

NANOTEKNOLOJİNİN GIDA BİLİM VE TEKNOLOJİSİ ALANINDAKİ UYGULAMALARI

Özgür Tarhan*¹, Vural Gökmen², Şebnem Harsa¹

¹ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir

² Hacettepe Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş tarihi / Received: 24.11.2009

Kabul tarihi / Accepted: 11.01.2010

Özet

Nanobilim ve nanoteknoloji çağımızın en önemli araştırma ve uygulama alanlarından biri olarak hızla gelişmektedir. Başlıca, elektronik, bilgisayar, malzeme, tekstil ve ilaç sanayinde kullanımına yönelik çalışmaların yürütüldüğü bu teknolojinin, gıda ve ziraat alanlarında da çok çeşitli uygulamaları öngörülmektedir. Gıda işleme, yeni fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi, biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımı, patojenlerin tesbiti, yeni paketlenme ürünlerinin geliştirilerek raf ömrünün uzatılması gibi uygulamalar nanoteknolojinin potansiyel gıda uygulamaları arasında yer almaktadır. Protein, karbonhidrat ve yağ kaynaklı nanoparçacıklarla, gıda ürünlerine içerik, tekstür, aroma anlamında istenilen özelliklerin kazandırılması sağlanabilecektir. Bu makalede; nanoteknolojinin gıda alanına uygulamaları üzerine yapılan araştırmalar ve öngörüler derlenmiştir. Bunun yanı sıra gıda kaynaklı nanoparçacıklar, üretim ve karakterizasyon yöntemleri ve nanoteknoloji ürünü gıdaların güvenliğine ilişkin bilgilerde sunulan derlemede yer almaktadırlar.

Anahtar kelimeler: Nanoteknoloji, nanogıda, gıda bazlı nanoparçacıklar, gıda güvenliği

APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY IN FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

Abstract

Nanoscience and nanotechnology is developing rapidly as being one of the most important research and application area. This technology has various applications primarily for electronic, computer, material, textile and drug industry, in beside of the potential food and agricultural applications. Food processing, development of novel functional foods, transport and controlled release of bioactive materials, detection of pathogens, and extension of shelf-life by the improvement of novel packaging materials are some of the potential food applications of nanotechnology. Protein, carbohydrate and lipid based nanostructures can provide desired properties to food products in the meaning of content, texture and flavor. In this article, the researches and the foresights related to the applications of nanotechnology in food systems are reviewed. Besides, some information for food grade nanoparticles, their production and characterization, and safety of food products produced by nanotechnology are involved.

Keywords: Nanotechnology, nanofood, food-based nanoparticles, food safety

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author ;

✉ ozgurapaydin@iyte.edu.tr, ☎ (+90) 232 750 6296, 📠 (+90) 232 750 6196

GİRİŞ

Nanoteknoloji maddeler üzerinde 100 nanometre ölçeğinden küçük boyutlarda gerçekleştirilen işleme, ölçüm, tasarım, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalarla maddeye atom ve molekül seviyesinde gelişmiş veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırmayı hedefleyen, yeni ve hızla gelişen bir bilim ve teknoloji alanıdır. Nanoteknoloji malzeme, elektronik, bilgisayar, tıp, ilaç, tekstil, çevre, enerji, biyoteknoloji, tarım ve gıda gibi birçok alanda uygulama imkânı sunabilmektedir. Diğer alanlarla karşılaştırıldığında biyoteknoloji ve özellikle nanoteknolojinin gıda alanındaki uygulamalarının, günümüzde daha sınırlı olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte, gelişmelere paralel olarak hızla ilerlemekte ve yeni fonksiyonel gıda ürünlerinin üretimi kapsamında gelecek için büyük önem taşıdığı öngörülmektedir. Bu teknoloji ile gıda içeriğindeki çeşitli maddeler moleküler düzeyde istenen özelliklere göre tasarlanabilecek ve kontrol edilebilecek; farklı renk, aroma ve besin ögesi taşıyan bir takım nano yapıların ilavesiyle gıdanın duyuşsal ve mekanik özelliklerinin işlenmesi ve yeni ürünler geliştirilmesi sağlanabilecektir. Ürün koruma ve raf ömrünü uzatma amacıyla üretilen nanokompozitlerle ambalajlama; patojen tesbiti için geliştirilebilecek nanosensörler yardımıyla gıda güvenliği gibi konularda yeni açılımlar sağlanabilecektir.

Bu makalede yakın zamanda hızlı bir gelişme gösteren nanogıda uygulamaları derlenmiştir. Çalışmada özellikle fonksiyonel gıda sistemleri geliştirmek amacıyla kullanılacak gıda bazlı nanoparçacıklar, bunların üretimi ve karakterizasyon teknikleri ile gıda güvenliği konuları incelenmiştir.

GIDA BAZLI NANOPARÇACIKLAR

Karbonhidratlar, proteinler ve yağlar gibi makro moleküller çeşitli gıda uygulamalarına yönelik olarak, yeni nano yapıların oluşturulmasında kullanılabilirler. Bu nano yapılar, oldukça küçük boyutlarından dolayı, yüksek konsantrasyonlu aktif maddelerin hücre çeperlerine hızlı iletimini sağlayan mükemmel penetrasyon özelliklerine sahiptirler (1). Gıda makromoleküllerinden oluşturulan nanoemülsiyonlar, biyopolimerik nanoparçacıklar, nanokompozitler, nanofiberler, nanotüpler ve nanosensörler çeşitli amaçlarla gıda uygulamalarında kullanılabilme özelliğine sahiptirler.

Emülsiyonlar uzun yıllardır araştırılmakta, üretilmekte ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadırlar. Emülsiyon, birbiri içinde çözünmeyen ya da kısmi çözülen iki sıvıdan (örneğin su ve yağ) birinin diğeri içinde damlacıklar halinde dağılmasıyla oluşan bir karışımdır. Nanoemülsiyonlar ise bu damlacık çaplarının ortalama 50-200 nm olduğu, nano boyutta yapıları ifade etmektedir (1). Bu parçacıklar lipofilik iç kabuğun üzerine tek kat halinde sıralanan fosfolipitlerin arayüzey oluşturmasıyla onları çevreleyen sıvı faz içerisinde tutunmalarıyla oluşurlar. Nanoemülsiyonlar içerdikleri nanodamlacıklar vasıtasıyla, fonksiyonel ve biyoaktif ürünlerin enkapsülasyonu ve taşınmasının sağlanması amacıyla geliştirilen en önemli iletim sistemlerinden birisidir. Bu nano yapılar ultrasonik çalkalama, yüksek basınçlı homojenizasyon ve mikroakışkan kanallar kullanılarak elde edilirler (2, 3). Bu nano yapıların stabilizasyonunun sağlanmasında elektrostatik ve sterik sabitleme yöntemlerinin yanı sıra, arayüzde katı parçacıkların kullanılması ya da akışkanlığın azaltılması da etkili metodlardır (4).

Protein ve karbonhidrat kaynaklı polimerlerden elde edilen nanoparçacıklar da, enkapsülasyon amaçlı kullanımlarıyla, önemli taşıma ve iletim sistemlerinden birini oluşturmaktadırlar. Polilaktik asit (PLA) önemli bir biyobozunur polimer olup, tıbbi uygulamalar da dahil olmak üzere ilaç, aşı ve çeşitli proteinlerin enkapsülasyonunda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde kitosan, pektin gibi polimerlerin de biyoaktif bileşenler için taşıyıcılık yapabilme özellikleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır (5, 6). Ayrıca, PLA ve bir başka biyobozunur polimer olan PHB (polyhydroxybutyrate), gıda paketleme uygulamalarında da kullanılmaya başlanmıştır (7). Bunun yanında, organik ve inorganik maddelerin nanoboyutta manipülasyonu ile elde edilen nanokompozitlerin de gıda ürünlerinin paketlenmesinde yer almaları, geleneksel kompozitlerin kullanımına önemli bir alternatiftir. Polimer nanokompozitler, sundukları saydamlık, düşük yoğunluk, gelişmiş yüzey özellikleri ve geri dönüştürülebilirlik gibi olanaklarla yeni kuşak, çok fonksiyonlu, akıllı paketleme malzemelerini oluşturacak niteliktedirler (7). Böylelikle, paketleme malzemelerinin geçirgenlik, mekanik ve termal özelliklerini modifiye ederek gıdaların daha iyi korunmasını sağlamada etkin olacakları belirtilmektedir (8).

Sentetik polimerlerden elde edilen nanolifler elektronik ve medikal alanlarında kullanılmaktadır. Gıda biyopolimerlerinden elde edilecek nanoliflerin ise paketlenme malzemeleri üretiminde, sentetik gıda matrisleri oluşturmada ve bakteri kültürü geliştirme ortamları için destek malzemeler olarak kullanılacakları öngörülmektedir (6).

Nanotüp ifadesiyle ilk akla gelen karbon nanotüpleri, çok sayıda gıda dışı uygulama alanına sahiptirler. Bunun yanında yakın zamanda yapılan çalışmalarda bazı proteinlerin, örneğin süt proteini α -laktalbuminin kısmi hidrolizinin ardından kendiliğinden dizilimle (self-assembly) tüp şeklinde nano yapılar oluşturduğu rapor edilmiştir (9, 10). Bu nanotüplerin enkapsülasyon, jelleşme ve vizkozite artırma amaçlı kullanımlarının olabileceği ifade edilmiştir. Bununla birlikte yağ bazlı nanotüplerin geliştirilmesi üzerine de literatür örnekleri mevcuttur (11).

Gıda paketlenmesi ile birlikte gıdaların korunması da endüstriyel açıdan son derece önemlidir. Gıdalardaki bozulmaların ve patojenik mikroorganizmaların nanosensörler yardımıyla hızla tespit edilebileceği ifade edilmektedir (12). Paketlenme malzemelerine direk olarak yerleştirilebilen nanosensörler, bozulma esnasında oluşacak kimyasalları tespit edebileceklerdir. Elektronik burun gibi davranan bu nanosensörlerin yanında, mikroakışkan sensörler de düşük hacimlerde bile yüksek hassasiyetle patojen tespiti yapabilmekte ve tıbbi, biyolojik ve kimyasal uygulamalara imkân sağlayabilmektedir (13, 14). Bununla birlikte, nanoelektromekanik sistemlere (NEMS) dayalı nanosensörler, kimyasal/biyokimyasal sinyalleri tespit ederek gıda endüstrisinde kalite kontrol ve güvenlik amaçlı kullanıma hizmet edecek niteliktedir (15). Bunlara ek olarak, antijen-antikor, enzim-substrat gibi biyolojik bağlanma ilişkilerini tespit etme mantığına dayanan nanosensörlerle de gıda ürünlerinde patojenlerin, toksik kimyasalların, biyolojik toksinlerin ve kalıntıların belirlenmesine yönelik çeşitli araştırmalar yürütülmektedir (12).

Nanoteknolojinin temel bilimler ve mühendislik alanlarındaki ilerlemesiyle, gıda sistemlerinde kullanılacak yeni model nanoyapılar geliştirmeye yönelik araştırma ve uygulamaların da artacağı düşünülmektedir.

NANOPARÇACIKLARIN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Nanomalzemeler temel olarak 'yukarıdan aşağıya' (top-down) ya da 'aşağıdan yukarıya' (bottom-up) olarak adlandırılan iki farklı üretim tekniği ile elde edilirler. Çoğunlukla ticari ölçekte üretimlerde kullanılan 'yukarıdan aşağıya' üretim tekniğinde nanoparçacıklar makromolekülün ezme, öğütme, oymabaskı (etching) ya da taşbaskı (lithography) gibi fiziksel parçalama yöntemleriyle nano boyuta indirgenmesi sonucunda oluşturulur. Daha yeni bir teknik olan 'aşağıdan yukarıya' üretim tekniğinde ise nanoparçacıklar herbir atom ya da molekülün kendiliğinden dizilimi ile nano boyutta, çok moleküllü yapılar olarak elde edilirler (8, 16, 17). Bu yöntemlerle geliştirilen nano boyutlardaki malzemelerin yüzey alanları büyümekte ve fonksiyonellikleri artmaktadır. Nanoteknoloji ürünü gıda maddeleri dikkate alındığında, artan yüzey alanları ürünlere su absorpsiyonunun artması, aroma ve renk maddelerinin daha fazla tutunması ve salınımı, reaksiyon katalizleme hızının artması gibi bir çok fonksiyonel özellik kazandırma potansiyeline sahiptir. Ayrıca elde edilebilecek standart boyut dağılımları, ürünün fonksiyonelliğinin yanısıra kalite kontrolü açısından büyük önem taşımaktadır (17).

Nanomalzemeler boyut, kütle, yük, şekil, yapı ve kompozisyon gibi parametrelerle mikroskobik, spektroskopik ve spektrofotometrik birçok yöntemle karakterize edilebilirler (18). Transmisyon elektron mikroskobu (TEM) başta olmak üzere, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) nano yapıları görüntüleme, bunların boyutları ve morfolojik özellikleri ile ilgili kalitatif bilgi edinmek için sıklıkla kullanılırlar. Kütle spektrometrisi (MS) ile nano yapıların kütleli ve kompozisyonları anlamında tanımlamaları yapılabilmektedir. Kütle spektrometrisi, MALDI-MS (Matrix-Assisted Laser Desorption Ionization), ESI-MS (Electrospray Ionization), DESI-MS (Desorption Electrospray Ionization) ve IM-MS (Ion Mobility) gibi farklı analiz karakterlerinin yanısıra LC-MS (Liquid Chromatography) gibi kromatografik ve spektroskopik kombinasyonlarla da özellikle protein-peptit, yağ ve karbonhidrat tabanlı nanoyapıların kütleli karakterizasyonunda önemli bir yere sahiptir. Dinamik ışık saçınımı (DLS) yöntemi de nanoparçacıkların çapları, boyut

dağılımlarını belirlemede kullanılan standartlaşmış bir yöntemdir. Bununla birlikte özellikle 100nm'nin altındaki parçacıkların boyut, şekil ve yapısal özellikleri SAXS (Small-Angle X-Ray Scattering) analizi ile belirlenebilmektedir. XRD (X-ray Diffraction) analizi de nanoparçacıkların atomik yapılarının karakterizasyonunda kullanılabilen bir tekniktir.

NANOTEKNOLOJİNİN POTANSİYEL GIDA UYGULAMALARI

Nanoteknolojinin gıda alanında uygulamaları dört ana başlık altında ifade edilebilir: gıda işleme ve fonksiyonel ürünlerin geliştirilmesi; biyoaktif maddelerin ve nutrasötiklerin taşınması ve kontrollü salınımı; patojenlerin tesbiti ve gıda güvenliğinin artırılması; ürün kalitesi ve raf ömrünü olumlu yönde etkileyecek paketleme sistemlerinin geliştirilmesi.

Dünya genelinde bilimsel araştırmalar yapan merkezlerden ve gıda üretimi yapan endüstriyel firmalardan birçok araştırmacı bu uygulama alanlarına yönelik çeşitli çalışmalar yapmakta ve çok sayıda öngöründe bulunmaktadır (17, 19). Aşağıda, belirtilen araştırma ve öngörülere yönelik örnekler verilmektedir.

Gıda işleme ve fonksiyonel ürün geliştirme;

- nanoemülsiyonlar ve nanokapsüller vasıtasıyla aroma, renk ve besin öğeleri eklenerek duyuşal ve teknolojik özellikleri geliştirilmiş yeni ve fonksiyonel gıda ürünlerinin tasarlanıp, üretilebilmesi (20-22)
- farklı geleneksel bitkilerden nano boyutta toz veya emülsiyon bitki formülasyonlarının geliştirilmesi (23)
- sıvı formdaki gıdaların yapılarından özellikle monovalent katyonların uzaklaştırılması, sıvı ürünlerin kısmen saflaştırılması, dezenfeksiyonu ve toksinlerin uzaklaştırılması amacıyla nanogözenekli membran ve nanofiltrasyon uygulamalarının geliştirilmesi (24, 25)

Biyoaktif maddelerin taşınması ve kontrollü salınımı;

- nanokapsüllerin esansiyel yağlar, antioksidantlar, proteinler, vitaminler ve mineraller gibi çeşitli besin öğeleri için taşıyıcı olarak kullanılıp, onların olumsuz çevre şartlarından korunarak,

vücutta uygun bölümde salınımının sağlanması ve böylece biyoyararlılığının artırılması; biyoaktif maddelerin gıdaların işlenmesi ve depolanması sırasında ortam koşullarının etkisi ile çeşitli reaksiyonlar sonucu zararlı bileşenlere dönüşmelerinin engellenmesi (26, 27)

- nanoemülsiyonlar vasıtasıyla hidrofilik maddelerin yağda çözünür, lipofilik maddelerin ise suda çözünür hale getirilip, çeşitli biyoaktif maddelerin su veya meyve içecekleri içinde dağılımını sağlanması ve biyoyararlılığın artırılması (1).

Gıda güvenliği;

- oldukça hassas gıda kaynaklı nanosensörler kullanılarak gıda içeriğindeki patojen mikroorganizmaların hızlı tespit edilmelerinin sağlanması (25, 28)
- çeşitli nanokablolara ve patojenlere özel antikorlar kullanılarak geliştirilen dedektörlerle gıda ürünlerinde toksin, patojen ve kimyasalların tesbit edilmesi (29).

Paketleme;

- paketleme malzemelerine gümüş, titanyum oksit gibi çeşitli nanoparçacıkların eklenerek malzemenin geçirgenlik özelliğinin modifiye edilmesi, ambalajın gıda ile temas eden yüzeyine oksijen adsorplayan özellik kazandırılarak anaerobik ortam yaratılması ve böylelikle antimikrobiyel ve antifungal yüzeyler oluşturulması (30-32)
- çeşitli nanokompozitler kullanarak paketleme malzemelerinin oksijen ve karbondioksit geçirgenliklerinin sınırlandırılarak, kötü kokuların bloke edilip ürünün tazeliğinin korunması ve raf ömrünün artırılması (33)

Yukarıda verilen derleme örneklerinin dışında literatürde nanogıda uygulamalarına yönelik bazı aktif araştırma çalışmaları da mevcuttur. Semo ve arkadaşları kazein misellerinden elde ettikleri nano yapıların içinde vitamin D2'nin enkapsüle edilerek taşınması üzerine bir çalışma rapor etmişlerdir (34). Araştırmacılar geliştirdikleri nanoyapıların hidrofobik moleküllerin taşınmasında kullanılabileceği ve bu yapılar vasıtasıyla az yağlı veya yağsız gıda ürünlerinin hidrofobik besin öğeleri ile zenginleştirilebileceği gibi potansiyel uygulamaların olabileceğini ifade etmişlerdir. Başka bir çalışmada,

Kaittanis ve arkadaşları geliştirdikleri süperparamanyetik demir oksit nanoparçacıklarının süt veya kan gibi ortamlarda bakterilerin tesbiti için kullanılabileceğini belirtmişlerdir (35). Böylelikle bu nanoprobaların klinik, çevre, tarım ve gıda alanlarında kullanılabilir olacak oldukça hassas ve hızlı bir mikrobiyal tesbit yöntemi olabileceğini aktarmışlardır. Bunların dışında, Graveland-Bikker ve Kruif, süten izole edilen alfa-laktalbumin proteininden kısmi hidroliz ve kendiliğinden dizilimle nanotüpler oluşturmuş, bunların enkapsülasyon, jelleşme ve kıvam artıcılık gibi potansiyel gıda uygulamaları olabileceğini rapor etmişlerdir (36).

Nanoteknolojinin gıda alanına uygulamaları ve bunlara yönelik literatür çalışmalarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bu teknoloji ile üretilen gıda ürünlerinin de pazardaki payı hızla büyümektedir. Allianz ve OECD'nin raporuna göre 2005 yılında 7 milyar dolar olan nanogıda pazarı, 2010 yılında 20.4 milyar dolara ulaşacaktır (37). Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği başta olmak üzere teknolojiye ileri gitmiş ülkelerde nanoteknoloji alanında yapılan çalışmaların özendirilmesi için yeni programlar tanımlanmaktadır. 2008 yılında Avrupa Birliği tarafından desteklenen NANOFOODS başlıklı proje kapsamında nanoenkapsülasyon tekniği ile geliştirilmiş biyoaktif maddelerin ekmek ve makarna gibi gıdaların üretiminde kullanım olanakları araştırılmaktadır (38).

NANOTEKNOLOJİ ÜRÜNÜ GIDALARIN GÜVENLİĞİ

Nanoteknolojinin gıda alanında uygulamalarının gelişmesiyle beraber telaffuz edilmeye başlanan 'nanogıda' terimi nanoteknoloji teknikleri ve araçları kullanılarak hasat edilmiş, işlenmiş, üretilmiş ve paketlenmiş, ya da demir çinko gibi nanoparçacıklar ve aktif bileşenler içeren nanokapsüller gibi nanomalzemelerin ilavesiyle elde edilmiş gıda ürünleri olarak tanımlanmaktadır (39). Nanoteknolojinin gıda sistemlerinde uygulamaları hızla gelişmektedir. Bu teknoloji ile üretilen yeni gıda ürünlerinin potansiyel yararlarının yoğunlukla vurgulanmasına karşın, bu ürünlerin güvenliğine dair henüz bir bilgi birikimi olmadığından, halk sağlığı üzerindeki etkilerine dair endişeler bulunmaktadır. Bununla birlikte, yakın zamanda bazı araştırmacılar nanoteknolojinin biyolojik sistemler üzerindeki toksik etkilerinin incelenmesine dair çalışmalar yapmaya başlamış ve potansiyel bazı

etkilerine dikkat çekmişlerdir (40, 41). Paketleme malzemelerine entegre edilen gümüş, magnezyum, çinko-oksit gibi nanomalzemeler direk temas halinde gıda maddelerine bulaşabilir ve bu ürünler tüketildiğinde ciddi sağlık risklerine neden olabilirler. Gıda katkı maddelerinin taşınmasında kullanılabilir protein, karbonhidrat ve yağ kaynaklı sistemler ya da besin destek ürünleri, tüketicinin taşınan maddeye yüksek dozda maruz kalarak olumsuz etkilerin doğmasına neden olabilirler (42). Henüz bu nanogıda ürünlerinin sağlık risklerinin tam olarak anlaşılammış olması, etiketlenmeden ve güvenliğe dair düzenlemeler olmadan pazarda yer almaları, bu ürünlerin faydalarını baskılamaktadır. Bazı ülkelerde nanoteknolojiye ait bazı yasal düzenleme ve tanımlamalar yapılırken, gıda konusunda ürünlerin etiketlenmesi ya da üretimde güvenliğe ilişkin belirgin bir düzenleme henüz mevcut değildir. Bununla birlikte, bu ürünlerin üretimi ve kontrolü için yapılacak düzenlemelere dair çeşitli kriterler ifade edilmektedir. Bunlardan bazıları nano ürünlerin doğru tanımlanması için parçacık boyut aralıkları, fiziksel ve kimyasal özellikler, üretim yöntemleri, potansiyel sağlık ve çevre etkileri için güvenlik özellikleri olarak verilmektedir (19). Nanoteknoloji ürünü tüm malzemelerin üretim ve kontrolüne dair yasal düzenlemelerin bir an önce yapılması, potansiyel olumsuz etkileri belirleme ve kontrol etmede ve halk sağlığını koruyarak bu ürünlerden güvenli bir şekilde fayda sağlama da son derece büyük önem taşımaktadır.

SONUÇ

İçinde bulunduğumuz yüzyılın en önemli keşfi olan nanoteknoloji birçok alanda gösterdiği uygulamaya yönelik hızlı ilerlemeyi gıda alanında da göstermektedir. Bu teknoloji, gıda işleme, ürün geliştirme, gıda güvenliği ve paketleme gibi konularda birçok potansiyel uygulama ile gıda bilim ve teknolojisinde gelecek için önemli gelişmeler vaat etmektedir. Buna karşın, gıda sektörü için daha çok yeni olan bu teknolojinin avantajları ve dezavantajları ya da sağlık etkileri henüz tam olarak anlaşılammıştır. Nanoteknoloji ürünü gıdaların üretimi, kontrolü ve güvenliği için gerekli ulusal ve uluslararası yasal düzenlemelerin kısa zamanda hayata geçirilmesi oldukça önemlidir. Böylelikle, bu ürünlerin güvenliğine dair endişeler giderilerek, bu teknolojiden en üst düzeyde yararlanılması sağlanabilecektir.

Kaynaklar

1. Chen H, Weiss J, Shadidi F. 2006. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. *Food Technol*, 60(3): 30-36.
2. Mason TG, Wilking JN, Meleson K, Chang CB, Graves SM. 2006. Nanoemulsions: formation, structure, and physical properties. *J Phys.: Condens. Matter*, 18: 635–666.
3. Nakajima M. 2005. Development of nanotechnology and materials for innovative utilization of biological functions. Proceedings of the 34th United States and Japan Natural Resources (UJNR) Food and Agriculture Panel, Susono, Japan.
4. van Nieuwenhuyzen W, Szuhaj BF. 1998. Effects of lecithins and proteins on the stability of emulsions. *Fett/Lipid*, 100: 282-291.
5. Santipanichwong R, Suphantharika M, Weiss J, McClements DJ. 2008. Core-shell biopolymer nanoparticles produced by electrostatic deposition of beet pectin onto heat-denatured beta-lactoglobulin aggregates. *J Food Sci*, 73(6): 23-30.
6. Weiss J, Takhistov P, McClements DJ. 2006. Functional materials in food nanotechnology. *J Food Sci*, 71 (9): 107-116.
7. Sorrentino A, Gorrasi G, Vittoria V. 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Sci & Tech*, 18: 84-95.
8. Moraru CI, Panchapakesan CP, Huang Q, Takhistov P, Liu S, Kokini JL. 2003. Nanotechnology: a new frontier in food science. *Food Technol*, 57(12): 24-29.
9. Ipsen R, Otte J. 2003. Nano-structuring by means of proteolysis, rheology of novel gels from α -lactalbumin. *Annual Transactions of the Nordic Rheology Society*, 11: 89-93.
10. Graveland-Bikker JF, Fritz G, Glatter O, de Kruif CG. 2006. Growth and structure of α -lactalbumin nanotubes. *J Appl. Crystallography*, 39: 180–184.
11. Liu H, Bachand GD, Kim H, Hayden CC, Abate EA, Sasaki DY. 2008. Lipid nanotube formation from streptavidin–membrane binding. *Langmuir*, 24 (8): 3686-3689.
12. Sozer N, Kokini JL. 2008. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnol*, 27 (2): 82-89.
13. Baeumner A. 2004. Nanosensors identify pathogens in food. *Food Technol*, 58 (8): 51-55.
14. Vo-Dinh T, Cullum BM, Stokes DL. 2001. Nanosensors and biochips: frontiers in biomolecular diagnostics. *Sensors and Actuators B*, 74: 2-11.
15. Canel C. et al. 2006. Micro and nanotechnologies for food safety and quality applications. MNE'06 Micro-and Nano-Engineering, 5C-3INVMicrosystems and their fabrication 2 Proceedings, 17-20 September 2006 Barcelona, Spain
16. Förster S, Konrad M. 2003. From self-organising polymers to nano and biomaterials. *J Materials Chem*, 13: 2671-2688.
17. Sanguansri P, Augustin MA. 2006. Nanoscale materials development - a food industry perspective. *Trends in Food Sci & Tech*, 17: 547-556.
18. 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 Agricultural and Food Chem*, 56: 8231-8247.
19. Chau CE, Wu SH, Yen GC. 2007. The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in Food Sci & Tech*, 18: 269-280.
20. ETC Group, Action Group on Erosion, Technology and Concentration. 2005. The potential impacts of nanoscale technologies on commodity markets: the implications for commodity dependent developing countries. <http://www.etcgroup.org/upload/publication/45/01/southcentre.commodities.pdf>
21. Decker K J. 2003. Wonder waters: fortified and flavored waters. *Food Product Design*, 13(5): 57-74.
22. Hazen C. 2003. Formulating function into beverages. *Food Product Design*, 12 (10): 36-70.
23. ElAmin A. 2005. Claim: nanofood patents could close down innovation. <http://www.foodproductiondailyusa.com/news/ng.asp?id%61973>
24. INNI, Israel National Nanotechnology Initiative. 2006. Researchers in Israel and U.S. select top four nanotech projects. <http://www.nanoisrael.org/download/nanowater1/US-IL%20NanoWater%20Workshop%20Press%20Release%20JUL-06.pdf>
25. Gardner E. 2003. Brainy food: academia, industry sink their teeth into edible nano. Small time correspondent. www.smalltimes.com
26. Fletcher A. 2006. Nanotech antioxidant system: food ingredients of the future. <http://www.foodnavigator.com/news/ng.asp?id%64914>
27. Heller L. 2006. Flavor firm uses nanotechnology for new ingredient solutions. <http://www.confectionerynews.com/news/ng.asp?id%69008>
28. ElAmin A. 2006. Nanocantilevers studied for quick pathogen detection. <http://www.foodproductiondaily-usa.com/news/ng.asp?id%70159>

29. Roach S. 2006a. Instant, portable, simultaneous pathogen inspection. <http://www.foodproductiondaily-usa.com/news/ng.asp?id%69938>
30. ElAmin A. 2005b. Nanotechnology targets new food packaging products. <http://www.foodproductiondailyusa.com/news/ng.asp?id%63147>
31. Roach S. 2006b. Nanotechnology passes first toxicity hurdle. <http://www.foodproductiondaily-usa.com/news/ng.asp?id%69557>
32. IFST (Institute of Food Science and Technology), 2006. Nanotechnology. <http://www.ifst.org/uploadedfiles/cms/store/ATTACHMENTS/Nanotechnology.pdf>
33. Sherman LM. 2005. Chasing nanocomposites. <http://www.ptonline.com/articles/200411fa2.html>
34. Semo E, Kesselman E, Danino D, Livney YD. 2007. Casein micelle as a natural nano-capsular vehicle for nutraceuticals, *Food Hydrocolloids*, 21: 936-942.
35. Kaittanis C, Naser SA, Perez JM. 2007. One-step, nanoparticle-mediated bacterial detection with magnetic relaxation, *Nano Letters*, 7(2): 380-383.
36. Graveland-Bikkera JF, de Kruif CG. 2006. Unique milk protein based nanotubes: food and nanotechnology meet, *Trends in Food Sci & Tech*, 17: 196-203.
37. Allianz & OECD. 2005. Opportunities and risks of nanotechnology, Munich: Allianz.
38. EU Nanofoods Project "Development of foods containing nanoencapsulated ingredient" (Grant agreement no. 222006) <http://www.nanofoods.hacettepe.edu.tr>
39. Joseph T, Morrison M. 2006. Nanotechnology in agriculture and food. A nanoforum report, May. pp. 1-14. <http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report61.pdf>.
40. Nel A, Xia T, Madler L, Li N. 2006. Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science*, 311, 622-627.
41. Oberdorster G, Maynard A, Donaldson K, Castranova V, Fitzpatrick J, Ausman K. 2005. Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Particle and Fibre Toxicology*. <http://www.particleandfibretoxicology.com/content/2/1/8>
42. Bouwmeester H, Dekkers S, Noordam MY, Hagens WI, Bulder AS, de Heer C, ten Voorde SECG, Wijnhoven SWP, Marvin HJP, Sips AJAM. 2009. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 53 (1): 52-62.