



## TARIMDA VE GIDADA NANOTEKNOLOJİ

Melike EROL DEMİRBİLEK\*

### ÖZET

Nanoteknolojik gelişmelerin ortaya çıkışı ve nanoaygıtların/nanomateriyallerin kullanılmaya başlanması, tarım ve gıda sektöründe yeni uygulamaları beraberinde getirmiştir. Bu sektörlerde karşılaşılan problemlerin çözümü için akıllı salım sistemleri, akıllı biyosensörler, nanoarrayler, ambalaj materyalleri ve nanonutrasetikler tasarlanmaya başlanmıştır. Nanopartiküller karakteristik özelliklerinden dolayı hücreyi geçebilir veya direk olarak akciğerler yoluyla kan dolaşımına girebilirler ve tüm organlara ulaşabilirler. Bu yüzden kendilerinden büyük materyallere göre çok daha tehlikeli olabilirler. Tarım ve gıdada nanoteknolojik gelişmelerin uygulanmasının yanında, riskli nanomateriyaller ve toksisite ile ilgili düzenlemeler de dikkatle göz önünde bulundurulmalıdır.

**Anahtar kelimeler:** Nanoteknoloji, tarım, gıda

## NANOTECHNOLOGY IN AGRICULTURE AND FOOD

### ABSTRACT

The appearance of nanotechnological improvements and introduction using of nanodevices/nanomaterials was triggered new applications in agriculture and food sector. It was started to design smart delivery systems, smart biosensors, nanoarrays, packaging materials, and nanonutraceuticals for the solution of some problems that have been encountered in these sector. Nanoparticles can cross cell boundaries or pass directly from the lungs into the blood stream and reach to all of the organs because of their characteristic features. So, when the compare to materials that are bigger than themselves, nanoparticles may be more dangerous. Beside of applications of the nanotechnological developments in agriculture and food sector, hazardous nanomaterials and regulations that are related to toxicity should be considered carefully.

**Keywords:** Nanotechnology, agriculture, food

## 1. GİRİŞ

Nanoteknoloji kelimesi, yunanca ‘cüce’ anlamına gelen ‘nano’ önekiyle dayanır. Teknik bir terim olarak ‘nano’, 10<sup>-9</sup> ya da milyarda bir şeklinde ifade edilir. Örneğin, bir virus yaklaşık olarak 100 nanometre (nm) boyutundadır. Nanoteknoloji, 0.1-100 nm boyutlar için kullanılır. Nanoteknolojik materyaller, boyutlarının bir sonucu olarak mikrometrik veya daha büyük moleküllerden çok farklı özellikler sergilerler. Bunlar; optik, fiziksel dayanıklılık, kimyasal reaktivite, elektriksel iletkenlik ve manyetizm gibi özelliklerdir (Joseph ve Morrison, 2006).

Nanoteknolojinin konusu, biyolojik olan ve olmayan 100 nm’den küçük yapıları üretmek, karakterize etmek ve fonksiyonel hale getirmektir. Bu alandaki çalışmalar son yıllarda hızla artmıştır. Farmakolojik bilimler ve elektronik endüstrisi gibi pek çok alanda, nanoteknolojinin avantajlarının farkına varılmış ve ticari ürünler üretilmeye başlanmıştır.

Nanoteknolojinin gelişimi için fizik, mühendislik, tıp, kimya, biyoloji, ziraat, gıda ve materyal bilimlerinin multidisipliner çalışmasına ihtiyaç vardır. Bununla birlikte gıda endüstrilerinde, gıda güvenliği ve yeni sentez ürünler göz önünde bulundurulduğunda, nanoteknolojik uygulamaların sınırlı kaldığı görülmüştür (Chen ve ark., 2006). Gıdalar birçok biyolojik ve biyokimyasal modifikasyon yapılarak hazır hale getirilmektedir. Bu süreç, pek çok prensip ve mekanizma ile kontrol edilen karmaşık bir sistemdir. Nanoteknoloji, bilim insanlarına bu modifikasyonları nano ölçekte kontrol etme, değiştirme ve ölçümleme imkanı vermektedir (Weiss ve ark., 2006). Nanoteknolojik metodlar kullanılarak, bitki ve hayvanların genetik ıslahı yoluyla tarım ve gıda sektöründe üretkenlik ve kalite artırılabilir.

## 2. TARIMDA NANOTEKNOLOJİ

Bu sektörde, büyüyen taleple birlikte güvenli beslenme, hastalık riskinin azaltılmasını içeren yeni atılımlar ve değişen şartların, tarım ve hayvancılık için oluşturduğu tehditler yer alır.

Nanoteknoloji, hastalıkların moleküler tedavisi, hızlı hastalık teşhisi, bitkilerin besinleri soğurma yeteneğinin artırılması gibi yeni yaklaşımlarla, tarım ve gıda endüstrisinde devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Akıllı biyosensörler ve kontrollü salım sistemleri, tarım endüstrisinin viruslarla ve diğer patojenlerle savaşmasına yardım edecektir. Yakın bir gelecekte nano yapıdaki katalizörler sayesinde, pestisitlerin ve herbisitlerin daha düşük dozlarıyla daha etkili olması sağlanacaktır. Nanoteknoloji ayrıca, alternatif (yenilenebilir) enerji bileşikleri ve filtre/katalizörlerin kullanımıyla kirliliği azaltacak ve mevcut kirletici maddeleri temizleyerek dolaylı yoldan çevreyi koruyacaktır (Scott ve Chen, 2002).

Çiftçilikte, çevresel değişkenler ve yapılan uygulamalar takip edilerek, maksimum üretim (örneğin daha verimli ürünler) ve minimum giriş (örneğin gübre, pestisit, herbisit) olması hedeflenen bir arzudur. Yerel koşulların ölçülmesi için bilgisayarlara, evrensel uydu yerleştirme sistemlerine ve uzaktan algılama aygıtlarına başvurulur. Böylece, farkında olunan koşullarda ürünler maksimum verimle gelişir ve problem olanlar teşhis edilir. Temel koşulları, bitki gelişimini, tohum ekme, gübrelemeyi, kimyasal ve su kullanımını merkezi bilgiler kullanılarak belirlemek, potansiyel olarak kaliteli üretiminin artmasını sağlayacaktır (Rickman ve ark., 2006). Nanoteknoloji ile ayrıca zirai atıkların azaltılmasına, böylelikle çevre kirliliğinin minimuma indirilmesine yardımcı olunabilir.

Nanoteknolojik cihazların sayesinde (özellikle real-time izleme için), bir GPS sisteme bağlı otonom algılayıcıların kullanımları artmıştır. Bu nanosensörler, tarlanın neresinde olursa olsun temel şartları ve ürün yetiştirmesini izleyebilirler. Bu kablosuz algılayıcılar ABD ve Avustralya’da kullanılmaya başlanmıştır. Algılayıcı sistemlerde nanoteknoloji ve biyoteknolojinin iç içe olması, sensitivitenin artmasına neden olmuştur, bu da çevresel değişimlere erken cevaba izin vermiştir.

Örneğin ; Karbon nanotüp veya kullandıkları nanosensörler ile proteinler veya daha küçük moleküller ölçülebilir.

- Nanopartiküller ve nanoyüzeyler, bakteri gibi kontaminantların varlığında elektriksel veya kimyasal sinyal başlatmak için kullanılabilir.
  - Enzimatik reaksiyonla tetiklenen nanosensörlerle veya modifiye dendrimerlerle, hedef kimyasal ve proteinler tespit edilebilir.
- Sonuçta tarımda, akıllı sensörlerin yardımıyla ve doğru bilgiler ışığında üretkenlik yükselebilir (ETC Group, 2004; Novartis, 1997).

### 3. AKILLI SALIM SİSTEMLERİ

Nanoteknoloji, hastalıkların ve patojenlerin erken tespitinde önemlidir. Agrokimyasallar, % 30-40 oranında tahıl kaybına neden olabilir. Uygulanan tarım ilaçları rüzgar, güneş ışığı, yağmur gibi iklimsel faktörler tarafından olumsuz etkilenebilir. Ayrıca, bu ilaçların kullanımı ile hedeflenen amaca önemli ölçüde ulaşamaz, bu yüzden tatmin edici sonuçlar için periyodik uygulamalar gereklidir. Zira ilaçların yüksek dozları hem maliyeti artırır hem de bitkilerde ve hayvanlarda istenmeyen yan etkilerin görülmesine neden olur. Kullanımdan sonra geriye kalan pestisit, sıklıkla bitki ve topraktan suya geçer, besin zinciri yoluyla insan vücuduna girer ve insan, hayvan ve ekosistem için tehdit oluşturur. Enkapsülasyon ve kontrollü salım sistemleri gibi modern teknikler, pestisit ve herbisitlerin kullanımında devrim yaratmıştır. Nanopartiküller toprakta hızlı bir şekilde yer değiştirdikleri için kullanıma uygundur. Farklı nanotaşıyıcılara yüklenmiş veya enkapsüle edilmiş tarım ilaçları, bir yandan kendi biyoyararlılıklarını arttırırken diğer yandan salımın sürekliliğini ve biyoaktif etmenlerin devamlılığını sağlar. Bu durum ayrıca, ilaçların kullanımını ve yan etkileri azaltır. Örneğin, bifenthrin böceklerin sinir sistemi üzerine etkili sentetik bir insektisittir ve özellikle pamuk zararlılarına yönelik kullanılır. Bifenthrin deri geçişlidir, sudaki zayıf ve yağdaki yüksek çözünürlüğünden dolayı büyük risk yaratır. Bu durum, nanopresipitasyon ile bifenthrinin nanopartikül süspansiyonları formüle edilerek aşılmıştır (Liu ve ark., 2008).

Gözenekli silika nanopartiküller içine yüklenmiş avermectin, nematod ve artropodlara karşı etkilidir ve nanopartikülden uzun süreli ve aşamalı olarak salınır. Yine silika nanopartiküle enkapsüle edilmiş validamisin, fungusit etkisi gösterir (Wen ve ark., 2005). Chlorothalonil de geniş spektrumlu bir fungusittir ve patojenik bitki funguslarında kullanılır. Polimerik nanopartikülün içine yüklendikten sonra *G. trabeum*'a karşı daha fazla biyolojik aktivite gösterdiği anlaşılmıştır (Liu ve ark., 2001).

Gelecekte yeni özellikler kazandırılmış nano ölçekli cihazlar, akıllı tarım sistemleri oluşturmak için kullanılabilir. Örneğin cihazlar, görünür hale gelmeden önce bitki hastalıklarını teşhis edebilecektir. Bazıları da, çiftçiyi probleme karşı ya uyarabilecek veya iyileştirici bir etki ile yanıt verebilecektir. Bu yolla akıllı cihazlar, koruyucu ve erken uyarı sistemi gibi rol oynayacaktır. Bazı cihazlar, kontrollü bir şekilde kimyasalların hedeflere yönlendirilmelerinde kullanılacaktır. Bu konudaki yeni çalışmaların amacı bitkilerin su kullanımını sağlamak, pestisitlerin ve gübrelemenin daha etkili olmasını sağlamak, kirliliği azaltmak ve daha çevreci bir tarım oluşturmaktır.

Pek çok şirket, 100-250 nm boyutlarında olan hangi partiküllerin diğerlerine göre suda daha etkili bir şekilde çözülebilecekleri (böylelikle aktivitelerinin artacağı) konusunda formülasyonlar yapmıştır. Bazıları da, nanoemülsiyonları kullanmıştır. Bunlar, su veya yağ-bazlı olabilmekte beraber 200-400 nm'de pestisidal ve herbisidal nanopartiküllerin tek tip süspansiyonlarından oluşurlar. Jel, krem, sıvı gibi çeşitli araçlarla kolaylıkla birleşebilme, tedavi edebilme ve toplanmış ürünleri koruma/muhafaza edebilme gibi özelliklere sahiptirler (Joseph ve Morrison, 2006).

Dünyanın en büyük tarım-kimyasal şirketlerinden birkaçı, pestisit üretiminde nanoemülsiyonları kullanmaktadır. Bunlardan en önemlisi, bir bitki büyüme regülatörüdür. Bu ürün ısı, kuraklık, hastalık gibi stresler başlamadan önce uygulandığında, çimlerin fiziksel yapısını güçlendirebiliyor ve büyüme mevsimi boyunca devam eden streslere karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Pamuğun, pirincin, fıstığın ve soya fasulyesinin primer ve sekonder zararlılarına karşı geniş spektrumda etkili olduğu belirtilen enkapsülasyon ürünleri de kullanılmaya başlanmıştır (Novartis, 1997).

Altın nanopartiküller kullanılarak plazmid transferi yapılmış ve transgenik bitki oluşturmada başarılı olunmuştur (Christou ve ark., 1998). Torney ve ark. (2007), bitki hücrelerinde silika nanopartiküllerin hem yüzeye

bağlanma hem de enkapsülasyon özelliklerini incelemişlerdir ve özel ekipman gerekmeksizin silika nanopartiküllü kimyasalların ve DNA aktarımının etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bitkiler kalın hücre duvarına sahip oldukları için, dış ortamdaki materyallerin geçişi kolay değildir. Bu yüzden aktarım, florasanla işaretlenmiş silika nanopartiküller kullanılarak protoplastların inkübasyonu sonucu başarılıdır. Trietilen glikol ile silika nanopartiküllerin yüzeyi aktive edilmiştir. Böylelikle plazmidler, silika nanopartiküllerin yüzeyine tutunabilir, protoplastlara girebilir ve nanopartikülden salınabilir. Gonzalez-Melendi ve ark. (2008), karbon kaplı demir nanopartiküllerin Cucurbita pepo üzerine etkisini çalışmışlar, konfokal ve elektron mikroskobu altında incelemeler yapmışlardır. Nanopartiküllerin vasküler sistem yoluyla canlı bitkilere girdiğini ve transloke olduğunu bulmuşlardır. Nanopartiküllerin manyetik özelliği, kendilerine istenen bitki dokusunda konumlanma izni vermiştir.

#### 4. TARIM SEKTÖRÜNDE DİĞER NANOTEKNOLOJİK GELİŞMELER

Tarım, gelişmiş ülkelerin belkemiğidir ve popülasyonun % 60'tan fazlasının geçimi buna bağlıdır. Nanoteknoloji ile pestisit/herbisitlerin salımının izlenmesi için geliştirilmiş sistemler kullanılmaktadır. Böylelikle, farklı ürünlerin biyolojileri anlaşılmış olur; ürün verimliliği ve beslenme kalitesi potansiyel olarak arttırılabilir (Kumari ve Yadav, 2014).

Nanoteknoloji ayrıca yer altı suyunu temizlemek için de kullanılabilir. Bir ABD şirketi, 2 nm çapında alüminyum oksit nanofiberleri bir su arıtıcısı gibi kullanmaktadır. Alüminyum oksit nanofiberlerden yapılmış olan filtreler sudan virusleri, bakterileri ve protozoa kistlerini temizlemiştir (<http://nanotechweb.org/articles/news/3/4/7>).

Bazı şirketler su filtrasyonu üzerinde çalışmalar yaparken, bazıları da saflaştırma konusunda çalışmalar yapmaktadır. Örneğin, lantan nanopartikülleri sulu ortamdan fosfatları soğurur. Gölçük veya yüzme havuzuna bunların ilavesi, fosfatları etkili bir şekilde uzaklaştırır ve alglerin büyümelerini engeller (<http://altairnano.com/applications.html>.2004 ).

ABD'deki bir çalışmada demirden yapılmış nanopartiküller, kontamine olmuş araziye ve yer altı suyunu temizlemek için kullanılmıştır. Demir nanopartiküller, trikloreten, karbon tetraklorid, dioksin ve çok fazla toksik olmayan basit karbon bileşikleri gibi organik kontaminantların parçalanmasını ve oksidasyonunu katalizlemiştir (<http://news.nanoapex.com/modules>.2007). Diğer bir çalışmada, demiroksit nanopartiküller, yer altı suyundan arseniği bağlayarak uzaklaştırmada son derece etkili olmuştur (Wong ve ark., 2002).

#### 5. GIDA ENDÜSTRİSİNDE NANOTEKNOLOJİK UYGULAMALAR

Doğada bulunan gıda molekülleri mikro veya nano ölçeklidir. Besinlerdeki globular proteinler 10-100 nm boyutlarındadır. Nişasta polisakkaritinin 3-D kristal yapısı 10 nm kalınlığındadır. Gıda endüstrisindeki birçok çalışmada top-down veya bottom-up yaklaşımlarıyla mikro/nano ölçekli yiyecekler elde edilmeye çalışılmaktadır (Fletcher, 2006).

Nanoteknoloji gıda endüstrisi için yeni bir alandır (Chau ve ark., 2007). Gıda endüstrisinde nanoteknolojik uygulamalar arasında; nanopartikül salınım sistemleri (örneğin miseller, lipozomlar, nanoemülsiyonlar, biyopolimerik nanopartiküller), gıda güvenliği, biyogüvenlik (örneğin nanosensörler) ve nanotoksikoloji sayılabilir (Chen ve ark., 2006). Gıda sektöründe nanoteknolojinin etkisi hızla artmaktadır. ABD'de, 2002 yılında nanoteknolojik yöntemlerle hazırlanmış 150 milyon dolarlık gıda satılırken, 2004 yılında bu rakam 860 milyon dolara yükselmiştir (Fletcher, 2006). Nanofood marketi 2005'de 2.6 milyar dolar iken 2010'da 20.4'e çıkmıştır.

Nanofood; toprağı işleme, üretme, imal etme ve paketleme süresince nanoteknolojik teknikler veya cihazlar kullanılarak türetilen besinler olarak tanımlanır. Bu sektörde karşılaşılan en yaygın problemlerden biri, yiyeceklerin tüketiciye ulaşana kadar tazeliğini ve kalitesini kaybetmesidir. Bakteri ve virus ihtiva eden yiyeceklerle sıklıkla rastlamak mümkündür. Nanoteknoloji, gıda ile birlikte paketlenen akıllı biyosensörlerin tasarlanmasında önemli rol oynayabilir (Kumari ve Yadav, 2014). Bu sensörler, renk değiştiren indikatörlerle müşteriye gıdaların tazeliği hakkında bilgi verebileceklerdir.

Biyosensör; hücre, enzim ve antikor gibi bir biyolojik komponentten oluşur ve küçük bir dönüştürücüye bağlıdır. Biyosensörler, denemek istenen maddeyi ölçmek ve tanımlamak için kullanılan hücre ve moleküllerdeki değişiklikleri tespit eder. Test edilecek materyalin çok düşük konsantrasyonlarında bile etkilidirler. Materyal biyolojik komponente bağlandığında, dönüştürücü materyalin miktarıyla orantılı şekilde bir sinyal üretir. Yani, bir yiyecekte bakteri konsantrasyonu fazla ise, biyosensör yiyeceğin güvenli olmadığı anlamına gelen güçlü bir sinyal üretir.

Biyosensörler, nanoteknolojiye dayalı olarak üretilip geliştirilirler ve patojenleri tespit edebilirler. Biyosensörlerin diğer analiz teknikleri üzerinde de muazzam avantajları vardır, örneğin nanomolar (nM) aralıkta toksinlerin tespitinde veya mikron boyutlarında koloni oluşturan birimlerinin sayısının belirlenmesinde... Çok fonksiyonlu demiroksit-antikor nanopartiküller ile spesifik olarak besinlerin üzerindeki mikroorganizmalar tespit edilebilir (Ravindranath ve ark., 2009).

Gıda endüstrisinde başlıca problem, etkili bir paketleme materyalinin belirlenememesi ve geliştirilememesidir. Nanoteknolojik yöntemlerle dizayn edilen akıllı paketleme materyalleri ile yiyeceklerin tazeliği ve kalitesinin devamlılığı sağlanabilir. Bu teknolojiyi kullanan Bayer (2010a), daha az hava geçiren, yiyecekleri eskisinden daha uzun süre ve daha taze tutacak plastik ambalaj geliştirmiştir.

Gıda mühendisliğinde en çok problem yaratan şey oksidasyondur. Oksijen peynirdeki ve etteki yağın renk değiştirmesine ve bozulmasına sebep olur (Bayer, 2010b). Polyamid-6 ve ethylene vinyl alcohol gıda ambalajı için kullanılabilir. Polyamid az hassas, ethylene vinyl alcohol ise fazlasıyla hassas gıdalar için uygundur. Bazı polimer araştırmacıları, "hybrid system" diye bilinen çapı büyük silikat nanopartiküllerle zenginleştirilmiş olan yeni bir nanokompozit plastik geliştirdiler. Bu hybrid sistemler ile klasik ambalaj malzemelerine göre oksijen geçirgenliği %40 azaltılmıştır (Bayer, 2010b). Ayrıca besinlerin kokularının birbirine karışması da engellenmiştir.

Lykopen, beta-karoten, lutein, fitosterol ve koenzim Q10 gibi nutrasetikler (fonksiyonel gıdalar), hücrelere besin maddesi aktarmak için 30 nm çaplı nanomisellere enkapsüle edilmiştir. Örneğin, 5 nm'den daha az çaplı partiküllerden oluşan bir kolloid olan nanosetik (nanoceticals) isimli yeni bir ürün piyasaya sürülmüştür.

Gıda ve kozmetik şirketleri, vitaminlerin deriden direk geçişlerini sağlayacak yeni ürünler geliştirmek için birlikte çalışmaktadırlar. Büyük endüstriyel fritözlerde yağların aglomerasyon (yığılma) ve oksidasyonunu engelleyen yeni bir nanoseramik ürün pazarlanmıştır. Ayrıca, yağ içeriği % 16'dan % 1'e düşürülmüş dondurma da üretilmiştir (The Telegraph, 2005).

Nanoteknoloji, tarımsal üretimi artırmak için potansiyel bir yoldur ve tarımı her bakımdan etkiler. Aynı zamanda, akıllı tarım ilaçları için salım sistemlerinin ve patojenlerin tespiti için biyosensörlerin dizayn edilmesinde, farklı streslerdeki bitkilerin karmaşık gen regülasyonunun daha hassas ve kesin bir şekilde açıklanmasında çok iyi şekilde kullanılır. Gıda ve ambalaj materyallerinin kalitesi de nanoteknoloji kullanımı ile arttırılabilir. Fakat aynı zamanda, nanoteknolojinin sebep olabileceği riskler dikkatli bir şekilde araştırılmalı ve kontrol edilmelidir. Nanoteknolojik çalışmalar ve gelişmeler, tarım ve gıda endüstrisinin ilerlemesine büyük katkı sağlayacaktır.

Gıda endüstrisinde nanoteknolojik uygulamalara örnek;

a) Gıdaların hazırlanmasında: Gıdaların ve içeceklerin istenilen lezzet ve rengi korumaları için nanokapsüller eklenmektedir (ETC Group, 2005). ABD'de ve İsrail'de su arıtımında nanoteknolojik yöntemlerle hazırlanan membranlar üzerinde çalışılmaktadır. Nanoenkapsülasyon, jelaston ve kontrollü salım gibi konular için süt proteinleri kullanılarak (self-assembly yöntemi ile) mikrometre uzunluğunda nano ölçekte hollov tüpler hazırlanmıştır (ElAmin, 2005).

b) Paketlemede: Mekanik dayanıklılığı ve sıcaklığa direnci artırmak, ultraviyole ışığı ve bozulmayı engellemek için gıda paketlerine antibakteriyel/antifungal nanokompozitler veya nanopartiküller (gümüş, titanyum dioksit, silikon dioksit gibi) eklenmektedir (ElAmin, 2005). Oksijen ve karbondioksit geçişine engel olan naylon nanokompozitler, paketlemede gıdanın taze kalması ve kokunun dağılmaması için kullanılmaktadır (Sherman, 2005).

c) Besin kalitesinde: Nanopartiküller bazı fonksiyonel maddelerin (antioksidantlar, karotenoidler gibi) suda veya meyve sularında dağılmasını sağlayarak gıdaların kalitesini arttırmaktadır (Chen ve ark., 2006). Lipozomal nanopartiküller; antimikrobiyal ajanlar, enzimler, proteinler gibi fonksiyonel maddelerin enkapsülasyonu için kullanılmaktadır.

yonunda kullanılmaktadır (Wen ve ark., 2006). Kötü tadı engellemek için mineraller, polifenoller gibi aktif maddeler, nanopartiküllerle enkapsüle edilerek oksidasyondan korunur (Heller, 2006).

d) Gıdaların güvenliğinde: Proteinle kaplı nanopartiküller spesifik bir frekansta titreşirler. Nanopartiküllerin bu özelliğinden faydalanarak kentliviir bazlı silikon nanopartiküller, sensörler olarak bakterilerin ve mantarların saptanmasında kullanılmaktadır. Kontaminant sensörün üzerine geldiğinde sensörün kütlesi değişir, bu da kentliviirin farklı frekanslarda titreşmesine neden olur ve kontaminantın varlığı saptanmış olur (ElAmin, 2006) Kimyasal bozulmaların, patojenlerin ve toksinlerin saptanmasında, spesifik patojenlere has antikolar veya flouresanla işaretlenmiş antikolar takılı nanoteller mikrobiyodetektör olarak kullanılmaktadır (Roach, 2006). Gümüş nanopartiküller bakteri ve diğer mikroorganizmaların çoğalmasını engellemek için yiyeceklerin soğutulmalarında kullanılan bandajların yapısında yer almaktadır (Nanosilver, 2004).

## 6. NANOTEKNOLOJİ TEMELLİ GIDALARIN POTANSİYEL RİSKLERİ

Gıda endüstrisinde nanoteknoloji kullanılarak üretilen gıdalar artarak marketlerdeki yerini almaktadır. Fakat, bu ürünlerin risklerini kontrol edecek düzenlemeler yetersizdir. Environmental Protection Agency (EPA), 2005 ve 2007 yıllarında nanomateryallerin toksisitesinin değerlendirilmesine katkıda bulunacak ve bilgilerini paylaşacak ulusal ve uluslararası bilim adamlarını biraraya getirmek amacıyla toplantılar düzenledi. Food and Drug Administration (FDA) da, 2006'da nanomateryallerin gıdalarda, gıda takviyelerinde ve yemlerde kullanımının kontrolü ile ilgili gelişmeleri görüşmek üzere toplantılar düzenledi. Bu toplantılarda, nanopartiküllerin toksisitesinin fizikokimyasal (çökmesi, kristal yapısı, şekli, boyutu vb.) ve yüzey özelliklerinin (yükü, porozitesi, kapladığı alanı, reaktivitesi vb.) çeşitliliğine göre kontrol edilebildiği (Oberdörster ve ark., 2005) üzerinde duruldu. Fakat nanomateryallerin toksisitesini değerlendirmek için daha fazla yönetmelik/yönerge düzenlenmesine dikkat çekildi.

Nanoteknoloji, gıda endüstrisine birçok yenilik getirmiştir. Bununla birlikte besin zincirine nanopartiküllerle üretilmiş gıdaların dahil olması, besinlerde toksisiteye ve bu toksisitenin insan vücudunda birikimine neden olabilir. Burada önemli olan nanoteknoloji ile üretilen besinlerin yeni mi yoksa doğal olmayan materyaller olarak mı sınıflandırılacağıdır (Chau ve ark., 2007).

Nanomateryallerin kullanımının artmasıyla, nanopartiküllerce kontamine olmuş gıdaların oluşması muhtemeldir. Örneğin nanoölçekli pestisitlerin kullanılması ve gıdaların nanoteknoloji ürünü ambalajlarla paketlenmesi esnasında veya sonrasında kontaminasyonu, bu riski artırabilir. Mikroemülsiyon ve mikroenkapsülasyon temelli pestisitler mevcuttur ve bu pestisitler hazırlanırken bir kısmı için nanoölçek düzeyine inildiği bilinmektedir.

Nanoteknoloji ürünler gıda endüstrisinde hızla artarken halen bu teknoloji ile üretilmiş besinlerin tamamının üzerinde nanoteknoloji ile üretildiklerine dair bir ibare yoktur. Aynı zamanda marketlerde bu teknoloji ile üretilen besinler için "nanofood veya ultra-fine food" şeklinde iki ayrı terim kullanılmaktadır. Tam olarak anlaşılammış olmalarına karşın farklı tipte nanopartiküllere maruz kalma riski artarken, bu teknoloji ile üretilmiş besin maddeleri veya nanofoodlar marketlerde yerini almıştır (Chau ve ark., 2007).

Nanofoodların düzenlenmesinde, kontrol ölçümlerinde, tanımlanmalarında ve standardizasyonunda farklı kriterlere ihtiyaç vardır.

Bu kriterler;

### 1. Partikül boyutunun veya boyut dağılımının ölçülmesi

- Nanofoodlar için boyut sınırının belirlenmesi,
- Nanofoodda aktif maddenin mi yoksa partikülün boyutunun mu temel alınacağıının belirlenmesi,
- Partikül boyutunun belirlenmesinde kullanılacak cihaz ve metodun belirlenmesi,
- Partikülün hamken, işlem aşamasındayken ve son ürün halindeykenki boyutunun belirlenmesi (Jones, 2006).

### 2. Fiziksel ve kimyasal özellikleri

- Nano ölçekteki gıdaların sindirimle açığa çıkan monomerlerinin, absorpsiyon ve metabolize mekanizmalarının saptanması ve bu nano besin materyallerinin mikro formlarının izlediği yolla farklarının belirlenmesi,
- Nanofoodun tekli, ikili veya çoklu bir materyal olup olmadığının belirlenmesi,

- Nanofoodun konsantrasyonu, yüzey alanı, kütlesi, su absorpsiyon kapasitesi ve çözünürlüğünün belirlenmesi,
- Nanofoodun termal ve pH stabilitesinin belirlenmesi.

### 3. Süreç

- Nanofoodun (top-down, bottom-up) hazırlanma metodunun belirlenmesi,
- Süreç sırasında veya sonrasında nanofoodda toksik kalıntıların belirlenmesi.

### 4. Güvenlik

- Hazırlanan nanopartikülün insan hayatına ve çevreye potansiyel etkisinin belirlenmesi,
- Nanopartikülün kimyasal olarak modifiye olup olmadığının belirlenmesi,
- Vücutta nanofoodun potansiyel translokasyonunun, birikmesinin, toksisitesinin belirlenmesi,
- Nanofoodun toksisitesinin değerlendirilmesi ve izlenmesi için kullanılacak cihaz ve metodların belirlenmesi,
- Nanofoodların sıvı, katı, lipozom, süspanse gibi ayrı bir besin maddesi olarak tanımlanması,
- Nanoteknolojik gıdaların üzerine nanoteknoloji ürünü olduğu, partikül boyutu gibi güvenlik etiketlerinin yazılması.

## 7. KAYNAKLAR

- Bayer, 2010a. Science for a better life. <http://www.research.bayer.com>. (Accessed 05.12.2010)
- Bayer, 2010b. Securely wrapped nanoparticles make Durethan films airtight and glossy. <http://www.research.bayer.com/edition/polyamides>. (Accessed 05.12.2010)
- Chau, C. F., Wu, S. H. and Yen, G. C., 2007. The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, 18(5), 269-280.
- Chen, H., Weiss, J. and Shahidi, F., 2006. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. *Food Technology*, 60 (3), 30-36.
- Christou, P., McCabe, D. and Swain, W., 1998. Stable transformation of soybean callus by DNA-coated gold particles. *Plant Physiology*, 87: 671-674.
- ElAmin, A., 2005. Nanotechnology targets new food packaging products. <http://www.foodproductiondaily-usa.com/news/ng.asp?id%463147>. (Accessed 01.01.2011)
- ElAmin, A., 2006. Nanocantilevers studied for quick pathogen detection. <http://www.foodproductiondaily-usa.com/news/ng.asp?id%470159> (Accessed 05.06.2014)
- ETC Group. Action Group on Erosion, Technology and Concentration., 2004. The impacts of nano-scale technologies on food and agriculture. Down on the Farm. Canada. [http://www.etcgroup.org/documents/ETC\\_DOTFarm2004.pdf](http://www.etcgroup.org/documents/ETC_DOTFarm2004.pdf). (Accessed 01.01.2007)
- ETC Group. Action Group on Erosion, Technology and Concentration., 2005. The potential impacts of nano-scale technologies on commodity markets: the implications for commodity dependent developing countries. <http://www.etcgroup.org/upload/publication/45/01/southcentre.commodities.pdf> (Accessed 01.01.2013)
- Fletcher, A., 2006. Nanotech food conference targets future opportunities. National Center for NanoScience and Technology of China. [http://www.foodnavigator.com/news/ng.asp?id%467113\\_eng/index.php](http://www.foodnavigator.com/news/ng.asp?id%467113_eng/index.php). NCNST. (Accessed 01.06.2013)
- Gonzalez-Melendi, P., Fernandez-Pacheco, R., Coronado, M. J., Corredor, E., Testillano, P. S., Risueno, M. C. et al., 2008. Nanoparticles as smart treatment-delivery systems in plants: Assessment of different techniques of microscopy for their visualization in plant tissues. *Annals of Botany*, 101: 187-195.
- Heller, L., 2006. Flavor firm uses nanotechnology for new ingredient solutions. [Http://www.confectionerynews.com/news/ng.asp?id%469008](http://www.confectionerynews.com/news/ng.asp?id%469008). (Accessed 05.06.2014)
- [Http://altairnano.com/applications.html](http://altairnano.com/applications.html).2004. (Accessed 01.07.2007)
- [Http://nanotechweb.org/articles/news/3/4/7](http://nanotechweb.org/articles/news/3/4/7). (Accessed 01.06.2009)
- [Http://news.nanoapex.com/modules.2007](http://news.nanoapex.com/modules.2007) (Accessed 01.07.2007)

- Jones, P. B. C., 2006. A nanotech revolution in agriculture and the food industry. ISB News Report. <http://www.isb.vt.edu/news/2006/artspdf/jun0605.pdf> (Accessed 05.09.2012)
- Joseph, T. and Morrison, M., 2006. Nanotechnology in agriculture and food. Nanoforum report, Institute of Nanotechnology.
- Kumari, A. and Yadav, S. K., 2014. Nanotechnology in Agri-Food Sector. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54: 975-984.
- Liu, Y., Tong, Z. and Prud'homme, R. K., 2008. Stabilized polymeric nanoparticles for controlled and efficient release of bifenthrin. *Pest Management. Science*, 64: 808-812.
- Liu, Y., Yan, L., Heiden, P. and Laks, P., 2001. Use of nanoparticles for controlled release of biocides in solid wood. *Journal of Applied Polymer Science*, 79: 458-465.
- Nanosilver, 2004. Technical information e technical information of nano-silver powder. <http://www.nano-silver.net/eng/index.php> (Accessed 05.09.2005)
- Novartis., 1997. <http://www.syngentaprofessionalproducts.com/to/prod/primof/>. (Accessed 01.08.2014)
- Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., et al., 2005. Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. A report from the ILSI Research Foundation/Risk Science Institute Nanomaterial Toxicity Screening Working Group. *Particle and Fibre Toxicology*, 2(8), 1-35. <http://www.particleandfibretoxicology.com/content/2/1/8>. (Accessed 05.09.2008)
- Ravindranath, S., Mauer, L., DebRoy, C. and Irudayaraj, J., 2009. Bio-functionalized magnetic nanoparticle integrated mid-IR pathogen sensor for food matrices. *Analytical Chemistry*, 81(8): 2840-2846.
- Rickman, D., Luvall, J. C., Shaw, J., Mask, P., Kissel, D. and Sullivan, D., 2006. Precision agriculture: changing the face of farming. Nanoforum Report, Institute of Nanotechnology.
- Roach, S., 2006. Nanotechnology passes first toxicity hurdle. <http://www.foodproductiondaily-usa.com/news/ng.asp?id%469557> (Accessed 05.06.2014)
- Scott, R.S. and Chen, H., 2002. Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. Overview of USDA/CSREES Nanotechnology Programs. The US Department of Agriculture. [http://www.csrees.usda.gov/nea/technology/pdfs/Overview of USDA.pdf](http://www.csrees.usda.gov/nea/technology/pdfs/Overview%20of%20USDA.pdf) (Accessed 01.08.2014)
- Sherman, L. M., 2005. Chasing nanocomposites. <http://www.ptonline.com/articles/200411fa2.html>. (Accessed 05.09.2012)
- The Telegraph, 2005. How supercows and nanotechnology will make ice cream healthy.
- Torney, F., Trewyn, B., Lin, V. S. Y. and Wang, K., 2007. Mesoporous silica nanoparticles deliver DNA and chemicals into plants. *Nature Nanotechnology*, 2: 295-300.
- Weiss, J., Takhistov, P. and McClements, J., 2006. Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, 71(9), 107-116.
- Wen, H. W., DeCory, T. R., Borejsza-Wysocki, W. and Durst, R. A., 2006. Development of neutravidin tagged-liposomal nanovesicles as universal detection reagents in bioassay. *Talanta*, 68, 1264-1272.
- Wen, L. X., Li, Z. Z., Zou, H. K., Liu A. Q. and Chen J. F., 2005. Controlled release of avermectin from porous hollow silica nanoparticles. *Pest Management. Science*, 61: 583-590.
- Wong, Colvin and Hughes., 2002. Nanocatalysts for remediation of environmental pollutants. Center for Biological and Environmental Nanotechnology. Annual Report to the National Science Foundation. P: 60-62. [http://cohesion.rice.edu/centersandinst/cben/research.cfm?doc id=5100](http://cohesion.rice.edu/centersandinst/cben/research.cfm?doc%20id=5100). (Accessed 01.09.2007)