

GIDA ENDÜSTRİSİNDE NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI

Işıl VAR*, Selin SAĞLAM

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, ADANA

Geliş tarihi / Received: 26.05.2014

Düzeltilerek Geliş tarihi / Received in revised form: 25.07.2014

Kabul tarihi / Accepted: 17.09.2014

Özet

Nanoteknoloji, 100 nm altındaki atomik ya da moleküler seviyedeki olayların kontrolünü sağlayan uygulamalı bilim ve teknoloji alanıdır. Nanoteknoloji, gıda sistemlerini pek çok yönden etkileyebilecek potansiyele sahiptir. Gıda güvenliği, paketlenme sistemleri, patojen tespitinde yeni materyaller; gıda bilimi ve mühendisliğinde nanoteknolojinin önemli konularının örnekleridir. Bu derlemede nanoteknolojinin gıda endüstrisinde kullanıldığı temel alanlarla birlikte, yeni proses uygulamaları ve nanopartiküllere ilişkin toksikolojik araştırmalar üzerinde durulmuştur. Gıda kalitesi ve güvenliğinin iyileştirilmesinden tarımsal girdilerin azaltılmasına, gıda prosesinin geliştirilmesinden beslenmeye kadar pek çok katkı sunan nanoteknoloji, hem insanlar tarafından kullanılması sonucunda hem de çevre açısından yeni riskler oluşturmaktadır. İnsan sağlığının korunmasını ve gıda güvenliğini maksimum derecede garanti edecek düzenlemelerin yapılmasına ve bu teknolojinin güvenilir olduğunu gösterecek ulusal ve uluslar arası çalışmalara gereksinim vardır.

Anahtar kelimeler: Nanoteknoloji, Gıda endüstrisi, nanoteknoloji ve sağlık

NANOTECHNOLOGY APPLICATIONS in THE FOOD INDUSTRY

Abstract

Nanotechnology is a field of applied sciences and technologies involving the control of matter on the atomic and molecular scale, below 100 nanometers. Nanotechnology has the potential to impact many aspects of food systems. Food security, packaging systems, new materials for pathogen detection are examples of the important links of nanotechnology to the food science and engineering. In this review, it is focused on the main areas of nanotechnology use in the food industry and also new process applications and toxicological investigations are discussed. Nanotechnology which offers lots of benefits range from improved food quality and safety to reduced agricultural inputs and improved processing and nutrition may have risks for human use and consumption and the environment. It needs more national and international studies that the technology is safe and regulated to ensure maximum food safety and personal health protection.

Keywords: Nanotechnology, Food industry, nanotechnology and health

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ ivar@cu.edu.tr,

☎ (+90) 322 338 7365,

☎ (+90) 322 338 6614

GİRİŞ

Nanoteknoloji, 100 nm altındaki atomik ya da moleküler seviyedeki olayların kontrolünü sağlayan uygulamalı bilim ve teknoloji alanıdır (1). Nano kelimesinin aslında Yunanca 'cüce, bodur' kelimesinden geldiği bilinmektedir (2). Metrenin milyonda biri olan 1 nm (10^{-9} m) hakkında fikir sahibi olabilmek adına gündelik yaşamdaki bazı nesnelere karşılaştırma yapıldığında, sıradan bir kâğıt yaprağının 100 bin nm, kırmızı kan hücresinin 2-5 bin nm ve DNA'nın ise 2.5 nm olduğu görülmektedir (3).

Nanoteknoloji bilimi; atomik, moleküler ya da koloidal düzeyde doğal olarak var olan veya sentetik olarak üretilen malzemelerin üretimi, karakterizasyonu ve hedeflenen modifikasyonu ile ilgilenmektedir (4).

Nanoteknoloji özellikle uygulamalarda; yeni materyaller, nanomakineler ve nanoaraçlar yaratmak ve tasarlamak için bireysel atomları ve molekülleri kontrol etme olanağı sağlamaktadır (5). Günlük hayatımıza baktığımızda rastladığımız pek çok yeni ürün, örneğin dokunmatik ekranlar, güneş kremi, kozmetik ürünler, tenis raketleri, bisiklet, kumaş, bilgisayar hafızası, vb. aslında nano teknolojik ürünlerdir (6).

Nanomateriyaller normal boyuttaki aynı maddelerle karşılaştırıldığında farklı fiziksel ve kimyasal özellik göstermektedirler (1) ve yalnızca tek boyutlu (filmler, kaplamalar) olarak değil, 2 boyutlu (nano lif, nano tüp) ve 3 boyutlu (nanoparçacık) olarak da üretilmektedirler (7).

Nanoteknolojinin kavramsal temelleri ilk olarak 1959 yılında fizikçi Richard Feynman'ın "There's plenty of room at the bottom (Aşağıda daha çok yer var)" adlı konferansında atılmıştır. Feynman, bu konferansta, bir toplu iğne başının üzerinde Britannica Ansiklopedisi'nin tümünün yazılı olduğunu hayal ederek ve nano ölçekli olayları kontrol edebilmeyi öngörerek, bireysel atom ve molekül ölçeğindeki malzemeleri işleyebilmenin mümkün olabileceğini dile getirmiştir. 1974 yılında Tokyo Üniversitesi'nde araştırmacı olan Norio Taniguchi, nanoteknoloji terimini nano boyuttaki materyallerin düzenlenme yeteneklerini açıklamak için kullanmıştır (8). 1986 yılında Eric Drexler, Norio Taniguchi'nin kullandığı nanoteknoloji teriminden habersiz, "Yaratma Makineleri: Moleküler Sistem Üretimi ve Hesaplaması" adlı kitabında moleküler nanoteknoloji (MNT) teriminden bahsetmiştir (9).

GIDA ENDÜSTRİSİNDE NANOTEKNOLOJİ UYGULAMALARI

Nanoteknoloji gıda endüstrisinde gıda güvenliğinin artırılması, tarımsal girdilerin azaltılması, beslenme,

ambalaj ve yeni üretim teknolojileri gibi pek çok konuda geniş bir uygulama alanına sahiptir (10). Çok uzun yıllardan beri tüketilen pek çok gıda, aslında yapılarında doğal olarak nano boyutlu bileşenler içermektedir. Bu gıdaların en önemli hammaddeleri (protein, nişasta ve yağ), gıda işleme sırasında nanometrik ya da mikrometrik boyutlarda yapısal değişikliklere uğramaktadır. Örneğin gıda proteinleri (örneğin; 3.6 nm boyutlu beta-laktoglobulin) basınç, sıcaklık, pH vb. sebeplerle denatürasyona uğrayabilmektedir. Yapısı bozulan bu bileşenler, fibrilleri hatta yoğurttaki pıhtı ağları gibi daha büyük yapıları oluşturmaktadır (2).

İstenen nanomateriyallerin sentezinde, tepeden aşağı (top down) ve aşağıdan yukarı (bottom up) olmak üzere 2 temel form mevcuttur (11). Çoğunlukla ticari ölçekli üretimlerde kullanılan "yukarıdan aşağıya" üretim tekniğinde nanoparçacıklar makro molekülün ezme, öğütme, oymabaskı (etching) ya da taşbaskı (lithography) gibi fiziksel parçalama yöntemleriyle nano boyuta indirgenmesi sonucunda oluşturulmaktadır. Daha yeni bir teknik olan "aşağıdan yukarıya" üretim tekniğinde ise nano parçacıklar, her bir atom ya da molekülün kendiliğinden dizilimi ile nano boyutta, çok molekülü yapılar olarak elde edilmektedir (12).

Gıda Ambalajlamada Nanoteknolojiden Faydalanma

Gıda ambalajlama uygulamaları, nanoteknolojinin hızlı bir şekilde büyüyen alanı olmaya devam etmektedir (2, 13).

Tüketicilerin son yıllarda daha güvenli ve kaliteli gıdalara ve aynı zamanda taze ve geleneksel gıdalara ulaşma istekleri; geleneksel ambalajların çevreye verdiği olumsuz etkiler, gıda dağıtımındaki önemli değişimler vb birçok konu gıda-ambalaj sistemlerindeki çalışmaları artırmıştır (14). Geliştirilmiş koruma fonksiyonlarının bir sonucu olarak gıda maddelerinin raf ömürlerini uzatabilen yeni ambalaj malzemelerinin geliştirilmesi; yeni ambalajların üretilmesinde temel prensip olarak ele alınmıştır (4). Gelişmiş ambalajlar, aktif ambalajlar, akıllı ambalajlar ve biyobozunur ambalajlar nanoteknolojiyle üretilen yeni ambalajlama teknikleridir (15).

Gıda Ambalajlamada Nanokompozitlerin Kullanımı

Nanokompozit ambalajların gıda paketlemede kullanımı 1990'lı yıllarda başlamıştır (16). Geliştirilen ambalaj malzemeleri polimer bir matriks ve bu matrikse gömülü dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Bu dolgu maddeleri nanoboyutta bir metal-metal oksit, nano tüpler, nano lifler veya nano killer olabilmektedir (13).

Pek çok nanokompozit gıda ambalajı, şu anda marketlerde yer almakta ve hala geliştirilmeye devam edilmektedir. 2007 yılında (17) Natick'in (US Army Natick Soldier Center) yaptığı araştırmaya göre PE, PET ve etilen vinil alkol polimerlerinde %1-5 oranında nano kil taneciklerinin kullanımının, termal dirençte % 80, mekanik dayanımda %100 artış sağladığı görülmüştür. Nanokompozit materyaller, meyve suları, süt ürünleri, bira ve karbonatlı içeceklerin şişelerinde oksijen bariyeri olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra işlenmiş et, peynir, kahvaltılık gevrekler gibi çeşitli gıdaların raf ömrünü uzatmak amacıyla kullanılan çok katlı filmlerde de tercih edilmektedir (18). Nanobileşen olarak tercih edilen montmorillonit kil (MMT) içerikli polietilen, naylon, polivinil klorür ve nişasta gibi pek çok polimer (16), gıda ambalajlamada geliştirilmiş malzeme olarak piyasaya çıkan ilk polimer nanomalzemelerin arasındadır (19). Nanocor isimli bir Amerikan firması da, gıda raf ömrünü uzatmak ve şişelerin gaz geçirgenlik özelliklerini geliştirmek amacıyla montmorillonit kullanarak, 11 hafta kadar bir süre kalabilen bira, vb ürünlerin nanokompozit yapılı plastik şişelerde raf ömrünün 30 haftaya kadar ulaşabilmesini sağlamıştır (6, 19).

Aktif Gıda Paketleme Sistemleri

Aktif gıda paketleme sistemleri; çevresel şartlara karşı gıdayı pasif olarak korumanın yanı sıra mikrobiyel gelişmenin hâkim olduğu gıda yüzeyine antimikrobiyel ajanları serbest bırakarak mikrobiyel gelişmeyi yavaşlatmakta veya engellemekte ve gıdanın bozulmasını geciktirmektedir (20). Antimikrobiyel paketleme, aktif paketleme sistemlerinin göze çarpan bir konusu haline gelmiştir (21). Nanoyapılı antimikrobiyeller, sıradan antimikrobiyellere göre daha geniş yüzey alanına sahip olup; paketleme malzemelerine kaplama, içine yerleştirilme, immobilizasyon ve yüzeye yerleştirilme gibi farklı tekniklerle koyulmaktadırlar (20, 21). Antimikrobiyel gıda paketleme materyalleri, lag fazını uzatmakta ve mikrobiyel gelişme oranını düşürmektedir (22). Organik asitler, bakteriyosinler, enzimler, baharat ve polisakkaritler (kitozan) gibi antimikrobiyellerin yanı sıra (21) metal yapılı Ag nanopartiküller, ZnO, MgO, fotokatalitik özellikli TiO₂ gibi metal oksitler de antimikrobiyal olarak kullanılmaktadır (20, 23).

Akıllı Paketleme Sistemleri

Akıllı paketleme teknolojisi ile üretimden tüketime kadar tüm aşamalarda izlenebilirliği sağlayarak gıdaların ve yemlerin tazeliğinin ve diğer kalite özelliklerinin kontrolünün gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır (24, 25). Akıllı ambalajlar; sensörler, indikatörler ve RFID etiketleri olmak üzere başlıca 3 grupta değerlendirilmektedirler (26).

Gıda ambalajlamasında kullanılan sensörler; ambalaj içindeki sıcaklık değişimlerini, ürünlerde bir kontaminasyon ya da mikrobiyel bozulma olup olmadığını, ürünlerin tazelik ve olgunluk durumlarını ve oksidatif acılaşmayı göstermektedir. Gaz sensörleri, biyosensörler ve floresan bazlı gaz sensörleri bu sensörlerden birkaçıdır (25). Son yıllarda vakum ambalajlama ve modifiye atmosferle paketleme sistemlerindeki gaz oranlarının izlenmesinde optik sensörlerin kullanımı artmıştır (27). Nano sensörlerin kullanımı ile ilgili pek çok çalışma devam etmektedir. Örneğin, Amerika'da modifiye karbon nanotüplerin kullanıldığı biyosensörler; yiyecek ve içeceklerdeki mikroorganizmaları, toksik maddeleri ve bozulmaları izleyebilmek için kullanılmaktadır. Opal isimli şirket tarafından 50 nm boyutlu siyah karbon nanopartiküller kullanılarak geliştirilen biyosensörler, gıdanın bozulması sonucunda rengin değişmesini sağlamaktadır. Gıda yüzeyinde bulunabilecek *Salmonella* gibi bakterileri ve diğer bulaşanları da tespit edebilen nano sensörler mevcuttur (24). Geliştirilen akıllı paketlerde, TiO₂ nano partikülü içerikli mürekkepten oluşan oksijen sensörleri mevcut olabilmektedir. Akıllı mürekkep, UV ışığa maruz kaldığında elektron boşlukları oluşmakta ve molekülerini seçerken renk değiştirmektedir. Bu işlem ürün etiketinde yapılmaktadır ve ürün fabrikadan çıkmadan önce etiket UV ile oksijene hassas hale getirilmektedir. Böylece herhangi bir oksijene maruz kalma durumunda etiket renk değiştirerek ürün hakkında bilgi vermektedir (28, 29). Depolama sırasında oluşan çeşitli metabolit artıklarının saptanması prensibine dayanılarak geliştirilen indikatörler gerek paket içerisine gerekse ambalaj malzemesinin bünyesine entegre edilmektedir. Sıcaklık-zaman indikatörleri, tazelik indikatörleri, patojen indikatörleri örnek olarak verilebilir (25). Radyo frekanslı tanıma sistemi, radyo dalgaları ile tanımlama yapan ve ürünü uzaktan izleme imkânı veren bir sistemdir. Gıda ambalajlamada bu etiketlerin kullanımı, ürünün stoklardaki durumunu gösterirken taşıma ve depolama boyunca ürünün izlenebilirliğini sağlamaktadır (26). Ambalajlar üzerinde fabrikadan çıkmadan önce yapılabilecek yanlış etiketlemelerin tüketicileri yanıltabilmesi üzerine bu problemi çözmek için To-Genkyo firması bir etiket geliştirmiştir. Bozulmuş gıda tarafından ortama salınan amonyağın tanıtılmasıyla aktif hale getirilen etiket, gıda tüketilemez hale geldiğinde renk değiştirmekte, bunun sonucu olarak barkot okunamamakta ve dolayısıyla ürün satışı da engellenmektedir (30).

Biyobozunur/Biyobazlı Ambalaj Sistemleri

Biyobozunur/biyobazlı ambalaj, sıradan ambalaj malzemelerinin ekolojik dengeye verdiği zararlardan ötürü büyük bir öneme sahip hale gelmiştir. Bu

malzemelerin çevreye minimum etkileri ve gerektiğinde onların imha edilmelerindeki seçeneklerin fazla olması, önemli avantajlar getirmelerinin yanı sıra onların çevre dostu olarak nitelendirilmelerini sağlamaktadır. ASTM (American Society for Testing and Materials) tarafından yayınlanan D-5488-94d standardı ve EN 13432 normuna göre, biyobozunur kavramı karbondioksite, metana, suya, inorganik materyallere ve biyokütleyle dönüşüm eğiliminde olan anlamına gelmektedir. Biyobozunur polimerler, temel olarak biyopoliesterler (polihidroksi alkonat, polilaktik asit vb.) ve agropolimerler (nişasta, kitin, protein vb.) olarak sınıflandırılmaktadır (31). Bu materyaller neme, su buharına, gazlara ve çözünen maddelere karşı bariyer olarak kullanıldıkları gibi bazı aktif maddelerin taşıyıcısı olarak da değerlendirilmektedir. Biyopolimer filmler içine gıdayla uyumlu antimikrobiyellerin katılmasıyla biyopolimer bazlı antimikrobiyel filmler de geliştirilmektedir (27).

Gıda Prosesinde ve Gıda Güvenliğinde Nanoteknolojinin Kullanımı ve Nanogıda

Nanoteknolojinin gıda prosesinde şu anki kullanımı oldukça sınırlı görünmektedir, fakat nanoteknolojinin ve nanopartiküllerin uygulamalarına yönelik yoğun çalışmalar devam etmektedir (4, 32). Vücudun ihtiyaçlarını karşılayabilen ve besinlerin daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayan fonksiyonel gıdaların veya interaktif gıdaların üretiminde nanoteknolojiden yararlanılmaktadır (33). Bunun yanı sıra, bu fonksiyonel gıdaların içeriğinde bulunması gereken gıda aromaları ve antioksidanlar gibi maddelerin ürüne özgü tasarlanmasında da nanoteknoloji tekniklerinin kullanımı söz konusudur. Buradaki amaç gıdalar içinde bulunan bileşenlerin fonksiyonelliğini geliştirmektir. Nano parçacıklı likopen ve karatenoitler gibi fonksiyonel gıda bileşenleri, ticari olarak üretilmeye başlanmıştır. Bu bileşenlerin biyoyararlılık ve dispersiyon (çözülme) yeteneklerinin geleneksel olarak üretilen emsallerinden daha yüksek olduğu bildirilmektedir (34).

Nanogıda terimi; nanoteknoloji tekniklerini kullanarak ekilen, üretilen, işlenen ya da paketlenen veya nanomateryallerin eklendiği gıda olarak tanımlanmaktadır. Aslında yüzyıllardır gıda prosesinin bir parçası olan nanogıda; gıda güvenliğini geliştirme, besin değerini ve aromayı artırma ve maliyetleri düşürme kaygısıyla gündeme gelmiştir (2).

Avrupa Birliği'nin 2011 yılındaki nanogıda ürünlerinin kullanımı ve etiketlenmesiyle ilgili 1169/2011 numaralı düzenlemesine göre, "gıda içerisinde tasarlanmış nanomateryal (ENM) formunda var olan tüm içerik açık bir şekilde ve parantez içinde nano kelimesi bulunacak şekilde belirtilmelidir"

denilmektedir (35). Bu düzenlemenin, 13 Aralık 2014'den itibaren yürürlükte olacağı bildirilmektedir (36).

Nanomateryaller, gıda endüstrisine oldukça fazla imkân sunmaktadır (2). Örneğin geniş yüzey alanı oranları ve iyi tanımlanmış yapıları sebebiyle çoğu nano yapılar, enzimlerin immobilizasyonunda kullanıma uygundur (4). Enzim immobilizasyonu, sulu ortamlarda ve son zamanlarda susuz ortamlarda da enzim aktivitesini ve stabilitesini artırmada kullanılmaktadır. Destek matrisin seçimi ve taşıyıcının tasarlanması, immobilizasyonda oldukça önemlidir. Silika, karbon nanotüpler, metal nanopartiküller gibi çok çeşitli nanoyapıların, gümüş ve altın nanopartiküllerin host matrisler olarak kullanılmaları oldukça cazip hale gelmiştir (37). Nanoyapılarla enzim immobilizasyonu, özel ve özel olmayan immobilizasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Özel olmayan enzim immobilizasyonu adsorpsiyon, özel olmayan kovalent bağlama, tutuklama ve enkapsülasyonu içerirken; özel enzim immobilizasyonu kovalent olmayan immobilizasyon, kovalent bağlama ve diğer özel teknikleri içermektedir (38).

Biyoaktif maddelerin taşınmasında ve salınmasında kullanılan birkaç nanometreye yakın uzunluktaki nanofiblerin üretiminde, kesikli değil de sürekli olan elektrospinning prosesinden yararlanılmaktadır. Örneğin, *Bifidobacter*'lerin, vanilya, TiO₂ ve lizozimin enkapsülasyonu ve salınımında bu teknik kullanılmaktadır (39).

Gıda bileşenlerinin ve katkı maddelerinin önemli alanlarından biri olan ve son yıllarda kullanımları gün geçtikçe artan enkapsülasyon teknolojisi (40); katı, sıvı veya gaz halindeki gıda bileşenlerinin, enzimlerin, hücre ve diğer maddelerin, mikroorganizmaların protein, lipit (41) veya karbonhidrat esaslı bir kaplama materyaliyle kaplanmasını içermektedir (42). Kaplama materyali olarak çoğunlukla nişasta, maltodekstrin, pullulan, sakkaroz, maltoz gibi karbonhidratlar; jelâtin, peynir altı suyu proteinleri, kazein ve kazeinatlar gibi proteinler ve gam arabik benzeri gamlar kullanılmaktadır (43). Kullanılan materyaller, yağda çözünebilen bileşenler için taşıma aracı, işleme sırasında parçalanmayı önleme, diğer bileşenlerle uygunluk sağlama ve yüksek absorpsiyon gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır (44). Enkapsülasyon teknikleri gıda bileşenlerinin korunması, stabilizasyonu ve yavaş salınımı için geliştirilmiştir (42). Gıdalarda nanoenkapsülasyon uygulamalarında çoğunlukla nanolipozom, nanoşelat, archeosome (*Archaeobacter*'lerin ürettiği lipozom) gibi lipit kapsüller ya da doğal polimer bazlı kapsüllerle çalışılmaktadır (41). Nanoenkapsüle edilen bileşenler su içeriği yüksek ürünlerde daha

kolay bir şekilde çözünmektedir, bunun yanı sıra daha stabil ve biyoyararlılıkları daha iyi olabilmektedir (45). Nanoenkapsülasyon, hassas biyoaktif gıda bileşenlerinin elverişsiz çevre şartlarından korunmasını, çözünmesini, istenmeyen tat ve kokunun maskelenmesini ve bu bileşenlerdeki uyuşmazlıkların kaldırılmasını da sağlamaktadır (46). Örneğin, Avustralya'nın en ünlü fırınlarından birinde, sadece mideye ulaştığında açılabilen nanokapsül yapıları balık yağları içeren ekmek üretilmiştir. Böylece balık yağının hoş gitmeyen tadı algılanmadan, ürünün tüketimi sağlanmaktadır (33). Şu anda gıda ve içecek ürünlerinde kullanılan benzoik asit, sitrik asit gibi gıda katkı maddeleri ve karoten, koenzim Q10 gibi katkıları olmak üzere pek çok nanokapsüle edilmiş materyal bulunmaktadır (47). Bunun yanı sıra, aromasını uzun süre koruyan sakızlar (48) kola aromalı nanosüt, yağı azaltılmış nanomayonez vb. pek çok gıda ürünü bu teknik ile üretilmektedir (2).

Nanoemülsiyonlar birbiri içerisinde çözünmeyen sıvıların fiziksel güçle oluşturulan çok fazlı nanoölçekli damlacıklardır. 50-200 nm boyutunda damlacıklar içeren emülsiyonlar ve apolar yapıları, enkapsüle etme özelliğindedirler (42). Nanoemülsiyonlar mikroemülsiyonlardan farklı olarak pek çok fiziksel özelliklere sahiptirler. Örneğin mikroemülsiyonlar görünür ışıkta çok yönlü saçılma gösterirken ve beyaz opak görünümlükten, nanoemülsiyonlardaki damlacık büyüklükleri görünür dalga boylarından daha küçük olup optik olarak şeffaf görünümdedirler. Bu durum nanoemülsiyonların içeceklerde bileşen taşıyıcı olarak kullanılmasında istenen bir özelliktir. Nanoemülsiyonların reolojik özellikleri de farklılık göstermektedir. Mason ve Rai 2006 yılında yaptıkları bir çalışmada emülsiyon damlacıklarının boyutunun artması durumunda nanoemülsiyonların kesme katsayısında hızlı bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Termodinamik açıdan stabil olan ve doğal şekilde oluşan mikroemülsiyonlar gibi, nanoemülsiyonlar da kinetik olarak stabildir (46). Bu nanoparçacıklar yüksek enerji ve düşük enerji yaklaşımı olarak sınıflandırılan çeşitli metotlarla üretilmektedirler. Yüksek enerjili metot, makroskopik fazları ve damlacıkları parçalayan mekanik kuvvetleri içermektedir (49). Yüksek enerjili metotlara yüksek basınçlı homojenizasyon, ultrason, yüksek hızlı-rotor araçlar örnek olarak verilebilir (50). Düşük enerjili metot ise özel kompozisyonlu sistemlerde veya çevresel koşullarda spontan olarak emülsiyonların oluşmasının sağlanmasıdır. Düşük enerjili metotlara PIT metodu (faz inversiyon sıcaklığı), PIC metodu (faz inversiyon Bileşimi), CPI metodu (Yıkımsal inversiyon), TPI metodu (Transisyonel faz inversiyonu) örnek olarak

verilebilir (49). Nanoemülsiyonlar balık yağı ve lipofilik vitaminler gibi suda çözünmeyen gıda bileşenlerinin gastrointestinal sistemde emilerek biyoaktivitelerini gösterebilmeleri açısından iyi bir taşıyıcı ortamdır. Nanoemülsiyonlar çok düşük konsantrasyonlarda daha viskoz özellikte olduklarından daha az yağlı gıdaların üretilmesini mümkün kılmaktadır (42).

Nanotüp olarak üzerinde en çok çalışılan karbon nanotüpler, çok yüksek en-boy oranı ve elastik katsayısına sahip tek atom katlı nanotüp (SWCNT) ya da çok katlı nanotüpten (MWCNT) meydana gelmektedir (18). Son yıllarda, süt proteini laktalbuminin hidroliziyle oluşan; besinlerin, katkıların ve ilaçların nanoenkapsülasyonunda doğal taşıyıcı olarak kullanılabilen kendiliğinden dizilimli nanotüpler geliştirilmiştir (15). Amerika'da Georgia Tech.'te yapılan bir çalışmada modifiye edilen karbon tüpler, biyosensör olarak gıda ve içeceklerdeki mikroorganizmaların, toksik maddelerin ve bozulmanın tespitinde kullanılmıştır (24). Ambalaj malzemelerinde de kullanılabilen nanotüplerin, güçlü antimikrobiyel etki gösterdikleri ve *E. coli*'nin nanotüplerle direk temasta zarar gördüğü bildirilmiştir (2).

Nanoteknoloji, teknolojinin gelişmesiyle artış gösteren taklit ve taşıma ortaya çıkarılmasında ve sağlığa zararlı maddelerin tespitinde yeni uygulamalar sunmaktadır: 2008 yılında, Çin'de süt ürünlerindeki melamin bulaşısının binlerce kişinin özellikle çocukların hastalandığını gösteren raporlar yayınlamıştır (51). Bu konu üzerine yapılan çalışmalar, çeşitli gıdalarda melamin tespitinin yapılmasını sağlamıştır. 2010 yılında Miami Üniversitesi'nde profesör Na Li ve çalışma arkadaşları altın nanopartiküller kullanarak süteki melaminin hızlı ve kolay bir şekilde tespit etmişlerdir (51). Süte altın nanopartiküller eklendiğinde, melamin varsa karışımın rengi pembeden maviye dönüşmektedir. Malezya Üniversitesi'nde yapılan çalışmaya göre ise tavuk ve et köftelerde domuz eti hilesini ortaya çıkarmada yine aynı yöntemle altın nanopartiküllerden yararlanılmıştır (52).

Clemson Üniversitesi'nde yapılan bir araştırmada tavuklardaki patojenlere yönelik antibiyotiklere alternatif olarak tavuk yemine eklenen nanopartiküller geliştirilmiştir (6, 53) Yapay hücre olarak kurgulanan bu nanopartiküller yeme eklenerek tavuk tarafından tüketilmesi sağlanmıştır. Tavuk içine yemle giren bu yapay hücreleri gerçek hücre olarak algılayan birkaç patojen, bunlara bağlanarak tavuğun sindirim sisteminden boşaltılmakta ve böylece tavuk insan tüketimi için daha sağlıklı ve daha güvenli hale gelmektedir (6). Benzer şekilde, 2008'de yapılan bir çalışmada hayvanların gastrointestinal sistemlerindeki gıda kaynaklı patojenleri uzaklaştırmak için gıda

aracılığıyla alınabilen ve *E. coli*'ye bağlanabilen nanopartiküller geliştirilmiştir (54).

Kaliforniya'da bir yağ işletmesi, nanoboyutlu taneciklerin yüzey alanlarının geniş olmasından yola çıkarak oluşturdukları kızartma yağına eklenebilen nanogözenekli seramik tanecikler ile yağın kullanılabilirliğinin süresini uzatırken, kısa bir kızartma süresi içinde daha az miktarda yağ ile gevrek yapıda patatesler elde etmişlerdir. İsrail'de bir firma ise yağda çözünemeyen vitaminlerin, minerallerin ve fitokimyasalların enkapsüle edildiği nanodamları kullanarak ürettikleri yağ ile günlük tüketimlerde bile vitaminleri alınabilir duruma getirmiştir (6).

NANOTEKNOLOJİK UYGULAMALARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Nanoteknoloji gibi yeni bir teknolojinin uzun süreli etkisini tahmin edebilmek oldukça zordur (55). Nanoteknoloji, gıda kalitesi ve güvenliğinin iyileştirilmesinden tarımsal girdilerin azaltılmasına, gıda prosesinin geliştirilmesinden beslenmeye kadar pek çok katkı sunmaktadır. Nanoteknolojik ürünler, hem insanlar tarafından kullanılmaları ve tüketilmeleri sonucunda hem de çevre açısından yeni riskler oluşturmaktadır (54). Büyük moleküllere göre kimyasal olarak daha reaktif olmaları, büyük hücrelere nazaran vücuda daha fazla erişim göstermeleri, biyoyararlılıklarının fazlalığının istenmeyen toksik etkileri artırması, immün sistemin tepkisini olumsuz yönde etkilemeleri ve patolojik etkilerin daha uzun süre görülmesi bu risklerin temel sebeplerindendir (44).

Nanopartiküllerin toksisitesi, biyolojik birikim, bilginin ortaya koyulmasındaki koşullar, sindirim riskleri gibi temel risk değerlendirme faktörleri hakkındaki bilimsel bilginin yetersizliği büyük bir endişe oluşturmaktadır (54).

Malzemelerin nano boyutlandırması pek çok fayda sunarken, aynı zamanda yiyecek ve içecek tüketimi ile tüketicilerin bazı çözünemeyen ve muhtemelen biyokalıcı nanopartiküllere maruz kalmasına sebep olmaktadır (56). Yayınlanan raporlarda bu materyallerin endotel hücreleri (kan damarı hücreleri), pulmoner epiteli (akciğer dokusu), bağırsak epiteli, alveoler makrofajlar (lenfoid hücre grubu), diğer makrofajlar, sinir hücreleri ve diğer hücreler tarafından alındığı belirtilmiştir. Aynı zamanda, Crohn hastalığı da dâhil olmak üzere mide-bağırsak yolu iltihaplarının ve artan bağışıklık sistemi bozukluklarının nanomateryal ile ilişkili olabileceği ileri sürülmektedir (44).

Nanomateryaller, kan yolu ile akciğerler üzerinden diğer hayati organlara (8) hatta merkezi sinir sistemine kolaylıkla ulaşabileceklerinden Parkinson

ve Alzheimer hastalıklarına sebep olabilecekleri bildirilmektedir (44). 70 nm'den daha küçük olan partiküllerin hücre çekirdeğine girebilecekleri ve hatta DNA replikasyonu ve transkripsiyonu bozukluklarına neden olabilecekleri ile ilgili endişeler dile getirilmektedir (44).

Oluşabilecek bu risklere her ülke farklı şekilde tepki göstermektedir. Japonya, Güney Kore ve Avrupa Birliği ülkelerinin aralarında bulunduğu ülkeler, risklerdeki belirsizliklerin veya veri eksikliklerinin düzenleyici faaliyetlerin yürütülmesinde başarılı olamayacağı görüşünde olan bir yaklaşıma sahiptirler. Amerika ve diğer gelişmiş ekonomiye sahip ülkeler ise son ürünlerdeki risk düzenlemelerini yaparken mevcut bilgilerin kullanılmasını ve teknolojiye potansiyeli ön plana çıkarmayı önermektedirler (54).

Nanoteknolojiye bağlı pek çok muhtemel risk mevcut sistemlerle kontrol ediliyor olsa da, bilgi yetersizliğinin bulunduğu pek çok noktaya değinilmektedir (56). Bunlara bakılacak olursa:

-Açık, amaca uygun bir nanoteknoloji veya nanomateryal tanımlamasına ihtiyaç vardır.

-Kompleks gıda matrikslerinde yer alan nanomateryallerin tespiti ve tanımlanması için doğrulama metotları bulunmamaktadır.

-Nanomalzemenin güvenliği üzerindeki toksikolojik araştırmalar henüz gelişim evresinde bile değildir.

-FSA (Gıda Güvenliği Ajansı) tarafından yapılan risk değerlendirmeleri henüz yeterli değildir.

-Gıdalarla alınan nanopartiküllerin sindirimini uzun dönemli sağlık sonuçları hala bilinmemektedir (56).

Yetkili kuruluşlar tarafından yapılan bir uyarı ya da yeni bir FDA denemesi olmadan yüzden fazla gıda ürününde, gıda paketleme ve gıda ile temas eden materyalde nanoteknoloji kullanımı söz konusudur (2).

Nanoteknoloji alanında gerçekleştirilen pek çok önemli panellerdeki genel eğilim, nanoteknolojik risk değerlendirmelerinin yapılmasına yöneliktir. İngiltere Lordlar Kamarası Bilim ve Teknoloji Komitesi, tanımlama metotları ve risk analizindeki yatırım araştırmalarıyla desteklenen metotları kullanarak, ürün ticarileştirilmeden önce yapılacak bir değerlendirme önermektedir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi ise, nanogıda uygulamalarındaki riskler hakkındaki sınırlı bilgilere rağmen geleneksel risk değerlendirmelerinin kullanılmasını desteklemektedir (54).

SONUÇ

Yeni teknolojik gelişmelere bakıldığında, çağımızın en önemli bilimsel araştırma ve teknolojik uygulaması olarak gösterilen bu teknolojinin tüm

gıda zinciri için oldukça fazla yararlarının olduğu görülmektedir. Nanoteknolojinin gıda alanına yönelik uygulamaları ve bu alandaki literatür çalışmalarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Küresel gıda marketi ve ilgili alanlarda mevcut nanoteknoloji uygulamalarının envanteri, "Project on Emerging Nanotechnologies" ve "Global New Products Database"e ait internet sayfalarında mevcuttur. Tüketiciler bu veritabanı ile nanoteknolojik ürünlerdeki en son gelişmeleri takip edebilmektedirler.

Nanogıdaların ya da nanoyapılı materyallerle temas eden ürünlerin tüketimi, gıda güvenliği açısından sorgulanmalıdır. Gerekli ulusal ve uluslararası yasal düzenleme çalışmalarının artırılması bu ürünlerin biyogüvenliğine dair endişelerinin giderilmesi açısından oldukça büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

1. EFSA, 2013. <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/nanotechnology.htm>.
2. Sekhon, BS. 2010. Food Nanotechnology: An overview. *Nanotechnol Sci Appl*, 3: 1-15.
3. Dingman, J. 2008. Nanotechnology: Its Impact on Food Safety. *J Environ Health*, 70 (6) : 47-50.
4. Weiss J, Gibis M. 2013. Nanotechnology in the Food Industry. *Ernaehrungs Umschau International*, 4: 44-51.
5. Mohammad AW, Lau CH, Zaharim A, Omar MZ. 2012. Elements of Nanotechnology Education in Engineering Curriculum Worldwide. *Procedia Soc Behav Sci*, 60: 405-412.
6. Jones A, Nye J, Greenberg A. 2011. Nanotechnology in Agriculture and Food Technology. <http://ice.chem.wisc.edu/NanoDecisions/PDF/Agriculture.pdf> (Accessed: 17. 12. 2013).
7. Food Standards Agency, 2008. A review of potential implications of nanotechnologies for regulations and risk assessment in relation to food (Accessed: 13. 01. 3014).
8. Sahoo SK, Parveen S, Panda JJ. 2007. The present and future of nanotechnology in human health care. *Nanomedicine*, 3 (2007), 20-31.
9. Anon, 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/K._Eric_Drexler.
10. Schnettler B, Crisostomo G, Mora M, Lobos G, Miranda H, Grunert KG. 2013. Acceptance of nanotechnology applications and satisfaction with food-related life in southern Chile. *Food Sci Technol*, 34(1): 157-163.
11. Helal NAS. 2013. Nanotechnology in Agriculture: A Review. *Agriculture & Forestry*, 59 (1): 117-142.
12. Tarhan Ö, Gökmen V, Harsa Ş. 2010. Nanoteknolojinin Gıda Bilim ve Teknolojisi Alanındaki Uygulamaları. *GIDA* 35 (3): 219-225.

13. Anon, 2011. Standart Dergisi. <http://www.isobelgesiizmir.com/Gida-Ambalajlari-ve-Nanoteknoloji-52-t.html>.

14. Khan A, Huq T, Khan RA, Riedl B, Lacroix M. 2013. Nanocellulose-Based Composites and Bioactive Agents for Food Packaging, *Crit Rev Food Sci Nutr*, 54:2, 163-174.

15. 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.

16. Brody AL, Bugusu B, Han JH, Sand CK, Mchugh TH. 2008. Innovative Food Packaging Solutions. *J Food Sci*, Vol. 73 (8): 107-116.

17. Anon, 2014. http://www.army.mil/article/5051/NSRDEC_student_hires_showcase_work/ (Accessed: 29. 03. 2014).

18. Azeredo, HMC. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Res Int*, 42: 1240-1253.

19. Silvestre C, and Duraccio D. 2011. Verpackung von Lebensmittel, 8 / 9 September 2011, Italy. http://vorstand.sgluc.ch/110908-05_duraccio.pdf (Accessed 22. 12. 2013).

20. Azeredo HMC. 2013. Antimicrobial nanostructures in food packaging. *Trends Food Sci Tech*, 30 (2013): 56-69.

21. Mangalassary S, 2012. Antimicrobial Food Packaging to Enhance Food Safety: Current Developments and Future Challenges. *J Food Process Technol*, 3:5.

22. Othman SH, Salam NRA, Zainal N, Basha RK, Talib RA. 2014. Antimicrobial Activity of TiO₂ Nanoparticle-Coated Film for Potential Food Packaging Applications. *Int J Photoenergy*, p.1-6

23. Polat S, Fenercioğlu. 2014. Gıda Ambalajlamasında Nanoteknoloji Uygulamaları: İnorganik Nanopartiküllerin Kullanımı. *GIDA* (2014) 39 (3): 187-194.

24. Qureshi MA, Karthikeyan S, Karthikeyan P, Khan PA, Uprit S, Mishra UK. 2012.

Application of nanotechnology in food and dairy processing: An overview. *Pak J Food Sci*, 22(1): 23-31.

25. Gök V, Batu A, Telli R, 2006. Akıllı Paketleme Teknolojisi, 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu, Türkiye, 45-48.

26. Kokangül G, Fenercioğlu H. 2012. *Gıda Endüstrisinde Akıllı Ambalaj Kullanımı*. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 (2): 31-43.

27. Dursun S, Erkan N, Yeşiltaş M. 2010. Doğal Biyopolimer Bazlı (Biyobozunur) Nanokompozit Filmler ve Su Ürünlerindeki Uygulamaları. *J FisheriesSciences.com*, 4(1): 50-77.

28. Yada R, Parr-Vasquez C, Carlander D, Chen H. 2010. Food "nano"-applications: ensuring broad social benefits. Report of Technical Round Table Sessions, Nanoagri, June 20-25 2010, Sao Pedro, Brazil.
29. Anon, 2014. Nano ink indicates safety breach in food packaging. <http://www.foodproductiondaily.com/Safety-Regulation/Nano-ink-indicates-safety-breach-in-food-packaging> (Accessed: 17. 12. 2013).
30. Anon, 2014. <http://everythingpackaged.com/?p=218>.
31. Avérous L, Pollet E (eds). 2012. Biodegradable Polymers. Environmental Silicate Nano-Biocomposites, Green Energy and Technology, p. : 13-39.
32. Farhang B. 2009. Nanotechnology and applications in food safety. In: Global issues in food science and technology, Barbosa-Canovas, G (chief ed), Academic Press, pp. 401-410.
33. Joseph T, Morrison M. 2006. Nanotechnology in Agriculture and Food, A Nanoforum Report, Available at: www.nanoforum.org.
34. Weiss J, Takhistov P, McClements DJ. 2006. Functional Materials in Food Nanotechnology. *J Food Sci*, 71 (9), 107-116.
35. The European Parliament and The Council Of The EU, 2011. Regulation 1169/2011. (Accessed: 12. 03. 2014).
36. USDA 2014. http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/NEW%20EU%20FOOD%20LABELING%20RULES%20PUBLISHED_Brussels%20USEU_EU-27_1-12-2012.pdf (Accessed: 15. 01. 2014).
37. Petkova GA, Záruba K, Pavel_vátora P, Král V. 2012. Gold and silver nanoparticles for biomolecule immobilization and enzymatic catalysis. *Nanoscale Res Lett*, 7 (287): 1-10.
38. Liu W, Wang L, Jiang R. 2012. Specific Enzyme Immobilization Approaches and Their Application with Nanomaterials. *Top Catal* (2012) 55:1146-1156.
39. Fathi M, Martin A, McClements DJ. 2014. Nanoencapsulation of Food Ingredients using Carbohydrate Based Delivery Systems. *Trends Food Sci Tech*, 2014: 1-51.
40. Danny D. Meetoo. 2011. Nanotechnology and the food sector: From the farm to the table. *Emir. J. Food Agric*, 23 (5): 387-403.
41. Bouwmeester H, Dekkers S, Noordam MY, Hagens WI, Bulder AS, Heer C, Voorde SECG, Wijnhoven SWP, Marvin HJP, Sips AJAM. 2009. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regul Toxicol Pharm*, 53: 52-62.
42. Gökmen S, Palamutoğlu R, Sariçoban C, 2012. Gıda Endüstrisinde Enkapsülasyon uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1): 36-50.
43. Koç M, Sakin M, Kaymak-Ertekin F. 2010. Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı. *Pamukkale J Eng Sci*, 16(1): 77-86.
44. Momin JK, Jayakumar C, Prajapati JB. 2013. Potential of nanotechnology in functional foods. *Emir J Food Agric*, 25 (1): 10-19.
45. Scrinis G, Lyons K. 2013. Nano Functional Foods: Nanotechnology, Nutritional Engineering and Nutritionally Reductive Food Marketing. *Innovation in Healthy and Functional Foods*, Ghosh D (chief ed), CRC Press, USA, pp. 547-552.
46. Fathi M, Mozafari MR and Mohebbi M. 2012. Nanoencapsulation of food ingredients using lipid based delivery systems: Review. *Trends Food Sci Tech*, 23 (2012): 13-27.
47. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. 2010. Nanotechnology and Food Safety. Risk Assessment Studies Report No. 41.
48. Brehm-Stecher BF. 2009. Food Nanotechnology. *Manuf Confect*, p. 37-50.
49. Herrera M. 2012. Nano and Micro Food Emulsions. Analytical Techniques for Studying the Physical Properties of Lipid Emulsions, Springer, p. 7-14.
50. Silva HD, Cerqueira MA, Vicente AA. 2012. Nanoemulsions for Food Applications: Development and Characterization. Review. *Food Bioprocess Technol* 5: 854-867.
51. Wei F, Lam R, Cheng S, Lu S, Ho D, Li N. 2010. Rapid detection of melamine in whole milk mediated by unmodified gold nanoparticles. *Appl Phys Lett*, 96 (133702).
52. Sonawane SK, Arya SS, LeBlanc JG, Jha N. 2014. Use of Nanomaterials in the Detection of Food Contaminants. *Eur J Nutr Food Safety*, 4(4): 301-317.
53. Tzeng J, 2014. Intelligent Chicken Feed. Clemson Public Service Activities. http://www.clemson.edu/public/psatv/ag/intelligent_chicken_feed.html (Accessed: 25.12. 2013).
54. Gruère G, Narrod C, Abbott L. 2011. Agriculture, Food, and Water Nanotechnologies for the Poor: Opportunities and Constraints. IFPRI Policy Brief 19.
55. Moraru C, Huang Q, Takhistov P, Dogan H, Kokini J. 2009. Food Nanotechnology: Current Developments and Future Prospects. IUFoST World Congress Book, p. 369-399.
56. Chaudhry Q, Castle L, 2011. Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries. *Trends Food Sci Tech*, 22: 595-603.