

Nanobiyoteknoloji ile Sürdürülebilir Bitki Sağlığı ve Çevre Yönetimi

Nazlı Demirel¹

Özet

Bu çalışma, nanobiyoteknolojinin bitkilerle entegrasyonunun tarım, sağlık ve çevre yönetimi üzerindeki etkilerini ele almaktadır. Nanopartiküller ve bitkisel bileşenler arasındaki etkileşimler, bitki sağlığını iyileştiren yenilikçi uygulamalar sunarken, CRISPR gibi gen düzenleme teknolojileri bitki özelliklerini geliştirmede önemli bir role sahiptir. Çalışma, nanobiyoteknolojinin çevresel etkilerini, güvenlik ve etik boyutlarını detaylı bir şekilde incelemekte ve gelecekteki araştırma alanları için öneriler sunmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği üzerindeki potansiyel etkilerini de değerlendirmektedir.

1. GİRİŞ

1.1. Bitkiler ve Nanobiyoteknolojinin Önemi

Nanoteknoloji son yıllarda hızla gelişen bir teknoloji alanıdır ve günlük yaşamımıza birçok teknolojik ürünü getirmiştir. Bu alandaki en yaygın tanım Ulusal Nanoteknoloji İnsiyatifi (National Nanotechnology initiative-NNI) tarafından geliştirilmiştir. Nanoteknoloji malzemelerin 1-100 nm aralığındaki özelliklerinin anlaşılmasını ve kontrol edilmesini sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanır (Denkbaş, 2015). Nanoteknolojiye ilk adım, Amerikalı fizikçi Richard Feynman'ın 1959'da yaptığı ünlü "There's plenty of room at the bottom" konuşmasıyla atıldı. Feynman bu konuşmasında nanoteknoloji alanının potansiyelini vurgulayarak büyük ilgi uyandırdı. ABD ve dünya piyasalarında birçok tıbbi ürün nanoteknolojiyi içerir (Weissig, et al., 2014). Nanoteknoloji aynı zamanda nükleik asitlerle de ilgilidir. Örneğin, DNA Origamisi, küçük enjeksiyon hacimlerinde yüksek ilaç yüklemesine izin veren bir depo uygulamasıdır (Omolo, et al., 2018).

¹ Dr, Kafkas Üniversitesi, ORCID; 0000-0003-4364-6111, vural91@windowslive.com

Nanoteknolojinin önemli bir bilim dalı olan nanobiyoteknoloji, nanoskala yapıları ve teknolojileri biyoloji ile birleştirir. Bu alan teşhis, ilaç dağıtımı, moleküler görüntüleme gibi tıbbi uygulamalar için son yıllarda önemli bir yere sahip olmuştur. Özellikle, bitkilerin nanoteknolojiyle bütünleşmesi, tarımdan sağlığa, çevre korumadan enerji üretimine kadar geniş bir alanda büyük gelişmelere kapı aralamaktadır (Dhawan, et al., 2018).

Nanobiyoteknolojiyi kullanarak fotosentez yoluyla güneş ışığını enerjiye çeviren ve karbondioksiti oksijene dönüştüren bitkiler, sürdürülebilir ve yeşil nanoteknoloji uygulamalarının temelini oluşturur. Örneğin, nanopartikül sentezi konusunda bitkiler, çevre dostu ve düşük maliyetli bir alternatif sunar. Bitki ekstraktları, çeşitli metallerin nanopartiküllerine indirgenmesinde etkili birer redüktan olarak kullanılmakta, bu sayede kimyasal redüktanların yol açabileceği çevresel ve sağlık riskleri önemli ölçüde azaltılmaktadır. Bununla birlikte, nanobiyoteknoloji, bitki biliminde de yenilikçi yöntemlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Nanopartiküllerin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki etkileri, tarım sektöründe verimliliği artırmak ve hastalıklara karşı daha dirençli bitki türleri geliştirmek için kullanılmaktadır. Ayrıca, nanoteknoloji temelli algılama ve dağıtım mekanizmaları (nanosensörler) sayesinde bitkilerin beslenme ve su gereksinimlerinin daha etkin bir şekilde yönetilmesi mümkündür (Husen, & Siddiqi, 2014).

Nanobiyoteknolojinin bitkilere uygulanması, aynı zamanda çevreyi koruma çabalarını büyük oranda desteklemektedir. Nanopartiküllerin kirliliği algılama ve temizleme kapasitesi, çevresel takipte ve remediasyon (iyileştirme) çalışmalarında yeni yollar sunmaktadır. Bitkisel nanopartiküller, ağır metallerin ve toksik maddelerin temizlenmesinde etkili birer araç olarak değerlendirilmektedir (Prasad, et al., 2014).

1.2. Nanobiyoteknolojinin Temel Kavramları

Nanobiyoteknoloji, biyoloji ve nanoteknolojinin kesişim noktasında yer alan, hızla gelişen dinamik bir bilim dalıdır. Bu alanda, nanometre ölçeğindeki yapılar, biyolojik sistemler ve süreçlerle bütünleşerek hücre düzeyinde tanı ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesine ve moleküllerin etkileşimiyle detaylı anlaşılmasına olanak sağlamaktadır (Tomar, et al., 2020). İlaçların belirli hedeflere (örneğin belirli bir hastalığın etkilediği dokulara veya hücrelere) yönlendirilmesini sağlayan ilaç dağıtım sistemleri ve biyolojik süreçlerin izlenmesi gibi yenilikçi teknikler bu alanda öne çıkmaktadır. Nanobiyoteknoloji, biyolojik ve nanoteknolojik özelliklerin entegrasyonu sayesinde, biyomedikal ve çevresel uygulamalar için benzersiz çözümler sunma potansiyeline sahiptir (Tomar, et al., 2020).

1.2.1. Nanopartiküller ve Biyolojik Sistemlerle Etkileşimi

Nanobiyoteknolojide kullanılan nanopartiküller, genellikle 1 ila 100 nanometre arasında değişen boyutlarda olup, hedefe yönelik tedavi yöntemleri, biyosensörler ve görüntüleme teknikleri gibi uygulamalarda kullanılır (Liaw, et al., 2019). Bu nanopartiküllerin üretiminde, kolay ulaşılabilir ve yaygın olan bitkiler önemli bir rol oynamaktadır. Bitkilerden sentezlenen nanopartiküller hızlı, kararlı ve ekonomik olarak nitelendirilmekte ve bu özellikleriyle öne çıkmaktadır. Özellikle bitki ekstraktlarının metal iyonlarını indirgeyebilme kabiliyeti, 20. yy başından beri bilinmesine rağmen, bu indirgeme mekanizmaları tam anlamıyla çözümlenmemiştir. *Acalypha indica*, *Allium savitum*, *Boswellia ovalifoliolata*, *Calotropis procera*, *Camelia sinensis* gibi tıbbi bitkiler gümüş nanopartikül sentezinde kullanılmakta ve bu bitkilerden elde edilen gümüş nanopartiküllerin, kinonlar ve protein gibi fitokimyasallar açısından zengin içeriği sayesinde daha kararlı yapıda olduğu gözlemlenmiştir (Beykaya & Çağlar, 2016).

İranda endemik olan *Salvia limbata* bitkisinin ekstresiyle sentezlenen gümüş nanopartiküller (AgNP), toksik etkileri azaltma ve çevreyi koruma potansiyeline sahip olduğu ifade edilmektedir. Biyolojik sentezleme yöntemleriyle hızlı ve pratik bir şekilde elde edilen bu nanopartiküller, aynı zamanda çevre dostu olmalarıyla da dikkat çekmektedir. Biyomedikal alanlarında çeşitli kullanım şekilleri, ekonomik oluşları ve tıbbi uygulamalara uygunluklarıyla bu nanopartiküller, ticari ürünler için de büyük bir potansiyel taşımaktadır. Ayrıca *Argyria nervosa* tohum ekstreleri ile üretilen nanopartiküllerin, funguslar ve bakterilere karşı güçlü bir antagonistik etki gösterdiği belirlenmiştir (Beykaya & Çağlar, 2016). Bu bulgular, nanopartiküllerin biyoteknolojideki kullanımının yanı sıra biyolojik ve medikal araştırmalarda da geniş bir potansiyele sahip olduğunu gösterir.

1.2.2. Nanoskala Araştırmaları ve Biyolojik Algılama

“Nano” terimi, bir metrenin milyarda biri olan son derece küçük bir ölçü birimini ifade eder. Bir nanometre, metrenin milyarda birine eşit bir uzunluk birimidir. Bu boyuttaki nesnelere sadece 2-3 atom içerecek kadar küçüktür ve yaklaşık olarak 100-1000 atomun bir araya gelmesiyle nano ölçek boyutunda bir nesne oluşturabilir (Çıracı, 2005).

Nanoteknoloji, biyolojik moleküllerin ve hücrelerin nanoskala (nanometre bir ölçü birimi olarak kullanılırken, nanoskala bir boyut aralığını veya bu aralıktaki özellikleri tanımlamak için kullanılır) seviyesinde incelenmesini sağlar. Bu sayede moleküler düzeydeki etkileşimler daha iyi anlaşılır ve

hastalıkların erken teşhisi gibi alanlarda önemli ilerlemeler kaydedilir (Zhang & Xi, 2019).

1.2.3. Nanoteknoloji ve Hücresel Tedaviler

Nanobiyoteknoloji, hücre tabanlı tedaviler ve rejeneratif tıpta önemli bir role sahiptir ve bu etkisi özellikle doku mühendisliği alanında kritik bir öneme sahiptir. Liaw ve arkadaşları (2019) tarafından belirtildiği gibi, nanomateryallerin hücre büyümesi ve farklılaşmasına yönelik etkileşim kapasitesi, biyomedikal araştırmalar ve klinik uygulamalarda yeni fırsatlar sunar. Böylece sinir sistemi hasarlarının tedavisinde ve büyümeyi engelleyen programlı hücre ölümü, oksidatif stres, yara izi oluşumu gibi biyolojik süreçleri baskılayarak hücrelerin yenilenmesini sağlamaktadır.

Doku mühendislerinin temel hedefi, biyolojik fonksiyonları geri getirebilen ve hücreleri ilaçlar ve aktif moleküllerle bir araya getiren biyoyumlu materyaller geliştirmektir. Bu alandaki çalışmalar, Webber ve ekibinin (2016) vurguladığı gibi, hücre biyolojisi, kimya, malzeme bilimi, nanoteknoloji ve biyomühendislik gibi bir dizi disiplini bir araya getirerek her gün genişlemektedir.

Zhu ve arkadaşlarının (2014) belirttiği gibi son yıllarda, doku mühendisleri tarafından kullanılan nanomalzemelerin, kütle ve yüzey özelliklerinin avantajları nedeniyle nanoteknoloji bilimi giderek daha önemli hale gelmiştir. Nanomalzemeler, yüksek reaktivite, korozyona karşı direnç ve biyoyumluluk gibi benzersiz kimyasal ve biyolojik özelliklere sahiptir. Ayrıca, farklı boyutlarda (0 boyutlu nanoparçacıklar, tek boyutlu nanoteller, 2 boyutlu nanokatmanlar) bulunabilme yetenekleri, Mauro ve ekibinin (2013) vurguladığı gibi hücre dışı matriks bileşenlerini daha iyi taklit etmelerine ve biyolojik olarak aktif molekülleri daha etkili bir şekilde iletmelerine olanak tanır.

Jeevanandam ve arkadaşlarının (2018) belirttiği gibi doku mühendisliği için kullanılan malzemelerin seçimi, orijinal dokuya mümkün olduğunca yakın olmalıdır. Bu malzemeler, basit metal-karbon polimerlerden, polimer-metal kompozitlerine ve çekirdek-kabuk yapılarına kadar farklı formlarda olabilirler.

Sonuç olarak, nanoteknoloji ve hücresel tedaviler, biyomedikal alanında büyük potansiyel taşıyan ve hücre büyümesini ve doku yenilenmesini destekleyen önemli bir rol oynamaktadır. Keratitayan (2015) tarafından belirtildiği gibi hücre dışı matriks (ekstraselüler matriks) bileşenleri ile hücre yüzeyindeki reseptörler arasındaki etkileşim, hücre davranışını ve gelişimini düzenler. Nanomalzemeler, bu etkileşimi destekleyerek doğal

biyolojik sistemleri yakından taklit edebilme avantajı kazanır. Bu alandaki araştırmaların, gelecekte tıp alanındaki yenilikleri şekillendirmeye devam edeceğini gormek umut vericidir.

1.2.4. Çevresel Uygulamalar ve Nanobiyoteknoloji

Nanobiyoteknoloji, evre biliminde de kullanılmakta olup, su arıtımı, hava temizleme ve toprak remediasyonunda da fayda sağlamaktadır. Bu nanopartiküller, kirleticileri etkili bir şekilde algılayabilir ve temizleyebilir.

Su arıtımı: Nanopartiküller, su arıtma teknolojilerinde özellikle ağır metalleri, organik kirleticileri ve mikroorganizmaları etkili bir şekilde temizlemek için kullanılmaktadır. Bu teknoloji, kirleticilere yüksek yüzey alanı ve reaktivite sağlayarak suyun arındırılmasını kolaylaştırır (Theron, et. al. 2008).

Hava temizleme: Bu sistemde nanopartiküller, havadaki zararlı maddeleri, partikülleri ve kirleticileri filtreleyebilir. Nano lekli filtreler, daha küçük partikülleri yakalayabilme yeteneğinden dolayı geleneksel hava filtrelerinden daha etkilidir.

Toprak remediasyonu: Nanopartiküller toprak remediasyonunda, özellikle zehirli maddeleri ve ağır metalleri topraktan çıkarmak veya nötralize etmek için kullanılır. Bu, kirletici maddelerin daha fazla yayılmasını önlemek ve çevresel zararı azaltmak için önemlidir (Raliya, et . al., 2017).

Bu uygulamalar, nanopartiküllerin boyutlarından ve özel yüzey özelliklerinden yararlanarak çevresel sorunlara yenilikçi ve etkili çözümler sunar.

2. Bileşenler ve Nanopartiküller

2.1. Bitkisel Bileşenlerin Tanımı ve nemi

Bitkisel bileşenler, genellikle bitkilerin çeşitli kısımlarından (yaprak, kök, tohum, iek vb.) elde edilen doğal maddelerdir (Mukherjee, et al., 2014). Bu bileşenler, esansiyel yağlar, flavonoidler, alkaloidler ve diğer birçok fitokimyasalı içerebilir. Bitkisel bileşenlerin önemi, bunların gıda, tıp ve kozmetik sanayilerindeki çeşitli uygulamalarından kaynaklanır. Örneğin, bu bileşenlerin bazıları antioksidan, antimikrobiyal veya anti-inflamatuar özellikler gösterebilir (Goldberg, 2019). Bitkisel bileşenlerin nanopartiküllerle birleştirilmesi, bu maddelerin daha etkin kullanılmasını ve hedeflenen tedavi edici etkilerinin elde edilmesini sağlayabilir.

2.2. Nanopartiküllerin Bitkisel Bileşenlerle Etkileşimi

Bitkisel bileşenler ile nanopartiküller arasındaki etkileşim, bu bileşenlerin nanopartiküller ile birleştirilmesi veya nanopartiküllerin bitkisel bileşenlerle kaplanması yoluyla gerçekleşir. Bu etkileşim, bitkisel bileşenlerin özelliklerini geliştirirken, aynı zamanda nanopartiküllerin biyolojik uyumluluğunu ve etkinliğini artırabilir. Nanopartiküller, bitkisel bileşenleri hedeflenen alanlara daha etkin bir şekilde taşıyabilir, bu sayede ilaç teslimatı ve tedavi süreçlerinde önemli rol oynar. Nanopartiküllerle kaplanmış bitkisel bileşenler, sağlık, kozmetik ve gıda endüstrisinde kullanılmak üzere yenilikçi uygulamalara olanak tanır (Jassby, et. al., 2018).

3. Bitki Sağlığının Geliştirilmesi ve Hastalıklarının Kontrolünde Nanoteknoloji ve Nanopartiküllerin Rolü

Nanoteknoloji tarım sektöründe, hastalıkları kontrol etmede geleneksel yöntemlere göre daha yenilikçi uygulamalar sunarak çevresel etkiyi minimize eder ve bitki sağlığını korur (Kah, et al., 2019). Ayrıca, bitki büyüme ve gelişimini desteklemek için nanopartiküller kullanılmaktadır. Bu, besin maddelerinin verimli kullanımını artırarak bitkilerin su stresine karşı daha dayanıklı olmalarını sağlar ve fotosentez kapasitesi artırır (Ananda ve ark., 2019).

Hasat sonrası işlemlerde ise nanoteknoloji, tarım ürünlerinin raf ömrünü uzatmada etkili bir rol oynar. Nanofilm ve nanokaplama yöntemleri, mikroorganizma gelişimini kontrol ederek ürünlerin kalitesini korur ve zararlı etkileri engeller (Yadolhi et al., 2009). Bu gelişmelerin ötesinde, tarım sektöründe kullanılan nanoformülasyonlar, çevre dostu ve düşük maliyetli malzemelerin kullanımını teşvik ederek sürdürülebilir tarım uygulamalarına katkı sağlar (Chowdappa & Shivakumar, 2013).

Sonuç olarak, nanoteknoloji tarım sektöründe hastalık kontrolünden hasat sonrası işlemlere kadar birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiler, tarım ürünlerinin kalitesini artırma, hastalıklarla mücadele etme ve verimliliği artırma konularında büyük bir potansiyele sahiptir.

4. Bitkisel Ürünlerin Geliştirilmesi ve Nanoteknoloji

4.1. Nanobiyoteknolojinin Bitkisel İlaç Üretimindeki Rolü

Nanobiyoteknoloji, biyolojik süreçlerle nanoteknolojinin kesiştiği önemli bir alandır ve özellikle bitkisel ilaçların geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Özellikle, nanopartiküllerin kullanımı sayesinde, bitkisel bileşenlerin vücutta daha etkin biçimde taşınması ve hedeflenen dokulara ulaştırılması

mümkün olur. Bu durum ilaçların etkinliğini artırırken yan etkilerini azalttığı gibi nanopartiküllerin biyolojik çözünürlüğü ve ilaç salım oranı üzerindeki kontrolü, bitkisel ilaçların etkinliğini ve güvenliğini de olumlu yönde değiştirebilir (Giraldo, et al., 2014).

4.2. Bitkisel Gıda ve İçeceklerde Nanoteknoloji Kullanımı

Nanobiyoteknoloji, nanoteknolojinin bir alt dalı olarak bitkisel gıda ve içeceklerin üretiminde, paketlenmesinde ve korunmasında kullanılır. Nanopartiküller, gıda maddelerinin raf ömrünü uzatabilir, besin değerini artırabilir ve gıda güvenliğini iyileştirebilir. Nano ambalaj materyalleri, gıda bozulmasını önleyici özelliklere sahip olabilir ve bu da gıda israfını azaltmaya yardımcı olur. Ayrıca, nanosensörler gıda güvenliği izlemede kullanılarak, gıda maddelerinin tazeliğini ve güvenliğini denetlemek için etkili bir yol sunar (Shawon, et al., 2020).

5. Çevre ve Tarım Üzerindeki Etkileri

5.1. Nanobiyoteknolojinin Sürdürülebilir Tarımda Kullanımı

Nanobiyoteknoloji, sürdürülebilir tarımda verimliliği artırmak, hastalık ve zararlı kontrolünü iyileştirmek ve bitki besin maddesi yönetimini optimize etmek için kullanılır. Örneğin, nanopartiküllerin bitki besin maddesi dağıtımında kullanımı, gübre kullanımını daha verimli hale getirebilir ve çevresel etkiyi azaltabilir. Ayrıca, nano-pestisitler ve nano-herbisitler, hedef odaklı uygulamalarla zararlıların kontrolünde etkin bir yol sunar ([FAO], 2018).

5.2. Çevresel Etkiler ve Sürdürülebilirlik

Nanoteknolojinin çevresel etkileri, hem olumlu hem de olumsuz sonuçlar doğurabilir. Nanopartiküllerin çevresel yayılımı ve biyolojik sistemlerle etkileşimi, ekosistemler üzerinde potansiyel etkileri nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Bununla birlikte, doğru kullanıldığında, nanoteknoloji çevre kirliliğinin azaltılmasına, su ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına katkıda bulunabilir. Sürdürülebilirlik açısından, nanoteknolojinin çevresel etki değerlendirmesi ve risk yönetimi önemlidir. Sürdürülebilirlik, doğal kaynakların gelecek nesiller için korunması gereken bir miras olarak değerlendirilmesi anlamına gelir (Ouda, et al., 2023).

Nanoteknolojinin çevresel etkilerinin olumsuz yönlerini azaltmak için;

- Nanoteknolojinin çevresel etkilerinin araştırılması ve değerlendirilmesi

- Nanoteknolojinin güvenli ve sorumlu bir şekilde kullanılması, üretim ve kullanımı sırasında çevresel risklerin azaltılması ve nanoteknoloji ürünlerinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi gerekir.

6. Güvenlik ve Etik Konular

6.1. Nanobiyoteknoloji Uygulamalarının Güvenlik Yönleri

Nanobiyoteknolojinin tıp ve biyoloji alanlarındaki uygulamaları etkileyici ve faydalı olmasına rağmen, yanlış kullanım durumunda zararlı olabileceği konusunda endişeler bulunmaktadır. Araştırmacılar, nanoteknolojinin biyoloji uygulamalarındaki geniş ve aktif alanını özetleyerek, düzenleyici boşluklara dikkat çekmiş ve daha fazla düşünülmesi gereken alanları önermişlerdir (Bhattacharya, et al., 2023).

- *Tıp alanındaki uygulamalar*; Nanobiyoteknoloji, özellikle ilaç dağıtım sistemleri, teşhis ve tedavi yöntemleri, hücre ve doku mühendisliği gibi alanlardaki uygulamalara olanak tanımıştır (Batasheva, et al., 2020).
- *Potansiyel riskler ve düzenleyici boşluklar*; Nanopartiküllerin insan vücudu ve çevre üzerindeki etkilerinin tam olarak anlaşılmamış olması ve biyolojik sistemlerle etkileşimi beklenmedik toksikolojik etkilere yol açabilir (Pala, et al., 2020).

6.2. Etik ve Hukuki Düzenlemeler

Global düzeyde nanobiyoteknolojiye yönelik pek çok düzenleme bulunmamaktadır. Bu nedenle, etik sınırları belirlemek için ortak bir kurallar seti oluşturulması gerekliliği vurgulanmaktadır. Bu, nanobiyoteknolojinin güvenli ve etik kullanımını sağlamak için kritik bir adımdır. Araştırmacılar, nanobiyoteknolojinin etik sınırlarını belirlemek için küresel düzeyde düzenlemelerin henüz yeterli olmadığını ve bu alanda ilerleme kaydedilmesi gerektiğini ifade etmektedir. Örneğin, nanobiyoteknoloji uygulamalarının insan ve çevre üzerindeki etkilerini tam olarak anlamak için malzeme bilimi, biyoloji, tıp, çevre bilimi ve teknoloji gibi farklı araştırma ve düzenleyici disiplinlerin bir araya gelmesinin gerektiği vurgulanmaktadır (Ahmadi & Ahmadi, 2013).

7. Gelecek Vizyonu ve Araştırma Alanları

7.1. Gelecekteki Potansiyel Uygulamalar

Nanobiyoteknoloji, bitki sağlığı ve gelişimini izlemek için nanosensörler ve biyosensörler geliştirmede büyük potansiyel taşımaktadır. Bu teknolojiler, bitkilerin besin, su ve hastalık durumunu gerçek zamanlı olarak izleyebilir. Örneğin, Massachusetts Institute of Technology (MIT) araştırmacıları, bitkilerin su stresini algılayabilen nanosensörler geliştirmişlerdir (Hsu, et al., 2014).

Nanopestisitler ve Nanogübreler

Nanopestisitler ve nanogübreler, kimyasalların hedeflenen bitki veya zararlılara daha doğrudan ve kontrollü bir şekilde ulaştırılmasını sağlar (Ananda, et al., 2019). Bu, çevresel etkiyi azaltırken etkinliği artırabilir. Avrupa Birliği'nin Horizon 2020 programı altında, nanoteknoloji temelli gübreler üzerine araştırmalar desteklenmektedir.

Gen Düzenleme ve CRISPR

Gen düzenleme teknolojileri, özellikle CRISPR, bitki özelliklerini iyileştirmede ve hastalıklara karşı direnci artırmada kullanılabilir. CRISPR teknolojisi, bitki genetiğinde hassas değişiklikler yaparak verimliliği ve besin değerini artırma potansiyeline sahiptir.

CRISPR" (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats), mikroorganizmaların (bakteri ve arkelerin) DNA'sında bulunan ve viral enfeksiyonlara karşı doğal bir savunma mekanizması olarak işlev gören tekrarlayan DNA dizileridir. CRISPR-Cas9 ise, bu tekrarlayan dizilerin keşfiyle geliştirilen bir gen düzenleme teknolojisidir. Bu teknoloji, hedeflenen genetik materyalin kesilip değiştirilmesine olanak tanır, bu sayede genetik araştırmalar ve tedavilerde devrim yaratan bir araç haline gelmiştir.

Bu teknoloji, ilk olarak 2012 yılında Emmanuelle Charpentier ve Jennifer Doudna tarafından tanımlanmıştır. CRISPR-Cas9, genetik mühendisliğinde yüksek düzeyde hassasiyet, verimlilik ve kolaylık sunar. Sistem, özellikle rehber RNA (gRNA) ve Cas9 enzimi olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Rehber RNA, hedeflenen DNA dizisine Cas9 enzimini yönlendirir. Cas9 enzimi ise, DNA'yı belirli bir noktadan keser. Bu kesintiden sonra, hücrenin doğal DNA tamir mekanizmaları devreye girerek, genetik değişiklikleri gerçekleştirir. CRISPR-Cas9 teknolojisi, genetik hastalıkların tedavisi, tarımsal ürünlerin geliştirilmesi, biyomedikal araştırmalar ve biyoteknolojide geniş çaplı uygulamalar sunmaktadır (Jinek, et al., 2012; Keasling, 2012)..

7.2. Güncel Araştırma Trendleri

Sentetik Biyoloji

Sentetik biyoloji, bitkilerde istenilen özellikleri geliştirmek için genetik mühendisliği ve biyolojik sistemlerin yeniden tasarımını kapsar. Bu alandaki araştırmalar, bitkilerin fotosentez verimliliğini artırmak ve yeni biyolojik yollar yaratmak üzerine odaklanmaktadır (Keasling, 2012).

Nano-İlaç Taşıyıcı Sistemler

Bitkilerde hastalık tedavisinde kullanılmak üzere nano-ilaç taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesi, araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu sistemler, hastalıklara karşı mücadelede daha hedef odaklı ve etkili bir yaklaşım sunar (Omolo, et al., 2018).

Çevresel Stres Toleransı

Küresel iklim değişikliğiyle mücadelede, çevresel streslere karşı toleranslı bitki türlerinin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Nanoteknolojinin, bitkilerin tuzluluk, kuraklık ve aşırı sıcaklık gibi stres faktörlerine karşı direncini artırmada rol oynayabileceği düşünülmektedir (Prasad, et al., 2014).

Akıllı Tarım ve Sürdürülebilirlik

Nanobiyoteknoloji, akıllı tarım uygulamalarını destekleyerek sürdürülebilir gıda üretimine katkıda bulunabilir. Nanoteknoloji, bitki büyümesini optimize etmek, su kullanımını verimli hale getirmek ve toprak sağlığını iyileştirmek için kullanılabilir (Bhattacharya, et al., 2023)..

8. Sonuç

8.1. Bitkiler ve Nanobiyoteknolojinin Entegrasyonunun Toplumsal ve Bilimsel Etkisi

- **Sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği**

Bitkisel ürünlerin geliştirilmesi ve bitki sağlığının nanobiyoteknoloji ile iyileştirilmesi, tarımsal verimliliği artırarak küresel gıda güvenliğine katkıda bulunabilir. Nanoteknolojinin kullanımı, bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı direncini artırırken, tarımsal girdilerin (gübre, su, pestisitler) daha verimli kullanımını sağlayabilir.

- **Çevresel etki azaltımı**

Nanobiyoteknoloji, çevreye zararlı kimyasalların kullanımını azaltarak ekolojik denge üzerinde olumlu etkiler yaratabilir. Örneğin, nanopestisitler

ve nanogübreler, geleneksel tarımsal kimyasallara göre daha az toksik ve çevre dostu alternatifler sunabilir.

- **İnovasyon ve ekonomik kalkınma**

Nanobiyoteknoloji, tarım ve biyoteknoloji sektörlerinde yeni iş alanları ve ekonomik fırsatlar yaratabilir. Bu, teknolojik yenilik ve bilimsel araştırmanın teşvik edilmesiyle birlikte ülkelerin ekonomik kalkınmasına katkı sağlayabilir.

- **Toplumsal bilim ve etik yaklaşımlar**

Nanobiyoteknoloji uygulamalarının etik ve güvenlik boyutları, toplumda bilinçli tüketim ve teknoloji kullanımı konusunda farkındalık yaratmaktadır. Güvenlik ve etik konuların bu kitapta ele alınması, bu teknolojilerin sorumlu bir şekilde kullanılmasının önemini vurgular.

8.2. Gelecek Araştırmalar için Öneriler ve Beklentiler

- **Yenilikçi ve teknolojik çözümler**

Gelecekteki araştırmalar, nanoteknolojiyi kullanarak bitkilerin genetik yapısını iyileştirmeye, hastalık ve zararlılara karşı daha dirençli bitki türleri geliştirmeye odaklanabilir. Ayrıca, nanosensörler ve nanoteknoloji temelli izleme sistemlerinin geliştirilmesi, tarımın daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesine yardımcı olabilir.

- **Çevresel sürdürülebilirlik**

Araştırmalar, nanobiyoteknolojinin çevresel etkilerini minimize etmeye yönelik olmalıdır. Bu, ekosistemlerin korunması ve biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesine katkıda bulunacaktır.

- **Politika ve düzenlemeler**

Gelecek çalışmalar, nanobiyoteknoloji uygulamalarının düzenlenmesi ve yönetilmesi için gerekli politika ve yasal çerçeveleri de geliştirmelidir. Bu, teknolojinin güvenli ve etik kullanımını sağlamak için kritik öneme sahiptir.

- **Kapsamlı eğitim ve farkındalık programları**

Nanobiyoteknolojinin potansiyelini tam olarak anlamak ve kullanmak için, bu alanda eğitim ve kamuoyu farkındalığının artırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmadi, M., & Ahmadi, L. (2013). Ethical Considerations of Nanobiotechnology. *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*, 3(3), 335-352. <https://doi.org/10.1166/jbt.2013.1090>
- Ananda,S., Shobha, G., Shashidhara, K., & Mahadimane, V. (2019). Nano-Cuprous Oxide Enhanced Seed Germination and Seedling Growth in *Lycoopersicum Esculentum* Plants. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9(2), 296-302.
- Batasheva, S., Kryuchkova, M., Fakhrulin, R., Cavallaro, G., Lazzara, G., Akhatova, F., ... et al. (2020). Facile Fabrication of Natural Polyelectrolyte-Nanoclay Composites: Halloysite Nanotubes, Nucleotides and DNA Study. *Molecules*, 25(15), 3557. <https://doi.org/10.3390/molecules25153557>
- Beykaya, Ç., & Çağlar, A. (2016). Bitkisel Özütlere Kullanılarak Gümüş-Nanopartikül (AgNP) Sentezlenmesi ve Antimikrobiyal Etkinlikleri Üzerine Bir Araştırma. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (3), 631-641.
- Bhattacharya, B., Roy, P., Bhattacharya, S., Prasad, B., & Mandal, A. K. (2023). Nanotechnology and Sustainable Development: Overcoming the Obstacles by Adopting Ethical Practices for Future Farming. In *Nanotechnology for Sustainable Development*. (s.19). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91933-3.00020-9>
- Chowdappa, P., & Shivakumar, G. (2013). Nanotechnology in Crop Protection: Status and Scope. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 19(2): 131-151. https://www.researchgate.net/publication/348233108_Nanotechnology_in_crop_protection_Status_and_scope
- Çıracı, S. (2005). Nanoteknolojinin Doğuşu. *Türkiye’de Nanoteknoloji. Yeni Ufuklara. Bilim ve Teknik*, 6-10.
- Denkbaş, E. B. (2015). Nanotechnology in Turkey. *The Informatics Association of Turkey Informatics Magazine*, 172. 78-87. <http://www.bilisim-dergisi.org.tr/bilisim-dergisi-sayilari/s172.pdf>.
- Dhawan, A., Singh, S., Kumar, A., & Shanker, R. (Eds.). (2018). “Nanobiotechnology: Human Health and the Environment.” CRC Press.
- European Commission, Horizon 2020. (s.d.). *Horizon 2020 - The EU Framework Programme for Research and Innovation*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*.
- Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa, J. R., De la Rosa, G., & Parsons, J.G. (2005). Phytoremediation of Heavy Metals and Study of the Metal Coordination by X-Ray Absorption Spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*.

- Giraldo, J. P., Landry, M. P., Faltermier, S. M., McNicholas, T. P., Iverson, N. M., Boghossian, A. A., ...et al. (2014). Corrigendum: Plant nanobionics approach to augment photosynthesis and biochemical sensing. *Nature Materials*, 13, 400-408. DOI: 10.1038/nmat3947
<https://www.proquest.com/docview/1557626284/D0B349C037A4AB9PQ/1>
- Goldberg, M. S. (2019). Improving Cancer Immunotherapy Through Nanotechnology. *Nature Reviews Cancer*, 19, 587–602.
- Husen, A., & Siddiqi, K. S. (2014). Phytosynthesis of Nanoparticles: Concept, Controversy and Application. 9(229), 1-24. <http://doi.org/10.1186/1556-276X-9-229>
- Hsu, P. D., Lander, E. S., & Zhang, F. (2014). Development and Applications of CRISPR-Cas9 for Genome Engineering. *Cell*, 157(6), 1262-1278. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.05.010>
- Jassby, D., Cath, T. Y., & Buisson, H. (2018). The Role of Nanotechnology in Industrial Water Treatment. *Nature Nanotechnology*, 13, 670–672.
- Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y. S., Dufrense, A., & Danquah, M. K. (2018). Review on Nanoparticles and Nanostructures Materials: History, Sources, Toxicity and Regulations. *Belistein Journal of Nanotechnology*, 9, 1050-1074.
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A., Charpentier, E. (2012). A Programmable Dual-RNA-Guided DNA Endonuclease in Adaptive Bacterial Immunity. *Science*, 337(6096), 816-821. <https://doi.org/10.1126/science.1225829>
- Kah, M., Tufenkji, N., & White, J. C. (2019). Nano-Enabled Improvements in Crop Nutrition and Protection. *Nature Nanotechnology*, 14, 532-540. doi:10.1038/nnano.2015.320. <https://www.nature.com/articles/s41565-019-0439-5>
- Keasling, J. D. (2012). Synthetic Biology and the Development of Tools for Metabolic Engineering. *Metabolic Engineering*, 14(3), 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2012.01.004>
- Kerativitayanan, P., Carrow, J. K., & Gaharwar, A. K. (2015). Nanomaterials for Engineering Stem Cell Responses. *Advanced Healthcare Materials*, 4(18), 2715-2731. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adhm.201500272>
- Liaw, K., Zhang, Z., & Kannan, S. (2019). Neuronanotechnology for Brain Regeneration. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 148, 2-26. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2019.04.004>
- Mauro, N., Manfredi, A., Ranucci, E. et al., (2013). Degradable Poly (Amidoamine) Hydrogels as Scaffolds for in Vitro Culturing of Peripheral Nervous System Cells. *Macromol Biosci*, 13(3), 332-347.

- Mukherjee, A., Fabialo, D., Wang, D., Kim, Y., & Patra, S. (2014). Biosynthesis, Mechanism of Action, and Applications of Silver Nanoparticles: An Overview. *Nanoscale Research Letters*, 9(1), 1-11.
- Nair, R., Varghese, S. H., Nair, B. G., Maekawa, T., Yoshida, Y., & Kumar, D. S. (2010). Nanoparticulate Material Delivery to Plants. *Plant Science*, 179(3), 154-163. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.012>
- Omolo, C. A., Kalhapure, R. S., Agrawal, N. ... et al. (2018). Formulation and Molecular Dynamics Simulations of a Fusidic Acid Nanosuspension for Simultaneously Enhancing Solubility and Antibacterial Activity. *Mol Pharm*, 15:3512-26. <https://doi.org/10.1021/acs.molpharmaceut.8b00505>
- Ouda, M., Banat, F., Hasan, S. W., & Karanikolos, G. N. (2023). Recent Advances on Nanotechnology-Driven Strategies for Remediation of Microplastics and Nanoplastics From Aqueous Environments. *Journal of Water Process Engineering*, 52, 103543. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103543>
- Pala, R., Anju, V. T., Dyavaiah, M., Busi, S., & Nauli, S. M. (2020). Nanoparticle-Mediated Drug Delivery for the Treatment of Cardiovascular Diseases. *International Journal of Nanomedicine*, 15, 3741-3769. <https://doi.org/10.2147/IJN.S250872>
- Prasad, R., Kumar, V., & Prasad, K. S. (2014). Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Present Concerns and Future Aspects. *African Journal of Biotechnology*. 13(6). <https://doi.org/10.5897/AJBX2013.13554>
- Raliya, R., Saharan, V., Dimkpa, C., Biswas, P. (2017). Nanofertilizer for Precision and Sustainable Agriculture: Current State and Future Perspectives. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02178>
- Shawon, Z. B. Z., Hoque, M. E., & Chowdhury, S. R. (2020). Nanosensors and Nanobiosensors: Agricultural and Food Technology Aspect. *Nanofabrication For Smart Nanosensor Applications*, 135-161. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820702-4.00006-4>
- Theron, J., Walker, J.A., & Cloete, T. E. (2008). Nanotechnology and Water Treatment: Applications and Emerging Opportunities. Department of Microbiology and plant pathology, University of Pretoria, South Africa. DOI: 10.1080/10408410701710442. <https://sci-hub.ru/10.1080/10408410701710442>
- Tomar, R. S., Jyoti, A., & Kaushik, S. (Eds.). (2020). *Nanobiotechnology: Concepts and Applications in Health, Agriculture, and Environment*. Routledge.
- <https://www.proquest.com/docview/2385834299/1507E2F8B1E04DA5PQ/1>
- Webber, M. J., Appel, E. A., Meijer, E. W., & Langer, R. (2016). Supramolecular Biomaterials. *Nature Materials*, 15(1), 13-26.

- Weissig, V., Pettinger, T. K., & Murdock, N. (2014). Nanopharmaceuticals (part I): Product on the Market. *International Journal of Nanomedicine*, 9, 4357-4373. <http://doi.org/10.2147/IJN.S46900>
- Yadollahi, A., Arzani, K., & Khoshghalb, H. (2009). The Role of Nanotechnology in Horticultural Crops Postharvest Management. *Southeast Asia Symposium on Quality and Safety of Fresh and Fresh-Cut Produce, Bangkok*.49-56p. <http://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.875.4>
- Zhang, M., & Xi, N., (Eds.). (2019). *Nanomedicine: A Systems Engineering Approach*. <https://doi.org/10.1201/9780429065767>
- Zhu, W., O'Brien, C., O'Brien, J. R., & Zhang, L. G. (2014). 3D Nano/Micro-fabrication Techniques and Nanobiomaterials for Neural Tissue Regeneration. *Nanomedicine*, 9(6), 859-875.

