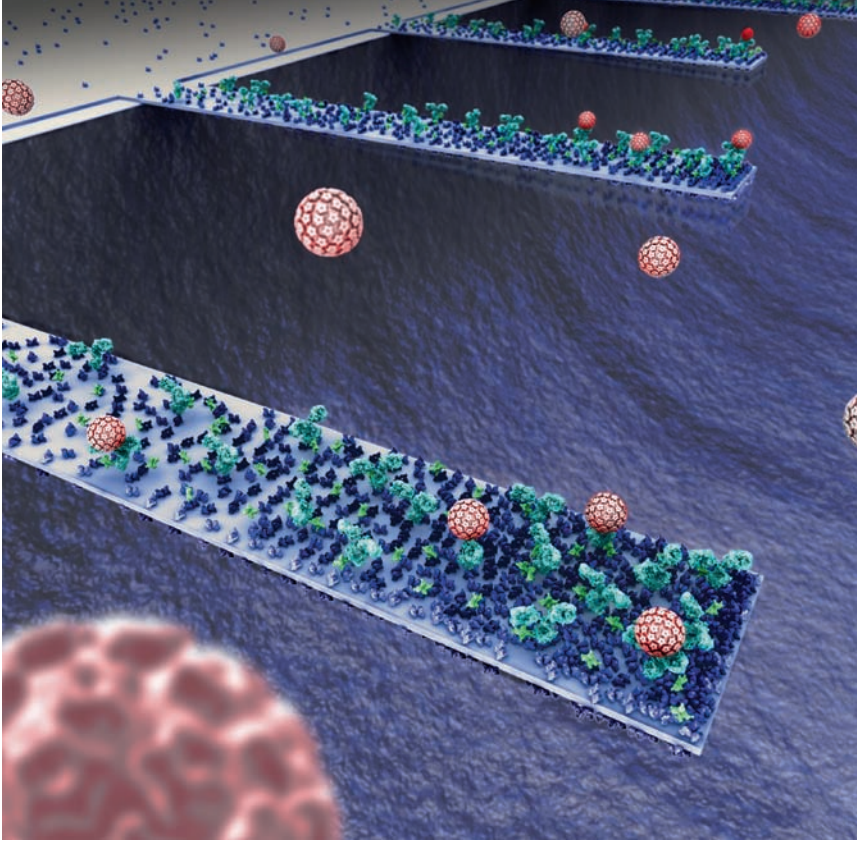


NANOTEKNOLOJİ



Nanoteknoloji alanında yürütülecek araştırmalara yapılacak harcamalar, tarımsal güvenlik, çevre korunması, besin ve su güvenliği bakımından daha iyi bir dünya sağlama potansiyelini bizlere sunacak. Nanoteknoloji, genetiği değiştirilmiş ürünlerin yol açabileceği olumsuzluklara çözümler sunan bir teknoloji. Bu teknoloji önümüzdeki 5 yıl içinde tarımsal ürünlerin, üretim süresince çeşitli çevresel koşullarda uzaktan ve sürekli izlenmelerini sağlayacak. Patojen (hastalık yapıcı) ya da kontaminantların (kirleticilerin) teşhisinde sinyallerin çoğaltılması için nükleik asit mühendisliği temelli problemler (uçlar) ve yöntemler geliştirilecek. Besin işleme sırasında kullanılacak, patojen ya da yabancı maddelerin tespiti için hızlı biyoalgılayıcılar; tarlada patojenlerin (virüsler, kimyasallar) tespiti için daha hızlı biyoalgılayıcılar; protein ve genetiği değiştirilmiş organizmaların (GMO'lar) tespiti için hızlı biyoalgılayıcılar elimizin altında olacak. Sonrasında, yani

önümüzdeki 5-15 yıl içinde besin işleme zinciri süresince (örneğin kritik kontrol noktalarında) patojenlerin, kirleticilerin ve toksinlerin (zehirlerin) tanımlanması ve kontrolü mümkün olabilecek. Yeni algılayıcı sistemleriyle tarımsal sistemlerde hızlı tepki (tarladan-masaya güvenliğinin gerçekleştirilmesi) sağlanacak. Veterinerlik için ge-

liştirilmiş araçlar (teşhis, tedavi ve önleme için) ortaya çıkacak. Besinlerin işleme sırasında ya da tarlada üretimleri sırasında karışan patojenlerin, virüslerin, kimyasalların, proteinlerin ya da GMO'ların el-tipi algılayıcılarla tayini mümkün olacak. Tek kullanımlık algılayıcılar da geliştirilecek; dahası, ömrü dolan algılayıcılar için, besin ve çevresel güvenlik bakımından, tüketicinin korunması gerçekleştirilecek. Bu biyogüvenliği bize sağlayacak nanoteknoloji ve biyoyuğulamalarına geçmeden önce, bu teknoloji hakkında kısaca bilgilenelim.

Nanoteknoloji, moleküler düzeyde, genellikle atomlardan yola çıkılarak ulaşılan nanometre boyutlarında işlevsel yapılarda çalışmaya, araç oluşturma ve işletmeye olanak veren ilgi çekici ve hızla gelişen bir teknoloji. Doğa nanoteknolojik becerilerini milyonlarca yıldır sergilemekte. Atom ve moleküllerin dizilimiyle, biyolojik sistemler sulu kimya ve elektrokimyayı tek bir canlı sisteminde birleştirmekte. Bizler doğanın kendi kendine çoğalma, kontrol etme ve onarma sistemlerinin kullandığı nanoölçekli yöntemleri anlamada henüz bir göz atma aşamasındayız. İşte, aşağıda belirtilen konularda gerçekleştirilen çalışmalar, özellikle tarım ve gıda alanlarında önemli uygulamalarıyla biyogüvenlikte önemli aşamalar elde etmemizi sağladı.

Boyut (nm)	Örnekler	Terminoloji
0,1 – 0,5	Belirli kimyasal bağlar	Moleküler/atomik
0,5 – 1,0	Küçük moleküller, zeolitlerdeki gözenekler	Moleküler
1 - 1000	Proteinler, DNA, mezogözenekler, inorganik nanoparçacıklar	Nano
10^3 - 10^4	Mikroakışkan kanallar, MEMS, silikon çip üzerindeki araçlar, canlı hücreler	Mikro
$> 10^4$	Normal yığın malzeme	Makro

Makrodan moleküler ölçeğe karşılaştırma. "Nano" genellikle 1-1000 nanometre (nm) aralığında bir boyuta karşılık gelmekte. Karşılaştırma olarak, görünür ışığın dalga boyu 400-700 nm arasındadır. Canlı bir hücre de mikron boyutlarındadır (birkaç bin nanometre).

VE BİYOGÜVENLİK

Mikroakışkanlar

İnsanlar sıvıları makro ölçekte iş yapmada kullanırlar. Örnek olarak, nehirler ve kanal havuzları, insanları taşıyan gemileri hareket ettirirler. Mikro ölçekte bu sıvıların mikron boyutlu kanallarda hareketi, hassas mikroskopik hücreler etrafından sıvı ortamın kontrollü, kesin hareketine olanak verir. Mikroskopik ölçekte, mikro kanallardaki sıvıların viskoz özellikler sergiledikleri, yani akışkanlığa karşı direnç kazandıkları ve sudan çok melas gibi hareket ettikleri görülür. Mikroakışkanlar günümüzde hayvan biliminde, hayvanların üremesi için kullanılan geleneksel in vitro (canlı dışında; laboratuvar ortamında) dölleme işlemlerini önemli ölçüde basitleştirdi. Mikroakışkanlar aynı zamanda, küçük örneklerde analiz ve kimyasal hesaplamalara olanak veren hassas minyatürize “çip-üzerinde-lab” teknolojisini entegre bir parçası. Mikroakışkanlar nanoteknolojiden daha büyük ölçekli; fakat nanoteknolojinin “kuru” dünyasıyla biyolojinin “ıslak” dünyasının birleştirilmesi kesin olarak mikroakışkan tekniklerinin kullanımını içeriyor.

BioMEMS

Mikroboyutlu makine-leri yapma yöntemleri, ya da mikroeletromekanik sistemler (MEMS), halihazırda oturmuş sistemler. Tamamıyla işlevsel pompalar, rotorlar, algılayıcılar ve kollar mikro ölçekte mevcutlar. Mikrodan nano ölçekli MEMS araçlara geçiş, halen yeni mühendislik yaklaşımlarını gerektiriyor. Ancak, mikroakışkanlarda olduğu gibi, mevcut MEMS teknolojisinin biyolojik sistemlerle entegrasyonu, işlevlerini nanoölçekte ya da nanoparçacıklarla gerçekleştiren (yabancı parçacıkların yakalanması ya da ilaçla-

rın özel bölgelere salınması gibi) yeni bir makine sınıfıyla sonuçlanabilir: “bioMEMS”. Günümüzde bir postapulundan daha küçük biyoçiplerle yalıtılmış kanallar ve oyuklar, tayin için elektrotlar, bağlayıcılar ve akışkan girdi/çıkış yuvaları içerirler. BioMEMS makro ve nanodünyalar arasında olduğu kadar biyolojik ve elektromekanik teknoloji dünyalarında da bir arayüzey.

Nükleik Asit Biyomühendisliği

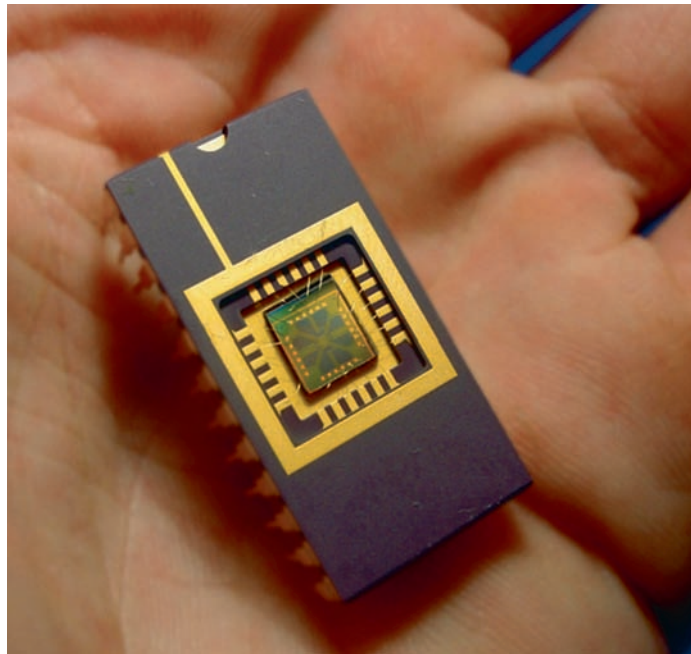
Günümüzde nanoteknoloji araçlarının çoğu silikon ya da diğer yapılardan, küçük bloklar alıp sonuç yapının elde edilmesi gibi, işlenerek elde edilir. Nükleik asit biyomühendisliğiye zıt uçtan üretim yapar. Nükleik asit mühendisliği DNA moleküllerini yapı taşı olarak kullanır ve daha büyük birimler oluşturmak üzere, özgül olarak şekillendirilmiş yapılar oluşturur. Bu temel yapıtaşlarından tasarlanacak nanteller ve nanozarlar, yeni malzemelerin geliştirilmesi ve tarım-besin sistemleri için sayısız uygulama alanı bulan bir platform teknolojisine kavuşmamızı sağlayacak.

Akıllı Tedavi Salım Sistemleri

Makroölçekte, posta servisi gibi dağıtım sistemleri, parçaları dağıtmak üzere kabul eder, paketler ve paketin dışına gerekli dağıtım bilgilerini yazar; motorize ya da insan taşıyıcılar paketi bir yerden diğerine taşır. Nanoölçekte “akıllı tedavi dağıtım-salım sistemlerinin” geliştirilmesi moleküler düzeyde benzer yaklaşımları uygular. Örneğin, akıllı ilaç salım sistemleri hayvanlarda, dağıtılacak ilaçların küçük, yalıtılmış paketlerini içerir. Paketler hayvanın vücudu içinde istenen yere, örneğin enfeksiyon bölgesine ulaşana kadar açılmaz. Bu sayede, aksi halde mümkün olmayacak, daha az miktarlarda antibiyotik kullanılır. Paketin dışındaki moleküler kodlu “adres etiketi” paketin vücutta doğru yere teslim edilmesini sağlar. Nano ve mikroölçekli mekanik sistemler bu tür bir sistemde taşıyıcı rolü oynarlar. “Akıllı” salım sistemleri aynı zamanda “yerinde” kimyasal teşhis ve kendiliğinden düzenlenmeyle, gerektiğinde besini ya da ilacı salmak için karar verme yeteneğine sahip olacak. Akıllı salım sistemlerinin uzaktan harekete geçirilmesi ve izlenmesi ziraat çalışanlarına antibiyotik ve pestisit kullanımını azaltmada yardımcı olacak.

Nanobiyoişleme

Biyoişleme doğal biyolojik işlemlerin belirli bir hammaddeden, bitki ya da hayvan atıklarından kompost malzeme gibi, istenen bir bileşik oluşturma işlemidir. Biyoişlemenin hedeflerine daha yüksek etkinlikle ulaşmak için nanoölçek teknolojisi kullanılır. Moleküler problemlerin kullanımını ya da bir beslemede var olan mikropların hızlı teşhisine olanak veren araçlar biyoişlemenin etkinliğini artırır.



Biyoanalitik nanoalgılayıcılar

Çok küçük miktarlarda kimyasal kirleticiler, virüs ya da bakterinin tarım ya da besin sistemlerinde teşhisi, kimyasal, fiziksel ya da biyolojik araçların nanoölçekte algılayıcıyla birleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Biyoanalitik nanoalgılayıcılar, algılayıcının bir kısmı olarak biyolojiden yararlanabilir ya da biyolojik örnekler için kullanılabilir.

Nanomalzemeler

Nanomalzemeler, nanoteknolojiyle yeni yaratılmış malzemeler ya da toprakta bulunan nanoparçacıklar gibi (kil, zeolit, imogolit, demir ve mangan oksitler) diğer yapıları ya da kimyasal tepkimeleri kontrol eden ve katalizleyen nanoölçekte doğal malzemeler olabilirler. Malzemeler genellikle birçok boyut ölçeğinde parçacıklardan oluşur. Nanoölçekte parçacıkların şekil, yapı ve yığılması makroölçekte malzemenin özelliklerini belirler. Nanoparçacıklar kompozit malzemelere, geçirgenlik ya da daha düşük ağırlıkla daha yüksek güç gibi özellikler kazandırarak uygulama alanı bulur. Giyenin yaşamsal işaretlerini izlemeye olanak veren “akıllı dokumalar” nanoparçacıkların bazı potansiyel kullanımlarına örnek olarak verilebilir.

Biyoseçici Yüzeyler

Yüzeyler, birçok kimyasal ve biyolojik tepkimenin gerçekleştiği konum ve çevrelerdir. Biyoseçici yüzeyler, spesifik organizmaların ya da moleküllerin bağlanması ya da taşınması azaltılmış ya da kolaylaştırılmış yüzeyler olabilir. Biyoseçici yüzeyler biyoalgılayıcı, detektör, katalizör geliştirmede, biyomolekül karışımlarının ayrılması ya da saflaştırılmasında olduğu kadar, besinlerin paketlenmesi ve işlenmesinde de önemlidir.

Patojen ve Kirleticiler Tayininde Nanoalgılayıcılar

Günümüzde algılayıcılar sıcaklık, hava durumu verileri, hava, deniz ve kara taşımacılığı için veriler, kimyasal kirleticiler, otomobillerdeki hava yas-

tıklarının salımlarındaki yavaşlamanın izlenmesi ve sayısız diğer birçok değişken için kullanılıyor. Biyolojik organizmalar da çevreyi algılama yeteneğine sahipler. İnsanlar çevrelerini görerek, dokunarak, tadarak, koklayarak ve duyararak algılarlar. Örneğin, insan kulağı, sıvının titreşimlerle oluşan makrohareketini kimyasal/elektrik sinyaller haline dönüştürmek için nanoyapıları kullanır. Canlı organizmalarda algılayıcılar makroölçekten mikro (sinir hücreleri) ve nano ölçeğe (burnumuzda almaçlara bağlanan moleküller) kadar geniş bir aralıkta çalışırlar. Biyoloji ve nanoölçekli teknolojiyi algılayıcılarda birleştirmek, olası sorunların algılanması için artırılmış duyarlılık ve dolayısıyla önemli derecede azaltılmış yanıt süreleri ortaya koymak gibi ilgi çekici bir sonuca sahiptir. Örneğin, virüs çoğalmadan ve bitki ya da hayvanlarda belirtiler gözlenmeye başlamadan çok önce tek bir virüsü teşhis edebilecek bir biyoanalitik nanoalgılayıcı düşünün. Biyoanalitik nanoalgılayıcıların potansiyel uygulamaları için bazı örnekler patojenlerin, kirleticilerin, çevresel özelliklerin (ışık/karanlık, sıcak/soğuk, ıslak/kuru), ağır metallerin ve parçacıkların ya da alerji etkenlerinin teşhisi olabilir. Daha birçok önemli sorun halen beklemededir. Örneğin, tek bir virüsü ya da diğer bir yabancı parçacığı teşhis etme özelliği sağlasak da, yabancı parçacığı herhangi bir anda teşhis edileceği noktaya getirmek hâlâ önemli bir sorundur. Biyoalgılayıcıların istenen özellikleri; küçük, taşınabilir, hızlı tepki ve işlem (örneğin real time) süreli, özgül, kantitatif, güvenilir, doğru, tekrar edilebilir, sağlam ve kararlı olmalarıdır.

Biyoanalitik nanoalgılayıcılarla ilgili spesifik hedefler; 1) patojen, besin ve kirleticiler teşhis sistemlerinin geliştirilmesi 2) nanoölçekli algılayıcı mekanizmalarının temel araştırma ve modellemeyle tam olarak anlaşılması olabilir.

Teşhis Sistemleri (patojen, besin eksikliği ya da kirlenme):

• **Örnek alınması:** Özel bileşenlerin örneklenmesi için (havadan, bitki ve hayvan organizmasından, sudan, topraktan) nanosistemlerinin geliştirilmesi.

• **Patojen teşhisi:** Sistematik yaklaşımla, eşzamanlı patojen teşhisi ve konumlandırılması için yöntemler geliştirilmesi, nanoteknoloji mikroelektro-

mekanik sistemler (MEMS), kablosuz iletişim, çip tasarımı ve tarımsal güvenlik uygulamaları (ekonomik, tarımsal terörizm, tarımsal adli tıp) ve besin güvenliği için moleküler biyolojinin bütünleştirilmesi.

Temel araştırma ve mekanistik modelleme:

En iyi nanoalgılayıcıları geliştirmek için, nanoölçekte algılama yaparken işleyen temel yolların anlaşılması gereklidir. Aşağıdaki alanlar optimal nanoölçekli algılayıcı geliştirilmesi için daha fazla bilgi gerektiren alanlar olarak belirlenmiştir.

• Nanoalgılayıcıların, ilgilenilen patojen ya da kimyasal yakalaması ve tutması için yeni yollar gereklidir (kimyasal, biyolojik ya da elektriksel yakalama yöntemlerine dayalı yeni immobilizasyon teknikleri).

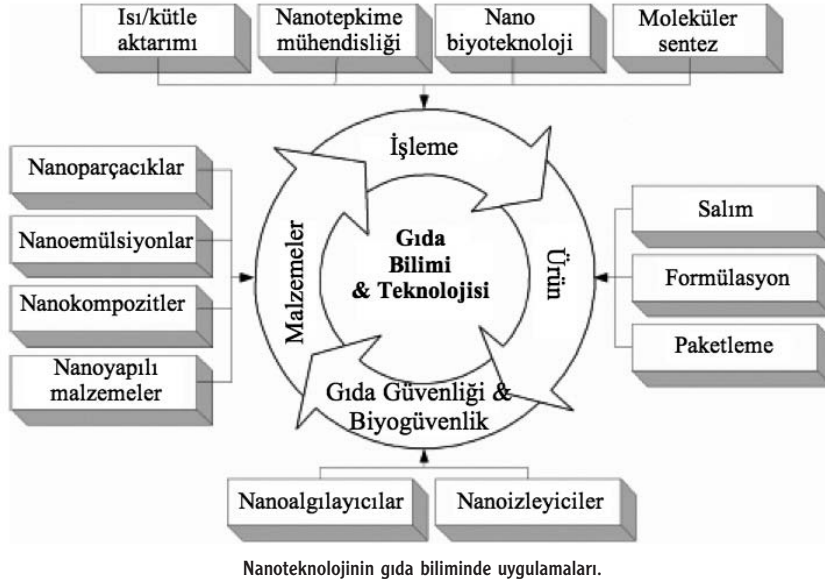
• Algılayıcıların patojenleri ya da bulunması gereken kimyasal “tanıması” için yeni yöntemler gereklidir. Yeni tanıma mekanizmalarının geliştirilmesi konusunda en umut verici gelişmeler nanobiyomalzeme, biyomimetikler, karbon nanotüpler, moleküler basılanmış polimerler (MIP) ve rekombinant/genetik mühendisliği biyoalgılayıcılar üzerine yürütülen araştırmalardan sağlanmaktadır.

• Algılayıcıların patojen ya da ilgilenilen kimyasal tanıdığındaki sinyal göndermesi için (sinyal “iletimi” olarak adlandırılır) yeni yöntemler gereklidir. Yeni iletim mekanizmalarının geliştirilmesi için bazı umut verici yöntemler mekanik, impedans, piezoelektrik, optik, elektrokimya, DNA nanodevreleri ve DNA direnç/fotolitografi teknikleridir.

• Yukarıdaki iki basamak (tanıma ve sinyal iletimi) birlikte çalışmak üzere entegre edilmelidir. Tanıma elemanı ve iletili arasında yeni entegrasyon mekanizmaları için umut verici gelişmeler kendiliğinden oluşan tekli tabakalar (SAM) ve yönlendirilen/güdümlü oluşumların kullanıldığı nanoteknoloji yöntemlerinden gelir.

Nanoteknolojinin Tarım ve Gıda Alanlarındaki Uygulamaları

Yeni gelişen bir teknoloji olarak nanoteknoloji, tarım ve gıda alanların-



da devrim yaratacak. Bu kökten değişimde “tarım ve gıda alanlarında neler olacak?” sorusuna verilecek yanıt, devrimi iyice algılamamızı sağlayacak. İşte tarım ürünleri ve gıdaların güvenliği, hastalık tedavisi için salım sistemleri, moleküler ve hücre biyolojisi için yeni araçlar, patojen teşhisi ve çevre korunması, nanoteknolojinin tarım ve gıda alanlarında önemli bağlantısını gösteren bazı örnekler. Gelişmekte olan

bu teknoloji sayesinde, gıda ürünlerinin üretimi, işlenmesi ve taşınması daha güvenli olacak, patojen ve kirleticilerin teşhisi için nanoalgılayıcıların geliştirilmesi ve kullanılması da daha güvenli üretimi ve ürünlerini bizlere sunacak.

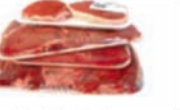
Nanoaraçların geliştirilmesi, tarihsel çevresel kayıtların tutulmasına olanak verecek ve özel taşımaların gerçekleştirilmesini sağlayacak. Algılama, ko-

numlandırma, rapor etme ve uzaktan kumanda özelliklerini birleştiren “akıllı sistemler”le etkinlik ve güvenlik artacak. Yani nanoteknoloji tarım ve gıda sistemlerinin güvenliği, besin kaynağının dikkatli izlenmesi ve korunması için kritik öneme sahip bir teknoloji olarak yanbaşımda ve geliştirilmeyi bekliyor. Tarımda, yüksek verimde ürün üretmek, besin işleme, besin güvenliği, depolama, dağıtım ve çevresel konular uzun zamandır hedefteki konulardı. Nanoteknoloji bu önemli hedefler için yeni bir araç oluşturuyor.

Günümüzde ziraatçilikte, bir bitki ya da hayvan bir hastalıkla enfekte olduğunda, organizmada belirtilerin görülmesi ve hastalığın tanımlanması için günler, haftalar ya da aylar geçer. Bu süre içinde enfeksiyon tüm organizmaya yayılarak tüm tarlanın yok edilmesine yol açabilir. Nanoteknoloji bir virüs ya da hastalık-enfekte edici parçacıkla aynı ölçekte çalıştığından, erken teşhis ve yok etme olanağı sunuyor. Nanoteknolojiyle, akıllı tedavi salım sistemlerinin, makrobelirtiler görülmeden çok önce etkinleşme olanağı sağlanır. Örneğin, akıllı tedavi salım sistemi hayvana yerleştirilebilen minyatür bir araç olabilir. Yangı gelişmeden uzun süre önce, entegre algılama, izleme ve kontrol sistemi hastalığın varlığını teşhis eder ve hedefli tedavi salım sistemini harekete geçirir. Akıllı tedavi salım sistemleri ilaçlar, pestisitler, besinler, probiyotikler ve implante edilebilir hücre biyoreaktörleri gibi biyoloji ve biyoaktif sistemler için geliştirilmiştir.

Ziraatte, temel yaşamsal işlemler moleküler ve hücre biyolojisinden kazanılır. Moleküler ve hücre biyolojisi için yeni araçlar, belirli moleküllerin ayrılması, tanımlanması ve ölçülmesi için gereklidir. Bu nanoteknolojiyle olasıdır ve zirai araştırmalarda büyük üstünlük sağlar.

Doç.Dr. Handan Yavuz
Prof. Dr. Adil Denizli
Hacettepe Üniversitesi
Biyokimya Anabilim Dalı

 Tarım	 Besin İşleme	 Besin Paketleme	 Katkılar
- Enzim/substrat ilişkilerini belirlemek için tek bir molekül teşhisi - Pestisitlerin, gübrelerin ve diğer tarım kimyasallarının daha etkin salımı için nanokapsüller - Büyüme hormonlarının kontrollü olarak salınması - Toprak koşulları ve ürün gelişiminin nanoalgılayıcılarla izlenmesi - Özgünlüğün korunması ve izlenmesi için nanoçipler - Hayvan ve bitki patojenlerinin teşhisi için nanoalgılayıcılar - Aşı salımı için nanokapsüller - Bitkilere DNA salımı için nanoparçacıklar (hedefli genetik mühendisliği)	- Besin değeri olan standart bileşenlerin biyoyararlanımını artırmak için nanokapsüller - Nanoenkapsüle edilmiş lezzet artıncılar - Jelleştirici ve viskozlaştırıcı ajan olarak nanotüp ve nanoparçacıklar - Bitki temelli steroidlerle et kolesterolünün yer değiştirmesi için nanokapsül infüzyonu - Besinlerden patojenlerin ya da kimyasalların uzaklaştırılması için seçici nanoparçacıklar - Besinlerin daha iyi dağılması için nanoemülsiyonlar ve parçacıklar	- Kimyasalları ya da gıda patojenlerini teşhis etmek için floresan nanoparçacıklara bağlı antibadiller - Sıcaklık, nem ve zaman izlemesi için biyobozunur nanoalgılayıcılar - Bozulmanın ve oksijen absorpsiyonunun önlenmesi için koruyucu malzeme olarak nanokiller ve nanofilmler - Etilen tayini için elektrokimyasal nanoalgılayıcılar - Nanoparçacıklarla antimikrobiyal ve antifungal yüzey kaplama (gümüş, magnezyum, çinko) - Silikat nanoparçacıklarla daha hafif, güçlü ve daha çok ısıya dayanıklı filmler - Folyoların modifiye edilmiş geçirgenlik davranışları	- Besin absorpsiyonunun artırılması için nanoboyutlu tozlar - İlaç taşıyıcı olarak selüloz nanokristal kompozitler - Değerli besinlerin daha iyi absorpsiyonu, kararlılığı ya da hedefli salım için nanoenkapsülasyon - Besinlerin renkleri ve tadları etkilenmeden hücrelere etkin dağılımı için nanospiraller - Aktif molekülleri daha iyi absorpsiyon için nanodamlacıklara dönüştüren vitamin spreyleri

Nanogıda uygulamalarına örnekler.

Kaynak:

1. Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems, A report submitted to cooperative state research, Education and extension service, National planning workshop, Ed: C.J. Rutzke, September 2003.
2. Functional materials in food nanotechnology, J. Weiss, P. Takhistov, J. McClements, J. Food Science, Vol 71, Nr: 9, pp R107, 2006.