

## Gıda Endüstrisinde Nanoteknoloji Uygulamaları

Erdem SAKA<sup>1</sup>, Göknur TERZİ GÜLEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü Hay. Sağ. ve Yet Şb. Müd. Samsun-Türkiye

<sup>2</sup> Ondokuzmayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı Samsun-Türkiye

Geliş Tarihi / Received: 13.11.2015, Kabul Tarihi / Accepted: 15.12.2015

**Özet:** Nanoteknoloji, nanometre ölçeğindeki materyal, sistem ve cihazların geliştirilmesi ile ilgilenen bilim ve teknoloji alanıdır. Nanoteknoloji tıp, tekstil kozmetik, elektronik, ilaç, ziraat ve gıda sanayi gibi birçok sektörlerde uygulama alanı bulmuştur. Son yıllarda gıda nanoteknolojisi alanındaki gelişmeler, yenilikçi ve daha sağlıklı gıdaların geliştirilmesine olanaklar sağlamaktadır. Gıda nanoteknolojisi, gıda endüstrisi sektöründe özellikle gıda işleme, muhafaza, ambalajlama, nano katkı maddeleri ve nanosensörlerinin geliştirilmesi gibi birçok alanda araştırma alanlarını kapsamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Nanoteknoloji, gıda endüstrisi, biyoaktif maddeler, nanosistemler

### Nanotechnology Applications In The Food Industry

**Abstract:** Nanotechnology, a science and technology branch concerning with developing of material, is a system and devices in nanometer scale. Nanotechnology has found field of application in so many sectors like medicine, textile, cosmetics, electronics, medication, agriculture and food industry. In recent years, improvements on field of food technology provide opportunity for further development of innovative and healthier food. Food nanotechnology covers research fields in so many fields like especially development of food processing, preservation, packaging, nano additive agents and nanosensors in sector of food industry.

**Key words:** Nanotechnology, food industry, bioactive substances, nanosystems

### Giriş

Nanoteknoloji günümüzde tekstil, elektronik ve ilaç sanayinden gıda ve ziraat alanına kadar birçok alanda önemli araştırma ve uygulama alanı bulmuştur. Son yıllarda tüketiciler yüksek kalitede, doğal, taze, mikrobiyolojik açıdan güvenli, koruyucu ve katkı maddesi içermeyen, raf ömrü uzun gıdaları tüketmek istemektedirler. Bu nedenle gıdaların daha uzun ömürlü ve kaliteli olmasını sağlamak amacıyla günümüzde nanoteknoloji alanındaki çalışmalara ağırlık verilmiştir [36, 37].

Nanoteknoloji uygulamaları kullanılarak üretilen nanoparçacıklar ile gıda maddelerine tekstür ve aroma gibi istenilen özelliklerin kazandırılması sağlanabilmektedir. Özellikle antimikrobiyal paketleme, biyobozunur malzemeler ve yenilebilir filmler ile gıdaların güvenilirliği ve raf ömrü güvence altına alınmaktadır. Akıllı ambalajlar ve nanosensörler ile gıdalardaki bozulma belirtileri önceden tespit edilebilmektedir [36,37].

Bu derlemede nanoteknolojinin gıda endüstrisinde kullanım alanları gıdaların işlenmesi ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi amacıyla kullanılan nanoemülsiyonlar, biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımını sağlayan nanokapsüller, patojenlerin tespiti ve gıda güvenliğinin artırılması amacıyla kullanılan nanosensörler ve yeni paketleme sistemlerinin geliştirilmesi başlıkları altında ele alınmıştır.

### Nanoteknolojinin Tanımı

“Nano” kelimesi Yunanca ve Latince kökenli bir sözcük olup, cüce, bodur anlamına gelmektedir. “Nanoteknoloji”, terimi “nanometre” teriminden gelmektedir. Nanometre temel olarak bir ölçüm skalasıdır ve metrik sistem içinde bir metrenin milyarda biri veya bir milimetrenin milyonda biri olarak ifade edilmektedir [22]. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Nanoteknoloji Girişimi (NNI) tarafından yapılan tanıma göre nanoteknoloji 1-100 nanometre arasındaki boyutlara sahip maddelerin incelenmesi ve işlenmesi olarak tanımlanmaktadır [1].

### Nanoteknolojinin Genel Kullanım Alanları

Nanoteknoloji tıbbi uygulamalardan biyoteknolojiye, elektronikten gıdaya kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Nanoteknoloji tekstil alanında çorap ipliğine gümüş nano parçacıkların uygulanması ile bakteri barındırmayan ve kokuyu engelleyen çorapların üretimi sağlamaktadır. Bunun yanında sensörlerin kullanıldığı kumaşlar ile komut veren, hisseden ve enerji üretebilen giysilerin yapımı sağlanmıştır. Suyu itebilen kumaşların kullanılmasıyla kirlenmeyen, yıkama ve ütümeye ihtiyaç duyulmayan elbiseler üretilmiştir. Elektronik ve optik özelliğe sahip kumaş ipliğinin kullanılmasıyla aydınlatma özelliğine sahip giysilerin üretilmesi sağlanmıştır [3,6]. Nanoteknoloji tarım alanında bitki ve hayvan ıslahının sağlanması, bitki hastalıklarının önlenmesi, zirai ilaç kullanımının azaltılması ve hastalıkların tespiti gibi alanlarda kullanılmaktadır [22]. Nanoteknoloji kozmetik sanayinde; nano-kapsüller içeren aktif malzemelerden üretilmiş kırışık önleyici kremlerin yapımı, kimya sanayinde; nanoparçacıkların fotokatalitik etkileri ile optimum yüzey temizleme özelliğine sahip boyaların üretimi ve kendi kendini temizleyebilen binaların yapımında kullanılmaktadır. Elektronik alanında nanoteknoloji; mevcut hafıza aygıtlarından 10-100 kat fazla kalıcı belleğe sahip bilgisayarlar ve karbon nanotüp transistörler ile geleceğin ultra hızlı ve küçük bilgisayarlarının üretiminde kullanılmaktadır [2,4].

### Nanoteknolojinin Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları

Nano gıda; gıdaların üretimi, işlenmesi ve ambalajlanması sırasında nanoteknoloji tekniklerinin kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Bu teknik, gıdaların nanomakineler tarafından üretildiği veya modifiye edildiği anlamına gelmemektedir. Gıda nanoteknolojisi basit anlamda gıda sektörü için nanobilim uygulamalarını kapsamaktadır. Daha spesifik anlamda ise nano bilim ve mühendislik ile gıdaların yapısı, dokusu ve kalitesi üzerinde yeni atılımlar ve uygulamalar geliştirmek olarak tanımlanmaktadır [22].

Gıda endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları kaliteleri ve güvenilir gıda üretimi için gıda paketlenme sistemlerini geliştirmek, biyosensörler kullanılarak gıdaların izlenebilirliğini sağlamak, aktif ve akıllı paketlenme sistemleri geliştirerek bakterilerin

tanımlanması sağlamak gibi bazı uygulamaları içermektedir [22,41].

Gıda katkı maddeleri, besin takviyeleri, hafif ve antibakteriyel özellikte yiyecek ve içecek kaplarının yapılması gıda nanoteknolojisinin asıl odak noktasını oluşturmaktadır. Nanoparçacıkların gıda ambalajlarında kullanılması ile ambalajların çevre koşullarına karşı daha dayanıklı, esnek, ışığa ve gazlara karşı koruyucu özellik kazanması sağlanmaktadır [32].

Nanoteknolojinin gıda alanındaki uygulama alanları dört ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar:

- Gıdaların işlenmesi ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi,
- Biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımı,
- Patojenlerin tespiti ve gıda güvenliğinin artırılması,
- Paketleme sistemlerinin geliştirilmesi'dir.

### Gıdaların İşlenmesi ve Fonksiyonel Ürünlerin Geliştirilmesi

Nanoemülsiyonlar: Mekanik kesme kuvveti kullanılarak, birbiri içinde çözünmeyen ya da kısmi olarak çözülen su ve yağ gibi iki sıvı fazın damlacıklar halinde dağılmasıyla oluşan karışıma emülsiyon adı verilmektedir. Damlacık çaplarının ortalama 20-100 nm olduğu sıvı fazdaki ve nano ölçekteki yapılar, nanoemülsiyonlar olarak ifade edilmektedir [28, 29].

Nanoemülsiyonlar yapılarını oluşturan ve saydam görünmelerini sağlayan nanodamlacıklar vasıtasıyla sedimentasyon ve kremleşmeyi engelleyerek biyoaktif ürünlerin transportunun gerçekleştirilmesi amacıyla geliştirilen önemli sistemlerden biridir. Nanoemülsiyonların, lipaz gibi yüzey aktif maddeler için substratların erişilebilirliklerini artırdıkları belirtilmiştir. Nanoemülsiyonlar ürün görünümünü iyileştirmekle birlikte nanokapsülleme ile yağların biyoyararlanımı ve yağda çözünebilen besinlerin sindirimini artırmaktadır [28].

Nanoemülsiyonların, bağırsaklarda biyoyararlılığı çok düşük olan koenzim Q10'in (CoQ10) nanoemülsifiye edilmiş formlarının kullanımı ile biyoyararlılığı önemli ölçüde artırdığı bildirilmek-

tedir [44].  $\beta$ -karoten içeren nanodispersiyonların kullanımı ile karoteoidlerin sindirim sisteminden geçişleri süresince suda çözünmelerinin sağlandığı ve biyoyararlıklarının artırıldığı bildirilmiştir [31]. E vitamini yağda çözünür özellikte olmasından dolayı meyve sularına katıldığında ürünün görünümünü olumsuz etkiler. Bu olumsuzluğun giderilmesi amacıyla nanoemülsiyonlar kullanılarak meyve sularınının daha berrak olması sağlanmaktadır [13].

### **Biyoaktif Maddelerin Taşınması ve Kontrollü Salınımı**

Nanokapsüller: Proteinler, vitaminler, esansiyel yağlar, antioksidanlar ve mineraller gibi çeşitli besin öğelerinin biyoyararlılığını artıran, onları olumsuz çevre şartlarından koruyarak vücutta hedeflenen dokulara taşınmasını sağlayan taşıma sistemleridir. Nanokapsüller gıdaların işlenmesi ve muhafazası esnasında depolama koşullarının etkisi ile biyoaktif maddelerin zararlı bileşenlere dönüşmelerini engellenmektedirler [17].

Gıdalarda mikroenkapsülasyon teknolojisinin kullanımı ile, koruyucu bir bariyer sağlanması, hoş olmayan lezzet ve tadın maskelenmesi, biyoyararlanımın artırılması, kontrollü salınım, suda çözünmeyen gıda ve katkı maddeleri için sulu bir ortam içinde dağılımın sağlanması gibi etkiler sağlanmaktadır [12]. Gıda alanında yapılan çalışmalarda mikrokapsüllenmiş balık yağının ekmeclere eklenmesi ile balık yağının hoş olmayan kokusu ve tadının maskelendiği bildirilmiştir [34]. Mısır içerisinde bulunan başlıca protein olan zein nanomalzemesi, aroma maddesi olarak ve diyet takviyelerinde kullanılmaktadır [40].

Lipozomlar: Lipozomlar polimer esaslı nanopartiküller içerisinde üstün avantajlar sunan, tek veya birçok tabakadan oluşmuş veziküler yapıdaki taşıma sistemleri olarak tanımlanmaktadır [18]. Lipozomlar toksik yapıda olmayan, biyolojik olarak parçalanabilen ve immunojenik karakterde olmayan maddelerdir. Lipozomlar ilaç taşıyıcı özellikleri ile tıp ve biyomühendislik alanında, bunun yanında su içerisinde çözünebilir ve çözünemeyen molekülleri tutabilme fonksiyonları ile gıda ve tarım endüstrisinde kullanılmaktadır [25].

Gıda sektöründe yapılan çalışmalarda, kapsüle edilmiş enzimlerin kullanılması ile ürünlerin kalitesinin artırılması, fermentasyon süresininin kı-

saltılması ve kimyasallara karşı korunma amaçlanmaktadır [20]. Laktoz intoleransı olan hastalar için geliştirilen ürünlerde, laktozun glikoz ve galaktoza parçalanması ile oluşan yüksek şekerli tadın önlenmesi amacıyla lipozomlara kapsüllenen  $\beta$ -galaktosidaz enziminin  $+5^{\circ}\text{C}$ 'de 20 gün ile 1 ay arasında enzim aktivitesini koruduğu belirtilmektedir [23].

### **Patojenlerin Tespiti ve Gıda Güvenliğinin Artırılması**

Nanosensörler: Gıda işleme zinciri boyunca gıdanın bozulması ya da tahribatına neden olan patojenlerin veya kimyasal kirleticilerin tespitine yönelik ve ürünlerin takip edilmesi amacıyla nano bazlı sensörler kullanılmaktadır. Bu amaçla yüksek işlem algılama özelliğinde, basit, düşük maliyetli, kolay geri dönüşümlü ve etikete ihtiyaç duyulmayan çok duyarlı karbon nanotüp tabanlı biyosensörler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sensörler ile gıdalar üzerindeki mikroorganizma, toksik proteinler ve bozulmuş ürünlerin tespitine yönelik çalışmalar devam etmektedir [15].

Gıda mikrobiyolojisi için zaman faktörünün önemi düşünüldüğünde patojenleri gün, saat hatta dakikalar ile tespit edebilen nanosensörlerin geliştirilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu tür nanosensörler gıda maddeleri içerisine doğrudan yerleştirilerek, gıda bozulmaları sırasında açığa çıkan kimyasalları tespit edebilen "elektronik dil" ya da "burun" olarak adlandırılan sistemler geliştirilmiştir [19]. Nanopartiküller, ambalaj malzemelerinde reaktif partiküller olarak kullanılmaktadır. Nanosensör olarak adlandırılan bu malzemeler sayesinde, çevresel değişikliklerin (oksijen, sıcaklık, nem vs.) gıda üzerinde şekillendirdiği yıkım ürünlerinin oluşturduğu gıda bozulmalarının tespit edilmesi mümkündür [8].

Gıdaların son kullanma tarihleri, maruz kaldıkları dağıtım ve saklama koşulları dikkate alınarak belirlenmektedir. Özellikle taşıma ve muhafaza aşamaları sırasında soğuk zincir kurallarına dikkat edilmediği durumlarda şekillenen ısı değişiklikleri nedeniyle gıdalar patojenler açısından risk taşımaktadır. Ambalaj sistemleri üzerindeki mikrogözenekler ve kusurlar, gıdanın yüksek oranda oksijene maruz kalmasına ve istenmeyen değişikliklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bazı kimyasal bileşikler, patojenler ve toksinleri tespit edebilen nanosensörlerin gıda ambalajlarına entegre edilmesi ile gıdala-

rin tazeliklerinin korunması ve son kullanma tarihlerinin belirlenmesindeki hataların ortadan kaldırılması sağlanmaktadır. [32].

Gıdalar üzerinde bakteri, virüs ve toksin gibi alerjenlerin algılanmasına yönelik nanosensörlerin kullanılmasına ilişkin çok sayıda araştırma yapılmaktadır [14,39]. Bu konuda poli (dimetil-siloksan) çipleri üzerinde 0.5 ng/ml'lik limitlerde *S.aureus* enterotoksin B antikörlerini tespit edebilen biosensörler, ayrıca aynı anda *Salmonella* spp. *L.monocytogenes* ve *E.coli* O157'yi tespit edebilen nanoveziküller geliştirilmiştir [14]. Nano titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) ile kapsüllenmiş ambalaj filmlerinin taze meyve ve sebzelerin yüzeyinde *E. coli* kontaminasyonunu azaltmak amacıyla kullanılabileceği bildirilmektedir [39].

### **Paketleme Sistemlerinin Geliştirilmesi**

Gıdalar fiziksel, kimyasal ve biyolojik tehlikelerle kontaminasyonun engellenmesi, bunun yanında oksijen, su buharı ve ışık gibi dış etkilere korunması amacıyla ambalajlanmaktadır. Kullanılan ambalajların özellikleri gıdanın kalitesi ve raf ömrünün belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Kullanılan materyalin gözenek sayısı, genişliği, dış ortamdan gelebilecek nem ve değişik gazlar, ürün kalitesi üzerine etki etmektedir. Gıda ambalajlarında nanoteknolojiye dayalı malzemelerin kullanımı ile üretim için enerji girişinin azaltılması, taşıma ve depolama aşamalarında gaz ve ışık girişine karşı bariyer korumasının artırılması, CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması ve insan sağlığını tehdit eden tüm etkileşimlerin en düşük düzeylere indirilmesi gibi çevresel ve ekonomik avantajlar sağlamaktadır [9,11].

Nanoteknoloji gıda ambalajlaması alanında nanokompozit ambalaj malzemeleri, biyobozunur nanokompozit ambalaj malzemeleri, aktif ve akıllı nano ambalajlar olmak üzere üç farklı kategoride kullanılmaktadır [7].

**Nanokompozit Ambalaj Malzemeleri:** Günümüzde gıda ambalaj sanayinde kullanılan malzemelerin büyük bir bölümünün fosil yakıtlarından elde edilen ve biyo bozunurluğu pratik olmayan ürünler olması nedeniyle, ambalaj malzemelerinin ciddi çevresel sorunlar meydana getirdiği belirtilmektedir [24]. Gıdaların kalitesini artırmak, raf ömrünü uzatmak ve ambalaj atıklarının azaltılmasını sağlamak için sentetik ve yenilebilir (biyobozunur) ambalaj

malzemelerinin üretimi yönünde çalışmalar yapılmaktadır [38].

Nanokompozitler bir ya da daha fazla boyutlu, 100 nanometreden (nm) daha küçük nano-malzeme içeren polimerlerdir [27]. Bu polimer nanokompozitler ısıya dayanıklı, güçlü ve yüksek bariyer malzemeleri içeren ürünlerdir [21]. Nano parçacıklar plastik veya film içinde yayılarak nem, oksijen ve karbondioksitin gıdaya temasını engelleyecek şekilde bariyer oluştururlar. Plastik malzemelere en çok eklenen nanokil malzemesi montmorillonite (MMT)'dir. Nanokompozitler düşük yoğunlukta, şeffaf yapıda, koku, oksijen ve su buharı geçirgenliği düşük, iyi yüzey özelliğine sahip ve geri dönüşüm sağlayan ambalajların geliştirilmesini sağlamaktadır. Bütün bu nanokompozit özelliklerin geliştirilmesi için genellikle %5'ten az oranda nanopartikül kullanılmaktadır [5]. Gıda ambalajında en sık kullanılan polimerler arasında polietilen, polipropilen, polistiren, polivinil klorür (PVC) ve polietilen tereftalat (PET) yer almaktadır [26].

**Biyobozunur Nanokompozit Ambalaj Malzemeleri:** Biyobozunur polimerler yenilenebilir tarımsal hammaddeler, hayvansal kaynaklar, deniz, gıda sanayi işleme atıkları ya da mikrobiyal kaynaklardan elde edilmektedir. Yenilenebilir hammaddelerin yanı sıra bu ambalaj malzemelerinde karbondioksit, su ve kaliteli gübre gibi çevre dostu biyolojik ürünler de kullanılmaktadır [38]. Artan çevre bilincinin etkisiyle biyolojik olarak parçalanmayan ambalaj malzemelerinin çevresel atık sorunlarına neden olması biyobozunur ambalajlama materyallerinin geliştirilmesini gündeme getirmiştir [30].

Gıda ambalajlama sektöründe biyopolimerlerin kullanımı ile, plastik bazlı ambalajlamaya bağımlılık azalmakta ve yenilenebilir tarımsal kaynakların değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Biyopolimer kategorisinde değerlendirilen polisakkaritler, proteinler ve lipidlerden üretilen yenilebilir film ve kaplamaların kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır [10,16].

Son yıllarda biyobozunur nanokompozitler arasında polilaktik asit (PLA), polihidroksibütirat (PHB), polikaprolakton (PCL), polibütülen süksinat (PBS), nişasta ve derivatları gibi alifatik polyessterler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bu maddeler biyobozunurdur ve gıdaların tat, koku ve görünüş gibi organoleptik karakteristiklerini geliş-



tirirler. Ambalaj materyalinin hacmini ve ağırlığını azaltırlar, gıdanın raf ömrünü uzatarak, iç bileşenlerini kontrol altında tutarlar [35,43]. Aktif ve Akıllı Paketleme Sistemleri: Aktif paketleme sistemleri gıdaların yüksek kaliteli olmasını sağlamak, muhafaza sürelerini artırarak raf ömürlerini uzatmak amacı ile geliştirilmiştir. Aktif ambalajlama gıdayı dış etkilere koruyan bir bariyer olmanın yanı sıra ambalaj içindeki ortamı kontrol edebilen ve tepki veren ambalaj sistemidir. Aktif paketleme teknolojisi, oksijen yakalayıcılar, nem düzenleyiciler, karbondioksit düzenleyiciler, etilen yakalayıcılar ve antimikrobiyal paketleme sistemlerinden oluşmaktadır [42]

Akıllı paketleme sistemleri, depolama ve taşıma esnasında paketlenmiş gıdanın kalitesi hakkında bilgi vermek için gıdanın durumunun izlemeye alındığı paketleme sistemleridir. Akıllı ambalajlama teknolojisinde kullanılan çeşitli indikatörler (tazelik indikatörleri, zaman-sıcaklık indikatörleri), ve sensörler (gaz sensörleri, floresan esaslı oksijen sensörleri, biyosensörler) sayesinde tüketiciye ambalaj içindeki gıdanın kalitesi hakkında bilgi sağlanır [33].

## Sonuç

Nanoteknoloji yakın gelecekte başta gıda endüstrisi olmak üzere pek çok endüstri alanında yeni ufuklar açacaktır. Nanoteknoloji gıda sanayinde yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesi, gıdaların besin değerlerinin artırılması, patojenlerin tespiti, gıda kalitesinin izlenmesi gibi pek çok faydalar sağlamaktadır. Nanoteknoloji uygulamaları ile geleneksel paketleme teknikleri yerini akıllı ambalajlara bırakacaktır. Bu şekilde gıdaların bozulma belirtilerinin önceden tespit edilmesi, gıda güvenilirliği ve raf ömrünün güvence altına alınması sağlanacaktır.

Nanopartiküllerin gıda alanında kullanımı tüketicilerde endişe yaratmaktadır. Nanopartiküllerin insan sağlığı üzerine nasıl bir etkisinin olacağı ve maruz kalabilecekleri maksimum limitlerin bilinmemesi nedeniyle tüketiciler nanoteknoloji uygulamalarına karşı temkinli yaklaşmaktadır. Gıdaların işlenmesi ve ambalajlanması aşamalarında nanomateryallerin kullanımı konusundaki bu endişelerin yapılan araştırmaların artırılması, yeni yaklaşımlar, ulusal ve uluslararası yasal ve bilimsel düzenlemeler ile giderilebileceği düşünülmektedir.

Nanoteknolojinin gıda alanında uygulanmasına yönelik çalışmaların sürdürülmesi ve desteklenmesi için gerekli teşvikler sağlanmalıdır. Bu sayede daha az enerji kullanılarak daha verimli, ucuz ve güvenilir ürünlerin elde edilmesi mümkün olacaktır.

Sonuç olarak nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalar ile mevcut gıda işleme sistemleri değiştirilerek gıdaların besleyici değerinin artırılması, sağlıklı ve güvenilir gıda tüketimi sağlanacaktır.

## Kaynaklar

1. **Anonim**, (2005). *U.S. National nanotechnology initiative, the national nanotechnology initiative strategic plan.* Erişim Adresi: [http://www.nanoscience.gatech.edu/news/news/05\\_05\\_18\\_NNI.pdf](http://www.nanoscience.gatech.edu/news/news/05_05_18_NNI.pdf), Erişim Tarihi: 14.02.2015.
2. **Anonim**, (2008). *Risk governance of nanotechnology applications in food and cosmetics.* Erişim Adresi: <http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report125.pdf>, Erişim Tarihi: 14.02.2015.
3. **Anonim**, (2010). *Report on Nanotechnology & Textiles Medical Textiles, Sport/OutdoorTextiles.* Erişim Adresi: [http://www.nanotec.it/public/wp-content/uploads/2014/04/ObservatoryNano\\_FocusReport2010\\_MedicalTextiles\\_Sport\\_OutdoorTextilesv2.pdf](http://www.nanotec.it/public/wp-content/uploads/2014/04/ObservatoryNano_FocusReport2010_MedicalTextiles_Sport_OutdoorTextilesv2.pdf), Erişim Tarihi: 12.02.2015.
4. **Anonim**, (2015). *Action plan nanotechnology federal ministry of education and research.* Erişim Adresi: [http://www.lai.fuberlin.de/homepages/nitsch/publikationen/Germany\\_ActionPlanNanotechnology\\_2015.pdf](http://www.lai.fuberlin.de/homepages/nitsch/publikationen/Germany_ActionPlanNanotechnology_2015.pdf), Erişim Tarihi: 10.02.2015.
5. **Arora A, Padua GW**, (2010). *Review: Nanocomposites in food Packaging.* *J Food Sci.* 75(1), 43-49.
6. **Bayındır M**, (2006). *Nano teknoloji tekstil emrinde, Bilim ve Teknik Aralık/2006:1.*
7. **Bente F, Hellstorm T, Henrysdotter G, Hjulmand-Lassen M, Rüdinger J, Sipilainen Malm T, Solli E, Svensson K, Tharkelsson EA, Tuomaala V**, (2000). *Active and intelligent food packaging, a nordic report on legislative aspects.* *Nordic Council of Ministers, Copenhagen.* 13-21.
8. **Bouwmeester H, Dekkers S, Noordam MY, Hagens WI, Bulder AS, de Heer C, Wijnhoven SW, Marvin HJ, Sips AJ**, (2009). *Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production.* *Regul Toxicol Pharm.* 53(1), 52-62.
9. **Buzby JC**, (2010). *Nanotechnology for food applications. More questions than answers.* *J Consum Aff.* 44(3),528-545.
10. **Cha DS, Chinnan MS**, (2004). *Biopolymer-based antimicrobial packaging: a review.* *Crit Rev Food Sci Nutr.* 44(4), 223-37.
11. **Chau CF, Wu SH, Yen GC**, (2007). *The development of regulations for food nanotechnology.* *Trends Food Sci Technol.* 18, 169-280.
12. **Chaudhry Q, Scotter M, Blackburn J, Ross B, Boxall A, Castle L, Aitken R, Watkins R**, (2008). *Applications and*

- implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit Contam.* 25(3), 241-258.
13. **Chen CC, Wagner G,** (2004). Vitamin E nanoparticle for beverage applications. *Chem Eng Res Des.* 82,1432- 1437.
  14. **Chen CS, Durst RA,** (2006). Simultaneous detection of *Escherichia coli O157:H7* *Salmonella spp.* and *Listeria monocytogenes* with an array-based immunosorbent assay using universal protein Gliposomal nanovesicles. *Talanta.* (69), 232–238.
  15. **Cui Y, Wei Q, Park H, Lieber CM,** (2001). Nanowire nanosensors for highly Sensitive And selective detection of biological and chemical species. *Science.* 293, 1289–1292.
  16. **Dawson LP, Acton JC, Ogale AA,** (2002). Biopolymer films and potential applications to meat and poultry products. *Fresh Meat / Packaging II. Proceedings of the 55th Annual Reciprocal Meat Conference,* 75-82. Michigan-USA.
  17. **Dion M, Luykx AM, Peters RJB, Van Ruth SM, Bouwmeester H,** (2008). A review of analytical methods for the identification and characterization of nano delivery systems in food. *J Agric Food Chem.* 56: 8231-8247.
  18. **Fenske, DB, Chonn A, Cullis PR,** (2008). Liposomal nanomedicines: an emerging field. *Toxicol Pathol.* 36 (1), 21–29.
  19. **Garcia M, Aleixandre M, Gutiérrez J, Horrillo MC,** (2006). Electronic nose for wine discrimination. *Sens Actuators B Chem.* 113, 911-916.
  20. **Gomes-Hens A, Fenandez-Romero JM,** (2006). Analytical methods for the control of Liposomal deliver system. *Trends Anal Chem.* 25(2), 167-168.
  21. **Henriette MC,** (2009). Nanocomposites for food packaging applications. *Food Res Int.* 42, 1240–53.
  22. **Joseph T, Morrison M,** (2006). Nanotechnology in agriculture and food. Erişim Adresi: <http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report61.pdf>, Erişim tarihi: 27.02.2015.
  23. **Rao DR, Chawan CB, Veeramachaneni R,** (1995). Liposomal encapsulation of betagalactosidase comparison of 2 methods of encapsulation and invitro lactose digestibility. *J Food Biochem.* 18(4): 239-251.
  24. **Kirwan MJ, Strawbridge JW,** (2003). *Plastics in food packaging.* R Coles, D McDowell and MJ Kirwan eds. *Food Packaging Technology.* CRC Press Inc, Oxford London. p.174-240.
  25. **Lasic DD,** (1998). Novel applications of liposomes. *Trends Biotechnol.* 16, 307–321.
  26. **Marsh K, Bugusu B,** (2007). Food packaging-roles, materials, and environmental issues. *J Food Sci.* 72(3), 39-55.
  27. **Matthews FL, Rawlings RD,** (1999). *Composite materials: Enginerig and science. First Edition.* Oxford London: CRC Press LLC,p.168.
  28. **McClements DJ,** (2011). Food-grade nanoemulsions: Formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 51:285–330.
  29. **McClements DJ,** (2010). Emulsion design to improve the delivery of functional lipophilic components. *Annu Rev Food Sci Technol.* 1, 241-269.
  30. **Rhim JW, Hong SI, Park HM, Ng KW,** (2006). Preparation and characterization of chitosan-based nanocomposite films with antimicrobial activity. *J Agric Food Chem.*54(16),5814-5822.
  31. **Ribeiro HS, Chu BS, Ichikawa S, Nakajima M,** (2008). Preparation of nanodispersions containing  $\beta$  carotene by solvent displacement method. *Food Hydrocolloids.*(22) 1,12-17.
  32. **Robinson DKR, Morrison MJ,** (2009). Nanotechnology developments for the agrifood sector - report of the observatory NANO. Erişim Adresi : [http://nanopinion.eu/sites/default/files/full\\_report\\_nanotechnology\\_in\\_agrifood\\_may\\_2009pdf](http://nanopinion.eu/sites/default/files/full_report_nanotechnology_in_agrifood_may_2009pdf), Erişim Tarihi 05.03.2015.
  33. **Robertson GL,** (2006). *Active and intelligent packaging. In food packaging: principles and practice 2nd ed.* CRC Press, Boca Raton, Fl. 1-550.
  34. **Serfert Y, Drucsh S, Schwarz K,** (2010). Sensory odour profiling and lipid oxidation status of fish oil and microencapsulated fish oil. *Food Chem.* 4 , 968-975.
  35. **Sorrentino A, Gorrasi G, Vittoria V,** (2007). Potential perspectives of bio nanocomposites for food packaging applications. *Trends Food Sci Technol.* 18, 84-95.
  36. **Sürengil ve Kılınç,** (2011). Gıda - ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi. *J FisheriesSciences.com.* 5(4), 317-325.
  37. **Tarhan Ö, Gökmen V, Harsa Ş,** (2010). Nanoteknolojinin gıda bilim ve teknolojis alanındaki uygulamaları. *Gıda.* 35 (3), 219-225.
  38. **Tharanathan RN,** (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends Food Sci Technol.* 14(3), 71-78.
  39. **Theinsathid P, Visessanguan W, Kingcha Y, Keeratipibul S,** (2011). Antimicrobial effectiveness of biobased film against *Escherichia coli O157:H7*, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium*. *Adv J Food Sci Technol.* 3 (4): 294-302.
  40. **Torres-Giner S, Gimenez E, Lagaron JM,** (2007). Characterization of the morphology and thermal properties of Zein Prolamine nanostructures obtained by electrospinning. *Food Hydrocolloids.* 22, 601–614.
  41. **Valdes MG, Gonzalez ACV, Calzon JAG, Diaz-Garcia ME,** (2009). Analytical nanotechnology for food analysis. *Microchim Acta.*166, 1-19.
  42. **Vermeiren L, Devlieghere F, Beest VM, de Kruijf N, Debevere J,** (1999). Developments in the active packaging of foods. *Trends Food Sci Technol.* 10(3):77-86.
  43. **Zhao R, Torley P, Halley PJ,** (2008). Emerging biodegradable materials: Starch and protein based bio-nanocomposites. *J Mater Sci.* 43(9),3058-3071.
  44. **Zulli F, Belser E, Schmid D, Liechti C, Suter F,** (2006). Preparation and properties of Coenzyme Q10 nanoemulsions. *Cosmet Sci Technol.* 40-46.