

GIDA AMBALAJLARINDA NANOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR ve FAZ DEĞİŞİM MATERYALLERİ

Merve Yılmaz, Filiz Altay*

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi / Received: 27.03.2014

Düzeltilerek Geliş tarihi / Received in revised form: 07.07.2014

Kabul tarihi / Accepted: 15.07.2014

Özet

Tüketicilerin gıda güvenliği ve kalitesi konusundaki bilinçlerinin ve taleplerinin artması, araştırmacıları ve gıda endüstrisini yeni eğilimlere yönlendirmektedir. Yeni teknolojilerin ve değişik özelliklere sahip materyallerin kullanımı ile gıda ambalajlarının fonksiyonları değiştirilebilmekte ve/veya artırılabilir. Son yılların en dikkat çeken teknolojisi nano ölçekli materyal üretimi ve bunların çeşitli malzemelerle birleştirilerek kompozitler elde edilmesi ile değişik alanlarda umut vadeden gelişmeler elde edilmektedir. Bu alanlardan biri aktif ve akıllı gıda ambalajlama sistemleridir. Nanoteknolojik uygulamalarla ve nanokompozitlerin ilave edilmesiyle tüketici ile iletişime geçen ve gıdayı daha güvenli bir şekilde tüketiciye ulaştıran ambalajların elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu derlemede nanoteknolojinin gıda ambalajlarındaki uygulamalarının özetlenmesine ilave olarak faz değişim materyallerinin (FDM) ve nanoteknolojik yöntemlerle özellikleri değiştirilmiş FDM'lerin gıda ambalajlarında kullanılabilirliğine değinilmiştir. Çeşitli alanlarda uygulamaları bulunan FDM'ler, gıdaların taşınma ve muhafazasında kullanılmaktadır. Nanoteknolojik uygulamalarla özellikleri geliştirilen FDM'lerin gıda ambalajlarında kullanımının artacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Gıda ambalajlama, nanoteknoloji, faz değişim materyali, aktif ambalajlama, akıllı ambalajlama

NANOTECHNOLOGY APPLICATIONS and PHASE CHANGING MATERIALS in FOOD PACKAGING

Abstract

Food industry and researchers tend to new trends due to increasing conscious and demands of consumers for food safety and quality. The functions of food packaging materials could be modified / increased by the applications of new technologies and/or the additions of new materials. Nanotechnological applications in different fields have produced successful results for obtaining composite materials with unusual properties for different purposes. Food packaging is one of these fields. The nano-sized materials or nanocomposites are used in active or smart packaging which communicates with consumers. In this review, nanotechnology applications in food packaging are summarized along with the possible utilization of phase changing materials (PCM) in food packaging. PCMs are already used for maintaining of foods during transportation. It seems that PCM in food packaging is very promising. In addition, manipulation of PCM by nanotechnology appears to have a great potential in food packaging.

Keywords: Food packaging, nanotechnology, phase changing material, active packaging, smart packaging

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ lokumcu@itu.edu.tr,

☎ (+90) 212 285 6948,

☎ (+90) 212 285 7333

GİRİŞ

Ambalajlama; taze ve işlenmiş gıdaların kalitesinin depolama, taşıma ve tüketimine kadar geçen süre içerisinde korunmasını sağlayan önemli bir muhafaza işlemidir (1). Gıdayı dış etkilerden koruyan, taşınmasını, pazarlanmasını ve tüketimini kolaylaştıran metal, cam, kâğıt, ahşap, plastik gibi özel malzemeden yapılan kap, kılıf ya da sargılara gıda ambalajı denir (2).

Genel olarak gıda ambalajının dört temel işlevi vardır (3):

- Gıdanın dolun, taşıma, dağıtım ve rafta bulunduğu süre boyunca bütünlüğünü korumak,
- Gıdayı bulaşanlardan, fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelerden korumak ve besin kayıplarını en aza indirmek,
- Ürünün içeriği, kullanımı ve saklama koşulları hakkında tüketiciyi bilgilendirmek,
- Kullanım kolaylığı getirmek ve albeniyi arttırmak.

Daha önceden yeterli olan bu işlevler, günümüzün değişen koşullarına bağlı olarak tüketici taleplerini karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu durum üreticileri gıda ambalajlarında yenilebilir filmler, aseptik ambalajlama, değiştirilmiş (modifiye) atmosferde ambalajlama (MAP) veya kontrollü atmosferde ambalajlama (CAP), aktif ambalajlama ve akıllı ambalajlama gibi yeni eğilimlere yöneltmiştir. Aktif ambalajlama, raf ömrünü geliştirmek veya gıdaya arzu edilen özellikleri kazandırmak amacıyla ambalajın hem gıda maddesi, hem de çevresi ile olumlu bir şekilde etkileşime girmesidir (4). Gıdayı dış etkilerden koruyan bariyer olmanın yanı sıra, oksijen ve etilenin tutulması, CO₂'in tutulması veya dışarı verilmesi, nemin düzenlenmesi, antimikrobiyel ambalajlama, antioksidan ve aroma içeriğinin korunması işlevleri olan, ambalaj içindeki ortamı kontrol edebilen ve tepki veren sistemlerdir. Antimikrobiyel ambalajlama, antioksidan ve aromaların kontrollü salımı, yenilebilir film ve kaplamalar da aktif ambalajlama tanımı içerisinde yer almaktadır (5-7). Gıda sanayinde, oksijen yakalayıcılar et, balık ve kuru gıdalarda, karbondioksit yakalayıcılar et, balık ve yağlı tohumlarda, etilen yakalayıcılar meyve, sebze ve tahıl ürünlerinde, etanol yakalayıcılar ekmek, kek, bisküvi ve balıkta kullanılabilir. Nem tutucular tahıl ve kurutulmuş gıdalarda, tat/koku tutucular meyve suları, balık, tahıl ve süt ürünlerinde, koruyucu madde salımı yapan sistemler ise et,

balık, meyve ve sebze, tahıl ve peynir ürünlerinde kullanım alanına sahiptir (8). Akıllı etiketler olarak da bilinen akıllı (smart, intelligent packaging) ambalajlamada, gıdaların üretiminden tüketimine kadar geçen süreçte maruz kalınan sıcaklık değişimleri, mikrobiyal bozulma ve ambalaj bütünlüğü gibi özellikler hakkında ürünün kalitesini ve tazeliğini izlemeye yarayan, ambalajın içinde veya dışında kullanılan göstergeler kullanılmaktadır. Gıda ambalajında yer alan bu göstergeler (indikatörler) yardımıyla ambalaj, tüketici ile iletişime geçebilmektedir. Zaman-sıcaklık göstergeleri soğutulmuş ve dondurulmuş gıdaların muhafazasında; tazelik göstergeleri meyve ve sebzelerde; patojen mikroorganizma gelişim göstergeleri ise et, balık ve tavuk gibi kolay bozulabilen gıdaların ambalajlarında kullanılmaktadır (9-11).

Gıda Ambalajlarında Nanoteknoloji Uygulamaları

Nanoteknoloji, maddeler üzerinde 100 nanometre ölçeğinden küçük boyutlarda gerçekleştirilen, maddeyi atom ve molekül seviyesinde geliştiren ya da yeni özellikler kazandırmayı hedefleyen bilim ve teknoloji alanıdır (12). Nanoteknolojinin gıdalarda uygulanmaya başlamasıyla 'nano-gıda' terimi, gıdaların yetiştirilme, üretim, işleme veya ambalajlama sırasında nanoteknolojik tekniklerin veya aletlerin kullanılması olarak tanımlanmaktadır (13). Nanobilim ve nanoteknoloji, atomik ve moleküler düzeyde madde işlemek için fizik, kimya, biyoloji ve mühendislik dalları ile birlikte disiplinler arası bir araştırma alanına sahiptir (14). Nanoteknolojinin tarımdan gıda üretimine, besin takviyelerinden gıda ambalajlama sistemlerine kadar gıda endüstrisinin her alanında potansiyel kullanımı söz konusudur. Nanoteknolojik araştırma ve uygulamalar en çok gıda ambalajlama alanında görülmektedir (15). Bunun yanında gıdaların oksidasyondan korunmasında, enkapsüle edilmiş etken maddelerin, vitaminlerin ve aroma maddelerinin kontrollü salımında, tat maskelemede, patojenlerin belirlenmesinde ve gıda güvenliği ile ilgili kalite analizlerinde nanoteknolojiden yararlanılmaktadır. Nano katkıların çeşitli amaçlarla gıda ambalajına ilave edilmesi, etken maddelerin ambalajdan dağılımı ve kontrollü salımı, nano düzeyde antimikrobiyel madde içeren ambalajlar, nakliye ve dağıtım sırasında ürünün nanoteknoloji uygulanmış veya nanoparçacık içeren ambalaj üzerinden izlenebilirliği nanoteknolojinin aktif

ve/veya akıllı ambalaj uygulamaları arasında yer almaktadır (16, 17). Bu uygulamalardan özellikle nanoparçacık ilavesi ile elde edilen nanokompozit filmleri içeren aktif ve akıllı ambalajlar gıda sanayinde geniş kullanım alanı bulmaktadır (18, 19).

Nanoparçacık İçeren Gıda Ambalajları

Nanoparçacık malzemelerin kullanımı gıda ambalajlarına esneklik, dayanıklılık, ısı/nem stabilitesi, gazlara karşı yüksek bariyer özellikleri, ışığa karşı direnç, güçlü mekanik ve ısıl performans kazandırmaktadır. Ambalaj malzemesinin aynı anda hem hafif, yırtılmaz ve yüksek ısıl dirençli olması, hem de mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir. Gıda ambalajlarına çeşitli nanoparçacıklar eklenerek malzemenin geçirgenlik özelliğinin modifiye edilmesi, ambalajın gıda ile temas eden yüzeyine oksijen absorblama özelliği kazandırılarak anaerobik ortam yaratılması ve böylelikle antimikrobiyal ve antifungal yüzey oluşumu sağlanması da diğer bir uygulamadır (20). Literatürde, antibiyotik taşıyıcılar (21), öldürme ajanları (22) ve mikrobiyal gelişme önleyici (23) gibi özelliklere sahip nano malzemeler gıda ambalajlarında antimikrobiyel aktivite için kullanılmak üzere araştırılmaktadır. Nano titanyum dioksit (TiO_2) ile kaplanarak geliştirilen ambalaj filmin taze meyve ve sebzelerin yüzeyinde *E. coli* kontaminasyonunu azaltmak amacıyla kullanılabilmesi düşünülmektedir (24). Nisin gibi antimikrobiyal peptidler de nano boyutta kaplama materyali olarak kullanılarak antimikrobiyel filmler geliştirilmiştir (25).

Nanosensör veya Nanobiyosensör İçeren Gıda Ambalajları

Nanoteknolojinin gıda ambalajlarına uygulanması çalışmalarının bir kısmı nanoparçacık içeren filmler veya ambalaj materyaline gömülü olan ve istenmeyen mikroorganizma varlığını algılayabilen nanosensörler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu sensörler sinyalleri elektriksel, optik, ısıl veya kimyasal olarak algılayabilmektedir. Nanosensörler, toksin üreten veya gıda zehirlenmesine yol açan mikroorganizmaları neden oldukları renk, kütle ve sıcaklık değişikliklerine ve moleküler tanıma sistemlerine dayanarak hızlı bir şekilde algılamaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak nano TiO_2 ve nano SnO_2 oksijen sensörü olarak MAP uygulanan gıda paketlerine yerleştirilmiştir. Mikrobiyel gelişme sonucu paketteki oksijen konsantrasyonu arttığında,

bu nanoparçacıklar polimer ortamındaki redoks boylarını ışığa duyarlı hale getirecek ve paketteki sensör renginde ağarma görülecektir (25, 26).

Biyosensörler, International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) tarafından, "kimyasal bir bileşiğe karşı verilen biyolojik yanıtı optik, ısıl ya da elektriksel sinyallere dönüştüren cihazlar" olarak tanımlanmaktadır. Biyosensörler, biyoreseptör (ligand) ve dönüştürücü (transducer) olarak iki ana kısımdan oluşmaktadır. Biyoreseptör, hedef molekülün yakalandığı biyolojik bağlanma bölgesidir. Dönüştürücü ise gerçekleşen bağlanma sonucunda oluşan, biyokimyasal/fizikokimyasal etkileşimleri ölçülebilen ve elektronik sinyallere çeviren kısımdır (27, 28). Son yıllarda nanoteknoloji ile biyoalgılayıcı tekniklerin birleştirilmesiyle nanobiyosensörler geliştirilmektedir. Bu sensörlerin yüksek hassasiyet ve hızlı yanıt verme özellikleri nanotüp, nanolif ve nanopartiküller gibi yüzey alanı son derece büyük olan küçük boyutlu nanoyapılardan kaynaklanmaktadır. Nanosensör ve nanobiyosensörler vasıtası ile et ve süt ürünlerindeki mikroorganizmalar, et ve meyve sularındaki toksik bileşikler ve glukoz, karbonhidrat gibi gıda bileşenleri hassas ve hızlı bir şekilde basitçe tespit edilmektedir (29-32).

Ambalajda herhangi bir değişiklik veya dış uyaran etkisi olduğu durumlarda bunu tespit edip otomatik olarak tepki veren sistemlere biyoanahtar (bioswitch) sistem denilmektedir. Sıcaklık, ışık, pH gibi çevresel değişiklikler ile tetiklenen bu sistemlerde ortamda mikroorganizma bulunması halinde antimikrobiyel madde ambalaj içinde serbest bırakılır. Antimikrobiyel madde nanokapsülleri içeren nişasta esaslı ambalaj filmi buna örnek olarak verilebilir (33, 34). Yapılan araştırmalar, ambalaj malzemelerine ilave edilen nanoparçacıklarla, geliştirilmesi istenen özelliklerin diğer yöntemlere göre daha büyük ölçüde kontrol edilebildiğini göstermektedir.

Faz Değişim Materyalleri (FDM)

Maddeyi oluşturan atom ve moleküllerin toplam enerjisine ısı enerjisi denir. Isı enerjisi duyulur, gizli ve termokimyasal ısı depolama yöntemleri ile depolanabilir (35). Duyulur ısı, katı ya da sıvı haldeki bir maddenin sıcaklığının artırılmasıyla depolanabilir (36). Gizli ısı (latent heat) ise, maddenin faz değiştirebilmesi için gerekli ısıdır. Madde faz değişim sıcaklığına eriştiğinde, dönüşümün gerçekleşmesi amacıyla maddeyi o

sıcaklığa getirmek için verilen ısıdan daha fazla miktarda ısı verilmesi gerekir. Katı bir madde ısıtıldığında sıcaklık, maddenin kazandığı enerjiyle doğru orantılı olarak, erime noktasına kadar artar. Bu noktadan sonra sıcaklık artışı sona erer ve maddeye verilen enerji (gizli ısı), katı fazdan sıvı faza dönüşüm için kullanılır. Faz dönüşümü tamamlandıktan sonra madde tamamen sıvı faza geçtiğinde sıcaklık tekrar artmaya başlar. Bu sıcaklık artışı buharlaşma noktasına kadar devam eder. Soğutma işlemiyle buhar veya sıvı fazdan katı faza dönüşüm tam ters şekilde gerçekleşir. Faz değişimi için gerekli ısının toplamı aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir:

$$Q = m [C_k(T_* - T_1) + \phi + C_s(T_2 - T_*)] \quad (37)$$

Bu denklemde C_k katı fazın ısı kapasitesi ve C_s sıvı fazın ısı kapasitesi ($J/g^\circ C$) olup T_1 sıcaklığından T_2 sıcaklığına ($^\circ C$) ısıtılan madde T_* sıcaklığında faz değiştirir ($T_1 < T_* < T_2$). Eşitliğin ilk kısmı başlangıç sıcaklığı ile faz değişim sıcaklığı arasında madde tarafından depolanan duyulur ısıyı; ikinci kısım faz değişimi sırasında madde tarafından depolanan gizli ısıyı (ϕ) temsil etmektedir. Eğer materyal faz değişiminden sonra ısıtılmaya devam ederse tekrar duyulur ısı depolanması için eşitliğin üçüncü kısmı kullanılır. Depolanan enerji madde miktarına bağlıdır. Gizli ısı enerjisinin depolanmasında kullanılan materyaller "Faz Değişim Materyalleri" (FDM) olarak adlandırılır (38). FDM'ler yüksek miktardaki ısı enerjisiyi absorbe eden, depolayan ve tekrar verebilen maddelerdir (39). Isı FDM'ye ilk aşamada kondüksiyon (iletim), ikinci aşamada doğal konveksiyon (taşıma) ile iletilir. Gizli ısı depolama materyallerinin, başka bir deyişle FDM'lerin en belirgin özelliği ve esas avantajı, materyalin faz değişim sıcaklığında izotermal davranmasıdır. Bu, FDM'nin depolanan enerjiyi sabit bir sıcaklığa yayabileceği anlamına gelmektedir (38).

Gizli ısı depolamada kullanılan FDM seçimi termodinamik, fiziksel, kimyasal ve ekonomik açılarından önemlidir. Belirli bir uygulama için FDM seçilirken, materyalin faz değişim sıcaklığının işlem sıcaklığına eşit ya da çok yakın olması gerekmektedir. FDM'nin gizli ısısı olabildiğince yüksek olmalı, ısı iletkenlik hem katı hem de sıvı fazda yüksek olmalıdır. FDM kullanıldığı ortam ve amaç için uyumlu bir şekilde erimelidir; aksi halde bileşenlerde geri dönüşümsüz bir ayrım gerçekleşir ve ısı depolama kapasitesi kaybedilir.

Ayrıca, FDM kimyasal olarak kararlı olmalı, yanıcı, patlayıcı ve toksik olmamalıdır. Son olarak, ekonomik açıdan FDM, makul fiyatta, verimli ve ticari olarak kullanılabilir olmalıdır (38).

FDM'ler binalarda sıcaklık dalgalanmalarını azaltmak amacıyla beton ya da sıva malzemesi içinde, binaların zemin ve tavanlarında iklimlendirme amacıyla, otomobillerin tavanlarında, elektronik cihazların soğutulmasında, atık ısının geri kazanımında ve güneş enerjisinin depolanmasında kullanılmaktadır. Mikro boyuttaki FDM'ler kumaş içine ilave edilerek askeri üniformalarda, yangın ve dalgıç giysilerinde sıcak ve/veya soğuğa karşı koruma sağlayabilmektedir. Kan, doku ve ilaç taşınmasında, vücut sargıları, bandajlar ve ortopedik ürünlerde kullanılmaktadırlar. Günümüzde pizza gibi sıcak tutulması gereken veya dondurma gibi soğuk muhafaza edilmesi gereken gıdaların taşınması ve muhafazasında çanta, kutu ve dolaplarda FDM'lerin kullanıldığı bilinmektedir. (39-44).

Organik ve inorganik olarak başlıca ikiye ayrılan FDM'ler gaz-sıvı, katı-gaz, katı-sıvı veya katı-katı dönüşümleri yapılırsa da en çok katı-sıvı dönüşümü kullanılmaktadır (45). Organik FDM'ler parafinler ve yağ asitleri olarak ikiye ayrılırken; tuz hidratları inorganik FDM'lerdir (46).

Parafinler

Organik FDM sınıfına ait olan parafinler, çok sayıda alkandan oluşan doymuş hidrokarbon karışımlardır. Ham petrolden elde edilen, kokusuz, tatsız ve toksik olmayan mumsu yapıdaki maddelerdir (46). FDM olarak kullanılan bazı parafinler n-dodekan, n-tridekan, n-pentadekan, n-hekzadekan, n-heptadekan, parafin vaks, n-heptakosan, n-oktakosan olup erime noktaları bu sırayla artış göstermektedir (36). Genellikle düz zincirli alkan karışımlarından oluşan parafinler kristalleşmeleri sırasında büyük miktarda gizli ısı yayar. Yüksek ısı depolama kapasitelerinden dolayı parafinler en çok kullanılan FDM'ler arasındadır. Geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilen parafinler ucuz, bol miktarda ve kimyasal olarak kararlı olduklarından, genellikle ısı depolaması için tercih edilirler. Parafinlerin FDM olarak kullanılmasındaki en temel sorun ısı iletkenliklerinin düşük olmasıdır. Bu yüzden parafinlerin FDM olarak kullanılmasında ısı aktarımını iyileştirmek için mikrokapsülleme veya yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) gibi bir polimerin ağ yapısı içindeki gözeneklerde grafit ile birlikte tutuklanmaları gibi yöntemler kullanılmaktadır (46).

Yağ Asitleri

Yağ asitleri inorganik ve diğer organik FDM'lere alternatif olarak kullanılabilir (47). Gizli ısıları parafinlerle karşılaştırılabilecek düzeyde olan organik bileşiklerdir. Düşük sıcaklıkta gizli ısı depolama uygulamaları için uygun özelliktedirler. Oleik, kaprilik, kaprik, laurik, palmitik, miristik ve stearik asit gibi yağ asitleri ve bütil stearat, metil palmitat gibi yağ asidi esterleri FDM olarak kullanılabilir (36). Örnek olarak, Karaipekli ve diğ. (2010) binalarda ısı enerji depolamak için yağ asitleri (kaprik, laurik, palmitik ve stearik asit)/bina yapı malzemesi (vermikulit) kompozit karışımı hazırlayarak enerji depolama özelliklerini belirleyen bir çalışma yürütmüştür. Yağ asitleri ile geliştirilen kompozit karışımın ısı iletkenliğinin ve ısı depolama kapasitesinin iyileştirildiği belirtilmiştir (48).

Tuz Hidratları

Tuz hidratları ısı enerjisi depolama kapasiteleri yüksek olduğundan, FDM olarak önemli bir yere sahiptirler. Kalsiyum klorür heksahidrat ve sodyum sülfat dekahidrat 0–150 °C sıcaklık aralığında kullanılabilirler. Isı enerjisi depolama kapasiteleri ve ısı iletkenlikleri organik FDM'lere göre daha yüksektir. Ancak, erime-donma sürecinde aşırı soğuma ve faz ayrışması meydana gelebilmektedir. Bunu önlemek için kristalleşmeye yardımcı madde olarak akrilik asit kopolimeri veya karboksimetil selüloz (CMC) gibi süper emici polimerler (super absorbent polymers-SAP), ve boraks ya da karbon gibi kıvam verici ajanların kullanılması gerektiği belirtilmiştir (49, 50).

FDM'lerde Nanoteknoloji Uygulamaları

Yukarıda belirtilen yaygın kullanım alanlarına rağmen FDM'lerin belli ortamlarda sıvı olmalarından dolayı ambalaj içine doğrudan yerleştirilememeleri dezavantaj olmakta ve kullanımlarını sınırlamaktadır. Bu sorunların nanoteknolojik uygulamalarla giderilebileceği öngörülmektedir (51).

Son yıllarda FDM'lerin erime/donma noktaları, ısı iletkenlikleri, ısı depolama kapasiteleri üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. FDM'lerin düşük ısı iletkenlikleri, ısı depolama kapasiteleri farklı malzemelerle karıştırılarak veya nanokapsülleme (nanoenkapsülasyon) uygulamaları ile artırılabilir (52). Yapılan bir çalışmada nanografite ilavesinin parafinin ısı iletkenliğini arttırdığı belirlenmiştir (53). Karbonun FDM'lerle

karıştırılmasının ısı depolama kapasitesini ve ısı iletkenliği arttıracığı bildirilmektedir (54, 55). Karbon nanotüp ilavesiyle hazırlanan parafinin ısı depolama kapasitesinde %23 oranında artış olduğu gösterilmiştir (56).

Literatürde FDM'lerin özelliklerinin geliştirilmesinde enkapsülasyon uygulaması ve karbon nanotüp ilavesi çalışmalarının yanında elektrodöndürme (electrospinning) veya sol-jel metodlarının kullanılması da yer almaktadır (57). Yapılan bir çalışmada ısı depolamada yaygın olarak kullanılan ve katı-sıvı FDM olan oktadekanol (OD)'ün ısı kararlılığını arttırmak amacıyla elektrodöndürme yöntemi ile diasit dioktadesil esterleri (DADOE)/polietilenterafitalat (PET) karışımından nanolif eldesi gerçekleştirilmiştir. Süblimleşme eğilimine sahip olan OD, DADOE/PET nanolifleri haline geldiğinde hem kararlı hem de daha iyi ısı özelliklere sahip hale gelmiştir (58). Başka bir çalışmada ise parafin (dodekan) ve zein (mısır proteini) karışımından elektrodöndürme yöntemi ile nanolif elde edilmiştir. Aynı çalışmada parafin (dodekan), zein ile mikro ve nano boyutta enkapsüle edilmiştir. Burada amaç FDM olarak parafinin aktif ve akıllı gıda ambalajlarında soğuk zincirin takibinde sıcaklık kontrolü için daha etkin bir şekilde kullanılmasıdır (59). Sıcaklığa duyarlı ve kolay bozulabilen gıdaların ambalajlanmasında etkin bir ısı dengeleme sağlayabilmek amacıyla nano kalsiyum silikat-FDM kompozit karışımı geliştirilmiştir. Karton kutulara yerleştirilen kompozit FDM ile kuşkonmazın muhafazası üzerine yapılan çalışmada 5 saat boyunca 23 °C'de bekletilen paketin iç sıcaklığının 10 °C'de korunması sağlanmıştır (60-62). Kolay bozulabilen gıdaların soğukta depolanması için yapılan başka bir çalışmada, kağıt ambalaj malzemesine selülozik FDM kompozit mikroparçacıkları karıştırılarak FDM'nin ısı dengeleme özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, bu sistemin ayrıntılı bir ambalaj tasarımı ile sıcaklığa duyarlı gıdaların muhafazasında kullanılabilirliği belirtilmiştir (63).

SONUÇLAR

Günümüz koşullarına ve tüketici taleplerine paralel olarak gıda ambalajlarının özelliklerini geliştirmeye yönelik araştırmalar ve yeni uygulama arayışları hızla devam etmektedir. Gıda ambalajlarında nanoteknolojik uygulamalar üzerine yapılan çalışmalar ve dünyada buna ayrılan bütçeler

de artış göstermektedir. İleride bu teknolojinin uygulama maliyetleri düştükçe, günlük hayatta da nanoteknoloji uygulanmış veya nanomalzeme içeren gıda ambalajlarının daha sık kullanılacağı söylenebilir. Çünkü, nanoteknoloji uygulamalarıyla gıda ambalajlarına kazandırılan özellikler, bundan belki 30 yıl önce hayal edilemeyecek işlevleri gerçekleştirmeye doğru gitmektedir. Özellikle son yıllardaki aktif ve akıllı gıda ambalajı kavramları ve buna ilaveten bu ambalaj tekniklerine uygulanan nanoteknolojik yaklaşımlar, gıda ambalajlarında geliştirilebilir daha çok işlev olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda işin ekonomik boyutu ve dünyadaki pazar payı da göz ardı edilmemelidir.

Mevcut durumda gıdaların taşınmasında kullanılan FDM'lerin, gizli ısıyı depolayarak gıda maddelerini ambalaj içinde sabit sıcaklıkta tutma özellikleri nedeniyle, ileride daha çok kullanım alanı bulacağı görülmektedir. FDM'lerin gıda ambalajlarında faz değişimi sırasında görülen problemlerin nanoteknolojik yöntemlerle çözülebileceği bildirilmektedir. Son zamanlarda maddeleri nano boyuta getirerek kullanma ve nanoenkapsülasyon uygulamalarının, FDM'nin gıda ambalaj içinin sıcaklığını sabit tutabilme özelliklerini geliştireceği öngörülmektedir. Günümüzdeki enerji verimliliği ve enerji maliyetleri konuları karşısında, FDM'ler ve nanoteknoloji uygulanarak özellikleri geliştirilmiş FDM'ler gıda ambalajlarında vazgeçilmez malzemeler olabilir. Gıda ambalajlarında FDM'ler ve nanoteknoloji konusunda araştırmaların teşvik edilmesi, bütçe ayrılarak yatırım yapılması, ülkemizin de bu teknolojilerde öncü duruma gelmesini sağlayarak ekonomimize de faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Özçandır S ve Yetim H. 2010. Akıllı Ambalajlama Teknolojisi ve Gıdalarda İzlenebilirlik, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 5 (1): 1-11.
2. Kokangül G ve Fenercioğlu H. 2012. Gıda Endüstrisinde Akıllı Ambalaj Kullanımı, *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 7 (2): 31-43.
3. Arıkan A. 2010. Gıda Ambalaj Malzemeleri, *Ambalaj Bülteni*, Temmuz-Ağustos, s32-35.
4. Krochta J M. 2007. Food packaging, *Handbook of Food Engineering, Second Edition*, Heldman D R ve Lund D B (ed), CRC Press, Boca Raton, USA, s849-915.
5. Lee D S. 2011. Active packaging, *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging, Second Edition*, Sun D V (ed), CRC Press, Dublin, Ireland, s819-834.
6. Ayana B ve Turhan K N. 2010. Gıda Ambalajlamasında Antimikrobiyel Madde İçeren Yenilebilir Filmler/ Kaplamalar ve Uygulamaları, *GIDA*, 35 (2): 151-158.
7. Cerisuelo J P, Bermudez J M, Aucejo S, Catala R, Gavara R ve Hernandez-Munoz P. 2013. Describing and modeling the release of an antimicrobial agent from an active PP/EVOH/PP package for salmon, *J Food Eng*, 116 (2): 352-361.
8. Vardin H ve Gamlı Ö F. 2006. Soğutulmuş Gıda Maddelerinin Ambalajlanması ve Aktif Ambalajlama Teknikleri, 9. Gıda Kongresi; 24-26 Mayıs 2006, Bolu, Türkiye, s41-44.
9. Yam K L, Takhistov P T ve Miltz J. 2005. Intelligent packaging: concepts and applications, *J Food Sci*, 70 (1): 1-9.
10. Purma Ç ve Serdaroğlu M. 2006. Akıllı Ambalajlama Sistemlerinin Gıda Sanayinde Kullanımı, Türkiye 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs 2006, Bolu, s49-52.
11. Vaikousi H, Biliaderis CG ve Koutsoumanis KP. 2009. Applicability of a microbial time temperature indicator (TTI) for monitoring spoilage of modified atmosphere packed minced meat, *Int J Food Microbiol*, 133 (3): 272-278.
12. Tarhan Ö, Gökmen V ve Harsa Ş. 2010. Nanoteknolojinin Gıda Bilim ve Teknolojisi Alanındaki Uygulamaları, *GIDA*, 35 (2): 219-225.
13. Joseph T ve Morrison M. 2006. Nanotechnology in agriculture and food, *A Nanoforum Report*, April, s8.
14. Sözer N ve Kokini J L. 2012. The applications of nanotechnology, *Chemical Analysis of Food: Techniques and Applications*, Pico Y (ed), Academic Press, Oxford, UK, s145-170.
15. Duncan T V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors, *Journal of Colloid and Interface Science*, 363 (1): 1-24.
16. Sürengil G ve Kılınç B. 2011. Gıda - Ambalaj Sektöründe Nanoteknolojik Uygulamalar ve Su Ürünleri Açısından Önemi, *Journal of Fisheries Sciences*, 5 (4): 317-325.
17. Chaudhry Q ve Castle L. 2011. Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries, *Trends in Food Science & Technology*, 22, 595-603.

18. Imran M, Revol-Junelles A M. ve Desorbry S. 2012. Adaptations of Food Packaging Trends via Nanotechnology, Arvanitoyannis IS(ed) *Modified Atmosphere and Active Packaging Technologies*, CRC Press, Boca Raton, USA, s663-683.
19. Dursun S, Erkan N ve Yeşiltaş M. 2010. Doğal Biyopolimer Bazlı (Biyobozunur) Nanokompozit Filmler Ve Su Ürünlerindeki Uygulamaları, *Journal of Fisheries Sciences*, 4 (1): 50-77.
20. Mahalik N P ve Nambiar A N. 2010. Trends in food packaging and manufacturing systems and technology, *Trends in Food Science & Technology*, 21 (3): 117-128.
21. Gu H W, Ho P L, Tong E, Wang L ve Xu B. 2003. Presenting vancomycin on nanoparticles to enhance antimicrobial activities, *Nano Letters*, 3 (9): 1261-1263.
22. Huang L, Li D Q, Lin Y J, Wei M, Evans D G ve Duan X. 2005. Controllable preparation of nano-MgO and investigation of its bactericidal properties, *J Inorg Biochem*, 99 (5): 986-993.
23. Hauser C, Stelter C ve Wunderlich J. 2012. Aspects of an antimicrobial packaging film and its application on food, 5th International Symposium on Food Packaging Poster Presentation, 14-16 Kasım, Berlin.
24. Theinsathid P, Visessanguan W, Kingcha Y ve Keeratipibul S. 2011. Antimicrobial effectiveness of biobased film against *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium*, *Advance Journal of Food Science and Technology*, 3 (4): 294-302.
25. Azeredo H M C. 2009. Nanocomposites for food packaging applications, *Food Res Int*, 42 (9):1240-1253.
26. Mills A ve Hazafy D. 2009. Nanocrystalline SnO₂-based, UVB-activated, colourimetric oxygen indicator, *Sensor and Actuators B: Chemical*, 136 (2): 344-349.
27. PAC, 1992, 64, 143 (Glossary for chemists of terms used in biotechnology (IUPAC Recommendations 1992)) s 148.
28. Otlu B. 2011. Biyosensörler: Biyoreseptör Moleküller, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey, s5-7.
29. Yang M, Kostov Y ve Rasooly A. (2008). Carbon nanotubes based optical immunodetection of *Staphylococcal Enterotoxin B (SEB)* in food, *Int J Food Microbiol*, 127, 78-83.
30. Palaniappan A, Goh W H, Fam D V H, Rajaseger G, Chan C E Z, Hanson B J, Moochhala S M, Mhaisalkar S G ve Liedberg B. 2013. Label-free electronic detection of bio-toxins using aligned carbon nanotubes, *Biosens Bioelectron*, 43, 143-147.
31. Tsai W L, Chien Y S, Yang P Y, Lee I C, Wang K Y ve Cheng H C. 2013. Laser-unzipped carbon nanotube based glucose sensor for separatedstructure of enzyme modified field effect transistor, *Sensors and Actuators A*, 204, 31-36.
32. Zhang W, Zhang X, Zhang L ve Chen G. 2014. Fabrication of carbon nanotube-nickel nanoparticle hybrid paste electrodes for electrochemical sensing of carbohydrates, *Sensors and Actuators B*, 192, 459-466.
33. Muhamad I I B. 2005. Study of an active antimicrobial system using a bio-switch concept, Research Management Centre University Technology, Final Report, Malaysia, s43.
34. Huff K. 2009. Active and intelligent packaging: innovations for the future. <http://www.iopp.org/files/public/VirginiaTechKarleighHuff.pdf>. (Erişim tarihi: 12.01.2014).
35. Yılmaz S. 2008. Soğutma Uygulamaları İçin Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, Türkiye, s68.
36. Sarı A. 2011. Faz Değişimi Yoluyla Isıl Enerjinin Depolanması ve Bu Alanda Yapılan Çalışmalar, Kimya Lisans Öğrencileri Araştırma Projesi Eğitimi Çalıştayı, Kimya-2 (Çalıştay 2011), 20-28 Temmuz, Çanakkale, s68.
37. Yılmazoğlu M Z. 2010. Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması, *Politeknik Dergisi* 13 (1): 33-42.
38. Cardenas B ve Leon N. 2013. High temperature latent heat thermal energy storage: phase change materials, design considerations and performance enhancement techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 724-737.
39. Rathod M K ve Banerjee J. 2013. Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 246-258.
40. Kuznik F, David D, Johannes K ve Roux J. 2011. A review on phase change materials integrated in building walls, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1): 379-391.
41. Sun X, Zhang Q, Medina M A, Liu Y ve Liao S. 2014. A study on the use of phase change materials (PCMs) in combination with a natural cold source for space cooling in telecommunications base stations in China, *Applied Energy*, 117, 95-103.

42. Nomura T, Okinaka N ve Akiyama T. 2010. Waste heat transportation system, using phase change material (PCM) from steelworks to chemical plant, *Resour Conserv Recycl*, 54 (11):1000-1006.
43. Gin B ve Farid M M. 2010. The use of PCM panels to improve storage condition of frozen food, *J Food Eng*, 100 (2): 372-376.
44. Shukla A, Buddhi D ve Sawhney R L. 2009. Solar water heaters with phase change material thermal energy storage medium: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (8): 2119-2125.
45. Jurinak J J ve Abdel-Khalik, S I. 1978. Properties optimization for phase-change energy storage in air-based solar heating systems. *Solar Energy*, 21 (5): 377-383.
46. Konuklu Y. 2008. Mikrokapsüllenmiş Faz Değiştiren Maddelerde Termal Enerji Depolama ile Binalarda Enerji Tasarrufu, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, Türkiye, s171.
47. Suppes G J, Goff M J ve Lopes S. 2003. Latent heat characteristic of fatty acid derivatives pursuant phase change material applications, *Chemical Engineering Science*, 58 (9): 1751-1763.
48. Karaipekli A, Sarı A. ve Biçer A. 2010. Binalarda Isıl Enerji Depolama İçin Yağ Asidi/Vermikülit Kompozit Karışımlarının Hazırlanması ve Enerji Depolama Özelliklerinin Belirlenmesi, 9. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Gazi Üniversitesi, 22-25 Haziran, Ankara, s9.
49. Ryu H W, Woo S W, Shin B C ve Kim S. D. 1992. Prevention of supercooling and stabilization of inorganic salt hydrates as latent heat storage materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 27, 161-172.
50. Farid M M, Khudhair A M, Razack S A K ve Al-Hallaj S. 2004. A review on phase change energy storage materials and applications, *Energy Conversion & Management*, 45 (9-10): 1597-1615.
51. Salunkhe P B ve Shembekar P S. 2012. A review on effect of phase change material encapsulation on the thermal performance of a system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (8): 5603-5616.
52. Fang G, Li H, Yang F, Liu X. ve Wu S. 2009. Preparation and characterization of nano-encapsulated n-tetradecane as phase change material for thermal energy storage, *Chem Eng J*, 153 (1-3): 217-221.
53. Li M. 2013. A nano-graphite/paraffin phase change material with high thermal conductivity, *Applied Energy*, 106, 25-30.
54. Wang J, Xie H, Xin Z, Li Y ve Chen L. 2010. Enhancing thermal conductivity of palmitic acid based phase change materials with carbon nanotubes as fillers. *Solar Energy*, 84 (2): 339-344.
55. Tumuluri K, Alvarado J L, Taherian H ve Marsh C. 2011. Thermal performance of a novel heat transfer fluid containing multiwalled carbon nanotubes and microencapsulated phase change materials, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54 (25-26): 5554-5567.
56. Şahan N ve Paksoy H Ö. 2013. Faz Değiştiren Maddelerin Nano Malzemelerle Kullanımının Araştırılması, *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29 (4): 24-31.
57. Li M, Wu Z ve Tan J. 2012. Properties of form-stable paraffin/silicon dioxide/expanded graphite phase change composites prepared by sol-gel method, *Applied Energy*, 92, 456-461.
58. Chen C, Liu S, Liu W, Zhao Y ve Lu Y. 2012. Synthesis of novel solid-liquid phase change materials and electrospinning of ultrafine phase change fibers, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 96, 202-209.
59. Pérez-Masiá R, Lopez-Rubio A ve Lagaron J M. 2013. Development of zein-based heat-management structures for smart food packaging, *Food Hydrocoll*, 30, 182-191.
60. Johnston J H, Grindrod J E, Dodds M ve Schimitschek K. 2007. The use and performance of a nano-structured calcium silicate phase change material for thermal buffering in food packaging, 61st Appita Annual Conference and Exhibition, Australia 6-9 May, 219-224.
61. Johnston J H, Grindrod J E, Dodds M ve Schimitschek K. 2008. Composite nano-structured calcium silicate phase change materials for thermal buffering in food packaging, *Current Applied Physics*, 8, 508-511.
62. Johnston J H. 2011. Nano-structured calcium silicate phase change materials for packaging temperature sensitive products, Dr. John Cuppoletti (Ed.), *Nanocomposites and Polymers with Analytical Methods*, Intech, New Zealand, 15, 361-375.
63. Melone L, Altomare L, Cigada A ve De Nardo L. 2012. Phase change material cellulosic composites for the cold storage of perishable products: From material preparation to computational evaluation, *Applied Energy*, 89, 339-346.