

# Tarımsal Üretimde Nanoteknoloji

Prof. Dr. Adil Denizli

TÜBA Asli Üyesi

Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü Biyokimya Ana Bilim Dalı

Prof. Dr. Handan Yavuz

Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü Biyokimya Ana Bilim Dalı

Doç. Dr. Nilay Bereli

Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü Biyokimya Ana Bilim Dalı

## Temel Mesajlar

- Nanoteknoloji verim kalitesini ve miktarını artırdığı için tarımsal üretim uygulamaları için oldukça elverişlidir.
- Nanoteknoloji, agrokimyasalların kullanımıyla toprak, su ve hava kirliliğinin azaltır ve tarımı daha sürdürülebilir yapar.
- Halledilmesi gereken sorunlar, nanopartiküllerin uzun dönem riskleri, uluslararası düzenlemelere uyum ve standartlaştırılmış risk yönetim araçları, maliyet-etkinliği ve gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki nanoteknoloji uygulamalarının kapsayıcı kullanılabilirliğidir.

## Giriş

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu'na göre dünya çapında 795 milyon insan sağlıklı aktif yaşam için gerekli gıdaya ulaşma olanağına sahip değildir. İklim değişikliği, nüfus artışı ve toprak kaybı açlık sorununu ortadan kaldırmak için diğer güçlüklerdir. 2050 yılında tahmini dokuz milyardan fazla insanın gıda gereksinimini karşılamak için dünyanın tarım üretiminin yaklaşık %60 artması gereklidir. Nanoteknoloji (NT) tarımsal üretim miktarını ve kalitesini artırabilir ve iklimsel esneklik sağlarken tarımsal kimyasallardan kaynaklanan kirliliğin azaltılmasıyla daha sürdürülebilir hale getirebilir (Sürdürülebilir Gelişme Hedefi (SDG) 2: Sıfır Açlık). Aynı zamanda bu teknolojiyle bitkilere değerli besinlerin eklenebilmesi ve toprakta ağır metallerin tayini ve giderilmesi, daha iyi sağlık hedefini desteklemektedir (SDG 3: Sağlık ve iyileşme). Dahası, NT daha sürdürülebilir tarımsal üretimi teşvik etmektedir (SDG 9: Endüstri, yenilik ve altyapı).

NT'nin tarımda kullanımının faydaları ile ilgili artan bir bilgi birikimi vardır, ancak, önemli otoritelerden gelen bulguların koordine edilmesi ve farklı alan ve disiplinlerden gelen bilgilerin birleştirilmesinin güçlüğü de gösterilmiştir. Çevresel ve sağlık etkilerinin belirsizliği ve maliye-

ti nedeniyle şu anda NT tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu yazıda NT'nin tarımsal üretimde kullanımı ile ilgili girişimler ve faydaları özetlenmektedir.

## Mevcut Durum

Tarımsal NT üzerine araştırmalar son on yıldan beri yapılmaktadır. NT'nin tarımla ilgili yayın paylaşımları diğer sektörlerden daha az olmakla birlikte, potansiyeli ile ilgili algı artmaktadır. Örneğin, 2005-2009 arasında tarım-gıda sektöründe NT üzerine literatür iki kat artmıştır. Şu an tarımda NT üzerine araştırma ve geliştirmenin (AR-GE) çoğunu Avrupa, ABD, Çin ve Hindistan üretmiştir. Tüm NT uygulamalarının sadece %9'u tarım odaklıdır. Bazı uygulamalar pestisitlerin, besinlerin ve tarım kimyasallarının dağılımı etkinliği ve kontrollü salımı, bakteri ve virüslerin tayini için halihazırda kullanımdadır.

Nanoteknoloji, doğal veya üretilmiş parçacıkların en az %50'sinin boyutunun 1-100 nm (metrenin milyarda biri kadar) arasında olduğu teknolojilerdir. Nanoteknoloji özelliklerini nanoparçacıkların eşsiz özelliklerine (yüksek yüzey- hacim oranı ve yüksek çözünürlük gibi) borçludur. Dolayısıyla, nanopartiküller yüksek reaktivite ve etkinliğe sahiptir.

## Faydalar

### Verim Kalitesi ve Miktarında Artış

**Sürdürülebilir su kullanımı:** Tarımsal üretimi daha sürdürülebilir yapmak ve su kullanımını optimize etmek için nano-hidrojel kullanılabilir. Nano-hidrojel, döngüde suyu absorplayıp salabilir ve böylece suyun daha etkin kullanımını sağlar. Gümüş kaplanmış hidrojel üzerinde yapılan çalışmalar bu hidrojin kullanıldığı toprağın, kullanılmayana göre %7.5 daha fazla su tuttuğunu göstermiştir. Ayrıca, hidrojel kendi ağırlığının 130-190 katı kadar sulama veya yağmur suyu depolayabilmektedir. Biyo-bozunur hidrojel, kirletici miktarını da azalttığından özellikle umut vericidir. Dolayısıyla, NT özellikle kuru bölgelerde kullanışlıdır. Kuraklık ekin üretimi için en önemli çevresel risk olarak değerlendirildiği için bu oldukça gereklidir.



**Tohumların işlenmesi:** NT ile işlenen tohumlar çevresel strese karşı daha esnek olurken, daha istikrarlı ve hızlı gelişmektedir. NT aynı zamanda fidelerin dayanıklılığını, gelişimini ve ömrünü artırmaktadır. Bir laboratuvar çalışmasında nano-gümüş gibi nanomalzemelerle kaplanmış tohumlardan yetişen ekinlerin daha fazla su absorpladığı gösterilmiştir. Nanopartikül kaplanmış tohumlarla yapılan diğer bir çalışmada bitkinin kuru ağırlığında %73 artış ve tohumda ekin verimini artıran üç kat fazla vitamin içeriği rapor edilmiştir. Ayrıca, nanopartiküllerle işleme tabi tutulan tohumlarda %90 kuraklık direnci artışı ve depolamada tohum ömründe % 16.5 artış belirlenmiştir. Bu avantajlar verim kalite ve miktarda ve ilkime karşı esneklikte artışa yardımcı olmaktadır.

**Haşere ve hastalık teşhisi:** Kirleticiler, haşereler ve bitki hastalıkları ekinlerde ciddi hasara yol açar. Örneğin, haşere böcekler pirinç veriminde %25, pamuk veriminde %50 kayba yol açar. Enzimler gibi organik temelli tayin mekanizmasına sahip biyosensörler bu özel tehditleri tayin edebilir. Boyutla-ilişkili özellikleri nedeniyle nano-biyosensörler geleneksel biyosensörlere göre doğruluk, tayin sınırı, duyarlılık, seçicilik, hızlı cevap ve tekrarlanabilirlik konularında daha avantajlıdır. Moleküler düzeyde tek bir virüs ve kirleticiyi tayin edebilirler. Bu partiküller EU standartlarına onaylananlardan daha küçüktürler. Dolayısıyla, nano-biyosensörler haşere salgınlarını önlemek ve kalite ve verimi artırmak üzere toprak kalitesini izlemek için oldukça kesin araçlardır.

**Besinlerin ve bitki koruma ürünlerinin (ppp) daha iyi dağıtılması:** Konvansiyonel gübrelerin ve ppp'lerin %70 kadarı çevre koşullarına dayanıklı olmadıklarından ve alınmaları güç olduğundan hedeflerine ulaşmazlar. Nano-temelli akıllı salım sistemleri boyutlarından kaynaklanan özellikleri sayesinde belirli bitkilere daha etkili ve hedefe yönelik salım sağlama özelliğine sahiptir. Ayrıca, çevrede dayanıklılıkları daha iyidir ve besinlerin ve ppp'lerin ekinlerce alınımını artırır. Akıllı salım sistemleri yavaş veya kontrollü salımla da besin ve ppp'lerin alınımını iyileştirirler. Bu durum ppp'lerin otuz günden fazla

etkinliğinin uzaması ile gösterilmiştir. Ayrıca, pestisitlerin uygulanan yarım dozla iki kat daha güçlü etkili olduğu bulunmuştur. Besinlerin ve ppp'lerin daha etkin salımı ekinlerin kuraklık, haşereler ve kirliliğe karşı direncini artırır. Dolayısıyla, verim kalite ve miktarını artırır. Nano-biyosensörler besin ve ppp'leri çevresel uyarılara ve biyolojik ihtiyaçlara tepki verecek şekilde salınan akıllı salım sistemleri olarak da hazırlanarak bu işlemi daha da ileriye taşıyabilir. Bu da eş zamanlı izleme ve kontrol olanağı sağlar.

### Azalan Kirlilik

**Daha az kayıp:** NT'nin tarımsal üretimde uygulanması gübre ve ppp'lerden kaynaklanan kirliliğin azaltılması potansiyeline sahiptir ve ağır metallerle kirlenmiş toprakta iyileşme sağlar. Tarımsal kimyasalların %90'a kadarı kontrolsüz uygulanmalarından dolayı dolaylı olarak çevreye karışır. Artan etkinlikle birlikte akıllı salım sistemleri kirliliği ve buna bağlı çevresel ve sağlık risklerini azaltır.

**İyileştirme:** ağır metallerle kirlenmiş topraklar NT ile iyileştirilebilir. Bu özellikle ağır metallerle toprak kirliliğinin ciddi olduğu Çin ve Afrika ülkelerinde umut vericidir. NT temelli toprak iyileştirme yöntemlerinin etkili, ucuz ve çevreye dost olduğu bildirilmiştir. İyileştirme için demir nanopartiküllerin kullanıldığı bir durum çalışması trikloroetan (pestisitlerdeki bir çözücü) kullanımında birkaç gün içinde %99 azalma göstermiştir.

### Umut verici durum çalışmaları

**Tohumların işlenmesi:** Hindistan'da iki alan çalışmasında muadillerine kıyasla %15 daha az nanomalzeme (çinko) kullanımıyla fıstık veriminde %29.5 ve %26.3 artış gözlenmiştir.

**İyileştirilmiş salım:** Dünya çapındaki insanların %30'u ve okul çocuklarının %40'i demir eksikliğinden muzdardır. Bu durum TBC, HIV ve sıtma ile daha da artmaktadır. Nano-demir partikülleri içeren gübrelerle yapılan çalışma nanoteknolojinin karpuzlardaki demir seviyesini artırabildiğini göstermiştir.

**Kirlilik tayini:** Civa az miktarlarda dahi toksiktir ve WHO tarafından çocuk sağlığı ve özellikle fetus için ciddi bir tehdit olarak tanımlanmıştır. Gümüş partiküllerle dayalı nanosensörler bitkiler ve topraktaki bu az miktardaki civayı teşhis edebilmektedir.

**Sürdürülebilir su kullanımı:** Biyobozunur hidrojenlerle iyileştirilen toprakta, iyileştirilmeyene göre %400 daha fazla nem gösterilmiştir.

### Zorluklar

#### Belirsizlik

**Toksisite:** Nanoteknoloji gelecekte büyük bir potansiyele sahip olmakla birlikte, yeni olması ve gelişme hızı nanopartiküllerin çevre ve insan sağlığı üzerinde uzun-dönem etkileri konusunda belirsizliğe neden olmaktadır. Kısa-vadede bir zarar tanımlanmamıştır, ancak, uzun-dönemde bitki ve hayvanlarda toksinlerin biyo-birikimi ile insanları etki-



le-

yebilir.

Nanopartiküllerin toksisitesi boyutla-bağlantılı özellikleri ve derişimleri nedeniyledir.

Bu durum çevrede hareketliliklerini ve maruz kalınmayı etkiler. Bazı nanopartiküllerden kaynaklanan toksisitenin üstesinden gelmek ve çevresel hasarı azaltmak için tekrar tasarlanabilirler. Tarımda uygulanabilecek nanopartiküller biyobozunur ve toksik-olmayanlar olabilir.

**Risk Yönetimi:** Risk yönetimi maruz kalma ve potansiyel riskleri içerir. Nanopartiküllerin çok çeşitliliği ve farklı koşullardaki toksik özellikleri hakkında veri eksikliği, standartlaşmış risk yönetimi araçlarının oluşturulmasını engeller. Benzer özelliklere sahip nanopartiküllerin gruplandırılması risk yönetimini kolaylaştırmakla birlikte hala tam güvenli değildir. NT'nin uluslararası mutabakata varılmış bir tanımının olmaması da bu durumu güçleştirmektedir. Risk yönetimi bölgesel olarak hatta bazen sektörel olarak da farklılık göstermektedir. Şu an, risk yönetimi daha bütünseldir: bilim insanları, düzenleyiciler, endüstriler ve kamusal-olmayan organizasyonlar multi-disipliner şekilde birlikte çalışmaktadır. NT'nin sürekli gelişiminin sonucu olarak risk yönetimi sürekli olarak değişecek ve adapte olacaktır. Gelecek iki yılda OECD ve EU'nun standartlaştırılmış araçları geliştirmesi beklenmektedir.

**Düzenleme:** Yığın eşleniklerinden farklı olarak boyutla-İlgili özellikleri nedeniyle düzenleyici çerçevelerin tam olarak NT'ye uyarlanması güçtür. Bazıları mevcut düzenlemeleri NT'nin riskleri ve belirsizliklerini değerlendirmede yeterli görmekte birlikte, diğerleri nano-spesifik koşulların ve düzenlemelerin gerekliliğini belirtmektedir. Ancak NT tanımı için uluslararası bir uzlaşma olmayışı durumu güçleştirmektedir. Nano-spesifik düzenleme ve ortak bir tanımın benimsenmesi ülkelerin bilgi paylaşımını, nanomalzemeler içeren ürünlerin ticaretini ve ilgili riskleri azaltma konusunda canlanma için gereklidir.

### Kapsayıcı Kullanılabilirlik

NT'nin faydalarının çok çeşitli ülkeler ve paydaşlar arasında kapsayıcı olarak paylaşımının sağlanması gereklidir. Hali hazırda çoğu AR-GE belirli sayıda ülkede yer almaktadır ve bilgi eşit olarak dağılmamıştır. Zengin olmayan ülkelerin faydalanacağı ürünler üzerine, genellikle finansal olarak çekici olmadığı için, görece az çalışma yapılmaktadır. Dolayısıyla, gelişmiş ve gelişmemiş ülkeler arasında ve büyük

yük ve küçük şirketler

arasında, üretim

ve yenilikçilik anlamında

daki uçurum genişlemektedir.

Büyük şirketler daha fazla

patente sahip olduklarından, küçük şirketler için pazara girmek zordur.

Ancak, gelişmekte olan ülkeler ve küçük şirketler için daha ucuz

ve elde edilebilir NT yaratmak için de yöntemler vardır.

Bu, örneğin, ürünler kayıt altına alınırken idari yükün azaltılması veya küçük şirketler veya gelişmemiş ülkeler için destek yapıları kurularak sağlanabilir.

Ayrıca, NT'nin tarımsal üretim ve gelişmiş ülkeler için uygun olabilmesi için, daha düşük maliyetli olması ve alana aktarılabilmesi gereklidir.

Tarımsal üretimde NT uygulamaları pazara girdiğinden şimdi buna bakmak önemlidir.

### Tavsiyeler

#### Belirsizlik

- Uzun-dönem toksisite ve çevrede nanopartiküllere maruz kalmak ve bunların insan sağlığı üzerindeki etkileri üzerinde AR-GE'ye odaklanmak
- Tarımsal uygulamalar için toksik-olmayan, çevreye dost nanomalzemeleri seçmek
- Maliyeti düşürmek ve bilgi birleşimi için bilim insanları ve özel şirketlerle yakın işbirliği içinde çalışarak uluslararası standartlaştırılmış risk yönetimi metodları geliştirmek
- Mevzuat ve risk yönetimi koordinasyonu için NT'nin iş görür bir tanımı için uluslararası konsensüse ulaşmak.

#### Kullanılabilirlik

- Gelişmekte olan ülkeler için daha uygun hale getirmek üzere NT'nin fiyatını düşürmek için AR-GE'ye odaklanmak.
- NT üzerine ileri araştırmalar ve uygulamalara sahip ülkelerle NT'den faydalanabilecek olanlar arasında işbirlikleri oluşturmak.

Kaynak: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/12872Policybrief\\_Agri.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/12872Policybrief_Agri.pdf)

AÇLIK ÇEKEN  
795 MİLYON  
İNSAN



2050'DE BEKLENEN  
9 MİYAR  
NÜFUS



TARIMSAL SİSTEMİN  
DÖNÜŞTÜRÜLME GEREKLİLİĞİ

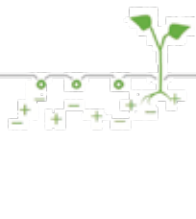


ÇÖZÜM OLARAK NANOTEKNOLOJİ

Sürdürülebilir  
su kullanımı



Tohumların  
İşlenmesi



Haşere ve  
hastalık  
teşhisi



Besinlerin ve bitki  
koruma ürünlerinin  
iyileştirilmiş dağıtımı



İyileştirme



Daha az  
sulama



VERİM KALİTESİ VE  
MİKTARINDA ARTIŞ



DAHA AZ  
KİRLİLİK



BELİRSİZLİK SORUNU



Uzun-dönem toksisite araştırmaları



Standartlaştırılmış risk-yönetimi  
araçlarının oluşturulması



Uluslararası düzenleme



KULLANILABİLİRLİK SORUNU

Daha uygun maliyet



Gelişmekte olan ülkelerin  
dahil edilmesi

