

Derleme

Gıda Paketleme Sanayinde Akıllı Paketleme Teknolojisi

Veli GÖK

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü, 03200, Afyonkarahisar

ÖZET

Akıllı paketleme teknolojisi ambalajlanmış gıdaların taşınması ve depolanması sırasındaki kalitesi izlenmesini sağlayan bir sistemdir. Akıllı paketleme teknolojisinde sensörler ve indikatörler (sızıntı indikatörleri, tazelik indikatör, zaman-sıcaklık indikatörleri) gıda ürünlerinde potansiyel olarak kullanılmaktadır. Tazelik indikatörleri gıdalarda mikrobiyal üreme ve kimyasal değişme sonucu ürünün kalite durumu hakkında bilgi vermektedir. Zaman-sıcaklık indikatörleri dağıtım ve depolama sırasında sıcaklık değişimlerini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Akıllı paketleme, gıda ambalajlanması, sensörler, sıcaklık-zaman indikatörleri, tazelik indikatörleri

1. Giriş

Ambalaj, gıdayı dış etkilere koruyan ve içine konan ürünü bir arada tutarak taşınmasını ve pazarlanmasını sağlayan bir kılıf olarak tarif edilmektedir [1]. Teknik olarak tanımlandığında ise ambalaj, ürünün kalite karakteristikleri başta olmak üzere depolama ve taşıma özelliklerini de dikkate alınarak, en uygun malzemenin seçilmesi ve belirli bir şekil verilmesi yoluyla en uygun ve tüketici ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde paketlenmesi işlemidir [2].



Şekil 1. Gıda sanayinde ambalaj çeşitleri

Son yıllarda kullanımı gittikçe artan akıllı paketleme teknikleri ambalajlanmış gıdaların taşınması ve depolanması sırasında maruz kaldığı koşulları gösteren sistemlerdir [3] (şekil 2). Akıllı paketleme sistemleri özellikle dağıtım ve depolama sırasında gıdanın kalite özelliklerinin korunmasında ve gıda

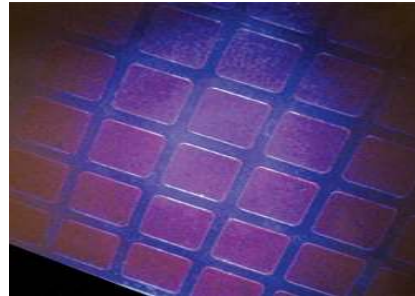
güvenliğinin sağlanmasında ambalaj içi ve dışı indikatörü olarak kullanılmaktadır. Sistem depolama sırasında sıcaklık değişimlerini, O₂ ve CO₂ içeriğini ve ürünün tazeliğini göstermektedir [4].



Şekil 2. Et ve et ürünlerinde Modifiye atmosferde paketleme teknolojisinin kullanılması

2. Akıllı paketleme teknikleri

Akıllı paketleme tekniklerinin birçoğunda sensörler ve indikatörler kullanılmaktadır. Ortam gaz kompozisyonunu değiştirerek gıdaların raf ömrünü ve kalitesi geliştirmeyi amaçlayan Modifiye Atmosferde Paketleme (MAP) sistemlerinde, oksijen ve karbondioksit gazlarının miktarı sistemin sürekliliği açısından önemli rol oynamaktadır [5]. Söz konusu gazların izlenmesinde birçok yöntem kullanılmakla beraber bu metotlar pahalı ve uzun sürdüğü için bazı kısıtlamalar söz konusudur [6]. Son yıllarda sözü edilen gaz oranların izlenmesinde optik sensörlerin kullanımı artmıştır. Sensörlerin ölçümlerini gerçekleştirebilmeleri için kaynaktan sürekli olarak sinyal almaları gerekmektedir. Çoğu sensör temelde reseptör ve transducer (evirge)den oluşan iki birimden oluşmuştur (Şekil 3). Reseptörler kaynaktan aldığı fiziksel ve kimyasal bilgiyi transducer ölçümüne uygun enerjiye dönüştürmektedirler [7].

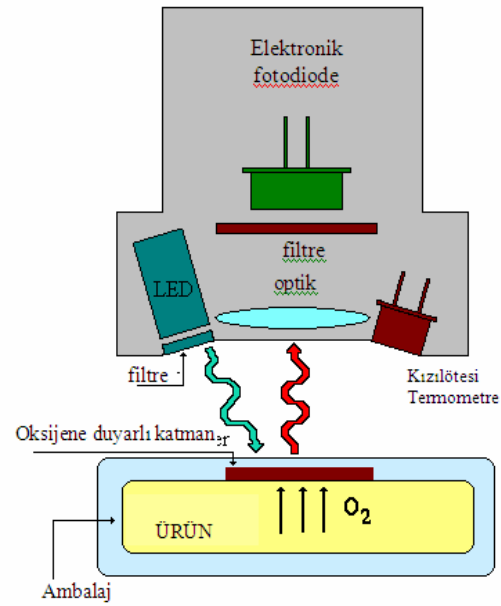
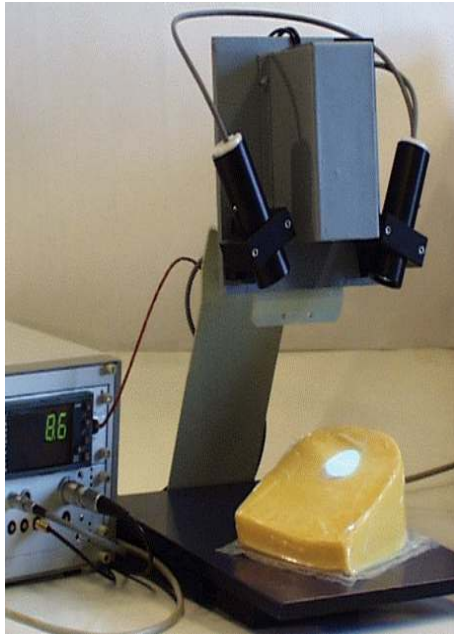


Şekil 3. Gıda ambalajlanmasında kullanılan sensörler [7]

Gıda ambalajlanmasında kullanılan sensörler diğer sensör uygulamalarından kısmen de olsa farklılık göstermektedir. Gıda ambalajlanmasında kullanılan sensörler ürünlerin tazeliğini, ürünlerde mikrobiyal bozulma olup olmadığını, oksidatif acılaşmayı ve sıcaklığa bağlı değişmeleri göstermektedir [8]. Kimyasal sensör ve biosensör teknolojileri gıda paketleme uygulamalarında kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır. Sensörler elektriksel, optiksel, termal ve kimyasal olarak sinyalleri algılamaktadırlar [7].

2.1. Gaz sensörleri

Gaz sensörleri ambalaj malzemesinin içindeki ve/veya gıda deposundaki ortamın gaz niceliği gösteren araçlardır. Sensörler amperometrik oksijen sensörleri, potansiyometrik karbondioksit sensörleri, polimer bazlı sensörler ve piezoelektrik kristal sensörleri gibi çeşitli sistemlerden oluşmuştur [7]. Elektrokimyasal oksijen sensörleri gibi geleneksel yöntemlerdeki bazı kısıtlamalardan dolayı [9] optik oksijen sensörleri kullanılmaya başlanmıştır [10;11;12]. Sözü edilen sensörler genellikle katı fazdaki materyaller oluşmakla beraber, ışığı absorbe etme veya yansıtma özelliklerinden hareketle üretilmişlerdir [7]. Optokimyasal sensörler, gıdaların mikrobiyal kontaminasyon veya diğer etkilerden dolayı oluşan bozulma sonucu açığa çıkan hidrojen sülfid, karbondioksit veya aminler gibi bileşikler algılayarak kalite kontrol yapmakla kullanılmaktadırlar [12].



Şekil 4. Optik oksijen sensörleri [13]

Optokimyasal sensörler, pH değişimlerine duyarlı flüoresans bazlı sistemler ve renk değişimlerine duyarlı absorpsiyon bazlı sistemler ve fluorometrik bazlı olmak üzere üç kategoride incelenmektedir [14; 15].

Bu sistemlerden flüoresans temelli sensörler gıda paketlerinin üst boşluklarında toplanan gazların ölçümü esasına dayanmaktadır [14]. Reiniger ve ark. [16], oksijenle floresans veren boyaları belirleyerek söz konusu sistemi gıda ambalajlamasına uygulamışlardır. Floresans temelli oksijen sensörlerinde, floresan veya fosforan boyalar polimer matrislerine girmektedirler [7]. Gıda ambalajında bulunan oksijen söz konusu polimere difüzyonla nüfuz ederek ambalajın ışıldamasını sağlamaktadır. Ortamdaki oksijen miktarı ışıldama parametrelerin ölçülmesiyle saptanmaktadır. Floresan sensörlerinde ruthenium, fosforan palladium (II)- ve platinyum (II)-forfirin kompleksleri kullanılmaktadır [10]. Özellikle uzun emisyon ömrüne sahip platinyum (II)-forfirin boyaları polistren polimer matrislerine olumlu şekilde kombine edilmektedirler [17].



Şekil 5. Ticari oksijen sensörleri [18]

Oksijen sensörleri özellikle vakum ambalajlama ve MAP uygulamalarında ortamdaki olası oksijen varlığını tespit etmek için kullanılmaktadırlar [18]. Smiddy ve ark. [19] vakum ambalajlanmış ve MAP uygulanmış pişmiş kanatlı etlerindeki kalıntı oksijenin lipid oksidasyonu üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında oksijen sensörlerini kullanmışlardır.

Çizelge 1. Akıllı Paketleme Teknolojisi metotları ve kullanım alanları [26, 27].

İndikatör	Metot	Kullanım amacı	Uygulama alanı
Zaman Sıcaklık indikatörü	- Mekaniksel, Kimyasal, enzimatik	Depolama koşullarını saptamak	Soğuk ve dondurulmuş koşullarda saklanan gıdalar
O ₂ indikatörü	Redoks boyaları, pH boyaları,	Depolama koşullarını saptamak	Vakumlu paketleme yapılan gıdalar
CO ₂ indikatörü	Kimyasal	Paket sızıntısı olup olmadığı	Modifiye veya kontrollü atmosferde paketlenen gıdalar
Mikrobiyal üreme indikatörü	pH boyaları, mikrobiyal metabolit boyaları	Gıdaların mikrobiyal kaliteleri	Et, balık ve tavuk gibi çabuk bozulan gıdalar
Patojen indikatörü	Çeşitli kimyasal ve immünokimyasal metotlar	<i>Escherichia coli</i> <i>O 157</i> gibi spesifik patojenler	Et, balık ve tavuk gibi çabuk bozulan gıdalar
Renk İndikatörü	Mekaniksel, Kimyasal, enzimatik	Ambalaj içindeki gıdanın sıcaklığı hakkında bilgi	Mikrodalga fırında hazırlanan gıdalar

2.2. Biosensörler

Gıdaların tazeliğini belirlemede uygulanan sistemlerden biri olan biosensörler kompakt analitik aygıtlardır. Bu aygıtlar gıda ambalajlarındaki biyolojik reaksiyonları belirleyen, kayıt eden ve ileten cihazlardır [20]. Bu aygıtlar hedef parametreyi algılayan bioreseptör ve biyolojik sinyalleri ölçülebilir elektrik iletiye döndüren transducerden oluşmaktadır. Bioreseptörler enzimler, antijenler, hormonlar ve nükleik asit gibi organik materyallerdir. Transducer ise elektrokimyasal, optiksel veya kalorimetrik sistemlerden oluşmaktadır. Ticari olarak kullanılan Toxinguard™ antibodi kombinasyonlu polietilen plastik ambalajlar *Salmonella sp.*, *Campylobacter sp.*, *Escherichia coli 0157* ve *Listeria sp.* mikroorganizmalarını belirlemek amacıyla geliştirilmiştir [21].

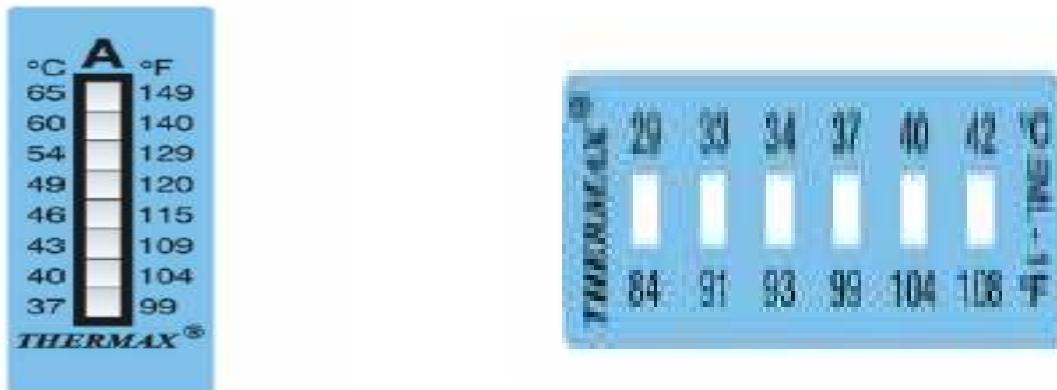
Biojenik aminler tespit etmek amacıyla birçok enzimatik biosensörler geliştirilmiştir Smolander ve ark. [22] kanatlı etlerindeki diaminleri (putresin, kadaverin ve spermidin) hidrojen peroksit elektrotlarıyla kombine edilmiş putresin oksidaz reaktörleriyle tespit etmişlerdir. Niculescu ve ark. [23] balıklardaki biojenik aminleri tespit amacıyla amperometrik biyenzim (bezelye amin oksidaz, bayırturpu peroksidaz enzimleri) elektrodunu geliştirmişlerdir. Yano ve ark. [24] ise etlerin kalite kontrolü için tiramin oksidaz temelli biosensör geliştirmişlerdir.

3. İndikatörler.

Akıllı paketleme sistemlerinde indikatörler dış ortam koşulları ve gıda ambalaj malzemesinin tepe boşluğu gazları sayesinde ürünün kalite durumu hakkında bilgi vermektedirler. Ürünün ambalaj içinde bulunduğu sürede sıcaklık, mikrobiyal bozulma, ambalaj bütünlüğü, fiziksel şok, tazelik durumları gibi özellikler için çeşitli indikatörler işlev yapmaktadırlar [25]

3.1 Zaman-Sıcaklık indikatörleri

Zaman-sıcaklık indikatörleri dağıtım ve depolama sırasında sıcaklık değişimlerini göstermektedir [27]. Sıcaklık indikatörleri genellikle paket üzerinde etiketli olarak bulunmakla beraber mekaniksel, kimyasal, elektrokimyasal, enzimatik veya mikrobiyel değişikliklere bağlı olarak dağıtım sırasında uygulanan sıcaklığı indikatördeki renk değişiklikleriyle göstermektedir. Referans sıcaklıktan sapmaları ve tüm işlem boyunca sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Uygulamada bir çok zaman-sıcaklık indikatörleri üretilmiş ve patent altına alınmıştır [26](Şekil 6).



Şekil 6. Çeşitli sıcaklık indikatörleri [26]

Zaman-sıcaklık indikatörleri kritik sıcaklıktan sapmayı belirlemekle beraber bazı tipleri depolama boyunca ki tüm sıcaklık değişimlerini de göstermektedir. Kritik sıcaklıktan sapmaları gösteren indikatörler ürünün güvenliğini tehlikeye sokacak sıcaklık noktalarını gösteren belirteçlerdir [26]. Örneğin dondurulmuş gıdalardaki çözünmeler sonucu üründe yapısal değişimler olmakta ve aynı

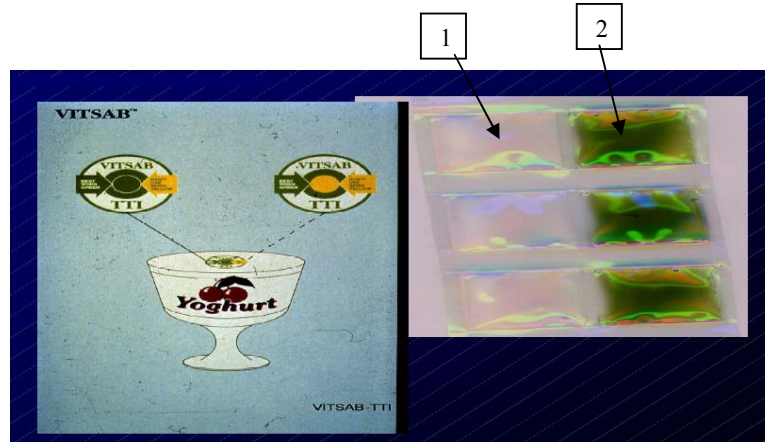
zamanda patojen mikroorganizmaların gelişmesi de mümkün olabilmektedir. Bu gibi durumlarda kritik sıcaklık indikatörleri gıda güvenliği açısından önemli rol almaktadırlar [28].

Zaman-sıcaklık indikatör çeşitleri difüzyon, enzimatik ve polimer bazlı sistemlerdir. Difüzyon bazlı indikatörlerden olan 3 M Monitor Mark[®] ticari anlamda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sözü edilen indikatör farklı erime sıcaklığına sahip kimyasalların bir kurutma kağıdından yapılmış fitile difüzyonu baz alınarak geliştirilmiştir [26]. Sıcaklık ve süre optimizasyonu indikatör kullanılan ester boyanın tipi ve konsantrasyonuna bağlı olarak ayarlanmaktadır. 10°C'nin altında saklanan gıdalarda kullanılan bu etiket sıcaklık değişimlerinde renk dönüşümü geçirerek sıcaklık oynamalarını göstermektedir [29].



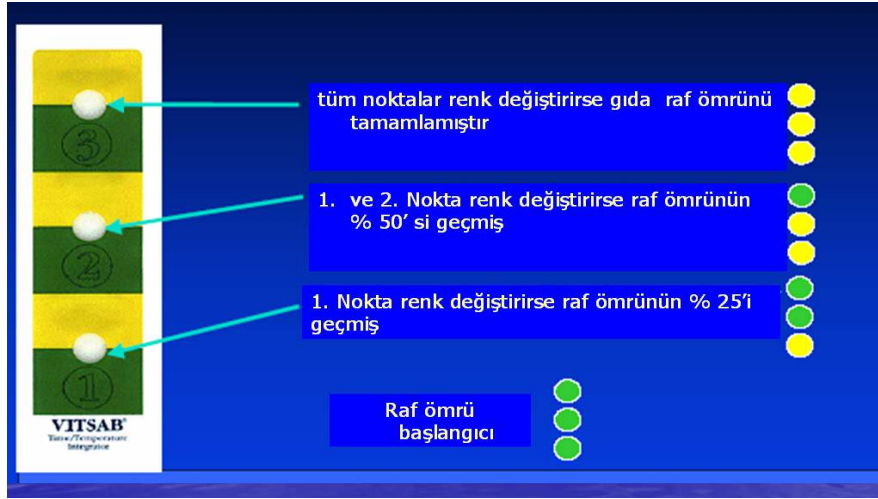
Şekil.7. Ticari olarak kullanılan bir zaman-sıcaklık indikatörü [26]

Gıda sanayinde kullanılan diğer bir sıcaklık indikatörler de enzimatik temelli sistemlerdir. İndikatörler gıdalardaki lipit bileşenlerinin enzimatik hidrolizi sonucu oluşan pH düşüşlerine bağlı olarak, indikatörün renk değişikliği ile işlev görmektedir. İndikatörler kese şeklinde olmakla birlikte iki bölüme ayrılmıştır. 1. bölümde pankreatik lipaz gibi enzimler bulunmaktadır. 2. bölge ise PVC ye pulverize edilmiş şekilde lipit bileşenleri ve pH indikatörleri bulunmaktadır. Çeşitli sıcaklık isteklerine bağlı olarak enzim-lipit bileşenleri konsantrasyonları ayarlanmaktadır. Sıcaklık artmasıyla enzim aradaki aradaki bariyeri yıkarak lipit bileşenleri ile karışmaktadır. Lipit bileşenlerinin hidrolizi ile (tricaproin) oluşan kaproik asit benzeri asitler pH'nın düşmesine neden olmakta ve pH indikatörünün rengi yeşilden parlak sarıya dönüşmektedir [26,31].



Şekil 8. Enzimatik zaman-sıcaklık indikatörleri

Zaman – sıcaklık indikatörleri tüm dağıtım zinciri boyunca gıdanın sıcaklık geçmişini yansıtmaktadır. İndikatörler tek bir ambalajın üzerine konulabildiği gibi bir parti üzerine sadece bir tane kullanılabilir [25].



Şekil 9. Enzimatik bazlı raf ömrü indikatörleri [31]

Polimer esaslı olan sıcaklık indikatörü de diasetilen kristallerinin polimerizasyon sırasındaki renk değişikliğine bağlı olarak sıcaklık oynamalarını göstermektedir. Bu indikatörler,

- pastörize süt,
- dondurma,
- dondurulmuş hamburger,
- UHT süt,
- soğuk meyve suları,
- dondurulmuş çilek,
- dondurulmuş balık

gibi gıdaların ambalajlanmasında kullanılmaktadır [26].

3.2. Tazelik indikatörleri

Akıllı paketlenme teknolojisi gıdanın kalitesi hakkında bilgi vermesinde ve izlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Huis in't Veld [32] gıdalardaki değişimleri;

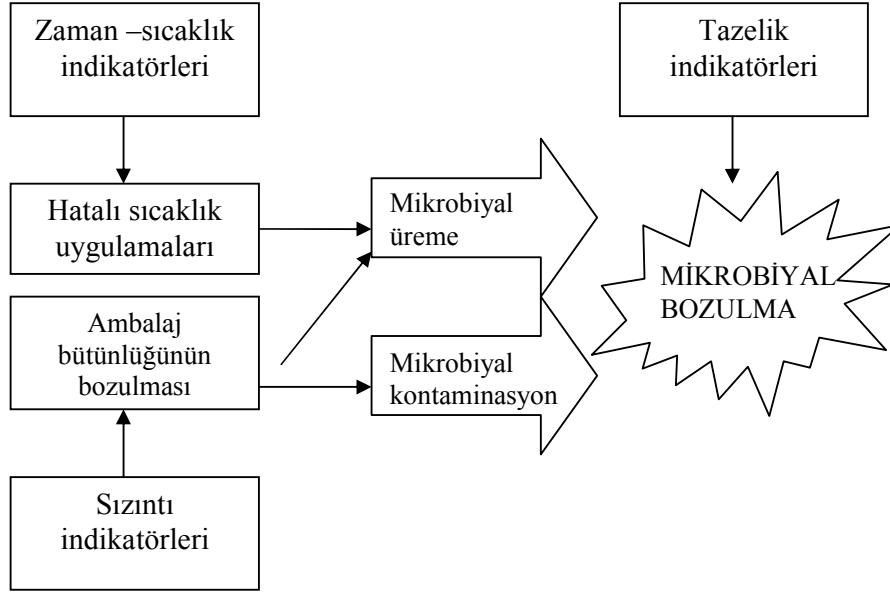
- Mikrobiyal gelişme ve mikrobiyal metabolizma sonucu oluşan pH değişiklikleri, toksik bileşiklerin oluşumu, kötü koku oluşumu, gaz ve kaygan yapı oluşumu
- Yağların ve pigmentlerin oksidasyonu sonucu oluşan istenmeyen lezzet, renk kayıpları

gibi kategorilere ayırmıştır (şekil 10).

Bu değişikliklerin yanında gıdalarda aşağıdaki değişikliklerde meydana gelmektedir.

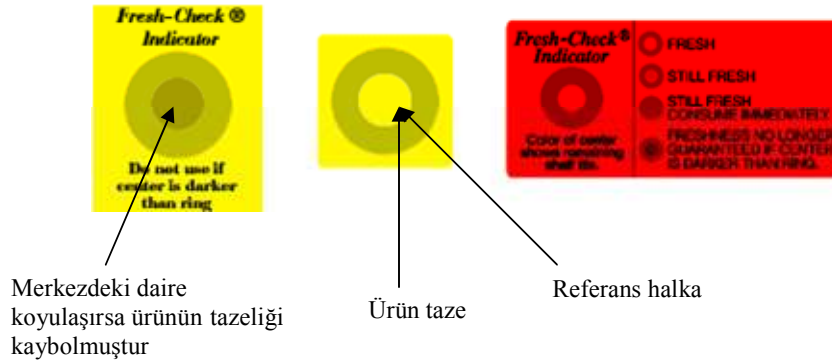
- Proteinlerin hidrolizi
- Proteinlerin denatürasyonu

- Polisakkaritlerin hidrolizi
- Pigmentlerin renk değiştirmesi
- Vitaminlerin inaktivasyonu
- şekerlerin rekrizalizasyonu
- Suyun sorpsiyonu veya desorpsiyonu



şekil 10. Gıdaların kalitesi gösteren akıllı paketleme sistemleri [33]

Tazelik indikatörleri direkt olarak gıda kalitesi hakkında bilgi vermektedir. Örneğin mikrobiyal bulaşma sonucu oluşan metabolit artıkları indikatörle reaksiyona girerek gıdanın mikrobiyal kalitesi hakkında bilgi vermektedir [33]. Tazelik indikatörleri genellikle gıdaların depolanması sırasında meydana gelen metabolitlerin tespiti esasına dayanan sistemlerdir [27] Bu metabolitlere glukoz, organik asitler, etanol, uçucu azot bileşikleri, bijenik aminler, karbondioksit, ATP parçalanma ürünleri, kükürtlü bileşikleri örnek gösterilebilir [33].



şekil.11. Ticari bir tazelik indikatörü (Fresh-check®Indikatör)

Glukoz aerobik, vakum ve modifiye atmosferde ambalajlanmış gıdalarda bozulmaya yol açan bakterilerinin başlıca substratlarıdır. Kresss-Roger [34], mikrobiyal gelişme sonucu etin yüzeylerinde glukoz miktarının azaldığını ve etteki glukoz miktarının ölçülmesiyle ürünün kanla raf ömrünün tahmin edilebileceğini iddia etmiştir.

Laktik asit ve asetik asit gibi organik asitler laktik asit bakterilerinin glukozu fermente etmeleri sonucu oluşan başlıca bileşiklerdendir [35; 36]. Çeşitli araştırmacılar balık ve etlerde depolama boyunca L-laktik asit konsantrasyonunun azaldığını [36; 37] buna karşın D- laktadın arttığını belirtmişler [38] ve D-laktatın tazelik indikatörü olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Kakouri ve ark. [38] ise taze balıkların depolaması sırasında asetat konsantrasyonunun arttığını saptamışlardır.

Laktik asit ve asetik asit yanında etanol de laktik asit bakterilerin fermantasyonu sonucu oluşan bir bileşiktir. Yapılan araştırmalarda et ve balıklarda depolama sırasında artan etanol miktarının mikroorganizmaların artışıyla doğru orantılı olduğunu belirtilmiştir [39]. Randell ve ark. [40] modifiye atmosferde paketlenmiş marine alabalıklarda depolama zamanına bağlı olarak etanol miktarını arttığını saptamışlardır.



Şekil 12. Uygulamada tazelik indikatörleri

Etanol yanında amonyak, dimetilamin ve trimetilamin gibi uçucu azotlu bileşikler (TVB-N) balıklarda bozulmaya neden olan başlıca bileşiklerdir. Özellikle trimetilamin bileşikleri balıklarda kalite göstergesi olarak belirtilmektedir [3].

Tiramin, kadaverin, putresin, histamin gibi biyojenik aminler et ürünlerinin hijyenik kalitesi için indikatör olarak kullanılmaktadırlar. Bu bileşiklerin hijyenin indikatif özellikleri yanında farmakolojik, fizyolojik ve toksikolojik etkilerinin de olduğu bilinmektedir [33]. Sağlık riski dolayısıyla FDA balıklarda histamin miktarını 100 mg/kg olarak sınırlandırmıştır [41].

Putresin, kadaverin ornitinve lysin dekarboksilasyonu sonucu oluşan daiminler olup et ürünlerin başlangıç bozulma bileşikleri olarak bilinmektedir. Okuma ve ark. [42] aerobik paketlenmiş tavuk etlerinde toplam canlı sayısının artmasıyla diamin konsantrasyonunun da attığını tespit etmişlerdir.

ATP degradasyon ürünleri tazelik indikatörü olarak kullanılan diğer bileşiklerdir. Hipoksantin, inosin ve ATP degradasyon ürünlerin toplam konsantrasyonunu veren K-değeri, balık ve et ürünlerinde duyu kalite ve tazelik göstergesi olarak kullanılmaktadırlar [43].

Tipik kokuları ve düşük eşikleri nedeniyle bazı kükürtlü bileşikler gıdaların duyu kalitelerini önemli oranda etkilemektedirler. Bu bileşiklerden biri olan hidrojen sülfid et ve ürünlerde miyoglobine birleşerek yeşil renkli sülfomyoglobin pigmentini oluşturmaktadır [44]. H₂S ve diğer kükürtlü bileşikler

kanatlı ürünleri gibi gıdalarda pseudomonlar, *Alteromonas* sp. ve psikrotrofik anaerobik clostridia gibi mikroorganizmaların üremeleri sonucu da açığa çıkmaktadır [45].

Çeşitli tazelik indikatörleri

Tazelik indikatörleri yukarıda bahsedilen bileşikler ışığında gıdanın tazeliği hakkında bilgi veren belirteçlerdir. Bu indikatörlerin başlıcaları;

- pH değişimine duyarlı indikatörler,
- uçucu azot bileşiklerine duyarlı indikatörler,
- hidrojen sülfite duyarlı indikatörler,
- çeşitli mikrobiyal metabolitlere duyarlı indikatörlerdir [3].

Gıda uygulamaları için çeşitli indikatörler geliştirmiştir. Tazelik indikatörleri genellikle gıdalara bulaşan mikroorganizmaların ürettikleri metabolit artıklarının varlığında indikatörün renk değiştirmesine bağlı olarak işlev görmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Çeşitli tazelik indikatörleri ve etki mekanizmaları [3]

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 enteroteoksin	Polidiasetilen bazlı polimerlerdeki renk değişiklikleri
Diasetil	Aromatik ortodiaminlerde optiksel değişiklikler
Mikrobiyal enzimler	Mikrobiyal enzimlerin kromojenik substratlarındaki renk değişiklikleri

pH değişimine duyarlı indikatörlerde çoğunlukla bromotimol mavisi, ksilenol mavisi, bromokresol yeşil, bromokresol moru, kresol kırmızısı, fenol kırmızısı, metil kırmızısı, ve alizarin gibi çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Sözü edilen kimyasallar genellikle CO₂, SO₂, NH₄, uçucu aminler ve organik asitler gibi metabolit artıkların tespiti için uygun bileşiklerdir [3].

Ticari olarak kullanılan Fresh Tag® indikatörü gıdalardaki uçucu aminlerle reaksiyona girerek renk değiştirmekte ve ürünlerin tazeliği hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 13. Çeşitli tazelik indikatör uygulamaları

4. Sonuç

Gıda ürünlerin satışının daha çok büyük alışveriş merkezlerine yönelmesi, ürünlerin paketlenmesinin yasal zorunluluk haline gelmesi ve gıdaların muhafazasında enerji maliyetlerin hızla artmasından dolayı gıda paketlenmesinde yeni teknolojilerin kullanılması için çalışmalar yapılmaktadır. Üretimden – tüketime kadar tüm aşmalarda gıdaların tazeliğinin ve diğer kalite özelliklerinin kontrolü her zaman mümkün olamamaktadır. Bu yüzden geliştirilen akıllı paketlenme teknolojisinde depolama sırasında oluşan çeşitli metabolit artıkların saptanması prensibine dayanılarak geliştirilen indikatörler gerek paket içerisine gerekse de ambalaj malzemesinin bünyesine entegre edilmektedir. Dağıtım ve depolamanın tüm aşamalarında gıdaların tazeliği ve depolamada uygun sıcaklık – süre uygulanıp uygulanmadığı hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Akıllı paketlenme teknolojisi kullanılarak hem tüketicinin sağlığı korunmakta hem de ekonomik kayıpların önüne geçilebilmektedir.

5. Kaynaklar

1. Üçüncü, M. 2000. Gıdaların Ambalajlanması, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 689 s.
2. Han, J. 2000. Antimicrobial food packaging, Food Technol. 54: 56-65
3. Smolander M. 2003. The use of freshness indicators in packaging, In Novel food packaging Techniques, R Ahvenainen (eds), Woodhead Publishing Limited, pp. 127- 143, Cambridge,
4. Hurme E, SipilaInen-Malm T, Ahvenainen R, and Nielsen T. 2002. Active and intelligent packaging'. In: Minimal Processing Technologies In the Food Industry, T. Ohlsson and N. Bengtsson (eds), Woodhead Publishing Limited, pp. 87–123, Cambridge, England.
5. De Kruijf, N., Van Beest, M., Rijk, R., Sipila Inen-Malm, T., Paseiro L. and De Meulenaer, B. 2002. 'Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects'. Food Additives and Contaminants Vol. 19, pp. 144–62.
6. Peterson, J.I., Fitzgerald, R.V. and Buckhold, D.K. 1984. Fibre optic sensor based on phase fluorescent lifetimes. Analytical Chemistry, 65, 835-856.
7. Kress-Rogers, E. 2001. Instrumentation for food quality assurance. In E. Kress- Rodgers, and C.J.B., Brimelow, Instrumentation and Sensors for the Food Industry, 2nd ed., (pp. 581-669). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.

8. Kerry J.P. and Papkovsky, D.B. 2002. Development and use of non-destructive, continuous assessment, chemical oxygen sensors in packs containing oxygen sensitive foodstuffs. *Research Advances in Food Science*, 3, 121-140.
9. Trettnak, W., Gruber, W., Reiniger, F. and Klimant, I. 1995. Recent progress in optical sensor instrumentation. *Sensors and Actuators B*, 29, 219-225.
10. Papkovsky, D.B., Ovchinnikov, A.N., Ogurtsov, V.I., Ponomarev, G.V. and Korpela, T. 1998. Biosensors on the basis of luminescent oxygen sensor: the use of icroporous light-scattering support materials. *Sensor and Actuators B*, 51, 137-145.
11. Trettnak, W., Gruber, W., Reiniger, F. and Klimant, I. 1995. Recent progress in optical sensor instrumentation. *Sensors and Actuators B*, 29, 219-225.
12. Gnaiger, E. and Fortsner, H. 1983. In E. Gnaiger and H. Fortsner, *Polarographic oxygen sensors. Aquatic and physiological applications*. Springer-Verlag, Berlin.
13. Anonim. 2007. Styrian Interface Science and Engineering Centre. *Contactless Oxygen Measurement in Packages*”.
14. Mills, A., Qing Chang, Q. and McMurray, N. 1992. Equilibrium studies on colorimetric plastic film sensors for carbon dioxide. *Analytical Chemistry*, 64, 1383-1389.
15. Neurater, G., Klimant, I. and Wolfbeis, O.S. 1999. Microsecond lifetime-based optical carbon dioxide sensor using luminescence resonance energy transfer. *Analytica ChimicaActa*, 382, 67-75.
16. Reiniger, F., Kollé, C., Trettnak, W. and Gruber, W. 1996. Quality control of gas-packed food by an optical oxygen sensor. In: *Proceedings of the International Symposium on Food Packaging: Ensuring the Safety and Quality of Foods*, 11-13th September 1996, Budapest, Hungary.
17. Papkovsky, D.B., Papovskaia, N, Smyth, A, Kerry, J.P. and Ogurtsov, V.I. 2000. Phosphorescent sensor approach fro a non-destructive measurement of oxygen inpackaged foods. *Analytical Letters*, 33, 1755-1777.
18. Fitzgerald, M., Papkovsky, D.B., Kerry, J.P. O’Sullivan, C.K., Buckley, D.J. and Guilbault, G.G. 2001. Nondestructive monitoring of oxygen profiles in packaged foods using phase-fluorimetric oxygen sensor. *Journal of Food Science*, 66, 105-110.
19. Smiddy, M., Papkovsky, D.B. and Kerry, J.P. 2002. Evaluation of oxygen content in commercial modified atmosphere packs (MAP) of processed cooked meats. *Food Research International*, 35, 571-575.
20. Yam, K.L., Takhistov, P.T. and Miltz, J. 2005. Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science*, 70, 1-10.
21. Bodenhammer, W.T. 2002. Method and apparatus for selective biological material detection. US Patent 6376204.
22. 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.

23. Niculescu, M., Nistor, C., Fre' Bort, I., Pec, P., Mattiasson, B. and Cso' Regi, E. 2000. Redox hydrogel-based amperometric bienzyme electrode for fish freshness monitoring', *Analytical Chemistry* 72, 1591–1597.
24. Yano, Y., Kataho, N., Watanabe, M., Nakamura, T. and Asano, Y. 1995. Changes in the concentration of biogenic amines and application of tyramine sensor during storage of beef', *Food Chemistry* 54, 155–159.
25. Purma, Ç. ve Serdaroğlu, M. 2006. Akıllı ambalaj sistemlerinin gıda sanayinde kullanımı. Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu.
26. Ahvenainen, R. 2002. Biotechnology, Active and intelligent packaging, In *Novel food packaging Techniques*, R Ahvenainen (eds), Woodhead Publishing Limited, pp. 2-18, Cambridge, England.
27. Gök, V., Batu, A. ve Telli, R. 2006. Akıllı Paketleme Teknolojisi, Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu.
28. Hurme, E. 2003. Detecting leaks in modified atmosphere packaging. In R. Ahvenainen, *Novel Food Packaging Techniques* (pp. 276-286). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.
29. Taoukis, P. S. and Labuza, T. P. 2003. Time-temperature indicators (TTIs) In R. Ahvenainen, *Novel Food Packaging Techniques* (pp. 276-286). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.
30. Taoukis, P. S. and Labuza, T. P. 1989. Applicability of Time Temperature Indicators as shelf-life monitors of food products, *J Food Sci*, **54** 783–8.
31. Taoukis, P. S., Bili, M. and Giannakourou, M. 1998. Application of shelf-life modelling of chilled salad products to a TTI based distribution and stock rotation system', in: *Proceedings of the International Symposium on Application of Modelling as an Innovative Technology in the Agri-Food-Chain*, Tijiskens, L M M and Hertog, M L A T M (eds), *Acta Horticulturae*, **476** 131–4
32. Huis in't Veld, J. H. J. 1996. 'Microbial and biochemical spoilage of foods: an overview' *International Journal of Food Microbiology* 33, 1–18.
33. Dainty, H. 1996. Chemical/ biochemical detection of spoilage', *International Journal of Food Microbiology* 33, 19–33.
34. Kress Rogers, E. 1993. The marker concept: Frying oil monitor and meat freshness sensor', in Kress-Rogers E, *Instrumentation and Sensors for the food industry*, Stoneham, Mass., Butterworth-Heinemann, 523.
35. Nychas, G. J. E., Drosinos, E. H., Board, R.G. 1998. Chemical changes in stored meat' in *The Microbiology of Meat and Poultry*, Davies A and Board R (eds), pp. 288–326, Blackie Academic & Professional, London.
36. Drosinos, E. H. and Nychas, G.J. E. 1997. Production of acetate and lactate in relation to glucose content during modified atmosphere storage of gilthead seabream (*Sparus aurata*) at 0±1°C, *Food Research International*, 30(9), 711–17.
37. Kakouri, A., Drosinos, E. H., Nychas, G.J. E. 1997. Storage of mediterranean fresh fish (*Boops boops*, and *Sparus aurata*) under modified atmospheres or vacuum at 3 and 10°C' in *Seafood from producer to Consumer, Integrated Approach to quality*, Elsevier Science, 171–8.

38. Shu, H.C., Ha Kanson, H. and 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, 727–37.
39. Rehbein, H.1993. Assesment of fish spoilage by enzymatic determination of ethanol, *Archiv fur Lebensmittelhygiene* 44, 1–24.
40. Randell, K., Ahvenainen, R., Latva Kala, K., Hurme, E., Mattila Sandholm, T. and Hyvo Nen, L. 1995. Modified atmosphere-packed marinated chicken breast and rainbow trout quality as affected by package leakage, *Journal of Food Science* 60, 667–84.
41. Kaniou, I., Samouris, G., Mouratidou, T., Eleftheriadou, A. and Zantopoulos, N. 2001. Determiration of biogenic amines in fresh unpacked and vacuum packed beef during storage at 4°C, *Food Chemistry* 74, 515–19.
42. Okuma, H., Okazaki, W., Usami, R. and Horikoshi, K. 2000. Development of the enzyme reactor system with an amperimetric detection and application to estimation of the incipient stage of spoilage of chicken, *Analytica Chimica Acta* 411, 37–43.
43. Yano, Y., Kataho, N., Watanabe, M., Nakamura, T. and Asano, Y. 1995. Evaluation of beef ageing by determination of hypoxanthine and xanthine contents: application of a xanthine sensor, *Food Chemistry* 52, 439–445.
44. Paine, F. A. and Paine, H. Y. 1992. *Handbook of food packaging*, 2nd edition, Blackie Academic & Professional , University Press, Cambridge, UK. pp. 212–14.
45. Kalinowski, R. M. and Tompkin, R. B.1999. Psychrotrophic clostridia causing spoilage in cooked meat and poultry products, *Journal of Food Protection* 62, 766–772.