): *Food Packaging: Principles and Practice*, CRC Press Taylor & Francis Group, Oxfordshire, United Kingdom
- [2] Wells, L. E., Farley, H., Armstrong, G. A. (2007): The importance of packaging design for own-label food brands. *International Journal of Retail and Distribution Management*, 35(9): 677–690.
- [3] Lagaron, J. M., Catalá, R., Gavara, R. (2004): Structural characteristics defining high barrier properties in polymeric materials. *Materials Science and Technology*, 20: 1–7.
- [4] Ahvenainen, R. (2003): Active and packaging: an introduction. In: Ahvenainen, R. (ed.) *Novel Food Packaging Techniques*, Woodhead Publishing, Cambridge, United Kingdom
- [5] Lee, S. J., Rahman, A. T. M. M. (2014): Intelligent Packaging for Food Products. In: Han, J.H. (ed.) *Innovations in Food Packagin*, Elsevier, Amsterdam, The Netherland
- [6] Han, J., Ho, C., Rodrigues, E. (2005): Intelligent packaging. In: Han, J.H. (ed.) *Innovations in Food Packaging*, Elsevier, Amsterdam, The Netherland
- [7] Taoukis, P. S., Labuza, T. P. (1989): Applicability of Time-Temperature Indicators as Shelf Life Monitors of Food Products. *Journal of Food Science*, 54(4): 783–788.
- [8] Yan, S., Huawei, C., Limin, Z., Fazheng, R., Luda, Z., Hengtao, Z. (2008): Development and characterization of a new amylase type time_temperature-indicator. *Food Control*, 19: 315–319.
- [9] Taoukis, P. (2001): Modelling the use of time_temperature indicators in distribution and stock rotation. In: Tijskens, L., Hertog, M., Nicolai, B., (eds.) *Food Process Modelling*, Woodhead Publishing, Cambridge, United Kingdom
- [10] Taoukis, P. (2008): Application of time_temperature integrators for monitoring and management of perishable product quality in the cold chain. In: Kerry, J., Butler, P., (eds.) *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*, John Wiley&Sons Ltd., New Jersey, USA
- [11] Kuswandi, B., Wicaksono, Y., Jayus, A. A., Yook Heng, L., Ahmad, M. (2011): Smart packaging: sensors for monitoring of food quality and safety. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 5: 137–146.
- [12] De Jong, A. R., Boumans, H., Slaghek, T., Van Veen, J., Rijk, R., Van Zandvoort, M. (2005): Active and intelligent packaging for food: is it the future? *Food Additives and Contaminants*, 22(10): 975-979.
- [13] Rokka, M., Eerola, S., Smolander, M., Alakomi, H. L., Ahvenainen, R. (2004): Monitoring of the quality of modified atmosphere packaged broiler chicken cuts stored in different temperature conditions: B. Biogenic amines as quality-indicating metabolites. *Food Control*, 15(8): 601–607.

- [14] Smolander, M. (2003): The use of freshness indicators in packaging. In: Ahvenainen, R. (ed.) *Novel Food Packaging Techniques*, Woodhead Publishing, Cambridge, United Kingdom
- [15] Manthou, V., Vlachopoulou, M. (2001): Bar-code technology for inventory and marketing management systems: A model for its development and implementation. *International Journal of Production Economics*, 71: 157–164.
- [16] Want, R. (2004): Rfid-A key to automating everything. *Scientific American*, 290(1): 56–65.
- [17] Tingman, W., Jilan, Z., Xiaoshuan, Z. (2010): Fish product quality evaluation based on temperature monitoring in cold chain. *African Journal of Biotechnology*, 9(37): 6146–6151.
- [18] Roberts, C. M. (2006): Radio frequency identification (RFID). *Computers and Security*, 25(1): 18–26.
- [19] Kumar, P., Reinitz, H. W., Simunovic, J., Sandeep, K. P., Franzon, P. D. (2009): Overview of RFID technology and its applications in the food industry. *Journal of Food Science*, 74(8): 101–106.
- [20] Karygiannis, T., Eydt, B., Barber, G., Bunn, L., Phillips, T. (2007): *Guidelines for Securing Radio Frequency Identification (RFID) Systems Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Special Publication*, Gaithersburg, USA
- [21] Rooney, M. L. (1995): *Active packaging in polymer films*. In: Rooney, M. L. (ed.) *Active Food Packaging*, Springer, Boston, USA
- [22] Peterson, J., Fitzgerald, R., Buckhold, D. (1984): Fibre optic sensor based on phase fluorescent lifetimes. *Analytical Chemistry*, 65: 835–856.
- [23] Demas, J. N., DeGraff, B. A., Coleman, P. B. (1999): Oxygen sensors based on luminescence quenching. *Analytical Chemistry*, 71(23): 793A–800A.
- [24] Anon. (2004): *Zebra's RFID Readiness Guide: Complying with RFID Tagging Mandates*.
- [25] Kerry, J. P., O'Grady, M. N., Hogan, S. A. (2006): Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, 74(1): 113–130.
- [26] Wolfbeis, O. S. (2006): Fiber-optic chemical sensors and biosensors. *Analytical Chemistry*, 78(12): 3859–3874.
- [27] Wolfbeis, O. S. (2008): Fiber-Optic Chemical Sensors and Biosensors. *Analytical Chemistry*, 80(12): 4269–4283.
- [28] Saini, D., Millick, N. (2004): Non-invasive oxygen measurement using the OxySense® fluorescence technology and its implications for active packaging. *Tappi Placa Conference*, 697–713.
- [29] EU. (2004): Commission Regulation 1935/2004 on materials and articles intended to come into contact with food and repealing Directives 80/590/EC and 89/109/EC. *Official Journal of the European Communities* L338: 4–18.
- [30] EU. (1995): Commission Directive 450/2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. *Official Journal of the European Communities* L135: 1–11.
- [31] Öcal, D., Çakmak Karapınar, D. (2016): *Akıllı Ambalajlama Sistemlerinin Tüketicilere Yansımaları. 5. Uluslararası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, Tam Metin Kitabı*.
- [32] Resmi Gazete. (2018): 05.04.2018. 30382 sayılı Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemelere Dair Yönetmelik.
- [33] da Cruz, N. F., Ferreira, S., Cabral, M., Simões, P., Marques, R. C. (2014): Packaging waste recycling in Europe: is the industry paying for it? *Waste Management*, 34(2): 298–308.
- [34] da Cruz, N. F., Simões, P., Marques, R. C. (2012): Economic cost recovery in the recycling of packaging waste: The case of Portugal. *Journal of Cleaner Production*, 37: 8–18.
- [35] Schumann, B., Schmid, M. (2018): Packaging concepts for fresh and processed meat-Recent progresses. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47: 88–100.

- [36] Tarté, R. (2009): *Ingredients in meat products: Properties, Functionality and Applications*. Springer, New York, USA
- [37] Wyser, Y., Adams, M., Avella, M., Carlander, D., Garcia, L., Pieper, G., Rennen, M., Schuermans, J., Weiss, J. (2016): Outlook and Challenges of Nanotechnologies for Food Packaging. *Packaging Technology and Science*, 29: 615–648.