

Gıda Ambalajlamada Son Gelişmeler

İlyas Çelik✉, Gözde Tümer

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Denizli

Geliş Tarihi (Received): 22.04.2015, Kabul Tarihi (Accepted): 27.07.2015

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): ilyasc@pau.edu.tr (İ. Çelik)

☎ 0 258 296 31 07 📠 0 258 296 32 62

ÖZET

Gıdaların besleyici özelliklerini kaybetmeden, taze olarak tüketilmesinde, muhafaza amaçlı kullanılan ambalaj seçimi önem taşımaktadır. Kullanılan ambalajın fonksiyonlarının iyi olmasının yanında ambalajın üretiminde kullanılan hammaddeler de çevre kirliliğine neden olmayarak doğada çözünebilir. Biyobozunur ambalaj üretiminde kullanılan biyoplastikler, yenilebilir karbon kaynaklarından ya da biyolojik kökenli polimerlerden elde edilmekte ve uygun şartlar sağlanarak tekrar CO₂, su ve biyokütleyle parçalanabilmektedir. Tüketicinin gıdanın durumu hakkında bilinçlendirilmesi akıllı ambalaj teknolojisi ile gerçekleşmekte ve aktif ambalajlar ile ürünün özelliklerinin ve raf ömrünün artırılması çalışılmaktadır. Ayrıca ambalajlama sektöründeki bu yeni gelişmeler 100 nm'den daha küçük boyutlarda gerçekleştirilen nanoteknolojiyle de uygulanabilmektedir. Bu derlemede, gıda ambalajlarında yeni gelişmeler kapsamında biyobozunur ambalaj, aktif ambalaj, akıllı ambalaj ve nanoteknoloji konuları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gıda, Ambalajlama, Aktif Ambalaj, Biyobozunur, Nanoteknoloji

New Developments in Food Packaging

ABSTRACT

Selection of packaging for foods is important for the freshness of consumption without any loss in their nutritional properties. Any food package should have good functions and also be able to dissolve in nature, causing minimal environmental pollution problem. Bioplastics used in the production of biodegradable packaging are obtained from renewable carbon sources or biological polymers and can be converted to CO₂, water and biomass, providing appropriate conditions for their re-use. Consumer awareness about the state of foods has encouraged the use of smart packaging technology, and improved properties and shelf life of food products with smart packaging have been widely studied. In addition, new developments in packaging industry are also performed with nanotechnology, which is performed in dimensions smaller than 100 nanometers. In this review, biodegradable packaging, active packaging, smart packaging and nanotechnology issues are presented within new developments in food packaging.

Keywords: Food, Packaging, Active package, Biodegradable, Nanotechnology

GİRİŞ

Gıdayı dış etkilere koruyan, pazarlanmasını ve tüketimini kolaylaştıran metal, cam, kâğıt, plastik gibi özel malzemeden yapılan kap, kılıf ya da sargılara gıda ambalajı denir. Kaliteli ve güvenli gıda koşulları, yalnızca üretim aşamasında değil, ambalajlama ve depolama aşamalarında da sağlanmalıdır. Depolama ve taşıma

koşullarına uygun olarak son ürünün ambalajlanması, kalite özelliklerini korumakta ve raf ömrünü uzatmaktadır [1].

Tüketicilerin talepleri ve gıda endüstrisinin eğilimleri doğrultusunda gıda ambalajlarının fonksiyonları her geçen gün geliştirilmektedir. Ambalaj üreticileri gıdayı daha uzun süre taze tutmak üzerinde çalışırken,

tüketiciler ise gıdanın tazeliğini paketi açmadan görmeyi istemektedirler [2]. Ayrıca, ambalaj sanayisinde kullanılan petrol esaslı plastikler sahip oldukları düşük ağırlık, esneklik, dayanıklılık, geri dönüşümünün mümkün olması ve tekrar kullanılabilirlik özellikleri nedeniyle sıklıkla tercih edilmelerine karşın, plastik atıkların neden olduğu çevre kirliliği önemli bir sorun haline gelmiştir [3]. Bu nedenler doğrultusunda son zamanlarda yapılan çalışmaların başlıcalarını "nanoteknoloji ile üretilen ambalajlar, biyobozunur ambalajlar, aktif ambalajlar ve akıllı ambalajlar" oluşturmaktadır [4]. Ambalaj sanayisinde kullanılan ve biyobozunur olmayan polimerlere, katkı maddeleri eklenerek biyobozunur hale getirilmekte böylece atık plastiklerin çevreye verdikleri zararların önüne geçilmesine çalışılmaktadır. Son dönemlerde nanoteknolojinin gıda sektöründe uygulanmasıyla birlikte gıda maddeleri besin öğelerince zenginleştirilmekte, tazeliği korunarak raf ömrünün uzatılması sağlanmaktadır [2]. Üretilen akıllı ambalajlar ise paketlenen gıdanın kalitesi ve güvenliği hakkında tüketicinin bilgilendirilmesine imkân tanımaktadır [5].

BIYOBOZUNUR AMBALAJLAR

Biyoplastikler

Biyo-çözünürlüğü yüksek, yenilenebilir karbon kaynaklarından ya da biyolojik kökenli polimerlerden elde edilen plastikler olarak tanımlanan biyoplastikler, bitki, hayvan, mantar veya bakteriler gibi canlı organizmalar tarafından üretilen, ekolojik ve sürdürülebilir biyolojik materyallerdir [6]. Biyoplastikler de plastikler gibi endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanıma alanına sahip olup kompostlanabilir ambalaj/paket üretimi, oyuncak sektörü, tekstil, zirai bitkilerden üretilen naylonlar, lifler sıklıkla kullanıldığı alanlardandır [7]. Biyoplastikleri geleneksel plastiklerden üstün kılan özellikleri; kolay bir şekilde bozunmaları, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaları, toksik etki bırakmamaları, geri dönüşümlerinin daha kolay olması, üretimlerinde daha az enerjiye ihtiyaç duymaları, yenilenebilir ve ekolojik olmaları şeklinde özetlenebilir [6]. Biyoplastikler, biyolojik olarak parçalanabilen biyoplastikler, kompostlanabilen biyoplastikler, foto-parçalanabilir biyoplastikler ve biyolojik-esaslı biyoplastikler olmak üzere dört çeşittir. Ancak son zamanlarda geliştirilen biyolojik olarak parçalanabilir biyoplastikler aynı zamanda kompostlanabilir olarak da tasarlanmaktadır [8].

Hammaddeler

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyoplastikler nişasta (genellikle mısır, patates, arpa, buğday, pirinç, manyok ve sorgumdan elde edilir), selüloz (genellikle odundan elde edilir), protein (buğday gluteni, albümin) ve yağ gibi bitkisel hammaddelerden sentezlenmektedir. Bu hammaddeler içerisinde özellikle nişasta %80 pazar payı ile sektörde lider konumundadır [9].

Nişasta, selülozdan sonra doğada en çok bulunan doğal polimerdir. Doğada bozunabilir ve ucuz olması nedeni ile petrol türevli malzemelere alternatif oluşturmaktadır

[10]. Bu nedenle plastik sektörünün büyük ölçüde ilgisini çekmektedir. Ancak pratikte doğal nişasta herhangi özel bir uygulamaya uygun yapıda değildir. Nişastanın mikroyapısı oldukça komplekstir ve tek başına proses edilmesi mümkün değildir [11]. Saf nişastayı termoplastik bir malzeme haline getirebilmek için gliserin ve sorbitol gibi doğal plastikleştiriciler eklenmelidir [9]. Nişasta esaslı polimerler ile karışım hazırlanırken nişastanın özelliklerini iyileştirmek adına genellikle alifatik sentetik polimerler tercih edilir. Bu polimerlere örnek olarak polikaprolakton (PCL), polilaktik asit (PLA), poliglolik asit (PGA), polikaprolakton (PCL) verilebilir [11].

PCL (polikaprolakton), ham petrolden üretilen bir polimerdir. Suya, yağa, çözücülere ve kloro karşı dayanıklı termoplastik bir poliesterdir. PCL pek çok malzeme ile uyumlu olup, biyobozunurluklarını arttırmak için kullanılmaktadır [12,13]. PCL düşük erime noktası ve camsı geçiş sıcaklığına sahip olduğundan kristallik oranı yüksektir. Kristallik oranı, polimerlerde kararlılık, morfoloji, mukavemet, bariyer, geçirgenlik ve biyobozunma gibi parametreleri etkilemektedir. Özellikle yüksek kristallik oranı PCL'in biyobozunurluluğunu düşürmektedir. Kristallik oranının kontrolü amacı ile PCL'e inorganik ve organik katkı maddeleri ilave edilmektedir [3].

Laktik asitin polimerleşmesiyle oluşan polilaktik asit (PLA) çok yönlülüğü nedeniyle biyoplastik üretiminde, farklı uygulamalara uygunluğu ile örnek bir malzemedir. PLA'nın kararlılığı, film ve kapların şeffaflığı, termoplastik özellikler ve plastik işleyicilerinde zaten mevcut olan makinelerde kolay işlenebilme gibi avantajları vardır [9]. Polilaktik asitin termal ve mekanik özellikleri PS gibi birçok sentetik polimerlerin özelliklerine benzemesine rağmen pahalı bir malzeme olmasından dolayı kullanım alanı kısıtlıdır [14]. Ayrıca yumuşama noktası yaklaşık 60°C olduğu için, bu malzemedan üretilen sıcak içecek bardakları gibi ürün uygulamaları da sınırlıdır. PLA ve karışımları, granüller halinde temin edilebilir. Özellikle kısa ömürlü ambalaj filmleri ve kaplarda (örneğin içecek ve yoğurt kapları, meyve, sebze ve et tabakları gibi) önemli kullanıma potansiyeli vardır [9].

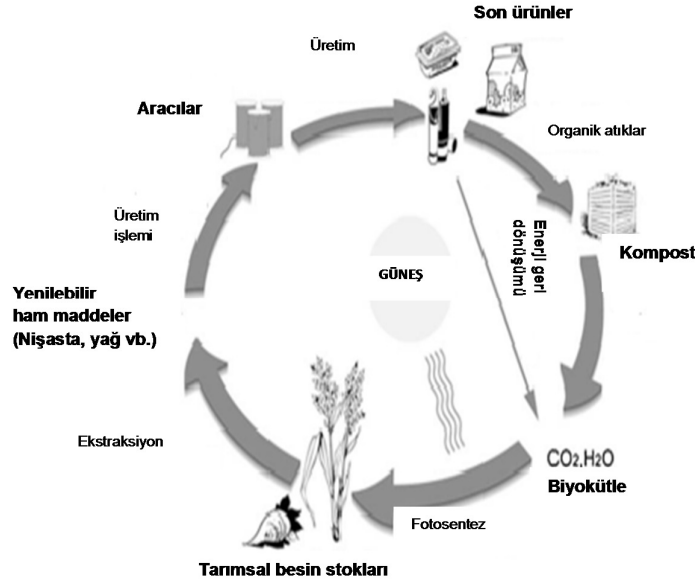
Selüloz tüm bitkilerin yapısında bulunan doğal ve ucuz bir materyal olmasına karşın hidrofilik özelliği, çözünebilirliğinin zayıf olması ve yüksek kristal yapısından dolayı ambalaj/paketleme uygulamalarında kullanımı zordur [15]. En bilineni selüloz asetat olup yaygın olarak pişmiş ve taze ürünlerin ambalajlanmasında kullanılır [9,15]. Nispeten zayıf nem ve gaz bariyeri özelliğine sahiptirler [15].

Biyoplastik veya biyopolimer üretiminde en çok kullanılan biyolojik kaynaklardan biri de bakterilerdir. Değişik besin ve çevre koşulları altında gelişen mikroorganizmalar, uygun olmayan üreme koşullarında canlılığını devam ettirebilmek için intraselüler depo materyali olarak granüller halinde PHA sentezlemektedirler [6]. Bakteriyel plastik veya biyoplastik de denilen ve petrokimyasal plastiklerin neden olduğu çevresel kirliliğe alternatif olarak ortaya çıkan poli-β-hidroksialkanatlar (PHA),

geleneksel plastik potansiyeline sahip olup bakterilerde, insandaki yağ veya bitkilerdeki nişasta gibi rol oynadığı bildirilmektedir. PHA'ların en yaygın ve geniş kapsamlı olarak çalışılan tipini ise poli-beta-hidroksibütirat (PHB) oluşturmaktadır [16]. PHB, erime noktası 130°C'nin üzerinde olup berrak filmler oluşturması ve çok iyi mekanik özelliklere sahip olması ile en ilginç biyoplastiklerden biridir [9]. PHB kalıp yapımı, sıkıştırılmış film ve bazı fibrillerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Yapılan paket filmleri mükemmel bir gaz bariyeri özelliği göstermektedir [16].

Biyobozunma

Biyobozunma, canlı organizmalar tarafından salgılanan enzimlerin varlığında karbon içeren kimyasal bileşikleri ayrıştıran bir süreçtir [17]. Biyoplastiklerin bozunması ile biyokütlenin yaşam çemberine benzer bir döngü sağlanarak fosil kaynakların, su ve CO₂ üretiminin korunması amaçlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil1. Yaşam döngüsü [12]

Biyobozunmanın hızı, sıcaklık (50-70°C), nem, mikroorganizma sayısına ve çeşidine bağlı olarak değişmektedir. Bozunmanın hızlı olması faktörlerin uygunluğuna bağlıdır. Genel olarak evde ya da süpermarketlerde meydana gelen kompostlamanın hızı çok düşük olmaktadır. Endüstriyel kompostlamada ise biyoplastiklerin biyokütleyle, CO₂ ve suya ayrışması yaklaşık 6-12 hafta sürmektedir [12].

AKTİF AMBALAJLAR

Aktif ambalajlama, tüketici ihtiyaçları ve tercihlerine yönelik gıda ambalajında ortaya atılmış bir buluş niteliğinde olup, ambalaj materyaline çeşitli aktif bileşenlerin katılmasıyla fonksiyonlarını geliştirmeyi, gıdanın kalitesini en iyi şekilde koruyarak raf ömrünü uzatmayı ve gıdanın güvenliğini sağlamayı amaçlamaktadır [18].

Bu yeni paketleme ambalajı sayesinde çok çeşitli fonksiyonlar sağlanabilmektedir. Bunlardan bazıları; antimikrobiyal ve antioksidant aktivite, istenmeyen koku ve aroma maddelerini paket içerisinden uzaklaştırma ve paket içerisindeki oksijen, nem ve etilen konsantrasyonlarının kontrolüdür [19]. Gıdaların oksijenden kaynaklanan kalite kayıplarını ve bozulmalarını önleyerek raf ömrünü uzatabilmek için, oksijen oranını %0.01'in altına (100 ppm) düşürebilen

uygulamalar kullanılmakta, bu bağlamda oksijen emici (tutucu) sistemlerden yararlanılmaktadır. Oksijen tutucular ticari olarak kesecik, film, etiket, kart ve şişe kapağı gibi çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Ayrıca demir tozu, askorbik asit, fülfitler, enzimler, doymamış yağ asitleri, glikol ve şeker alkoller, paladyum katalizörleri gibi maddelerden de yararlanılmaktadır [20].

Aktif paketleme uygulamalarından biri olan antimikrobiyal paketlemede besinlere bulaşan patojen mikroorganizmaların lag periyodu uzatılarak büyüme yavaşlatılmakta ya da canlı mikroorganizma sayısı azaltılarak mikrobiyal gelişme sınırlandırılmakta veya tamamen önlenmektedir. Antimikrobiyal fonksiyon, paketleme sistemine antimikrobiyal ajanların ilave edilmesi ile ya da geleneksel paketleme gerekliliklerine cevap verebilen antimikrobiyal polimerlerin kullanımı ile gerçekleştirilebilmektedir [21].

Mevsimsel meyve ve sebzelerin ithalat ve ihracatında önemli bir kriter olan olgunlaştırılmanın geciktirilmesi etilen toplayıcılar ile sağlanabilmektedir. Aktif ambalajlamada çok sık kullanılan bir yöntem olan etanol yayıcı sistemle özellikle unlu gıdalarda küf gelişimi yavaşlatılarak ürünün raf ömrü arttırılmaktadır. Su buharı salıcı poşetler sayesinde pişirmeye hazır meyve ve sebzelerin taze kalması sağlanmaktadır. Kükürt dioksit yayıcı ambalajlar ise özellikle üzümün

küflenmesini önlemek amaçlı kullanılan yöntemlerdendir [22].

AKILLI AMBALAJLAR

Akıllı paketleme teknolojisi ambalajlanmış gıdaların taşınması ve depolanması sırasındaki kalitesinin izlenilmesini sağlayan bir sistemdir. Bu sistem ile gıdalardaki mekaniksel, kimyasal, elektrokimyasal, enzimatik veya mikrobiyal değişimlerin görülmesi sağlanmaktadır [23]. Tüketicieye gıdanın şartları, durumu hakkında bilgi taşımak için dizayn edilmiştir. Akıllı ambalaj araçları, iç veya dış ambalaja eklenen ya da ambalaj materyali üzerine basılan etiket veya fişlerdir [5].

Akıllı etiketler, kullanıcılar için pek çok fayda sağlamaktadır; örneğin üreticiler için gıda kaynaklı güvenlik risklerini azaltırken perakendeciler için; taze ve kolay bozulabilir gıda satışlarını geliştirerek, sıcaklık kaynaklı bozulabilir gıda firesini azaltmaktadır. Tüketiciler için ise en taze ürünü seçme imkânı sağlamakta ve kendi soğuk zincirini denetlemesine izin vererek, gıda güvenliği konusundaki tereddütleri yok etmektedir [24,25]. Akıllı paketleme tekniklerinin birçoğunda sensörler ve indikatörler kullanılmaktadır [26].

Akıllı Ambalajlamada Kullanılan Sensörler

Gıda ambalajlanmasında kullanılan sensörler; ürünlerin tazeliğini, ürünlerde mikrobiyal bozulma olup olmadığını, oksidatif acılaşmayı ve sıcaklığa bağlı değişimleri göstermektedir [4]. Sensörlerin ölçümlerini gerçekleştirebilmeleri için kaynaktan sürekli olarak sinyal almaları gerekmektedir. Çoğu sensör temelde reseptör ve çevirgeçten oluşan iki birimden oluşmuştur. Reseptörler kaynaktan aldığı fiziksel ve kimyasal bilgiyi çevirgeç ölçümüne uygun enerjiye dönüştürmektedirler. Sensörler elektriksel, optiksel, termal ve kimyasal olarak sinyalleri algılamaktadırlar [27].

Ambalajlanmış gıdalarda meydana gelen biyolojik reaksiyonları belirleyen, kayıt eden ve ileten cihazlar biyosensörler olarak adlandırılır. Biyosensör; hücre, enzim ve antikor gibi bir biyolojik komponentten oluşur ve küçük bir dönüştürücüye bağlıdır. Biyosensörler, denenmek istenen maddeyi ölçmek ve tanımlamak için kullanılan hücre ve moleküllerdeki değişiklikleri tespit eder. Test edilecek materyalin çok düşük konsantrasyonlarında bile etkilidirler. Materyal biyolojik komponente bağlandığında, dönüştürücü materyalin miktarıyla orantılı şekilde bir sinyal üretir. Yani, bir yiyecekte bakteri konsantrasyonu fazla ise, biyosensör yiyeceğin güvenli olmadığı anlamına gelen güçlü bir sinyal üretir [28].

Biojenik aminler tespit etmek amacıyla birçok enzimatik biosensörler geliştirilmiştir Smolander ve ark. [29] kanatlı etlerindeki diaminleri (putresin, kadaverin ve spermidin) hidrojen peroksit elektrotlarıyla kombine edilmiş putresin oksidaz reaktörleriyle tespit etmişlerdir [26].

Ambalajın niteliği ve ambalajın çevresel şartlarına göre, gıdanın aktivitesinin veya paket kaçaklarının sonucu olarak ambalaj içinde değişen gaz bileşimi ise gaz sensörleri ile tespit edilmektedir [5]. Gaz sensörleri, analizi yapılan gazın varlığında sensörün fiziksel parametrelerini değiştirerek cevap veren ve harici bir aygıt tarafından izlenir cihazlardır [4].

Akıllı Ambalajlamada Kullanılan İndikatörler

Ambalajın içinde veya dışında bulunabilen indikatörler dış ortam koşulları ve tepe boşluğu gazları sayesinde gıdanın kalitesi hakkında bilgi vermektedirler. Gıdanın ambalaj içinde olduğu süre içinde sıcaklık, mikrobiyal bozulma, ambalaj bütünlüğü, fiziksel şok, orijinallik gibi özellikler için çeşitli indikatörler işlev yapmaktadır (Tablo 1). Kullanılan indikatörlerin bir kısmı gıda ile reaksiyona girerken bir kısmı ise herhangi bir reaksiyona girmeden bilgi verebilmektedirler [30].

Tablo 1. Akıllı Ambalajlamada Kullanılan İndikatör Örnekleri [31]

Tip	Prensip/ Belirteç	Verdiği Bilgi	Uygulama Alanı
Zaman-Sıcaklık İndikatörleri (ambalaj dışı)	Mekanik, Kimyasal, Enzimatik	Depolama ve nakliye koşulları	Soğutulmuş ve dondurulmuş gıdaların muhafazasında
O ₂ indikatörleri (ambalaj içi)	Redoks boyaları, pH boyaları, enzimler	Depolama koşulları ve ambalaj sızıntısı	Oksijen konsantrasyonu azaltılmış ambalajlardaki gıdaların muhafazasında
CO ₂ indikatörler (ambalaj içi)	Kimyasal	Depolama koşulları ve ambalaj sızıntısı	Modifiye ya da kontrollü atmosferde ambalajlanmış gıdalarda
Mikrobiyal gelişme ve tazelik indikatörleri	pH boyaları, belli metabolitlerle reaksiyon veren boyalar	Gıdanın mikrobiyal kalitesi (bozulma vb.)	Et, balık ve kanatlı hayvanların etleri gibi kolay bozulabilen gıdaların kalite kontrol takibinde
Patojen indikatörler (ambalaj içi)	Toksinlerle reaksiyon veren çeşitli kimyasal ve immünokimyasal metotlar	<i>E.coli</i> O 157 gibi spesifik patojenik bakteri varlığı takibi	Et, balık ve kanatlı hayvanların etleri gibi kolay bozulabilen gıdaların kalite kontrol takibinde

Zaman-Sıcaklık İndikatörleri (TTI)

Zaman-sıcaklık indikatörleri gıda güvenliğinin ve kalitesinin devamını sağlamak, dağıtım ve depolama sürecindeki sıcaklık değişimlerini izlemek için hazırlanan



Şekil 2. Zaman-sıcaklık indikatör etiket örneği (Dikdörtgenin rengi dairenin renginden açıksa uygun sıcaklık ve sürede depolanmıştır) [23]

Sıcaklık indikatörleri genellikle paket üzerinde etiketli olarak bulunmakla beraber mekaniksel, kimyasal, elektrokimyasal, enzimatik veya mikrobiyal değişikliklere bağlı olarak dağıtım sırasında uygulanan sıcaklığı indikatördeki renk değişiklikleriyle göstermektedir. Referans sıcaklıktan sapmaları ve tüm işlem boyunca sıcaklık değişimlerini göstermektedir [26].

Zaman-Sıcaklık indikatörleri bireysel olarak tek bir ambalaj üzerine eklenebildiği gibi bir parti üzerine sadece bir tane olmak üzere de kullanılabilir. Ticari zaman-sıcaklık indikatörleri çeşitli reaksiyon mekanizmaları (polimerizasyon, difüzyon, enzim reaksiyonları v.b.) üzerine kuruludur [30].

Diğer izleme sistemlerine göre TTI'in avantajları; düşük maliyet ve ambalaja etkin spesifik yerleştirme imkanı olarak belirtilmektedir. TTI tarafından sunulan başka bir imkân da, stok yönetiminde geleneksel "ilk giren ilk, son giren son çıkar" yerine "zamanında veya en kısa raf ömürlü ürünün sunulması" gibi yeni stratejilerdir [32].

etiketlerdir (Şekil 2) [4]. Özellikle balık, süt ürünleri, et, kanatlı eti, dondurulmuş meyve ve sebzeler, dondurulmuş etler gibi çabuk bozulabilen gıdalar için kullanılmaktadır [5].

Tazelik İndikatörleri

Tazelik indikatörlerinin başlıcaları pH değişimine duyarlı indikatörler, uçucu azot bileşiklerine duyarlı indikatörler, hidrojen sülfite duyarlı indikatörler, çeşitli mikrobiyal metabolitlere duyarlı indikatörler gibi sıralanabilir [4].

Gıdaların depolanması sırasında gerekli koşulların ihlali ve mikrobiyal bozulmalar neticesinde meydana gelen metabolitlerin (CO₂, SO₂, NH₃, aminler, H₂S, organik asitler, etanol, toksin veya enzim) ve değişen gaz konsantrasyonlarının tespiti esasına göre çalışan sistemlerdir [33,31]. İndikatörlerin çalışma prensibi; gıdaya bulaşmış durumda bulunan mikroorganizmaların ürettiği enzimlerin kromojenik substratlarının renk değişimine, gıda maddesinin içeriğindeki besin öğelerinin tüketim durumuna veya mikroorganizmaların belirlenmesine dayanmaktadır. Bu indikatörlerden bir tanesi tazelik etiketi olup, balıktaki uçucu aminlerle reaksiyona girerek renk değiştirmekte ve balık tazeliği hakkında bilgi vermektedir. Balıkta bayatlamının ilerlemesiyle oluşan uçucu aminler daha sonra bir fitilden geçerek etiketin rengini açık pembeye dönüştürmektedir [30].

Tablo 2. Çeşitli tazelik indikatörleri ve etki mekanizmaları [26]

Metabolik Ürün	İndikatör Metodu
CO ₂	Bromotimol bileşiğindeki renk değişimi
CO ₂ , SO ₂ , NH ₄	Ksilen mavisi, bromokresol mavi, kresol, fenol ftalein gibi indikatörlerin ambalaj malzemesinde renk değiştirmesi
CO ₂ , NH ₄ , aminler, H ₂ S	CO ₂ ,NH ₄ amine duyarlı boyalardaki ve H ₂ S'e bağlı olarak meydana gelen renk değişiklikleri
Asetik asit, laktik asit, asetaldehit, amonyak	pH boyalarında ve etiketlerinde renk değişiklikleri
<i>E.coli</i> O157 enterotoksin	Polidiasetilen bazlı polimerlerdeki renk değişiklikleri
Diasetil	Aromatik ortodiaminlerde optiksel değişiklikler
Mikrobiyal enzimler	Mikrobiyal enzimlerin kromojenik substratlarındaki renk değişiklikleri

Glukoz, organik asitler, etanol, uçucu azot bileşikleri, biyotik aminler, CO₂, ATP parçalanma ürünleri, kükürtlü bileşikler gibi metabolit artıkları bozulma etkeni olarak alınmaktadır. Shu vd. [34], balık ve etlerde depolama boyunca L laktik asit konsantrasyonunun azaldığını buna karşın D-laktatın arttığını belirtmişler ve D-laktatın tazelik indikatörü olarak kullanılabileneğini belirtmişlerdir [23].

Sızıntı İndikatörleri (Gaz Konsantrasyon İndikatörleri)

Bunlar modifiye atmosfer ambalajda kullanılan bazı gazların varlığını ya da yokluğunu gösteren sistem olup, ambalaj bütünlüğü ve sızıntıları hakkında bilgi vermektedir [31]. Sızıntı sonucu koruyucu atmosfer tahrip olmakta ve dış ortamdan içeriye mikroorganizma bulaşması gerçekleşmektedir. Bu nedenlerden dolayı mikrobiyal gelişim hızlanmakta ve ürün daha kısa sürede bozulmaktadır. Kullanılan sızıntı indikatörleri iki çeşittir. Bunlar; oksijen ve karbondioksit indikatörleridir

ve kimyasal veyahut enzimatik reaksiyon sonucu geri dönüşümsüz renk değişimi prensibine dayanmaktadır. Tipik oksijen indikatörleri; redoks boyası (metilen mavisi), indirgen maddeler (indirgen şeker), alkali bileşiklerden (sodyum hidroksit) oluşmaktadır [30]. İndikatörler; tablet, etiket, baskı şeklinde olabildiği gibi, polimer film kaplanarak da formüle edilebilmektedir.

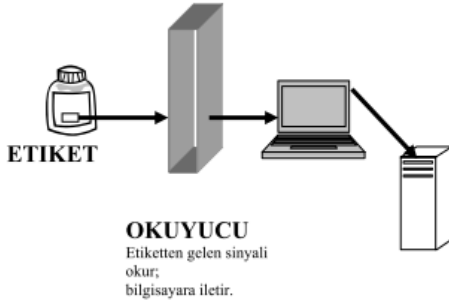
Bu amaçla yaygın olarak kullanılan ve ticarileştirilmiş oksijen gazı indikatörleridir. Bu indikatörün yerleştirildiği ambalaj içerisindeki oksijen gazı seviyesi %0.1'in altına düştüğünde indikatör etiketin rengi pembeye, %0.5'in üzerine çıktığında ise maviye dönüşmektedir [4].

Patojen İndikatörleri

Ürünlere sonradan bulaşmış ve yüksek hastalık riski taşıyan bazı patojen mikroorganizmaları tespit edebilen etiketleri kapsamaktadır [35]. Bunlar polietilen bazlı ambalaj materyalinden yapılmış olup, *Salmonella sp.*, *Campylobacter sp.*, *E. coli 0157* ve *Listeria sp.* gibi patojen mikroorganizmaları tespit amacıyla geliştirilmiştir. Burada immobilize antikorlar yardımı ile üründe bir kontaminasyon varsa ilgili antikorların bunlarla girdiği reaksiyonun bir sonucu olarak ambalajda anlaşılır bir görsel uyarı belirmektedir [35-37].

RFID - Radyo Frekanslı Tanıma Sistemleri

RFID, otomatik ürün tanıma ve ürün izlenebilirliği için bilgi taşıyan kablosuz bir sistemdir [5]. RFID sistemi (Şekil 3), antenli bir çipten yapılan etiket ve antenli bir okuyucudan oluşur. Ayrıca radyo dalgaları ile aktarılan verilerin analizi için oluşturulan bilgisayar yazılımı bu sistemin diğer önemli bir parçasıdır [4].



Şekil 3. RFID çalışma prensibi [31]

Kullandığı güç kaynağına bağlı olarak aktif ve pasif etiketler olarak ayrılırlar. Pasif etiketler; bataryaya sahip değildir, okuyucu tarafından aktive edilirler. Aktif etiketler ise kendi bataryasına sahiptir, kendi enerjisini kendi üretir ve okuyucuya sinyaller gönderir. Bunun yanında günümüzde hem batarya hem de okuyucudan gelen dalgaları kullanan yarı-pasif etiketler de mevcuttur [38].

Marketlerde RFID sisteminin kurulması ile bir üründen rafta kaç adet kaldığı, depoda ne kadar stok olduğu, ürünlerden hangilerinin raf ömrünü tamamlamak üzere olduğu, doğru sıcaklıkta muhafaza edilip, edilmediği gibi bilgilere otomatik olarak ulaşılabilir. Barkod okuma sistemlerinden farklı olarak, alışveriş sepetindeki

tüm ürünlerin tek tek okunmasına gerek kalmamakta, ürünler kasaya yaklaşınca sistem otomatik olarak hesaplamaktadır. Bu da hem zamandan, hem de iş gücünden kazanım sağlamaktadır [39].

NANOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR

Nanoteknoloji maddeler üzerinde 100 nanometre ölçeğinden küçük boyutlarda gerçekleştirilen işleme, ölçüm, tasarım, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalarla maddeye atom ve molekül seviyesinde gelişmiş veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırmayı hedefleyen bilim ve teknoloji alanıdır [2]. Nanoteknoloji özellikle uygulamalarda; yeni materyaller, nanomakineler ve nanoaraçlar yaratmak ve tasarlamak için bireysel atomları ve molekülleri kontrol etme olanağı sağlamaktadır. Günlük hayatımıza baktığımızda rastladığımız pek çok yeni ürün, örneğin dokunmatik ekranlar, güneş kremi, kozmetik ürünler, tenis raketleri, bisiklet, kumaş, bilgisayar hafızası, vb. aslında nano teknolojik ürünlerdir (6).

Nanoteknolojinin tarımdan gıda üretimine, besin takviyelerinden gıda ambalajlama sistemlerine kadar gıda endüstrisinin her alanında potansiyel kullanımı söz konusudur [41]. Gıda ambalajlama uygulamaları, nanoteknolojinin hızlı bir şekilde büyüyen alanı olmaya devam etmektedir. Nanoteknoloji gıda ambalajı için aşağıda açıklanan 3 farklı kategoride kullanılmaktadır [42].

Nanokompozit Ambalaj Malzemeleri

Nanokompozit ambalajların gıda paketlemede kullanımı 1990'lı yıllarda başlamıştır [43]. Geliştirilen ambalaj malzemeleri polimer bir matris ve bu matrise gömülü dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Bu dolgu maddeleri nanoboyutta bir metal-metal oksit, nanotüpler, nanolifler veya nanokiller olabilmektedir [44].

Plastik veya film içinde disperse edilen nano parçacıklar oksijen, karbondioksit ve nemin gıdaya geçmesini önleyecek önemli bir bariyer oluştururlar. Bu amaçla kullanılan nanokiller aynı zamanda malzemenin hafif, yırtılmaz ve yüksek ısı dirençli olmasını sağlar. Örneğin nano boyuttaki çok az miktardaki kil parçacıklarının yüzeyi polimer ile sarıldığı zaman oksijen ve neme karşı kuvvetli bariyer özellik, yüksek ısı direnç özelliğine sahip olur. Bu teknoloji, hafif, koku, oksijen ve su buharı geçirgenliği düşük, uzun süre tazeliğin korunduğu gıda ambalajlarının geliştirilmesini sağlamaktadır[42].

Nanobileşen olarak tercih edilen montmorillonit kil (MMT) içerikli polietilen, naylon, polivinil klorür ve nişasta gibi pek çok polimer [43], gıda ambalajlamada geliştirilmiş malzeme olarak piyasaya çıkan ilk polimer nanomalzemelerin arasındadır. Bir Amerikan firması da, gıda raf ömrünü uzatmak ve şişelerin gaz geçirgenlik özelliklerini geliştirmek amacıyla montmorillonit kullanarak, 11 hafta kadar bir süre kalabilen bira, vb ürünlerin nanokompozit yapılı plastik şişelerde raf ömrünün 30 haftaya kadar ulaşabilmesini sağlamıştır [45].

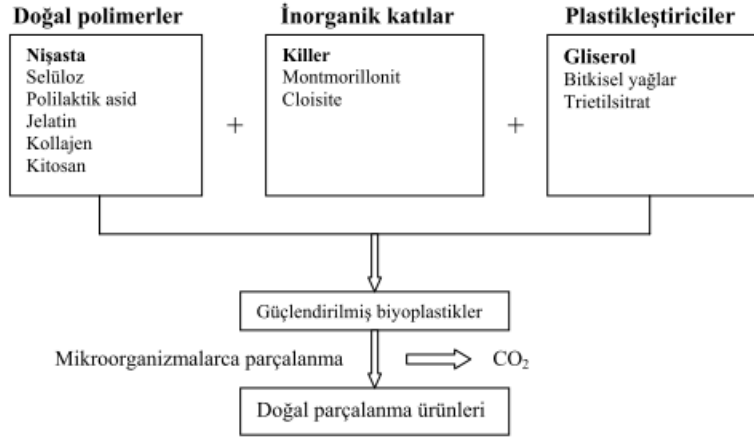
Nanokompozit uygulamaları film, kaplama, plastik şişe ve kap şeklinde olabilmektedir [2]. Nanokompozit filmlerin gıda ürünlerindeki uygulamaları ise daha çok aktif/akıllı paketleme (antimikrobiyal filmler) ve yenilebilir film/kaplama teknolojisiyle kombine halde olmaktadır [46].

Biyobozunur Nanokompozit Ambalajlar

Nano parçacıkların biyobozunur polimerlerle modifiye edilerek güçlendirilmesiyle tamamen farklı özelliklerde yeni malzemeler geliştirilmekte ve bazı materyallerin olumsuz özellikleri iyileştirilebilmektedir [47]. Ayrıca nanoteknolojinin bu polimerlere uygulanması düşük fiyat etkinliği için de önem taşımaktadır. Biyo nanokompozitler mekaniksel, termal ve gaz bariyeri özelliklerini geliştiren nanoyapılı materyallerdir. Biyobozunur polimerler zayıf mekaniksel ve termal

özellikler gösterdiğinden dolayı önce bu özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. [48].

Bir ambalajlama materyalinin biyobozunurluğu biyopolimer matriksi içerisine kil gibi inorganik partiküllerin ilavesiyle geliştirilebilmekte ve tabakalı silikatların modifikasyonunda kullanılan sürfektanlar ile de kontrol edilebilmektedir (Şekil 4). Biyobozunur filmlerin özelliklerini geliştirmek için diğer bir yaklaşım özellikle tabakalı silikatları içeren hibrid organik-inorganik sistemleri kullanmaktır. Tabakalı silikatlar gibi polimerik bir matriks içerisine gömülen hibrid kompozitleri filmin stabilitesini geliştirmektedir. Bu kompozitler biyobozunurluk özelliğini de, filmlerin kullanım olanaklarını oldukça genişleten kullanılan solvent miktarının değiştirilmesiyle mükemmel şekilde ayarlamaktadırlar [46].



Şekil 4. Biyananokompozitlerin oluşumu [46]

Biyo bazlı nanokompozit filmlerin bariyer özelliklerinin, özellikle de mekaniksel özelliklerinin yenilebilir filmlerden ve sentetik polimerik filmlerden daha güçlü olduğu tespit edilmiştir. Biyobazlı nanokompozitler solunum döngüsünü kontrol ederek, meyve ve sebze gibi taze ürünlerin raf ömrünü uzatmak için kullanılabilir. Nem kaybını yavaşlatarak, lipid oksidasyonu ve rengin solmasını azaltarak, ürün görünüşünü geliştirerek ve kızartma sırasında kaplama ve paneleme nedeniyle olan yağ alımını azaltarak, taze, dondurulmuş, işlenmiş et, tavuk ve su ürünlerinin kalitesini de geliştirebilir [49].

Biyo nanokompozitlerin gıda ambalajlamada kullanılması sadece gıdayı koruyup raf ömrünü uzatmaz; aynı zamanda plastiklerin ambalaj materyali olarak kullanımını azalttığı için daha çevre dostu bir solüsyon oluşturmaktadır [46].

Aktif Özellikte ve Akıllı Nanoambalajlar

Gıdaların bozulma durumlarını belirlemek için ambalaj sistemlerinde nanosensör uygulamalarının olduğu belirtilmiştir [50]. Gıda patojenleri ile temas ettiğinde farklı renkte floresans veren nanoparçacıkları taşıyan nanosensörlerle, gıda bozulmalarının tespit dlebileceği belirtilmiştir. "Elektronik dil" olarak adlandırılan sensör,

gıdaların bozulması sonucu oluşan gazlara karşı hassas bir dizi nanosensörden oluşmaktadır ve gıdaların taze olup olmadığını bir renk skalasına göre belirtmektedir. Bu amaçla genelde nano boyutlandırılmış metal oksit içeren yarı iletken sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde havada iletkenliği düşükken, karbondioksit gibi gazlarla iletkenlikte artış olmaktadır. Sensörün elektrik direnci ölçülmektedir [51].

Gıda endüstrisinde başlıca problem, etkili bir paketleme materyalinin belirlenememesi ve geliştirilememesidir. Nanoteknolojik yöntemlerle dizayn edilen akıllı paketleme materyalleri ile yiyeceklerin tazeliği ve kalitesinin devamlılığı sağlanabilir. Bu teknolojiyi kullanan Bayer [52], daha az hava geçiren, yiyecekleri eskisinden daha uzun süre ve daha taze tutacak plastik ambalaj geliştirmiştir [28].

Bazı nano metal veya metal oksitlerin polimerlere entegre edilmesiyle oluşan nanokompozit malzemeler antimikrobiyal özellik göstermektedir. Nanopartiküllerin antimikrobiyal özelliklerinden faydalanılmaktadır. Bu malzemeler gıdalarda mikroorganizma gelişimini yavaşlatarak, raf ömrünün uzun olmasını sağlamaktadırlar [2].

SONUÇ

Tercih edilen gıda ambalajları gerek insan sağlığının gerekse çevrenin korunmasında önemli bir yere sahiptir. Gıda ambalajı olarak sıklıkla kullanılan plastiklerin neden olduğu çevresel kirliliğin artışıyla birlikte insanlar yenilebilir kaynaklardan ambalaj üretimine yönelmiş ve çevre dostu malzemeler geliştirmişlerdir. Doğada bozunabilen bu ambalajlar sayesinde plastiklerin neden olduğu çevre kirliliğinin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca artan tüketici bilinci ile birlikte insanlar kendileri için en besleyici ve en taze gıdayı tüketmek istemektedirler. Bu bağlamda uygulanan aktif/akıllı paketleme, nanoteknoloji gibi yenilikçi sistemlerle gıdanın korunabilmesinde önemli bir etken olan gıda ambalajlarının fonksiyonları artırılmış, tüketicinin ambalaj içerisindeki gıdanın durumu ile ilgili bilgi sahibi olabilmesine imkan tanınmıştır. Ayrıca ambalajlara ilave edilen bazı özellikler ile gıdanın raf ömrünün uzatılarak gıdanın daha uzun süre taze kalması sağlanmıştır. Tüm bu faktörler düşünüldüğünde ambalajlamanın önemi anlaşılmakta ve her geçen gün gelişen teknolojiye paralel olarak gıda ambalajlarının özelliklerinin de artırılması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Şahin, O.I., Bayazit, A.A., 2008. Nanokompozit filmlerin gıda sanayi uygulamaları. *Türkiye 10. Gıda Kongresi*, 21-23 Mayıs, Erzurum.
- [2] Sürengil, G., Kılınç, B., 2011. Gıda ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi. *Journal of Fisheries Sciences* 5(4): 317-325.
- [3] Alp, B., Ş. Demir, S. Mayda, S. Cesur, 2010. Polikaprolakton Temelli Biyobozunur Ambalaj Üretimi, UKMK-9, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 22-25 Haziran, Ankara.
- [4] Kokangül, G., Fenercioğlu, H., 2012. Gıda endüstrisinde akıllı ambalaj kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 7(2): 31-43.
- [5] Kocaman, N., Sarımehtemoğlu, B., 2010. Gıdalarda akıllı ambalaj kullanımı. *Veteriner Hekim Derneği Dergisi* 81(2): 67-72.
- [6] Özdemir, N., Erkmek, J., 2013. Yenilebilir biyoplastik üretiminde alglerin kullanımı. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 38(8): 89-104.
- [7] Siracusa, V., Rocculi, P., Romani S., Rosa M.D., 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology* 19: 634-643.
- [8] Doğaroğlu, Z.G., Arıkan E.B., 2014. Kompostlanabilir Biyoplastiğin buğday bitkisindeki tohum çimlenmesine, klorofil içeriğine ve antioksidatif enzimlere etkisi. *Akademik Platform* 831-837.
- [9] Arıkan, A., 2009. Biyoplastikler. *Ambalaj Bülteni Ocak/Şubat*: 26-32.
- [10] Xie F., Yu L., Hongshen L., Chen L., 2006. Starch Modification Using Reactive Extrusion. In: *Starch*. Melbourne, Australia, 131-139 p.
- [11] Çelebi, H., Dehmen, S., 2013. Nişasta ve polikaprolakton esaslı biyobozunur nanokompozitlerin hazırlanması ve karakterizasyonu. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 31: 53-62.
- [12] Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Dalla, R.M., 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science and Technology* 19(12): 634-643.
- [13] Zhu, G., Xub, Q., Qina, R., Yana, H., Lianga, G., 2005. Effect of γ -radiation on crystallization of polycaprolactone. *Radiation Physics and Chemistry* 74(1): 42-50.
- [14] Atik, İ.D., Başalp, D., Tıhınlioğlu, F., 2006. Biyobozunur polilaktik asit (PLA) bazlı filmlerin su buharı geçirgenlik ve mekanik özelliklerine nişastanın etkisi. *Yedinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, 5-8 Eylül, Eskişehir.
- [15] Liu, L., 2006. Bioplastics in Food Packaging: Innovative Technologies for Biodegradable Packaging, *San Jose State University*, February, 1-13 p.
- [16] Yılmaz, B., Beyatlı, Y., 2003. Biyoplastik: Poli- β -Hidroksibütirat (PHB). *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi* 1(9): 1-33.
- [17] Mahalik, N.P., Nambiar, A.N., 2010. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology, *Trends in Food Science & Technology* 21(3): 117-128.
- [18] Ova, G., Kaftan, A., 2011. Antimikrobiyal ambalajlama. <http://www.dunyagida.com.tr/haber.php?nid=38>. Erişim tarihi: 12 Nisan 2015.
- [19] Gemili, S., Altınkaya, S.A., Yemenicioğlu A., 2006. Gıda paketleme uygulamaları için antimikrobiyal enzim ilave edilmiş polimerik filmlerin hazırlanması ve karakterize edilmesi. *Yedinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, 5-8 Eylül, Eskişehir.
- [20] Anonymous, 2015. <http://www.plastik-ambalaj.com/en/plastic-packaging-article/887-aktif-ambalajlama-teknolojisi-ve-akll-ambalajlar>. Erişim tarihi: 12 Nisan 2015.
- [21] Kaba, N., Duyar H.A., 2008. Antimikrobiyal paketleme. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi* 25(2): 181-185.
- [22] Danielli, D., Gontard, D., Spyropoulos, D., Beuken, E.Z., Tobback, P., 2008. Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science & Technology* 19: 103-112 p.
- [23] Gök, V., Batu, A., Telli, R., 2006. Akıllı paketleme teknolojisi. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu.
- [24] Schilthuisen, S.F., 1999. Communication with your packaging: possibilities for intelligent functions and identification methods in packaging. *Packaging Technology and Science* 12: 225-228.
- [25] Anonymous, 2010. <http://www.sedef.com/akillietiket.html>. Erişim tarihi: 12 Nisan 2015.
- [26] Gök, V., 2007. Gıda paketleme sanayinde akıllı paketleme teknolojisi. *Gıda Teknolojileri Dergisi* 1: 45-58.
- [27] Kress-Rogers, E., 2001. Instrumentation for food quality assurance. In *Instrumentation and Sensors for the Food Industry*, Edited by E. Kress-Rogers and C.J.B. Brimelow, 2nd ed., Cambridge, UK, p.581-669.

- [28] Erol- Demirbilek, M., 2015. Tarımda ve gıdada nanoteknoloji. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi* 15: 46-53.
- [29] Smolander, M., Hurme, E., Latva-Kala, K., Luoma, T., Alakomi, H.L. and Ahvenainen, R. 2002. Myoglobin-based indicators for the evaluation of freshness of unmarinated broiler cuts. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 3: 279-288.
- [30] Purma, Ç., Serdaroğlu M., 2006 Akıllı ambalajlama sistemlerinin gıda sanayinde kullanımı. *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu.
- [31] Özçandır, S., Yetim, H., 2010. Akıllı ambalajlama teknolojisi ve gıdalarda izlenebilirlik. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 5(1): 1-11.
- [32] Riva, M., Piervivanti, L., Schiraldi, A., 2001. Performances of time temperature indicators in the study of temperature exposure of packaged fresh foods. *Packaging Technology and Science* 14(1): 1-9.
- [33] Kruijff, N.D., Beesty M.V., Rijky, R., Sipiläinen-Malm, T., Losada, P.P., Meulenaer, B.D., 2002. Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. *Food Additives and Contaminants* 19(1): 144-162.
- [34] Shu, H.C., Hakanson, H., Mattiasson, B., 1993. D-lactic acid in pork as a freshness indicator monitored by immobilized D-lactate dehydrogenase using sequential injection analysis. *Analytica Chimica Acta* 283: 727-737.
- [35] Smolander, M., 2003, The use of freshness indicators in packaging. In *Novel Food Packaging Techniques*, Edited by Ahvenainen, R., Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 127-143.
- [36] Han, Y.H., Ho, C.H.L., Rodrigues, E.T., 2005. Intelligent packaging. In *Innovations in Food Packaging*. Edited by Han, J.H., Elsevier Academic Press, London, pp. 138-153.
- [37] Kerry, J.P., Hogan, S.A., O'Grady M.N., 2006. Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: a review. *Meat Science* 74: 113-130.
- [38] Angeles, R., 2005. RFID technologies: supply-chain applications and implementation issues. *Information Systems Management* 22(1): 51-65.
- [39] Kavas, A., 2007. Radyo frekans tanımlama sistemleri. *Elektrik Mühendisliği* 430: 74-80.
- [40] Kelepouris, T., Pramatarı, K., Doukidis, G., 2007. RFID-enabled traceability in the food supply chain. *Industrial Management & Data Systems* 107(2): 183-200.
- [41] Yılmaz, F., Altay, F., 2014. Gıda ambalajlarında nanoteknolojik uygulamalar ve faz eğişim materyalleri. *Gıda* 39(6): 371-378.
- [42] Ayyıldız, S.S., 2015 Ambalaj ve nanoteknoloji. <http://www.dunyagida.com.tr/haber.php?nid=1270>. Erişim tarihi: 12 Nisan.
- [43] Brody, A.L., Bugusu, B., Han, J.H., Sand, C.K., Mchugh, T.H., 2008. Innovative food packaging solutions. *Journal of Food Science* 73(8): 107-116.
- [44] Anonymus, 2011. <http://www.isobelgesizmir.com/Gıda-Ambalajları-ve-Nanoteknoloji-52-t.html>. Erişim Tarihi: 12 Nisan 2015.
- [45] Var, I., Sağlam, S., 2015. Gıda endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları. *Gıda* 40 (2): 101-108.
- [46] Dursun, S., Erkan, N., Yeşiltaş, M., 2010. Doğal biyopolimer bazlı nanokompozit filmler ve su ürünlerindeki uygulamaları. *Journal of Fisheries Sciences* 4(1): 50-77.
- [47] Wang, S. F., Shen L., Tong Y, J., Chen, L., Phang, I.Y., Lim, P.Q., 2005. Biopolymer chitosan/montmorillonite nanocomposites, preparation and characterization. *Polymer Degradation and Stability* 90.123-131.
- [48] Çabuk, M., Yavuz, M., Hlavac, J., 2011. Biyobozunur ve anti-kanserojen kitosan/benzaldehit modifikasyonu ve nanokompozitin hazırlanması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 27(3): 247-251.
- [49] Akbari, Z., Ghomashchi, T., Moghadam, S., 2007. Improvement in food packaging industry with biobased nanocomposites. *International Journal of Food Engineering* 3(4): 1-24.
- [50] Doyle, M.E., 2006. Nanotechnology: a brief literature review. *Food Research Institute Briefings* http://fri.wisc.edu/briefs/FRIBrief_Nanotech_Lit_Rev.pdf. Erişim Tarihi: 12 Nisan 2015
- [51] Sozer, N., Kokini, J.L., 2009. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology* 27(2): 82-89.
- [52] Anonymous, 2010. Science for a better life. <http://www.research.bayer.com>. Erişim Tarihi: 05 Nisan 2015.