

GIDA AMBALAJLAMASINDA NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI: İNORGANİK NANOPARTİKÜLLERİN KULLANIMI

Süleyman Polat*, Hasan Fenerciöglü

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi / *Received*: 12.11.2013

Düzeltilerek Geliş tarihi / *Received in revised form*: 27.01.2014

Kabul tarihi / *Accepted*: 07.02.2014

Özet

Gıdaların besin değerini koruyarak raf ömrünü güvenli biçimde artırmayı sağlayan ambalaj malzemeleri geliştirilmesi konusunda araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Araştırma ve geliştirme çalışmalarında nanoteknolojiden de yararlanılmaktadır. Nano boyuta küçültülen malzemeler makroskobik boyutta sahip olduğu özelliklerinden farklı davranışlar gösterebilmektedir. Gıda ambalaj malzemesi üretiminde nanoparçacıkların dolgu materyali olarak kullanımının, ambalaj malzemesinin özelliklerini geliştirdiği bu sayede gıdaların raf ömrü üzerine olumlu etkilerinin olduğu bilinmektedir. Nanokompozit ambalaj filmi üretiminde, inorganik nanopartiküllerin kullanımı ise yeni sayılabilecek bir araştırma konusudur. Bu derlemede gıda ambalaj malzemesi üretiminde inorganik nanopartiküllerden gümüş, çinko oksit ve titanyum dioksitin potansiyel kullanımları ve üretilen nanokompozit filmlerin özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Nanokompozit, antibakteriyel, gümüş, çinko oksit, titanyum dioksit

APPLICATIONS of NANOTECHNOLOGY in FOOD PACKAGING: USAGE of INORGANIC NANOPARTICLES

Abstract

Research and development activities that help to improve the shelf-life and safety of foods for the improvement of packaging materials to preserve the nutritional value are continued. Nanotechnology is also used in research and development activities. Materials may exhibit some different properties when reduced into nano-scale than they were in macroscopic size. The use of nanoparticles as the filler material in producing food packaging material, whereby to improve the properties of packaging material is known to have beneficial effects on the shelf life of foods. The use of inorganic nanoparticles in nanocomposite packaging film production, is a relatively new research area. In this review, the potential uses of inorganic nanoparticles in production of food packaging material and the nanocomposite films features which are produced from inorganic nanoparticles of silver, zinc oxide and titanium dioxide are explained.

Keywords: Nanocomposite, antibacterial, silver, zinc oxide, titanium dioxide

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ polats@cu.edu.tr,

☎ (+90) 322 338 6173,

☎ (+90) 322 338 6614

GİRİŞ

Son yıllarda tüketici taleplerinde, minimum işlem görmüş gıdalara olan ilginin artmasına bağlı olarak, gıda üreticileri gerek gıdanın raf ömrünü uzatabilmek, gerekse gıdanın besin değerini koruyabilmek için yeni teknoloji ve yöntem arayışı içine girmiştir. Bunun sonucunda çalışmalar, gıdaların genel kalitesine ve besinsel değerine daha az etki edecek, raf ömrünü uzatacak yeni gıda işleme ve ambalajlama yöntemleri üzerinde yoğunlaşmıştır (1-3).

Termal olmayan; PEF (Vurgulu Elektrik Alanı), UV (Ultraviyole) ve ozon uygulamaları ile üretilen gıda ürünlerinin yapısında daha az kimyasal ve fiziksel değişiklikler meydana gelir. Bundan dolayı geleneksel olarak uygulanan termal proseslere göre daha taze, daha doğal tat ve aromaya sahip ürünler elde edilir (4-8). Ancak bu yöntemler kimi zaman spor üreten bakterilerin aktivitesini azaltmakta etkili değildir (9). Araştırmacılar bu sorununun çözümü için araştırmalarını, farklı teknikleri birlikte uygulama ve gıda ambalaj sektöründe yeni teknolojilerin araştırılması ve kullanılması üzerinde yoğunlaştırmışlardır.

Gıda ambalaj sektöründeki yeni gelişmeler, ambalajı sadece gıdayı koruma işlevini yerine getiren bir malzeme olmaktan çıkıp tüketicide merak uyandıran, bilgilendiren ve cezbeden bir konuma getirmiştir. Sadece gıdayı korumayı amaçlayan pasif ambalajlama teknolojileri günümüzde yerini, gıdaların korunmasında, satılmasında, özelliklerinin iyileştirilmesinde, çevresel atık değerlerinin azaltılmasında önemli rol oynayan, aktif ve akıllı ambalajlama teknolojilerine bırakmıştır. Bu çerçevede, biyoplastik malzeme teknolojileri, yenilebilir film ve kaplama malzemeler, modifiye atmosfer paketleme sistemleri, aktif ve akıllı paketleme sistemleri gibi yeni nesil gıda ambalajlama malzeme ve teknolojilerine yönelik çalışmalar önem kazanmıştır (10, 11).

NANOTEKNOLOJİNİN GIDA AMBALAJLAMASINDA KULLANIMI

Literatürde yeni ambalajlama metotları ile ilgili birçok terim bulunmaktadır. Ancak bu terimlerin tam anlamıyla tanımları yapılamamıştır. Bu nedenden dolayı 1999-2001 yıllarında Avrupa'da akıllı ve aktif ambalajlama metotlarının; ekonomik ve çevresel etkileri, güvenilirliğinin değerlendirilmesi, tüketici beklentilerinin ve

yararlılıklarının tespitini kapsayan bir proje (ACTIPAK-FAIR CT98-4170) gerçekleştirilmiştir. Projede aktif ve akıllı ambalajlama tanımı şu şekilde yer almıştır:

-Aktif ambalajlama; ambalajlı gıdanın kalitesini göz önünde bulundurarak, gıdanın raf ömrünü uzatmak veya güvenliğini ve duyuşsal özelliklerini geliştirmek amacıyla ambalajlı gıdanın ortamını değiştirmektir.

-Akıllı ambalajlama; ambalajlı gıdanın taşınması ve depolanması sırasında maruz kaldığı şartları göstererek kalitesi hakkında bilgi veren sistemlerdir (12).

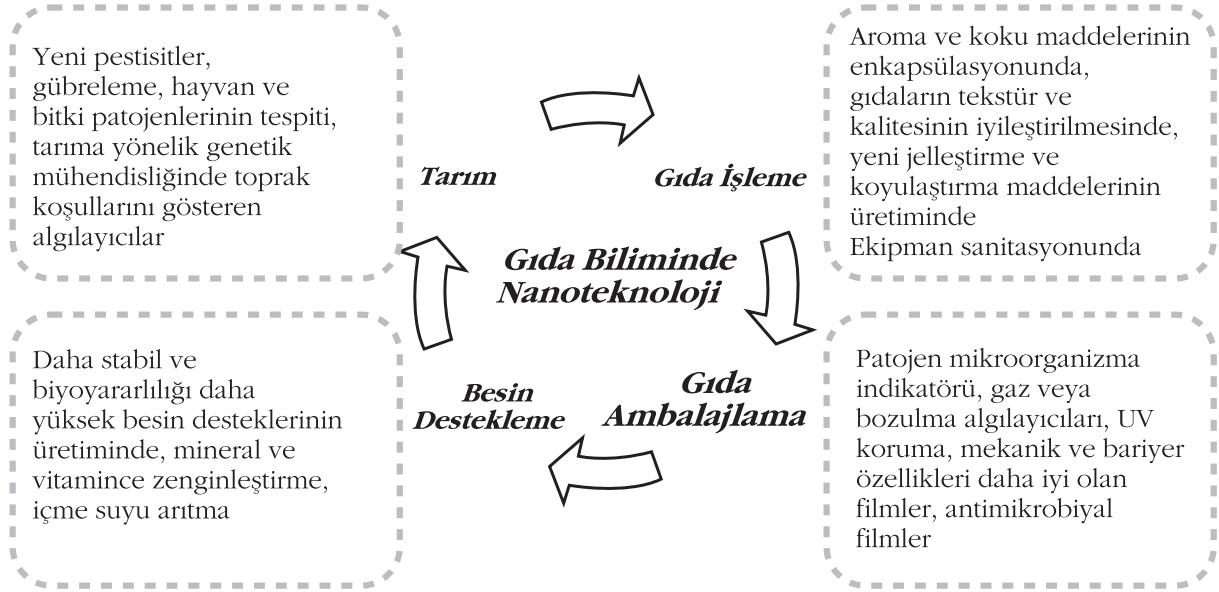
Aktif ambalajlama yöntemlerinden biri olan antimikrobiyel ambalajlama da gıdadaki canlı mikroorganizma sayısını azaltarak gıda güvenliğini sağlayan yeni bir ambalajlama sistemidir. Gıdaların besin değerini koruyarak raf ömrünü güvenli biçimde artırmayı sağlayan ambalaj malzemeleri geliştirilmesi konusunda araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Araştırma ve geliştirme çalışmalarında nanoteknolojiden de yararlanılmaktadır.

Nanoteknoloji, maddelerin 100 nm veya daha küçük boyutlara küçültülmesi, bunların karakterizasyonu ve analiz etme konularını içine alır. Bu derece küçük yapıların benzersiz ve yeni fonksiyonel özellikler taşıdıklarının belirlenmesi ile nanoteknolojiye gösterilen ilgi ve bu araştırma alanında yapılan çalışmalar son yıllarda giderek artmış olup, artmaya da devam etmektedir. Nano boyutlara inildiğinde artan "yüzey alanı/hacim" oranı maddeyi çok daha aktif yaparak çevredeki moleküllerle daha farklı etkileşmesine sebep olur (13).

Bilim adamları ve gıda endüstrinin önde gelen firmaları, nanoteknolojinin gıda biliminin ilgili olduğu tüm endüstrilerdeki potansiyel kullanım alanlarını tanımlamışlardır (Şekil 1).

Gıda biliminde nanoteknoloji kullanımının en aktif olduğu alanın, gıda ambalajlama olduğu bildirilmiştir. Nitekim 2008 yılında nanoteknoloji kullanılarak üretilen gıda ve içecek ambalajı pazar değeri 4.13 milyar dolar olarak belirlenmiş ve bu pazarın yıllık %11.65'lik bir büyüme göstererek 2014 yılında 7.3 milyar dolara ulaşması beklendiği kaydedilmiştir (14).

Nanoteknoloji gıdaların ambalajlanmasında 3 farklı şekilde kullanılabilir (15):



Şekil 1. Gıda biliminde nanoteknoloji uygulamaları.

1) Ambalaj malzemesinin bariyer özelliklerini geliştirmek amacıyla;

-Nanopartiküller (SiO_2 , montmorillonit vb.) sentetik polimer ve/veya biyopolimer bazlı ambalaj malzemelerinin üretiminde kullanılarak, bariyer ve mekanik özellikleri daha iyi olan ambalajların geliştirilmesinde kullanılabilir.

2) Aktif ambalaj materyallerinin geliştirilmesinde;

-Antimikrobiyel veya oksijen emme gibi aktif özelliklere sahip nanoparçacıklar (Ag , ZnO , TiO_2 vb.) kullanılarak aktif ambalaj malzemelerinin geliştirilmesine olanak sağlanabilir.

3) Nanosensorlerin üretiminde ve akıllı ambalajların geliştirilmesinde;

-Gıdanın maruz kaldığı depolama koşullarını, küçük organik molekülleri, gazları ve mikroorganizma kontaminasyonunu gösteren belirteçlerin üretiminde farklı nanopartiküller (Fe_2O_3 , TiO_2 vb.) kullanılabilir.

Nanokompozit ambalaj malzemesi üretiminde polimerin yapısına katılan kil (montmorillonite, kaolin, hektorit, sapanit); silikat nanoplakaları ve silica (SiO_2) nanoparçacıkları (16-18), karbon nanotüpleri (19-21), nişasta nanokristalleri (22, 23), kitin ve kitosan nanoparçacıkları (24, 25), nano boyutta dolgu malzemesi içermeyen ambalajlarla kıyaslandığında, mekanik ve termal özellikleri daha iyi, su buharı, azot, karbondioksit ve oksijen

geçirgenliği (26, 27) daha az olan filmler oluşturduğu bulunmuştur.

Modifiye atmosfer ve vakumlu ambalaj uygulamalarında çok katlı ambalaj malzemeleri kullanımı zorunluluğu vardır. Koekstrüzyon yöntemi ile üretilen çok katlı filmler vakum veya koruyucu gaz eşliğinde ambalajlamalarda kullanılmaktadır (28). Yapılan son çalışmalarda nanoparçacık ilave edilerek üretilen nanokompozit filmlerin, bariyer özellikleri geliştiği için çok katlı ambalaj malzemelerine alternatif olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir. Bu sayede, nanokompozit filmler, normal filmlere göre maliyeti 2-3 kat daha yüksek olan çok katmanlı filmlerin yerini alarak ambalaj giderlerinin azaltılabileceği, ayrıca gıdaların bozulmasını geciktirerek, çöpe atılan gıda miktarının düşürebileceği belirtilmiştir (29).

Nanoteknolojinin gıda ambalajında kullanılması ile yeni nanokompozit malzemelerin geliştirilmesi ve kullanılabilirliği konusunda dünyada araştırma ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Katalitik aktivite, optik özellikler ve antimikrobiyel aktivite özellikleri gibi fizikokimyasal özelliklerinden dolayı inorganik nanoparçacıklar, kapsamlı olarak çalışılmaktadır. Nanoboyutta üretilen gümüş, titanyum dioksit, çinko oksit ve magnezyum oksit gibi metal oksitlerin antimikrobiyel etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (30). Metal oksit partiküllerinin, organik antimikrobiyel ajanlara göre en önemli üstünlükleri işleme sırasında ve yüksek sıcaklıklarda daha iyi stabilite göstermeleridir. İnorganik

nanopartiküllerin etileni bloke edici veya azaltıcı kesin etki mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte literatürde Ag, TiO₂ ve ZnO nanopartiküllerinin iklimterik özellikteki meyve ve sebzelerin depolanmasında kullanılarak, etilenin etkilerinin azaltılabileceği bildirilmiştir.

Gümüş Nanoparçacıkları ve Gümüş Bazlı Nanokompozitler

Gümüşün geniş çaplı antimikrobiyel aktivite etkisi ve göreceli olarak düşük maliyeti gelişmiş ülkelerde aktif dezenfektan olarak kullanımını ön plana çıkarmaktadır. 2009 yılında FDA gıda katkı maddeleri kurallarını modifiye ederek ticari ambalajlı sularda 17 µg/kg aşmayacak şekilde doğrudan dezenfektan olarak gümüş nitrat kullanımına izin vermiştir (31). Ayrıca gümüş nano parçacıklarının etilen gazı yıkımını katalizlediği böylece meyvelerin depolanması sırasında solunumu yavaşlatarak, raf ömrünü uzatabileceği bildirilmiştir (32).

Gümüş nanoparçacıklarının gıdaların raf ömrü üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, gümüş nanoparçacıkları içeren aljinat filmler ile kaplanan havuç ve armutların, kaplanmayan ve sadece aljinat ile kaplanana göre, 10 günlük depolama sonrasında su kaybının daha düşük olduğu, renk, tekstür ve lezzet açısından tüketiciler tarafından daha kabul edilir olduğu bulunmuştur (33).

Benzer bir çalışmada kuşkonmaz sürgünleri gümüş nanoparçacıkları içeren polivinilprolidin filmlerle kaplanıp 2 °C'de depolandığında, kontrol örneklerine göre daha az ağırlık kaybettiği, daha yeşil renkli, taze yapıda ve düşük mikrobiyel yüke sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca kaplanmış örneklerde raf ömrünün 25 gün daha uzun olduğu bulunmuştur (34).

Ambalajlama materyalinin, taze kesilmiş elmaların raf ömrü üzerine etkisini incelemek için yapılan bir çalışmada, aynı boyutlarda ticari olarak satılan gümüş oksit (Ag₂O) nanoparçacık içerikli polietilen torba ve düşük yoğunluklu polietilen torba kullanılmıştır. Çalışmada taze kesilmiş elmaların genel duyu kalite özellikleri, renk, ağırlık, suda çözünür kuru madde değerlerindeki değişimler depolamanın yapıldığı 5 °C ve 15 °C'de depolama süresince incelenmiştir. Çalışma sonucunda nanokompozit ambalaj malzemesi kullanımının taze kesilmiş elmaların esmerleşmesini geciktirdiği

ve ağırlık kayıplarını azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca 5 °C'de yapılan depolamada, düşük yoğunluklu polietilen torbalarla ambalajlanan elmalar 6 gün sonra bazı bozulma belirtileri gösterirken, nanokompozit polietilen torbalarla ambalajlanan elmaların 12 gün sonra bile kabul edilebilir özellikte olduğu belirlenmiştir (35).

Bir başka çalışmada titanyum dioksit dolgululu gümüş veya çinko oksit nanoparçacıkları içeren düşük yoğunluklu polietilen torbalarda portakal suyu 4 °C'de 112 gün boyunca depolanmıştır. Depolama işleminden önce portakal suyu sterilize edilmiş ve ardından portakal sularına *Lactobacillus plantarum* (8.5 log kob/ml) enjekte edilmiştir. Nanoparçacıkları içeren filmlerle depolanan örneklerde nanoparçacık içermeyen filmlerle depolanan örneklerle göre, *L. plantarum* gelişiminin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca 112 gün sonra yapılan analizlerde gümüş nanoparçacıkları içeren filmlerin çinko oksit içerenlere göre daha yüksek antimikrobiyel etki gösterdiği belirlenmiştir (36).

Çinko Oksit Nanoparçacıkları ve Çinko Oksit Bazlı Nanokompozitler

Yapılan pek çok çalışmada, çinko oksit nanoparçacıklarının mor ötesi ışınlarına karşı koruyucu etkisi olduğu (37), antioksidan ve antibakteriyel etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (38).

Çoklu doymamış yağ asidine sahip yağlı gıdaların ışığa maruz kalması durumunda mor ötesi ışınlarının bu yağların oksidasyonunu tetikleyeceği ve ransit tat ve istenmeyen koku oluşumuna neden olacağı bildirilmiştir (39). Ayrıca gıdalardaki doğal renk maddelerinden klorofil ve özellikle β-karoten ve likopen gibi bazı karotenoidlerin, ışığın etkisiyle parçalandığı bildirilmiştir (39). Klorofil, ışığın etkisiyle hızlanan oksidasyon (fotooksidasyon) sonucu parçalanarak kahverengi/gri bir renge dönüşmektedir (40). Tüm bunlar dikkate alındığında çinko oksit nanoparçacıklarının gıda ambalajlanmasında kullanılarak gıdaların raf ömrünü uzatabileceği düşünülmektedir.

Yapılan bir çalışmada çinko oksit nanoparçacıkları ile kaplanmış PVC filmlerin antibakteriyel ve antifungal etkileri araştırılmış, filmlerin Gram negatif bir bakteri olan *E. coli* ve Gram pozitif bir bakteri olan *S. aureus*'un gelişimlerini ve çoğalma yeteneklerini inhibe ederek antibakteriyel etki gösterdiği, buna karşın filmlerin *Aspergillus flavus*

ve *Penicillium citrinum*'a karşı antifungal bir etki göstermediği kaydedilmiştir (41).

Başka bir çalışmada, ZnO nanoparçacıklarının *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Enteritidis, ve *E. coli* O157:H7'ye karşı önemli düzeyde antimikrobiyel etki gösterdiği ve bu etkinin ZnO konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir (42).

Gümüş ve çinko oksit nanoparçacıkları içeren düşük yoğunluklu polietilen nanokompozit filmlerden üretilen torbalara taze sıkılmış portakal suyu doldurularak 4 °C'de depolanmış, mikrobiyel stabilite, askorbik asit miktarı, esmerleşme indisi, renk değerleri ve duyuşal özellikleri 7, 28 ve 56 gün sonra ölçülmüştür. Nanoparçacık içeren filmlerle paketlenen meyve sularında mikrobiyel stabilitenin korunduğu ancak duyuşal özelliklerin önemli ölçüde kaybedildiği bildirilmiştir (43).

Polivinilklorür (PVC) filmlerin yüzeyi ZnO nanopartikülleri ile kaplanarak nanokompozit filmler üretilmiş ve nanokompozit ambalajın taze kesilmiş elmaların kalitesi üzerine etkisi 4 °C de 12 gün süre ile incelenmiştir. Kontrol filmlerle karşılaştırıldığında, nanokompozit ambalajlarla paketlenen elmalarda; meyve çürüme oranının ve malondialdehit birikiminin istatistiksel olarak önemli ölçüde daha az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kesme sonucu ortamda artan etilen konsantrasyonu nanokompozit ambalajlama ile baskılanmış, polifenoloksidaz ve pirogallol peroksidaz aktivitesi azaltılmıştır (44).

Başka bir çalışmada farklı şekil ve konsantrasyonlarda ZnO nanoparçacıkları kullanılarak çift yönlü gerdirilmiş polipropilen bazlı nanokompozit filmler üretilmiştir. Çalışmada, çift yönlü gerdirilmiş polipropilen filmlerin mekanik ve oksijen bariyeri özelliklerinin nanoparçacık şekline ve konsantrasyonuna bağlı olarak önemli ölçüde artırılacağı sonucuna varılmıştır (45).

Titanyum Dioksit (TiO₂) Nanoparçacıkları

TiO₂ fiziksel ve kimyasal kararlık göstermesi, düşük maliyetli oluşu, kullanılabilirlik kolaylığı ve toksik özellik göstermemesinden dolayı ilgi çeken bir metal oksittir. Işık katalizör özelliğine sahip TiO₂ nanoparçacıkları etileni H₂O ve CO₂'e okside edebilir (46). Nitekim Manera ve Hayata (47) TiO₂'nin fotokatalitik reaksiyon sonucunda etileni parçalama etkinliğini hem kimyasal analiz hem de meyve (domates) depolama testi ile belirlemiştir. Yine aynı araştırmacılar başka bir

çalışmalarında gerdirilmiş polipropilen filmin yüzeyini TiO₂ ile kaplamışlar ve etileni bloke etme özelliğinin, film yüzeyindeki TiO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir (48).

TiO₂ foto katalitik dezenfektan özelliğinden dolayı yüzey kaplamalarda oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. TiO₂ mikroorganizmaların hücre duvarında bulunan fosfolipidlerin peroksidasyonunu ışık eşliğinde katalizleyerek yükseltir ve membran bütünlüğünün kaybolmasına neden olur (49).

TiO₂ nanoparçacıklarının antimikrobiyel etkisinin umut verici olduğu bildirilmiştir. Ag nanoparçacıklarından farklı olarak TiO₂ nanoparçacıkları antimikrobiyel etkiyi yalnız fotokatalizör eşliğinde göstermektedir. Bundan dolayı TiO₂ bazlı antimikrobiyeller yalnızca UV ışık altında etki göstermektedir. Örneğin TiO₂ nanoparçacıkların gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalardan *Salmonella* Choleraesuis, *Vibrio* parahaemolyticus, *L. monocytogenes*'e karşı UV ışık altında etki gösterirken, karanlık ortamda bu etki görülmemiştir (50).

TiO₂ nanoparçacıkları kullanılarak polipropilen filmin yüzeyi kaplanmıştır. Üretilen filmin dilimlenmiş marullarda *E. coli* gelişimini engellediği tespit edilmiştir (51). Birçok araştırmacı antimikrobiyel etkiyi arttırmak için, TiO₂ ve Ag nanoparçacıklarını birlikte kullanarak film ve nanoparçacık karışımı oluşturmuşlardır (52, 53).

Hu ve ark. (54), yaptıkları bir çalışmada Ag, TiO₂ ve montmorilliniote nanoparçacık karışımını kullanarak düşük yoğunluklu polietilen bazlı, 50 µm kalınlığında nanokompozit film üretmişlerdir. Aynı kalınlıkta üretilen kontrol filmlerle karşılaştırıldığında, nanoparçacık kullanımının filmlerin su buharı geçirgenliği ve oksijen geçirgenliğini sırasıyla % 19.54 ve % 32.86 azalttığı, filmlerin gerilme direncini ise %31.69 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada üretilen nanokompozit filmin, etilen uygulaması yapılmış olgun kivilerin kalite parametreleri üzerine etkisi 4 °C de 42 gün süreyle incelenmiştir. Çalışma sonucunda nanokompozit ambalajlamanın hasattan sonra meyve bozulmalarını engellemek ve meyvenin depolanma ömrünü uzatmak için faydalı bir teknik olabileceği ifade edilmiştir.

Li ve ark. (55), yaptıkları bir çalışmada Ag, TiO₂ ve kaolin nanoparçacık karışımını kullanarak polietilen bazlı, 40 µm kalınlığında nanokompozit

film üretmişlerdir. Aynı kalınlıkta üretilen kontrol filmlerle karşılaştırıldığında, nanoparçacık kullanımının filmlerin su buharı geçirgenliği ve oksijen geçirgenliğini sırasıyla % 28.07 ve % 2.1 azalttığı, gerilme direncini ise %19.45 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışmada üretilen nanokompozit filmlerle hünnap meyvesi ambalajlanmış ve oda sıcaklığında depolanarak kalite değişimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda nanokompozit ambalaj malzemesinin, normal ambalaj (polietilen) malzemesine göre meyvenin fizikokimyasal ve duyu kalite özellikleri üzerine oldukça faydalı etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Yang ve ark. (56) aynı özelliklere sahip nanokompozit filmi kullanarak taze çilekleri ambalajlamışlar ve nanokompozit ambalajın çileklerin kalite parametreleri üzerine etkisini 4 °C'de 12 gün süreyle incelemişlerdir. On iki gün depolama sonrası nanokompozit filmlerle yapılan ambalajlamanın, kontrol filmlerle yapılan ambalajlamaya göre çileklerin suda çözünür kuru madde, toplam asitlik ve askorbik asit değerlerindeki azalışı önemli ölçüde engellediği tespit edilmiştir. Ayrıca nanokompozit film kullanılarak yapılan ambalajlamanın çileklerin çürüme oranını, antosiyanin ve malondialdehit içeriği değerlerindeki kayıpları sırasıyla %16.7; 26.3 mg/100g ve 66.3 µmol/g oranlarında azalttığı belirlenmiştir.

SONUÇ

Yapılan çalışmalar, inorganik nanopartiküllerin gıda ambalajlamasında kullanımının birçok avantaj sağlayabileceğini ortaya koymuştur. İnorganik nanopartiküllerin etilen gazı yıkımını katalizlemesi ve mor ötesi ışıklara karşı koruyucu etkiler göstermesi bu maddelerin ambalaj filmi üretiminde kullanımlarını cazip kılmaktadır. Ancak nanoteknoloji uygulamalarının gıda ambalaj üretiminde yeni bir teknoloji olması ve beraberinde getireceği risklerin tam olarak bilinmemesinden dolayı kullanımında dikkatli olunmalıdır. İnorganik nanopartiküllerin toksik etkileri üzerine şu ana kadar çok az çalışma yapılmıştır. Toksikite çalışmaları nanopartiküllerin insan sağlığı üzerine zararlı etkilerinin olabileceğini belirtmekle birlikte bu konuda birçok belirsizlik bulunmaktadır. Bundan dolayı tüketici sağlığını ve çevreyi olumsuz etkileyecek kullanımlardan kaçınılmalıdır. Yasal düzenlemelerin ve nanopartiküllerin kullanım oranlarının belirlenebilmesi için toksisite ve migrasyon çalışmalarına hız verilmelidir.

KAYNAKLAR

1. İçier F, Baysal T. 2012, Gıda Teknolojisinde Minimal İşleme, *Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler*, Baysal T, İçier F (baş editor), Nobel Akademik Yayıncılık, Türkiye, s. 1-10.
2. Ayhan Z. 2012, Yeni Ambalaj Teknolojileri, *Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler*, Baysal T, İçier F (baş editor), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Türkiye, s. 43-75.
3. Ohlsson T, Bengtsson N. 2002. *Minimal processing technologies in the food industry*. CRC Press, Boca Raton, 288 pp.
4. Bilek SE. 2012. Vurgulu Elektrik Alan, *Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler*, Baysal T, İçier F (baş editör), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Türkiye, s. 261-280.
5. Ünlütürk S. 2012, Ultraviyole (Mor Ötesi) Işınlama, *Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler*, Baysal T, İçier F (baş editor), Nobel Akademik Yayıncılık, Türkiye, s. 261-280.
6. Pala ÇU, Toklucu AK. 2013. Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. *Food Sci Technol*, 50:426-431.
7. Kuşçu A, Pazır F. 2004. Gıda Endüstrisinde Ozon Uygulamaları. *GIDA*, 29(2):123-129.
8. Kim JG, Yousef AE, Dave S. 1999. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. *J Food Prot*, 62(9): 1071-1087.
9. Dunne CP., Kluter RA. 2001. Emerging non-thermal processing technologies: criteria for success. *Aust J Dairy Technol*, 56 (2)109-112.
10. TÜBİTAK. 2012. http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/TEYDEB/1511/gida/1511-GIDA-2012-GHS-02.pdf (Erişim Tarihi: 06.10.2013).
11. Kankaya T. 2011. Farklı poliolefin/kil nanokompozit malzemeler ile üretilen ambalajların diyet bisküvilerin kalitesine etkisinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Isparta, Türkiye, 83 s.
12. Han JH. *Packaging for Nonthermal Processing of Food*, Wiley-Blackwell Pub., Iowa, (2008). Pp:248.

13. Anonim 2013. < <http://tr.wikipedia.org/wiki/Nanoteknoloji>
14. Anonim 2013. Innovative Research and Products Inc., Nano-enabled Packaging for the Food and Beverage Industry—A Global Technology, Industry and Market Analysis, 2009.
15. Duncan TV. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *J Colloid Interface Sci*, 363,(1) 1-24.
16. Wang N, Zhao C, Shi Z, Shao Y, Li H, Gao N. 2009. Co-incorporation of MMT and MCM-41 nanomaterials used as fillers in PP composite. *Mater Sci Eng: B*, 157,(1-3), 44-47.
17. Tang S, Zou P, Xiong H, Tang H. 2008. Effect of nano-SiO₂ on the performance of starch/polyvinyl alcohol blend films. *Carbohydr Polym*, 72(3), 521-526.
18. Jia X, Li Y, Cheng Q, Zhang S, Zhang B. 2007. Preparation and properties of poly(vinyl alcohol)/silica nanocomposites derived from copolymerization of vinyl silica nanoparticles and vinyl acetate. *Eur Polym J*, 43 (4) 1123-1131.
19. Kim JY, Han SI, Kim SH. 2007. Crystallization Behaviors and Mechanical Properties of Poly(ethylene 2,6-naphthalate)/Multiwall Carbon Nanotube Nanocomposites. *Polym Eng Sci*, 47 (11) 1715-1723.
20. Kim JY, Han SI, Kim DK, Kim SH. 2009. Mechanical reinforcement and crystallization behavior of poly(ethylene 2,6-naphthalate) nanocomposites induced by modified carbon nanotube. *Composites Part A: Appl Sci Manuf*, 40 (1) 45-53.
21. Prashantha K, Soulestin J, Lacrampe MF, Krawczak P, Dupin G, Claes M. 2009. Masterbatch-based multi-walled carbon nanotube filled polypropylene nanocomposites: Assessment of rheological and mechanical properties. *Compos Sci Technol*, 69 (11-12),1756-1763.
22. Chen Y, Cao X, Chang PR, Huneault MA. 2008. Comparative study on the films of poly(vinyl alcohol)/pea starch nanocrystals and poly(vinyl alcohol)/native pea starch. *Carbohydr Polym*, 73,(1)8-17.
23. Kristo E, Biliaderis CG. 2007. Physical properties of starch nanocrystal-reinforced pullulan films. *Carbohydr Polym*, 68,(1) 146-158.
24. de Moura MR, Aouada FA, Avena-Bustillos RJ, Mchugh TH, Krochta JM, Mattoso LHC. 2009. Improved barrier and mechanical properties of novel hydroxypropyl methylcellulose edible films with chitosan/tripolyphosphate nanoparticles. *J Food Eng*, 92 (4), 448-453.
25. de Moura MR, Lorevice MV, Mattoso LHC, Zucolotto V. 2011. Highly Stable, Edible Cellulose Films Incorporating Chitosan Nanoparticles. *J Food Sci*, 76 (2), N25-N29.
26. Lee JH, Jung D, Hong CE, Rhee KY, Advani SG. 2005. Properties of polyethylene-layered silicate nanocomposites prepared by melt intercalation with a PP-g-MA compatibilizer. *Compos Sci Technol*, 65 (13), 1996-2002.
27. Dadbin S, Noferesti M, Frounchi M. 2008. Oxygen Barrier LDPE/LLDPE/Organoclay Nano-Composite Films for Food Packaging. *Macromol Symp*, 274, 22-27.
28. Üçüncü M. 2007. *Gıda Ambalajlama Teknolojisi*, Meta Basım, İzmir, Türkiye. 879 p.
29. Ray SS, Yamada K, Okamoto M, Ueda K. 2002. Polylactide-Layered Silicate Nanocomposite: A Novel Biodegradable Material. *Nano Lett*, 2 (10), 1093-1096.
30. Premanathan M, Karthikeyan K, Jeyasubramanian K, Manivannan G. 2011. Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward Gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. *Nanomedicine*, 7 (2), 184-192.
31. US Food and Drug Administration, Fed. Regist. 74 (2009) 11476.
32. Fernandez A, Picouet P, Loret E. 2010. Cellulose-silver nanoparticle hybrid materials to control spoilage-related microflora in absorbent pads located in trays of fresh-cut melon. *Int J Food Microbiol*, 142(1-2), 222-228.
33. Fayaz AM, Balaji K, Girilal M, Kalaichelvan PT, Venkatesan R. 2009. Mycobased Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Incorporation into Sodium Alginate Films for Vegetable and Fruit Preservation. *J Agric Food Chem*, 57 (14), 6246-6252.
34. An J, Zhang M, Wang S, Tang J. 2008. Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spears as affected by coating of silver nanoparticles-PVP. *LWT - Food Sci and Technol*, 41 (6), 1100-1107.
35. Zhou L, Lv S, He G, He Q, Shi B. Effect of PE/AG₂O nano-packaging on the quality of apple slices. *J Food Qual*, 34 (3), 171-176.

36. Emamifar A, Kadivar M, Shahedi M, Soleimani-Zad S. 2011. Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of *Lactobacillus plantarum* in orange juice. *Food Control*, 22 (3-4), 408-413.
37. Sun L, Rippon JA, Cookson PG, Koulaeva O, Wang X. 2009. Effects of undoped and manganese-doped zinc oxide nano particles on the colour fading of dyed polyester fabrics. *Chem Eng J*, 147(2-3), 391-398.
38. Rostan EF, Debuys HV, Madey DL, Pinnell SR. 2002. Evidence supporting zinc as an important antioxidant for skin. *Int J Dermatol*, 41(9), 606-611.
39. Steele R. 2000. *Understanding and measuring the shelf-life of food*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, Pp:383.
40. Coles R. 2003. *Food Packaging Technology*. Blackwell Pub. Ltd, London, Great Britain, Pp: 338.
41. Li, XH, Xing YG, Jiang YH, Ding YL, Li WL. 2009b. Antimicrobial activities of ZnO powder-coated PVC film to inactivate food pathogens. *Int J Food Sci Technol*, 44, 2161-2168.
42. Jin T, Sun D, Su JY, Zhang H, Sue H. 2009. Antimicrobial efficacy of zinc oxide quantum dots against *L. monocytogenes*, *S. enteritidis*, and *E. coli* O157:H7. *J Food Sci*, 74 (1), M46-M52.
43. Emamifar A, Kadivar M, Shahedi M, Soleimani-Zad S. 2010. Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. *Innovative Food Sci Emerg Technol*, 11 (4), 742-748.
44. Li X, Li W, Jiang Y, Ding Y, Yun J, Tang Y, Zhang P. 2011. Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut 'Fuji' apple. *Int J Food Sci Technol*, 46, 1947-1955.
45. Lepot N, Van Bael MK, Van Den Rul H, D'haen J, Peeters R, Franco D, Mullens J. 2011. Influence of Incorporation of ZnO Nanoparticles and Biaxial Orientation on Mechanical and Oxygen Barrier Properties of Polypropylene Films for Food Packaging Applications. *J Appl Poly Sci*, 120(3), 1616-1623.
46. Han YS, Nie LH. 2004. The mechanism of protecting fresh and preparation of nano TiO₂ thin film. *Journal of Zhuzhou Institute of Technology*, 18, pp. 148-150
47. Maneerat C, Hayata Y, Egashira N, Sakamoto K, Hamai Z, Kuroyanagi M. 2003. Photocatalytic reaction of TiO₂ to decompose ethylene in fruit and vegetable storage. *ASABE*, 46(3): 725-730.
48. Maneerat C, Hayata Y. 2008. Photocatalytic gas-phase photocatalytic oxidation of ethylene with TiO₂ coated packaging film for horticultural Products. *ASABE*, 51(1): 163-168.
49. Jing Z, Guo D, Wang W, Zhang S, Qi W, Ling B. 2011. Comparative study of titania nanoparticles and nanotubes as antibacterial agents. *Solid State Sci*, 13 (9), 1797-1803.
50. Kim B, Kim D, Cho D, Cho S. 2003. Bactericidal effect of TiO₂ photocatalyst on selected food-borne pathogenic bacteria. *Chemosphere*, 52 (1), 277-281. 50.
51. Chawengkijwanich C, Hayata Y. 2008. Development of TiO₂ powder-coated food packaging film and its ability to inactivate *Escherichia coli* in vitro and in actual tests. *Int J Food Microbiol*, 123 (3), 288-292.
52. Cheng Q, Li C, Pavlinek V, Saha P, Wang H. 2006. Surface-modified antibacterial TiO₂/Ag⁺ nanoparticles: Preparation and properties. *Appl Surf Sci*, 252 (12) 4154-4160.
53. Wu TS, Wang KX, Li GD, Sun SY, Sun J, Chen JS. 2010. Montmorillonite-Supported Ag/TiO₂ Nanoparticles: An Efficient Visible-Light Bacteria Photodegradation Material. *ACS Appl Mater Int*, 2 (2), 544-550.
54. Hu Q, Fang Y, Yang Y, Ma N, Zhao L. 2011. Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food Res Int*, 44 (6), 1589-1596.
55. Li H, Li F, Wang L, Sheng J, Xin Z, Zhao L, Xiao H, Zheng Y, Hu Q. 2009 Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese Jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* (Bungu) Rehd). *Food Chem*, 114 (2), 547-552.
56. Yang FM, Li HM, Li F, Xin ZH, Zhao LY, Zheng YH, Hu QH. 2010. Effect of nano-packing on preservation quality of fresh strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. cv Fengxiang) during storage at 4 degrees C. *J Food Sci*, 75 (3), C236-C240.