NANOTEKNOLOJİ VE NANOTEKNOLOJİNİN TARIMDA UYGULAMA ALANLARI

ORHAN USLAN

Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. Aydın GÜREL
2023

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NANOTEKNOLOJİ VE NANOTEKNOLOJİNİN TARIMDA UYGULAMA ALANLARI

ORHAN USLAN

ORCID: 0000-0001-7794-4577

TARIM EKONOMİSİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Danışman: Prof. Dr. Aydın GÜREL

MART-2023

Her hakkı saklıdır.

ÖZET

NANOTEKNOLOJİ VE NANOTEKNOLOJİNİN TARIMDA UYGULAMA ALANLARI

Orhan USLAN

Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Aydın GÜREL

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO 2017) dünya nüfusunun 2050 yılında 9,1 milyara ulaşacağını öngörmektedir. Tarımsal üretimde kullanılacak verimli arazilerde sona yaklaşılması ve nüfus artışı ile beraber kişi başına düşen tarım alanlarının azalması, toprakta erozyon, tuzlanma, pH, sıkışma, kirlenme, organik madde kaybı, mineral besin elementi eksikliği tarzı problemler bulunması tarımsal üretimde yeni teknolojilerin kullanımını kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu çalışmada yeni yüzyılda teknoloji devrimi olarak görülen, 2025 yılından sonra ise hayatın her alanında yer alacağı öngörülen nanoteknoloji ve nanobilimin tanımı yapılarak, bir maddenin nano boyutlara inildikçe nasıl bir değişim gösterdiği, nano imalat süreçleri, nanoteknolojide kullanılan araçlar ve nanoteknolojinin uygulama alanları ele alınmıştır. Nanoteknolojinin tarım sektörüne olan etkisini daha iyi anlamak için üretim metaryellerine olan etkisi incelenmiş, Türkiye'de Trakya bölgesinde bulunan illerde (Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli) tarımsal üretimde nanoteknoloji ile üretim yapan işletmeler tespit edilerek ürün çeşitleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanobilim, Nanoteknoloji, Nano Tarım, Nanogübre, Nanopestisit

ABSTRACT

NANOTECHNOLOGY AND THE APPLICATIONS OF NANOTECHNOLOGY IN AGRICULTURE

Orhan USLAN

Department of Agricultural Economics
MSc. Thesis
Supervisor: Prof. Dr. Aydın GÜREL

The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO 2017) predicts that the world population will reach 9.1 billion in 2050. The lack of fertile lands to be used in agricultural production and the decrease in agricultural areas per capita with population growth, the existence of problems such as erosion, salinization, pH, compaction, pollution, loss of organic matter, lack of mineral nutrients in the soil make the use of new technologies in agricultural production inevitable. In this study, the definition of nanotechnology and nanoscience, which is seen as a technology revolution in the new century and which is expected to take place in all areas of life after 2025, has been made. In addition, how a substance changes as it goes down to nano dimensions, nano manufacturing processes, tools used in nanotechnology and application areas of nanotechnology are discussed. In order to better understand the effect of nanotechnology on the agricultural market, its effect on production materials was examined, and the production types were evaluated by determining the enterprises that produce with nanotechnology in agricultural production in the provinces of Thrace in Turkey (Tekirdağ, Edirne and Kırklareli).

Keywords: Nanoscience, Nanotechnology, Nano Agriculture, Nanofertilizer, Nanopesticide

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iii**
ABSTRACT ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **ix**
TEŞEKKÜR ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Literatür Özeti 2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 4
2. MATERYAL VE YÖNTEM **5**
3. BİLİM VE TEKNOLOJİ **6**
3.1. Bilim 6
3.2. Teknoloji 6
3.3. Teknolojiden Yüksek Teknolojiye Geçiş 10
3.4. Geleceğin Teknolojileri ve Yükselen Teknolojiler 10
4. NANOTEKNOLOJİ **14**
4.1. "Nanobilim", "Nanoölçek" ve "Nanoteknoloji" 14
4.2. Nanoteknolojinin Tarihi 17
4.3. Nanomalzemelerin Sınıflandırılması 19
4.3.1. Tek Boyutlu 19
4.3.2. İki Boyutlu 19
4.3.3. Üç Boyutlu 19
4.4. Nano İmalat Teknolojileri 20
4.4.1. Yukarıdan Aşağıya Üretim Tekniği 20
4.4.2. Aşağıdan Yukarıya Üretim Tekniği 21
4.4.2.1. Kimyasal Sentez 21
4.4.2.2. Biyolojik Sentez 21
4.5. Nanoteknolojide Kullanılan Araçlar 22
4.5.1. Elektron Mikroskopları (EM) 22
4.5.1.1. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM) 22
4.5.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 23
4.5.2.Taramalı Uç Mikroskopları (SPM) 23

4.5.2.1. Taramalı Tünel Mikroskobu (STM) 23
4.5.2.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) 24
5. NANOTEKNOLOJİNİN UYGULAMA ALANLARI 25
5.1. Nanomalzemeler 25
5.2. Elektronik ve Bilişim Teknolojileri 26
5.3. Tıp ve İlaç Sektörü 27
5.4. Enerji ve Çevre 29
5.5. Otomotiv Sektörü 31
5.5.1. Otomobillerde Nanoteknolojik Uygulamalar 31
5.5.1.1. Araç Gövdesinde Çelik Kullanımı 32
5.5.1.2. Araç Dış Yüzeyinde Nanoteknoloji 32
5.5.1.3. Oto Lastiklerinde Nanoteknoloji 32
5.5.2. Nanoteknolojilerle Geleceğin Otomobilleri 33
5.6. Yapı ve İnşaat Sektörü 33
5.7. Savunma ve Güvenlik 35
5.8. Tekstil Sektörü 36
6. NANOTEKNOLOJİDE MEVCUT DURUM 38
6.1. Dünyada Mevcut Durum 38
6.1.1. Ülkelerin Nanoteknoloji Stratejileri 41
6.2. Türkiye' de Mevcut Durum 42
7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 46
7.1. Nanoteknolojinin Tarımda Uygulama Alanları 46
7.1.1. Hastalıkların Hızlı Teşhis ve Tedavisi 46
7.1.1.1. Biyoçip ve Mikrodizi Cihazlar 47
7.1.1.2. Biyosensörler 47
7.1.1.3. Nanobiyosensörler 50
7.1.1.4. Kuantum Noktalar 51
7.1.1.5. Nanosheller (Nano Kabuklar) 51
7.1.2. Nano İlaçlar, Parazitoloji ve Aşı 52
7.1.2.1. Nano İlaçlar 52
7.1.2.1.1.Veteriner Sahada İlaç Taşıma Sistemlerinde Yer Alan Başlıca Nanomalzemeler 52
7.1.2.2. Nanoteknoloji ve Parazitoloji Araştırmaları 57
7.1.2.3. Nanoteknoloji ve Aşı Araştırmaları 58
7.1.3. Nanoteknoloji ve Hayvan Besleme 59

7.1.3.1. Kanatlı Hayvanlar 59
7.1.3.2. Laboratuvar Hayvanları 60
7.1.3.3. Tek Mideliler (Monogastrik) 61
7.1.3.4. Ruminantlar 62
7.1.4. Bitkisel Üretim ve Büyümede Nanoteknoloji 63
7.1.4.1. Tohum Üretimi 63
7.1.4.2. Tohum Çimlenmesi 63
7.1.4.3. Sürdürülebilir Su Kullanımı 64
7.1.4.4. Nanogübre 64
7.1.4.4.1. Nanogübrelerin Temel Formları 65
7.1.4.4.2. Nanogübrelerin Mineral Besin Maddelerine Göre Sınıflandırılması 66
7.1.4.4.3. Nanogübreler ve Nanotoksisite 69
7.1.5. Nanoteknoloji ve Abiyotik Stresler 70
7.1.5.1. Kuraklık 70
7.1.5.2. Tuz Stresi 71
7.1.5.3. Sıcaklık Stresi 72
7.1.5.4. UV Stresi 73
7.1.5.5. Karbon Dioksit (CO2) Stresi 73
7.1.5.6. Ağır Metal Stresi 74
7.1.5.7. Su Basması 75
7.1.6. Nano-Fitopatoloji 75
7.1.6.1. Nanopartiküllerin Patojenler/Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkisi 76
7.1.6.2. Nanopartiküllerin Bakteriler Üzerindeki Etkisi 76
7.1.6.3. Nanopartiküllerin Mantarlar Üzerindeki Etkisi 77
7.1.7. Bitki Zararlı Yönetiminde Nanoteknoloji 77
7.1.7.1. Zararlı ve Pestisitler 77
7.1.7.1.1. Pestisitlerle İlişkili Riskler 77
7.1.7.2. Nanopestisitlerin Formülasyonu 78
7.1.7.3. Nanomalzemeler ve Pestisitlerin Kontrollü Salımı 79
7.1.7.4. Pestisit Olarak Metal Nanopartiküller 79
7.1.7.5. Nanopestisitler ve Çevre 79
7.1.8. Hasat Sonrası Tarım Ürünlerinin Muhafazası ve Depolanmasında Nanopartiküller 80
7.1.9. Nanoteknoloji ve Çevre 80
7.1.9.1. Nanoteknoloji ile Temiz Su 81

7.1.9.2. Ağır Metallerin Uzaklaştırılması 83
7.1.9.3. Çevre Kirliliğinde Nanosensör Teknolojileri Uygulamaları 83
7.2. Türkiye'de Trakya Bölgesinde Bulunan İllerde (Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli) Tarımsal Alanda Nanoteknoloji Kullanarak Üretim Yapan İşletmeler ve Ürün Çeşitleri 83
8. SONUÇ VE ÖNERİLER 89
KAYNAKLAR 92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Bilim İnsanlarının İnsanlık Tarihi Boyunca Ortaya Çıkan Önemli Buluşlar Üzerine Olan Görüşleri 8
Çizelge 4.1. Bilimsel Ön Eklerin Etimolojisi. 14
Çizelge 5.1. Askeri Alanlarda Nanoteknoloji Kullanımı Sınıflandırması 36
Çizelge 6.1. Devlet ve Yükseköğretim Sektörlerinde (Okul İçi) Nanoteknoloji AR-GE Harcamaları, 2015-2021 39
Çizelge 6.2. İş Sektöründe Nanoteknoloji AR-GE Harcamaları, 2015-2021 40
Çizelge 6.3. Nanoteknoloji Araştırma Merkezleri 44
Çizelge 7.1. Biyosensörlerin, İletim ve Ölçüm Sistemlerine Göre Sınıflandırılması 48
Çizelge 7.2. Nanopartiküllerin Sınıflandırılması 55
Çizelge 7.3. Nanoteknolojinin Su ve Atıksu Arıtımında Mevcut ve Potansiyel Uygulamaları 82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Teknoloji Kavramının Temel Bileşenleri. 7
Şekil 4.1. Değişik Uzunluk Ölçüleri. 16
Şekil 4.2. Lycurgus Kupası. 17
Şekil 4.3. Tarihi İznik Çini Örnekleri 17
Şekil 4.4. Nanomalzemelerin Sentezi İçin Yöntemler 20
Şekil 5.1. Karbon Nanotüpleri ve Molibden Disülfid İle Yapılan En Küçük Transistor 27
Şekil 5.2. Damarlarda Dolaşan Nanorobotlar 28
Şekil 5.3. Havayı Temizlerken, Hidrojen Yakıtı Üreten Jeneratör 29
Şekil 5.4. 28.000 Yıl Dayanan Nano-Elmas Pil 30
Şekil 5.5. Otomobilde Su Tutmaz, Hidrofob Nanokaplama Örneği 32
Şekil 5.6. Jubilee Kilisesi 34
Şekil 6.1. Teknoloji Devrimleri 38
Şekil 6.2. 2016-2022 Yılları Arasında Türkiye'de Yayınlanan Nanoteknoloji Makale Sayısı 45
Şekil 7.1. Biyosensörlerin Blok Gösterimi. 47
Şekil 7.2.Veteriner Sahada İlaç Taşıma Sistemlerinde Kullanılan Başlıca Nanomalzemeler.. 53
Şekil 7.3. Polimerik Nanopartikül Platformları. 54
Şekil 7.4. Nanogübrelerin Mineral Besin Maddelerine Göre Sınıflandırılması. 66
Şekil 7.5. Abiyotik Stres Türleri. 70

KISALTMALAR DİZİNİ

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AR-GE	Araştırma Geliştirme
CNT	Karbon Nanotüp
EM	Elektron Mikroskobu
GDO	Genetiği Değiştirilmiş Organizma
NP	Nanopartikül
ROS	Reaktif Oksijen Türleri
SAF	Süper Emici Gübre
SANF	Süper Emici Azotlu Gübre
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SPM	Taramalı Uç Mikroskobu
STM	Taramalı Tünel Mikroskobu
STEM	Taramalı Geçirmeli Elektron Mikroskobu
TEM	Geçirmeli Elektron Mikroskobu
ZİMİD	Zirai Mücadele İlaçları Üreticileri Derneği

TEŞEKKÜR

Yüzsek lisans tezimin hazırlığında destek ve yardımlarını esirgemeyen yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Aydın Gürel'e, tez hazırlığım süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Bitki Koruma Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Özgür Sağlam' a ve bu süreçte desteğini ve sabrını esirgemeyen eşim Birsen Uslan ve kızım Ezgi Uslan' a sonsuz teşekkür ederim.

Orhan USLAN
Ziraat Mühendisi

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi kadar eski bir geçmişe sahip olan teknoloji, bilim İnsanlarının doğaya egemen olmak için kullanmaya başladıkları bilgiden uzun zaman öncede vardı. Örnek olarak taş-alet üretimi verilebilir. Taş-alet üretimi, jeoloji ve mineraloji bilim dallarının bulunmasından önce iki milyon yıl süresince gelişim göstermiştir. Modern Bilimin ortaya çıkması teknoloji çabalarıyla olan üretime son vermedi. Kuramsal bilgiye sahip olmadan da teknolojik zaferlere imza atıldı. Örnek, İngiliz Endüstri Devrimi boyunca bulunan makinaların birçoğu, zanaat çalışmalarına bilimden daha fazla borçludur. Bilim ancak 19. yüzyılın ikinci yarısından sonra endüstri üzerinde etkili olmaya başladı. Organik kimya alanındaki gelişmeler ile sentetik boya üretimi, manyetik ve elektriğin niteliği hakkında yapılan araştırmalar ile ulaşım, enerji ve aydınlatma endüstrilerinin temellerini attı. 20. yüzyılda ise bilim tabanlı teknolojiler yayıldı. Modern endüstride bilim ve teknoloji birbirine denk etkinlik olarak kabul edilmektedir. Sonuçta bilimde teknolojide ilgili olduğu girişimin başarısına özel katkıda bulunmaktadır (Basalla, 1996).

"Nano" ön eki Yunancada "çok kısa adam" olarak ifade edilen nannos kelimesinden türemiştir. "Nano" ön ekinin kökenine bakıldığında metrik sistemde bir ölçü birimi olduğu görülecektir. "Nano" bilimsel birimlerde temel birimin milyarda biri olarak ifade edilir (Allhoff, Lin, ve Moore, 2017). Malzemeler nanometre ölçütlerine inince kuantum davranışlar sergilemekte ve fiziksel özellikleri kesikli bir değişim göstermektedir (Çıracı, 2007). "Bu nanoyapılarda elektronlar birkaç nanometrelik alanlara hapsolduklarından yapının geometrisine bağlı olarak yeni kuvantumlaşmalara tabi olmakta, yapının bilinen mekanik ve elektronik özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilmektedir" (Çıracı, 2007, s.5).

"Nanobilim, çok küçük boyutlarda ortaya çıkan bu yeni davranışları kuvantum kuramı yardımı ile anlamamızı sağlar. Nanoteknoloji ise ya yeni malzemeler, nanoyapılar tasarlayıp sentezlemeyi, ya da mevcut nanoyapıları veya molekülleri işlevsel hale getirip onların kazandıkları olağanüstü özellikleri yeni uygulamalarda kullanmayı amaçlar" (Çıracı, 2007, s.6).

Nanoteknoloji alanındaki çalışmalar 1970'lerde başlamış, 1980'lerde atomik kuvvet ve tarama tünelleme mikroskoplarının icadıyla çalışmalar hız kazanmıştır. Temel araştırmalar sonrası uygulamalı araştırmalar devam ederek 2000'li yıllarda nanoteknoloji ürünleri piyasada yer almaya başlamıştır. Nanoteknolojinin uygulama alanlarına baktığımızda elektronikten bilgisayara, tıptan savunma sanayine, tekstilden inşaat sektörüne, çevre ve enerjiden tarıma kadar hemen hemen birçok sektörü içerdiği görülmektedir (Anonim, 2017).

1.1. Literatür Özeti

Asilkan, Albayrak ve Oral (2014). "Yüksek Teknoloji Çok Fonksiyonlu Ürünlere Karşı Tüketici Tutumlarının İncelenmesi" İsimli çalışmada, yüksek teknoloji ve çok fonksiyonlu ürünlerin tanımları yapılarak, **"**yüksek teknoloji pazarları ve tüketici davranışları" hakkında çalışmalar aktarılıp, tüketicilerin çok fonksiyonlu ürünlere olan davranışları incelenmiştir.

Çıracı (2007). **"**Bilim ve Ütopya" Dergisinde yayınlanan "21. Yüzyılda yeni bir sanayi devrimi: Nanoteknoloji" isimli makalesinde, "Nanoteknoloji nedir?" başlığı altında yer alan nanoteknolojinin tanımı ve özellikleri hakkında verilen bilgilerden yararlanılmıştır.

Özer (2008). "Nanobilim ve Nanoteknoloji: Ülke Güvenliği /Etkinliği Açısından Doğru Modelin Belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinde, teknoloji ve nanoteknolojinin tanımını yaparak, nanoteknolojinin uygulama alanları, potansiyel riskleri, dünyada nanoteknoloji yapılanmaları ve nanoteknolojinin Türkiye savunma sanayi ve Türk silahlı kuvvetleri (TSK)' indeki durumu hakkında ayrıntılı bilgi aktarılmıştır.

Ateş ve Bahçeci (2015). "Nano Malzemeler için Üretim Yöntemleri" isimli makalerinde nanomalzemelerin üretilmesindeki "yukarıdan aşağıya" ve "aşağıdan yukarıya" yaklaşımların yöntemlerini ayrıntılı biçimde incelemişlerdir.

Kapakin (2007). "Transmission Elektron Mikroskobu" isimli derlemede elektron mikroskobunun tanımı yapılarak ışık mikroskobu ile farklılıkları anlatılmıştır. "Elektron mikroskobunun tipleri belirtilerek "elektron mikroskobu" ve "transmission elektron mikroskobu" hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Demirkıran (2019). "Enerji Sorunlarına Nanoteknolojinin Faydaları" isimli çalışmada önce nanoteknolojinin tanımı yapılarak nanoteknolojinin enerji alanında etkileri ve nanoteknolojinin enerji alanındaki uygulamalarından bahsedilmiştir.

Gökırmaklı ve Bayram (2018). "Gıda İçin Gelecek Öngörüleri: Yıl 2050" isimli derlemede, dünya nüfusunun hızlı artışı, küresel ısınma, hızlı kentleşme, bozulan tarım arazileri ve su kaynaklarının azalması sonucu geleceğin mutfakları, tarım ve gıdanın gelecekteki durumu, inovatif teknolojiler ve nanoteknoloji uygulamalarının gıda sanayi ve tarım sektörüne olası etkileri hakkında yapılan araştırma ve öngörülerden bahsedilmiştir.

Tüylek (2017 a). "İlaç Taşıyıcı Sistemler ve Nanoteknolojik Etkilişim" isimli makalede ilaç hedefleme teknikleri ile ilaç taşıyıcı sistemler hakkında bilgi verilmiştir.

Tüylek (2021). “Biyolojik Sistemlerde Gelecekteki Nano / Biyosensör Ürünlerine Hazırlık” isimli derleme makalesinde nanobiyosensör yapılar, nanobiyosensör uygulamaları ve sınıflandırılmaları ile nanobiyosensörlerde ki önemli gelişmelere yer verilmiştir.

Boz, Paylan, Kızmaz ve Erkan (2017). “Biyosensörler ve Tarım Alanında Kullanımı” isimli makalede, biyosensörlerin tanımı, çeşitleri, uygulama alanları ile tarım, gıda ve çevre koruma ve kontrolünde kullanım yerlerini belirterek avantaj ve dezavantajlarına değinmişlerdir.

Uyanıkgil ve Salmanoğlu (2020). “Metalik nanopartiküllerin hedeflen dirilmesi” isimli derlemede metal nanopartiküllerin özellikleri, sınıflandırılması, hedeflen dirilmiş ilaç taşımada ve ilaç taşıyıcı sistem olarak kullanımı açıklanmıştır.

Altav, Baş, Erci ve Kocabaş (2019). “Veteriner Hekimlikte Nanoteknoloji” isimli makalede nano ilaç, veteriner hekimlikte kullanılan ilaç taşıma sistemlerinde yer alan nanomalzeler, nanoteknolojinin ilaç dağıtımında sağladığı faydalar ve veteriner parazitoloji çalışmaları ile veteriner aşı çalışmaları hakkında bilgiler verilmektedir.

Demirel (2020). “Bitki ve Hayvan Biyoteknolojisi; Hücresel Tarım ve Nano-Teknoloji” isimli derlemede bitkisel ve hayvansal üretimde hücresel üretim ve “tarımsal biyoteknolojide nanopartiküllerin kullanımı” irdelenmiştir.

Budak (2018). “Hayvan Beslemede Nanoteknoloji” isimli derlemede, nanoteknolojinin hayvansal üretimdeki rolü, hayvan beslemede nanoteknoloji kullanılarak üretilen yem katkı maddelerinin hayvanlar üzerindeki etkisini gösteren araştırmalara yer verilmiştir.

Ülger, Koca, Beyzi ve Kaliber (2019). “Nanopartikül Selenyumun Hayvan Beslemede Kullanımı” isimli derlemede hayvan beslemede selenyum nanopartiküllerinin kullanımının araştırıldığı çalışmalara yer verilmiştir.

Yavaş ve İlker (2020). “Çevresel Stres Koşullarına Maruz Kalan Bitkilerde Fotosentez ve Fitohormon Seviyelerindeki Değişiklikler” isimli derlemede “Stres Koşullarının Fotosentez Üzerine Etkisi” ile “Abiyotik Stres Koşullarında Fotosentez Üzerine Hormonların Etkisi” ele alınmıştır.

Atakan ve Özkaya (2018). “Fitopatalojide Nanoteknoloji” isimli derleme makalesinde, bitki hastalıkları mücadelesinde kullanılan nanopartiküller ve bu konuda yapılan çalışmalar ile fitopatolojik açıdan nanoteknolojinin diğer alanlarından (akıllı ilaç salımı ve nanosensörler) bahsedilmiştir.

Ormanoğlu, Emekçi ve Ferizli (2021). “Böceklerle Mücadelede Nanoteknoloji” isimli derlemede nanopestisitlerin zararlılarda kullanımı ve çevreye olan etkileri hakkında bilgi verilmektedir.

Preetha ve Balakrishnan (2017). “Nano Gübreler ve Toprakta Kullanımları ve İşlevleri Üzerine Bir İnceleme” Bu makalede nanoteknolojinin nano gübre gelişimine katkısını, topraktaki kullanımı ve işlevi anlatılmaktadır.

Mohammed ve Safwat (2013). “Erkek Albino Sıçanların Bazı Dokularında Asetaminofenin Oksidatif Stresi Üzerinde Selenyum Nanoparçacıklarının İyileştirici Rolünün Değerlendirilmesi” İsimli makalede erkek albino sıçanların beyin ve böbreklerinde asetaminofen toksisitesine karşı bir antioksidan olarak 3-5 nm ve 10-20 nm (Transmisyon Elektron mikroskobu ile tespit edilmiştir) çaplarına sahip selenyum nanoparçacıklarının (SeNP) iyileştirici rolünü değerlendirmeyi amaçlamıştır.

Rohner vd. (2007). “Ferrik Fosfat Nanopartiküllerinin Sıçanlarda Sentezi, Karakterizasyonu ve Biyoyararlanımı” Bu çalışma FePO4 nanopartiküllerini geliştirmek, karakterize etmek ve sıçanlarda biyoyararlanımlarını ve potansiyel toksisitelerini belirlemek üzere yapılmıştır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında yeni bir teknoloji olan nanoteknoloji ve nanobilimin tanımı yapılarak, bir maddenin nano boyutlara inildikçe nasıl bir değişim gösterdiği, nano imalat süreçleri, nanoteknolojide kullanılan araçlar ve nanoteknolojinin uygulama alanları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Burada ki amaç, nanoteknolojinin tarım sektörüne olan etkisini daha iyi anlamak olacaktır. Bu nedenle, nanoteknolojik yöntemlerin tarımsal üretim metaryellerine etkisi incelenip, Türkiye’de Trakya bölgesinde bulunan illerde (Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli) tarımsal üretimde nanoteknoloji ile üretim yapan işletmeler tespit edilip ürün çeşitleri hakkında bilgi toplanmıştır. Nanoteknolojinin Türkiye’ de yeni bir araştırma alanı olması ve tarımda nanoteknoloji ile ilgili yayınların diğer sektörlerden daha da az olması nedeniyle oldukça az sayıda Türkçe kaynak bulunmaktadır. Bu tez çalışmasının özellikle tarımsal alanda çalışmalarda bulunacak araştırmacılara kaynak doküman olması ve tarım sektöründe yer alan kurum ve kuruluşlara nanoteknolojinin faydaları hakkında farkındalık yaratması beklenmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmada birincil veriler işletme sayısının oldukça az olması ve bu işletmelerin kayıtlarının olmaması nedeniyle iz sürme yöntemiyle Tarım ve Orman Bakanlığı Merkez Birimleri, Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlükleri, Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli İl ve İlçe Ticaret ve Sanayi Odaları, Ticaret Borsaları ve Trakya Kalkınma Ajansı ile iletişime geçilerek tarımda nanoteknoloji kullanarak üretim yapan işletmeler saptanıp görüşmelere geçilmiş ürün çeşitleri hakkında bilgi toplanmıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı - Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü Türkiye genelinde ticari isimlerinde nano beyanı yaparak tescil belgesi alan toplam dört firmanın bulunduğunu belirtmiştir (Bursa 1, Manisa 1 ve İzmir İlinden 2 firma). Ayrıca Türkiye'de gübre piyasanın yaklaşık % 80'ini temsil eden 6 firma ile de iletişime geçilerek geri dönüş sağlanmıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı - Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğünün verdiği bilgiler değerlendirilerek Zirai Mücadele İlaçları Üreticileri Derneğinin (ZİMİD) üyeleri ile iletişime geçilmiş 15 üyeden 8'i dönüş sağlamıştır. Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlükleri, İl ve İlçe Ticaret ve Sanayi Odaları, Ticaret Borsaları ve Trakya Kalkınma Ajansı ile iletişime geçilerek % 100 dönüş sağlanmıştır.

Araştırmanın ikincil verileri yurt içi ve yurt dışı literatürlerden ve web sitelerinden elde edilen verilerden oluşmaktadır.

Özcan (2018). İz sürme/ Süreç izleme yöntemini "Tek bir durumun ya da az sayıda vakanın incelendiği genellikle nedensel mekanizmaları inceleyen nitel bir araştırma yöntemidir. Veri toplamak, aynı zamanda örneklemenin güvenilirliğini sağlamak amacına yönelik bir yöntemdir" şeklinde tanımlamıştır (s.60).

3. BİLİM VE TEKNOLOJİ

İnsanoğlu ilk çağlardan beri tabiatı öğrenmeye çalışarak, hayatta kalmanın ve iyi yaşam koşullarına ulaşabilmenin çarelerini araştırmıştır. Kendini koruyabilmek için kesici aletler yapmış, ateşi bulmuş, akabinde barutu icat ederek ateşli silah yapımını öğrenmiştir. İnsanın yaşadığı bölgeyi öğrenme zorunluluğunda kalması, tabiatın kendine ait kurallarını öğretirken ona hükmetme aşamasına kadar geçen süreçte oldukça büyük bir bilgi birikimi sağlamıştır. Son yıllarda bilim ve teknoloji alanındaki üretim oldukça fazladır (Ayhan, 2002).

3.1. Bilim

Bilim; "Evrenin veya olayların bir bölümünü konu olarak seçen, deneye dayanan yöntemler ve gerçeklikten yararlanarak sonuç çıkarmaya çalışan düzenli bilgi, ilim" olarak tanımlamıştır (Türk Dil Kurumu [TDK], 2022). Tanımdan da anlaşılacağı üzere bilim, evrenin veya olayların bir kısımını konu olarak ele alır, deneye dayanan yöntem ve gerçeklik üzerinden sonuç çıkarmaya çalışır. Yörükoğulları (2013) Albert Einstein bilimi, "her türlü düzenden yoksun duyu verileri ile düzenli düşünceler arasında uygunluk sağlama çabası" (s.6) olarak tanımlarken, Bertrand Russell ise bilimi, "gözlem ve gözleme dayalı akıl yürütme yoluyla dünyaya ilişkin olguları birbirine bağlayan yasaları bulma çabası" (s.6) olarak tanımlamıştır.

Tanımlar incelediğinde, Einstein bilimi rasyonalist bir perspektiften bakıp değerlendirirken, Russell doğadaki düzeni ele alarak bu düzeni keşfetme ve tanımlama çabası olarak görmektedir. Bilim üzerine yapılan tanımlamalardan da anlaşılacağı üzere ortak bir tanımlamaya gidilememiştir. Nedeni ise, bilimin sürekli gelişmesi, ele aldığı konu ve izlenen yolların sınırlarının belli olmaması, çok yönlü ve karmaşık bir sentez oluşudur (Bıyıklı, Başbay, ve Başbay 2014).

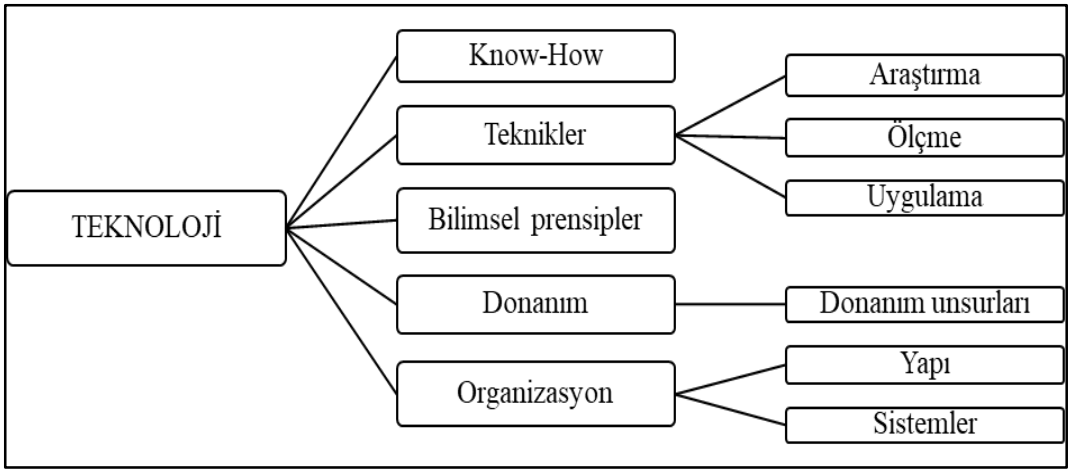
3.2. Teknoloji

Bilim ve Teknoloji birçok alanda karşılıklı etkileşim halindedir. Bilim, hammaddeler ve doğal güçlere ait kuramcı bir yaklaşım ortaya koyamasaydı söz edilen etkileşimde ana rol oynayan ürünlerde üretilemezdi. Buna dayanarak teknolojinin bilimin emri altında olduğu kesinlikle düşünülmemelidir. İnsanlık tarihi kadar eski bir geçmişe sahip olan teknoloji, bilim İnsanlarının doğaya hakim olmak için kullanmaya başladıkları bilgiden uzun zaman öncede vardı. Örnek olarak taş-alet üretimi verilebilir. Taş-alet üretimi, jeoloji ve mineraloji bilim dallarının bulunmasından önce iki milyon yıl süresince gelişim göstermiştir. Modern Bilimin ortaya çıkması teknoloji çabalarıyla olan üretime son vermedi. Kuramsal bilgiye sahip olmadan

da teknolojik zaferlere imza atıldı. Örnek, İngiliz Endüstri Devrimi boyunca bulunan makinaların birçoğu, zanaat çalışmalarına bilimden daha fazla borçludur. Bilim ancak 19. yüzyılın ikinci yarısından sonra endüstri üzerinde etkili olmaya başladı. Organik kimya alanındaki gelişmeler ile sentetik boya üretimi, manyetik ve elektriğin niteliği hakkında yapılan araştırmalar ile ulaşım, enerji ve aydınlatma endüstrilerinin temellerini attı. 20. yüzyılda ise bilim tabanlı teknolojiler yayıldı. Modern endüstride bilim ve teknoloji birbirine denk etkinlik olarak kabul edilmektedir. Sonuçta bilimde teknolojide ilgili olduğu girişimin başarısına özel katkıda bulunmaktadır (Basalla, 1996).

Teknoloji, kelimesi etimolojik olarak iki sözcükten oluşmaktadır. Antik Yunan' da "Tekhne" (el işi, zanaat, pratik yetenek, bilgi, marifet) ve "Logos" (anlamlandırma, mantığa büründürme, bilgi, akla vurma, söz, sözcük) sözcüklerinden oluşup, Antik Yunan'da "Bilgiden gelen zanaat" anlamını ifade etmektedir (Yörükoğulları, 2013). Ayhan (2002) Teknolojiyi, "Ticari bir değer elde etmek için gerçekleştirilen bilimsel uygulamaların tümü" (s.3) Erdal (2003) ise "belirli amaçlar doğrultusunda bilginin bilime uygulanması" olarak tanımlamıştır (s.2). Teknoloji sözcüğünün pek çok tanımı bulunmakla birlikte sözlük anlamı ise "Bir sanayi dalı ile ilgili yapım yöntemlerini, kullanılan araç, gereç ve aletleri, bunların kullanım biçimlerini kapsayan uygulama bilgisi" dir (TDK, 2022).

Teknoloji tanımının oluşumunda ve gelişiminde rol oynayan yapısal dinamiklerin temel bileşenleri, şekil.3.1'de gösterilen Know - How, Teknikler, Bilimsel Prensipler, Donanım ve Organizasyon olarak açıklanmaktadır (Erdal, 2003).



Şekil 3.1.Teknoloji Kavramının Temel Bileşenleri (Erdal, 2003).

Teknoloji, ülkeler için toplumsal ilerleme, refah düzeyi, ekonomik gelir artışı ve büyümenin doğal unsuru olarak görüldüğünden, stratejik bir güç haline gelmiştir. Ancak ülkeler

için stratejik güç haline gelen teknoloji aynı zamanda çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir (Özer, 2008). Teknolojinin gelişmesi sonucu günümüzde kullandığımız birçok ürün mevcut iken her geçen gün bunlara bir yenisi daha eklenmektedir. Böylelikle tüketim talebi genişlemekte ve neticesinde çevre kirliliği artmaktadır (Hayta, 2006).

Teknoloji, insanın ve toplumun merak ve ihtiyaçlarının doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır (Ayhan, 2002). Günümüzde zorunlu bir ihtiyaç haline gelen otomobiller, icat edildiği dönemde zorunlu bir ihtiyacı karşılamak adına bulunmamıştır, aksine oyuncak veya eğlence aleti olarak görülmüştür. Otomobil ihtiyacı icat edildikten sonra artış göstermiştir. Başka bir değişle otomobil yeryüzündeki at kıtlığı veya uluslararası liderlerin atın yerini alabilecek ulaşım aracı ihtiyacı için insanlığa yaptıkları bir çağrı sonucu olmamıştır (Basalla, 1996).

İnsanlık tarihi boyunca günümüz bilim ve teknolojisine ışık tutan önemli bilimsel gelişmeler olmuştur. Bu gelişmelerden hangisinin daha önemli olduğuna dair bir fikir birliği oluşmamıştır. Nitekim bilim insanlarının insanlık tarihinde ortaya çıkan en önemli buluş nedir? Sorusunu, çok farklı şekilde cevapladıkları görülmüştür (Ayhan, 2002). Verilen cevaplar Çizelge 3.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Bilim İnsanlarının İnsanlık Tarihi Boyunca Ortaya Çıkan Önemli Buluşlar Üzerine Olan Görüşleri (Ayhan, 2002).

S/N	**BULUŞ**
1	Tarımsal üretimde saban
2	Matbaa
3	Ayna
4	Otto Von Guericke, Statik elektrik makinası (1660)
5	Elektriğin kullanımı (1745) ve Elektrik ışığı (1828)
6	Elektrik motoru
7	(1790) optik telgraf, arkasından telefon (1870) ve cep telefonuna giden süreç
8	Aspirin (1853)
9	Organize bilim: Bilimsel dergi ve yayınların basımı
10	İndo-Arap sayı sistemi; Bütün fen bilimleri, iktisat ve matematiğin kurulması
11	Havacılık teknolojileri, uzay yolculuğu
12	Üniversitelerin kurulması

Çizelge 3.2. Bilim İnsanlarının İnsanlık Tarihi Boyunca Ortaya Çıkan Önemli Buluşlar Üzerine Olan Görüşleri (devamı) (Ayhan, 2002).

S/N	BULUŞ
13	Kuantum teorisi ve Gödel Incompleteness Teoremi (1931)
14	Televizyon
15	İlaç ve doğum kontrol hapları
16	Genetik mühendisliği ve genetik dizi analizi
17	Taşınabilen enerji paketi batarya (1880, Alexandro Volta)
18	Silah
19	Hidrolik Mühendisliği
20	Internet
21	Atom bombası
22	Fiziksel ve psikolojik buluş olarak, klasik batı müziği
23	Bilimsel yöntemler
24	Kimyada destilasyon süreci
25	Tıpta anestezi uygulamaları
26	Kâğıt üretimi
27	İklim modellemesinde bilgisayarların kullanımı
28	Gözlük, teleskop, mikroskop ve birçok analiz cihazının geliştirilmesini sağlayan mercekler
29	Diferansiyel ve integral hesaplar
30	Bilgisayarların ilk örnekleri, Universal turing makinesi ve bilgisayar, dijital ekosistemin kurulumu
31	Çift taraflı kayıt (Double-Entry Accounting)
32	Termoiyonik supap ve transistor üretimi
33	Hiçbir şey!

İnsanlık tarihindeki önemli buluşlar bütüncül bir yaklaşımla incelenirse bilim ve teknolojide büyük gelişmelere yol açan en önemli buluşların, matbaa, kâğıt, telgraf, buharlı makina, transistor ve bilgisayar olduğu görülecektir (Ayhan, 2002). Avcı/toplayıcı çağ, tarım ve endüstri çağları yaşandıktan sonra geldiğimiz bilgi çağına, iletişim teknolojileri (telgraf, telefon, teleks, faks, radyo, televizyon ve internet) ile elde edilen bilgi akışı ve paylaşımı sonucunda ulaşılmıştır (Özer, 2008).

3.3. Teknolojiden Yüksek Teknolojiye Geçiş

Teknoloji alanındaki hızlı ilerlemeler üst düzey teknik bilgiye dayanan yüksek teknoloji (High Technology, Advanced Technology) kavramını ortaya çıkarmıştır. Ancak kavramın tek bir tanımı olmayıp birden çok tanımı bulunmaktadır (Ayhan, 2002).

Asilkan, Albayrak ve Oral (2014). Rexroad yüksek teknolojiyi "belirli bir alanın en günceli" olarak tanımlamaktadır (s.62). Grunenwald ve Vernon ise yüksek teknolojiyi "güncel geliştirme tarafından betimlenen ve kısa ve gelgeç ömrü olan aygıtlar, prosedürler, süreçler, teknikler veya bilimler" olarak tanımlamıştır (s.62).

Yüksek teknoloji, bilgi ve teknolojinin daha yoğun olduğu bir alandır. Teknoloji yoğun sektörlerden bilgi ve iletişim teknolojileri ile elektronik ve optik ürünler, 1970'li yıllardan günümüze en hızlı gelişen sektörlerdir (Erdal, 2003).

Yüksek teknolojinin geçirdiği evreler (Erdal, 2003).

1. 1960'lı yıllarda, transistörün icadı, ilk bilgisayar çalışmaları başladı. Biyoloji ve tıp bilimlerinde hastalıklara karşı yeni teşhis ve tedaviler bulundu. Malzeme teknolojisinde bilimsel araştırma çalışmalarına başlandı.
2. 1970'li yıllarda, bilgisayar çeşitleri ve kullanıldığı alanlar arttı. Çok fonksiyonlu küçük boyutlu ürünler kullanılmaya başlandı. Endüstride robotlar ve takım tezgâhlarında yenilikler yaşandı. Genetik mühendisliğinde gelişmeler oldu. Bu dönemde teknoloji uygulamaları ve standartları üzerine yapılan çalışmalar önem kazandı.
3. 1980'li yıllarda, tüm alanlardaki buluşlar süratle ticarileşti. Biyoloji, tıp ve malzeme biliminde bilgi miktarında hızlı bir artış yaşandı. Yeni fikirler süratle ürüne dönüştürülerek pazara sunuldu.

Sonuç olarak günümüzde, teknolojide ulaşılan en son yer "yüksek teknoloji" olarak ifade edilmektedir. Yüksek teknoloji endüstrileri; teknoloji alanında hızlı ilerlemeleri, yüksek oranda bilimsel ar-ge harcamalarını ve yeni teknoloji ürünlerini içermektedir (Erdal, 2003).

3.4. Geleceğin Teknolojileri ve Yükselen Teknolojiler

Dijital teknolojilerin gelişimi 2010'lı yıllara dayanmaktadır. 2020 yılında dijital dönüşümde yaşanan değişimle duygusal akıllı içerik ve aşırı sezgisel bilişsel yetenekler ortaya

çıkarken, iş yapılarında öngörülemeyecek dönüşümlerin ortaya çıkması da kaçınılmaz olacaktır (Anonim, 2020).

Deloitte' nun hazırladığı 2020 Teknoloji Trendleri Raporu' nda, üç yeni teknolojiden bahsedilmektedir. Bunlar ortam deneyimi, üstel zekâ ve kuantum teknolojisidir.

Ortam deneyimi: Bilgi işlem cihazlarının boyutlarının küçülerek, güçlerinin arttırılmasını tarif etmektedir (Anonim, 2020).

Üstel zekâ: Makine zekâsı, veride yer alan kalıpları belirlerken belirlediği kalıpların mantığını çözememektedir. Yaşanan bu eksiklik ise insan duyguları ve etkileşimi olarak görülmektedir. Makine zekâsı, satrançta uzmanlaşmış birini yenerken, yangın anında bulunduğu alandan neden uzaklaşılması gerektiğini çözememektedir. Ancak yapay zekâ gelecek için umut vermektedir (Anonim, 2020).

Kuantum Teknolojisi: Bu teknoloji ile atom altı parçacıklarla bilgi işlenirken aynı zamanda yeni tip bilgisayarlar, minyatür teknolojiler ve daha birçok şey ortaya konulmaktadır. Kuantum teknolojisi gelişim sağladıkça enerji, iletişim, lojistik, güvenlik ve bir sürü alanda tahmin edilemeyen değişiklikler olacağı beklenmektedir (Anonim, 2020).

Teknolojinin hızlı gelişimi geleceğin teknolojilerini hayatımıza katmaktadır. Teknoloji insan yaşamını ve dünyayı şekillendirip yeniden yapılandırmaktadır. Bir dönem yayında olan bilim kurgu filmlerinin günümüzde gerçekleştiğini görüyoruz. Geleceğin teknolojilerindeki (Yapay zekâ, akıllı şehirler, robotlar, big data, vb.) gelişmeler bir dönem hayal ötesi olarak görülse de günümüzde hepsinin gerçekleştiğini görmekteyiz (Sart, 2020).

Gelecekte yükselişte olan teknolojiler; Yapay Zekâ (AI), Robotlar, Blockchain, Immersive Media, Dijital Asistanlar, Big Data, Kablosuz Enerji, Edge Computing, İnternet Erişim Teknolojileri, Akıllı Şehirler, Nanoteknoloji (Sart, 2020).

Yapay Zekâ: Robotların insan duygu ve etkileşimlerini yapabilme becerisine sahip olması şeklinde tanımlanabilir. Gelecekte hemen her sektörde uygulanacağı ve dünyayı köklü bir değişime uğratacağı düşünülmektedir (Sart, 2020).

Blockchain: Kripto veya elektronik para olarak bildiğimiz bitcoin' in arkasındaki teknolojidir. Dijital kimliğe sunduğu olanaklar, onu güven ekonomisinin anahtarı olarak tanımlamaktadır. Birçok endüstride kullanılmaktadır (Sart, 2020).

Robotlar: Günümüzde robotlar en çok endüstriyel üretimde kullanılmaktadır. Endüstriyel üretim içinde de otomotiv sektörü en çok robotu kullanan sektördür. Ayrıca başka sektörler ve ev işleri için de yaygın kullanılmaktadır (Sart, 2020).

Immersive Media: Türkçe sürükleyici medya olarak tanımlanan immersive media; sanal, artırılmış ve karma gerçeklik teknolojilerinin özelliklerini bir arada toplamaktadır. Yakın zamanda medya ve eğitimi şekillendirip yapılandıracağı tahmin edilmektedir (Sart, 2020).

Dijital Asistanlar ya da Sanal Asistanlar: Tahmine dayalı sohbet robotu olarak da bilinir. Sorulara, beklemeden süratle verdikleri cevaplar ve kolay vazifeleri yerine getirebilme özellikleri ile iş hayatını ve yaşamı kolaylaştırmaktadırlar. Pazarlama bölümünde kullanılmaktadır (Sart, 2020).

Big Data: Araştırma, gözlem, fotoğraf, video, internet, sosyal medya gibi farklı kaynaklardan sağlanan büyük ve karmaşık veri kümelerinin anlamlı ve işlenebilir duruma getirilmesidir. Yakın gelecekte en önemli teknoloji pazarının big data üzerinde yer alacağı tahmin edilmektedir. Günümüzde eğitim, sağlık ve bankacılık sektörlerinin yararlandığı bilinmektedir (Sart, 2020).

Kablosuz Enerji: Nikola Tesla' nın 1900'lerin başında elektrik iletimini kablosuz gerçekleştirme projesidir. Tesla' nın bu fikrine ait çalışma günümüzde de sürdürülmektedir. Gelecekte en önemli teknolojilerden biri olacağı tahmin edilmektedir (Sart, 2020).

Edge Computing: Türk diline 'uç bilişim' veya 'uçta hesaplama' olarak çevrilmiştir. Edge Computing hızlı kimlik tanımlama, kent güvenliği, sanal gerçeklik veya lokasyon merkezli uygulamalarda kullanılmaktadır (Sart, 2020).

İnternet Erişim Teknolojileri: İnternete hızlı ve daha iyi erişim sağlamak için 5G, Li-Fi, LoRa benzeri teknolojiler üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir ve yakın zamanda bu teknolojilerin piyasada yer alacağı beklenmektedir (Sart, 2020).

Akıllı Şehirler: Anonim (2019) "2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı" nda akıllı şehir tanımını "Paydaşlar arası işbirliği ile hayata geçirilen, yeni teknolojileri ve yenilikçi yaklaşımları kullanan, veri ve uzmanlığa dayalı olarak gerekçelendirilen ve gelecekteki problem ve ihtiyaçları öngörerek hayata değer katan çözümler üreten daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirler" şeklinde ifade etmiştir (s.20). Tanımdan da anlaşılacağı üzere akıllı şehirler daha yaşanabilir bir dünya hedeflemektedir.

Nanoteknoloji: Atom ve moleküllerin bir araya getirilerek nanometre boyutlarında çalışan işlevsel yapıların oluşturulmasıdır (Erkoç, 2012). Bu teknoloji ile yapılmış uzun süre dayanabilen, hijyenik, emniyetli ve akıllı ürünleri konut, iletişim, ulaşım, elektronik, tarım, sağlık, fizik, kimya ve endüstrinin tüm alanlarında görmek mümkün olacaktır. (Kavaz, 2011).

Ancak geleceğin teknolojileri bunlarla sınırlı olmayıp bulut bilişim, mobil teknolojiler, otomasyon, sağlık teknolojisi, siber güvenlik, insan-bilgisayar etkileşimi, temiz enerji teknolojileri, kuantum bilişim, uzay teknolojileri gibi birçok alanda hızla devam etmektedir (Sart, 2020).

4. NANOTEKNOLOJİ

Bu bölümde nanoteknolojinin tanımı, tarihçesi, nanomalzemelerin sınıflandırılması, Nano imalat teknolojileri ve nanoteknolojide kullanılan araçlardan bahsedilecektir.

4.1. "Nanobilim", "Nanoölçek" ve "Nanoteknoloji"

Nanoteknoloji ve Nanoölçekteki bilimin ayrıntılarına girmeden önce "Nanobilim", "Nanoölçek" ve "Nanoteknoloji" gibi terimlerin tanımını yaparak konuya açıklık getirmek gerekir. Yunanca "Nano" ön eki "çok kısa adam" anlamını taşıyan nannos sözcüğünden ortaya çıkmıştır. Halen kullandığımız ölçü ön eklerinin çoğunluğunun kökeni, yunanca ve latince kelimelerden meydana gelmektedir. Örneğin hekto yüz anlamındaki yunanca hekaton, senti yüz anlamındaki latince centum kelimesinden gelir. Bilimsel ön ekler ve kökenleri çizelge 4.1' de gösterilmiştir (Allhoff, Lin ve Moore, 2017).

Çizelge 4.1. Bilimsel Ön Eklerin Etimolojisi (Allhoff, vd., 2017).

Ön Ek	**Kök Dili**	**Sözcük**	**Sözcüğün Anlamı**	**Değeri**
Zetta	Latince	Septem	Yedi	$(10^3)^7 = 10^{21}$
Ekza	Yunanca	Heksa	Altı	$(10^3)^6 = 10^{18}$
Peta	Yunanca	Penta	Beş	$(10^3)^5 = 10^{15}$
Tera	Yunanca	Teras	Canavar	10^{12}
Giga	Yunanca	Gigas	Dev	10^9
Mega	Yunanca	Megas	Büyük	10^6
Kilo	Yunanca	Khilioi	Bin	10^3
Hekto	Yunanca	Hekaton	Yüz	10^2
Deca	Yunanca	Deka	On	10^1
Desi	Latince	Decem	On	10^{-1}
Senti	Latince	Centum	Yüz	10^{-2}
Mili	Latince	Mille	Bin	10^{-3}
Mikro	Yunanca	Mikros	Küçük	10^{-6}
Nano	**Yunanca**	**Nannos**	**Cüce**	**10^{-9}**
Pico	İspanyolca	Pico	Gaga, küçük Miktar	10^{-12}
Femto	Danca	Femten	On Beş	10^{-15}

Çizelge 4.1. Bilimsel Ön Eklerin Etimolojisi (devamı) (Allhoff, vd., 2017).

Ön Ek	Kök Dili	Sözcük	Sözcüğün Anlamı	Değeri
Atto	Danca	Atten	On Sekiz	10^{-18}
Zepto	Latince	Septem	Yedi	$(10^{-3})^7 = 10^{-21}$

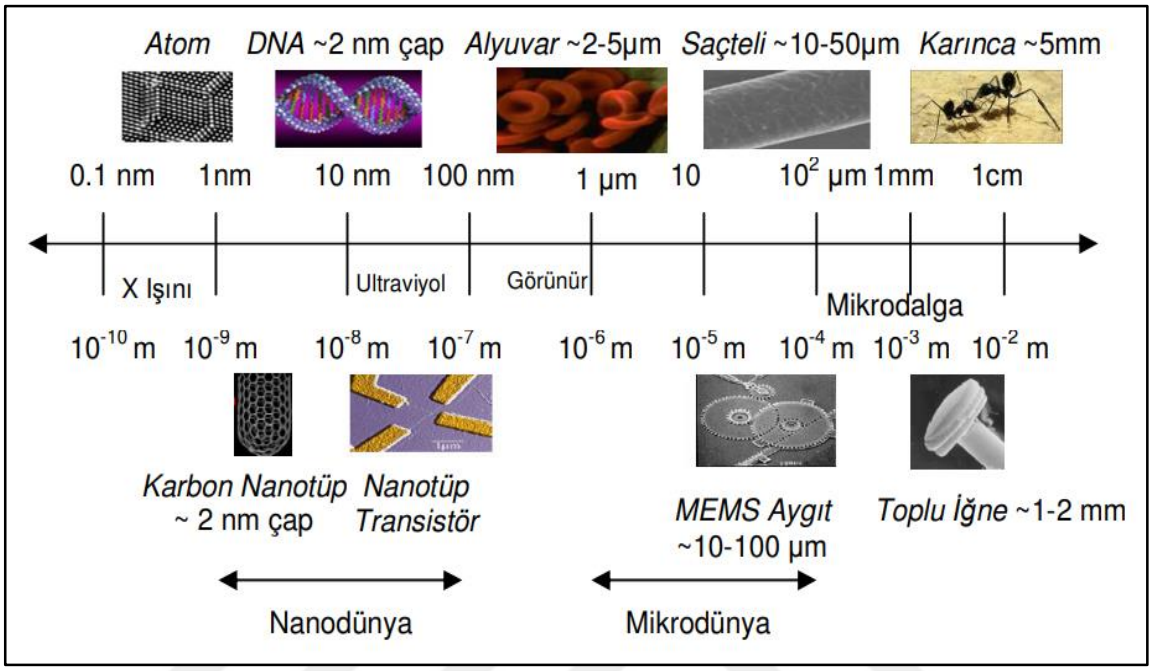
"Nano" ön ekinin kökenine bakıldığında metrik sistemde bir ölçü birimi olduğu görülecektir. "Nano" bilimsel birimlerde temel birimin milyarda biri olarak ifade edilir. Örneğin, bir saniye bir milyar nanosaniyedir. Gündelik kullanımda zamanın nanosaniye ile ifade edildiğini düşünelim; akşam yemeği 900 000 000 000 nanosaniye sonra hazır olacak, bu cümlenin gündelik kullanımda zamanı doğru ifade etmede pek fayda sağlamayacağı açıkça görülmektedir. Çünkü nanosaniye terimi çok kısa bir zaman dilimini ifade etmek için kullanılmaktadır (Allhoff vd., 2017).

"Nanoteknolojiden bahsettiğimizde, bir büyüklük ya da uzunluk ölçeğinden; bir büyüklük sıralamasından söz ediyoruz. Nanometreden (nm) söz ederken boyutları ilgili ölçekte olan nesnelere gönderme yapıyoruz" (Allhoff vd., 2017,s.5). Böylece nanoteknoloji ile atomun büyüklükleri üzerine konuşmak daha da kolaylaşmaktadır. Atom ve moleküllerin boyutlarını metre ile tanımlayacak olsaydık bir hidrojen atomunun $2.4x10^{-10}$ metre olduğunu ifade edecektik. Ancak metrenin yerine nanometreyi kullandığımızda bir hidrojen atomunun 0,24 nm olduğunu ifade edebiliriz (Allhoff vd., 2017).

Nanoölçek, nanoteknolojinin üzerinde durduğu büyüklük ölçeği olarak tanımlanmaktadır. Bu ölçek boyutlarından daha küçük bir sınır değer bulunsa da üst sınırı belirlemek oldukça zordur (Allhoff vd., 2017). Bir görüşe göre "bir şeyin nanoölçekte var olması için boyutlarından en az birinin (uzunluk, genişlik ya da derinlik) yaklaşık 100 nanometreden daha küçük olması gerekir**"** (Allhoff vd., 2017,s,5). Ulusal Nanoteknoloji Girişimi (NNI) de nanoteknolojiyi tanımlarken nanoölçeğin sınırlarını belirlemiştir. "Nanoteknoloji, eşsiz olguların yeni uygulamalara olanak tanıdığı ve maddenin kabaca 1 ila 100 nm boyutlarındayken anlaşılıp kontrol edildiği teknolojidir" (Anonim, 2022).

Nanoteknoloji kelimesindeki "nano" ifadesinin belirli bir ölçeği tanımladığını açıkladıktan sonra nanoölçeğin ne olduğunu gündelik yaşamımızla ilişkisini belirlememiz için nanometrenin büyüklüğünün ondan daha iyi bilinen büyüklüklerle karşılaştırmasını yaparak açıklayabiliriz (Allhoff vd., 2017). Şekil 4.1' de bu karşılaştırma yapılmıştır. Örneğin, insan saçının tek bir telinin genişliği yaklaşık 50. 000 nm' ye karşılık gelir. Bir karınca yaklaşık 5mm

(10^{-3} metre) büyüklüğündedir. Bir toplu iğnenin başı 1-2 mm büyüklüğündedir. Kırmızı kan hücrelerimizin (Alyuvarlar) çapı yaklaşık 2-5 µm'dir. DNA çift sarmalın çapı 2 nm genişliğindedir. Atomların büyüklüğü genellikle 1 nm' den küçüktür bazen atomlar için angstorm (10^{-10} metre) kullanılır.



Şekil 4.1. Değişik Uzunluk Ölçüleri (Özer, 2008).

Malzemeler nanometre ölçütlerine inince kuantum davranışlar klasik davranışların yerine geçerken fiziksel özellikleri kesikli değişiklik göstermektedir. Nanoyapılarda elektronlar birkaç nanometrelik alana sıkıştıklarından yapının geometrisine göre yeni kuvantumlaşmalara adapte olarak yapının bilinen mekanik ve elektronik özelliklerini büyük ölçüde değiştirebilmektedir. Örneğin, bir nanoyapıya farklı bir atomun bağlanması halinde elektronik özelliğini (elektrik iletkenliği) değiştirebilmektedir. Bu farklı olan atom geçiş elementi ise bağlandığı nano yapıya manyetik özellikler katabilmektedir. Özetle nano yapının fiziksel ve kimyasal özellikleri nano yapının büyüklüğüne ve boyutlarına bağlı olarak önemli değişimler göstermektedir (Çıracı, 2007).

Çıracı (2007) kısa bir tanımla nanobilim ve nanoteknolojiyi "Nanobilim, çok küçük boyutlarda ortaya çıkan bu yeni davranışları kuvantum kuramı yardımı ile anlamamızı sağlar. Nanoteknoloji ise ya yeni malzemeler, nanoyapılar tasarlayıp sentezlemeyi, ya da mevcut nanoyapıları veya molekülleri işlevsel hale getirip onların kazandıkları olağanüstü özellikleri yeni uygulamalarda kullanmayı amaçlar" şeklinde ifade etmektedir (s.6).

4.2. Nanoteknolojinin Tarihi

Nanoteknolojinin yeni olmadığını binlerce yıllık teknolojik birikim içerisindeki uygulamalarla ilgili örneklerde görmekteyiz. Buna çarpıcı örnek olarak Şekil 4.2' deki ünlü Lycurgus kupası verilebilir. MS 4. yüzyıl Roma dönemine ait kupanın en önemli özelliği farklı ışık koşulları altında renk değişikliği (yeşil veya kırmızı renk) göstermesidir. Bu özelliğin ise nano boyutlarda kullanılan renklendirici katkılar (pigment) olduğu bilinmektedir. Benzer renk değişikliklerinin yine o dönemlerde cam ustaları tarafından tatbik edildiği arkeolojik bulgular sonucu meydana çıkarılmıştır (Baykara, 2016).

Şekil 4.2. Lycurgus Kupası (Baykara, 2016).

Benzer özellikleri tarihimizin kültür sanat unsurları içinde yer almış 15-16. yüzyıl İznik çinilerinde de görmekteyiz (Şekil 4.3). İznik çinilerinin estetik ve kalitelerinin yanı sıra yıllara meydan okuyan dayanımları ile canlı motif ve renklerinin üretim sürecinde kullanılan nanoboyutlu renklendiricilerden ileri geldiği söylenmektedir (Baykara, 2016).

Şekil 4.3. Tarihi İznik Çini Örnekleri (Baykara, 2016).

Nanobilim ve nanoteknolojinin kronolojik gelişimi (Baykara, 2016; Erkoç, 2012).

- İlk Canlı hücrenin 3.5 milyar yıl önce ortaya çıktığı öngörülmektedir. Canlı hücre nanoboyutta etkinlik gösteren biyomakine şeklinde tanımlanabilir.
- M.Ö 400' de Eski Yunan düşünürlerinden Demokritus ilk defa "atom" sözcüğünü kullanıyor. Atom veya bölünmeyen öz teorisi ile ünlenmiştir.
- M.S 4. yüzyılda Lycurgus Kupası, cam ustalarının nanoboyutta ilave ettikleri renklendirici katkılar (nano- pigmentler).
- 15-16. yüzyılları - İznik Çinileri, çini ustalarının üretimde canlı motif ve renkleri elde etmek için kullandıkları renklendirici katkılar (nano-pigmentler).
- 1905: Einstein bir şeker molekülünün ~1 nanometre olduğunu ifade eden makalesini yayınladı.
- 1931: Max Knoll ve Ernst Ruska transmisyon elektron mikroskobunun ilk örneğini yaptılar.
- 1959: Richard Feynman' nın "Aşağıda daha çok yer var" başlıklı ünlü konuşması
- 1974: Aviram ve Seiden ilk moleküler elektronik cihaz patentini aldı.
- 1981: H. Rohrer ve G.K. Binnig taramalı tünel mikroskobunu (STM) icat ederek atomların tek tek görüntülenmesini sağladılar.
- 1985: 1 nanometre çaplı yeni bir karbon bileşiği C_{60} keşfediliyor.
- 1986: C.F.Quate, G.K Binnig ve C. Gerber atomik kuvvet mikroskobunu (AFM) icat ettiler.
- 1986: K. E. Drexler "Engines of Creation" isimli kitabını yayınladı.
- 1987: İletkenliğin kuantum özelliği ilk kez gözlemlendi.
- 1987: G. J. Dolan ve T.A Fulton ilk defa tek elektron transistörü imal ettiler.
- 1988: W. De Grado ve ekibi ilk defa suni protein imal etti.
- 1989: Zürih, IBM' de 35Xe atomundan IBM yazısı yazıldı.
- 1991: Lijima çok duvarlı karbon nanotüpleri buldu.
- 1993: Lijima ve Bethune tek duvarlı karbon nanotüpleri buldular.
- 1993: İlk Nanoteknoloji Laboratuvarı ABD Rice Üniversitesine kuruldu.
- 1997: N. Seeman DNA molekülü kullanarak ilk defa nanomekanik cihaz imal etti.
- 1997: İlk defa nanotüp kullanarak elektrik akımı ölçüldü.
- 1998: C. Dekker ve ekibi TUBEFET yaptı.
- 1999: M. Reed ve J. M. Tour ilk defa tek organik molekül ile elektronik anahtar yaptı.
- 2000: ABD'de ilk defa nanoteknoloji araştırmaları için 422 Milyon $ kaynak ayrıldı.

- 2001: İlk defa nanotüplerden transistor ve mantık devreleri yapıldı.
- 2001: ZnO nanotel laseri yapıldı.
- 2002: Süper örgü nanoteller yapıldı.
- 2005: İlk dört tekerlekli nano araba modeli hareket ettirildi.

4.3. Nanomalzemelerin Sınıflandırılması

Hett (2004) Nanomalzemeleri (aktaran Ansari, Shahzadi ve Ahmed, 2020) boyutsal olarak üç gruba ayırmıştır.

4.3.1. Tek Boyutlu

Bir boyutu 100 nm'den küçük olan nanomalzemeler bu grupta yer alır. Nanoteller ve nanoçubuklar, çeşitli kimyasal ve biyolojik sensörlerin, güneş pillerinin, BT sistemlerinin ve optik cihazların oluşturulmasında kullanılan tek boyutlu nanoparçacıkların örnekleridir (Ansari vd., 2020).

4.3.2. İki Boyutlu

En az iki boyut boyunca 100 nm'den küçük boyuta sahip nanomalzemeler, 2D nanoparçacıklar olarak bilinir; karbon nanotüpler lifler ve trombositler (Ansari vd., 2020).

4.3.3. Üç Boyutlu

Tüm boyutları, yani kuantum noktaları, dendrimerler ve içi boş küreler <100 nm olan metalik nanomalzemeler, üç boyutlu nanoparçacıklardır (Ansari vd., 2020).

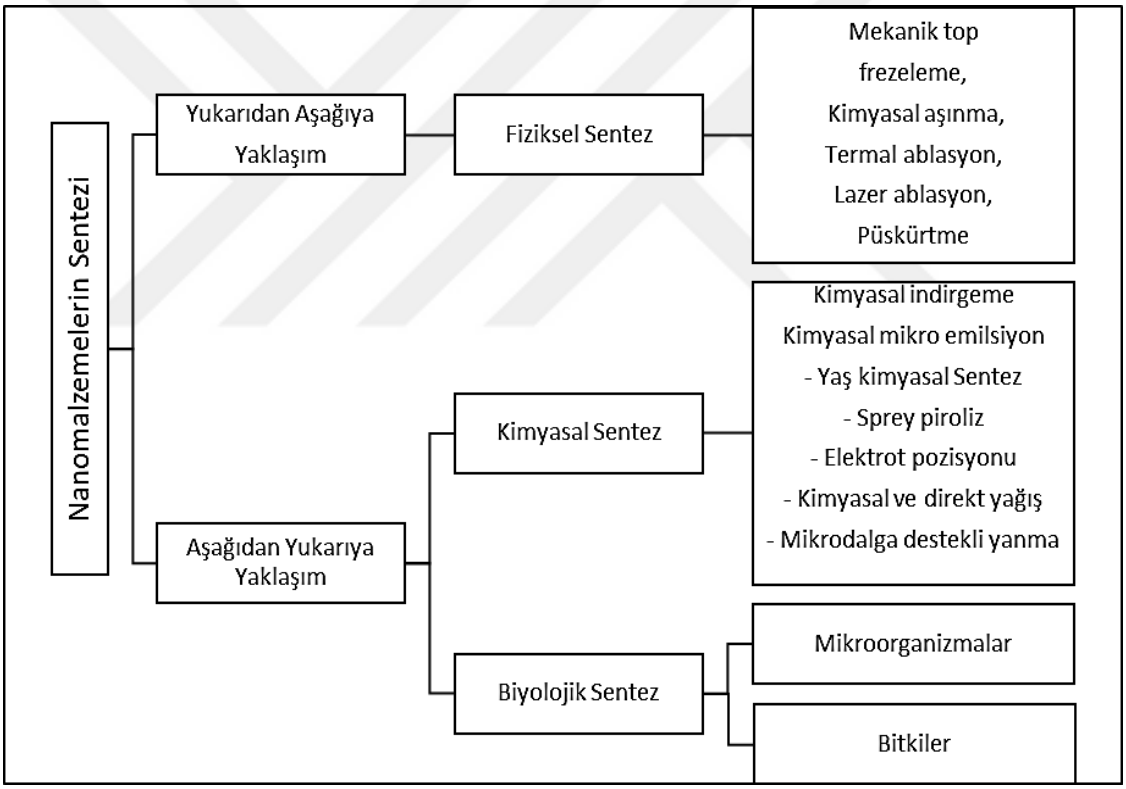
Nanomalzemeler ayrıca yapısal biçimlerine göre sınıflandırılır (Ansari vd., 2020) ;

- Metalik nanopartiküller
- Nanokristaller kuantum noktaları
- Karbon Nanotüpler
- Lipozom
- Dendrimer
- Polimerik miseller
- Polimerik nanopartiküller

4.4. Nano İmalat Teknolojileri

Nanoölçekteki malzemelerin daha hafif, daha sağlam olması, üretim aşamasında daha az malzeme daha az enerji kullanılarak artık malzeme üretimi olmadan hatasız üretim gibi avantajları nanoimalatta önemli özelliklerdir (Erkoç, 2012).

Temelde çok küçük malzeme ve cihazları elde etmede iki farklı yaklaşım söz konusudur. İlki bir malzeme bloğundan istenilen küçük bir yapıyı elde etmek için o malzeme bloğunu kesme, kırpma, ezme, dövme ve şekillendirme yapmadır ki buna "yukarıdan aşağıya" yaklaşımı denir. İkinci yaklaşım ise, atomların veya moleküllerin yan yana dizilerek daha büyük cisimleri oluşturmak üzere tasarlanmasıdır. Buna da "aşağıdan yukarıya" yaklaşımı denilmektedir (Allhoff vd., 2017). Nanomalzemlerin sentezi için yöntemler şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Nanomalzemelerin Sentezi İçin Yöntemler (Ansari vd., 2020).

4.4.1. Yukarıdan Aşağıya Üretim Tekniği

Yukarıdan aşağıya yaklaşımı, bir malzeme bloğuna mekaniksel ya da kimyasal işlemler ile malzeme bloğunun nanoboyuta kadar küçülebilecek parçalara ayrılması işlemidir. Bu yaklaşım günümüzde elektronik endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bilişim teknolojilerine dayalı amansız rekabet koşullarında, boyutlar sürekli düşürülerek bir devre

üzerine çok sayıda transistor yerleştirme yarışı yadsınamaz boyutlara ulaşmıştır. Genellikle nano ölçekli yapıların yukarıdan aşağıya oluşumunda, büyük yapılardan küçük yapılar elde edilirken kullanılan tekniklerden biri fotolitografi adı verilen bir tekniktir. Yarıiletkenlerde desen yaratmak için kullanılan bir teknik olup, 100 nm ile 30 nm arası boyutlarda desen yapılabilir. Bu teknikte 30 nm boyutları civarında işlem yapmak zor ve maliyeti yüksektir (Allhoff vd., 2017).

4.4.2. Aşağıdan Yukarıya Üretim Tekniği

Aşağıdan yukarıya yaklaşımı, molekül veya atomik yapı taşlarının dizilmesiyle daha büyük cisimlerin oluşturulduğu süreçlerdir. Doğadaki doğal nano boyuttaki işleyişler de hep bu şekilde olmaktadır. Bu nedenle aşağıdan yukarıya üretim süreçlerine organik malzemelerde rastlanır ve kimya ile biyoloji alanlarına dair faaliyetler olarak bilinir (Ateş ve Bahçeci, 2015).

4.4.2.1. Kimyasal Sentez

Mitra vd. (2015); Yuvakkumar vd. (2015) çalışmalarında (aktaran Ansari vd., 2020) Nanopartiküllerin Şekil 4'de görüldüğü üzere bir dizi kimyasal yöntemle sentezlendiğini belirtmiştir. Elghanian vd. (1997); Hurst vd. (2006) ise (aktaran Ansari vd., 2020) Bu kimyasal yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemin kimyasal indirgeme yöntemi olduğunu belirtmektedir. Tran ve Le (2013); Iravani vd. (2014) çalışmalarında (aktaran Ansari vd., 2020) Organik ve inorganik çeşitli bileşiklerin, nanopartiküllerin üretimi için indirgeyici olarak kullanıldığını belirtmiştir. Sastry vd. (2003) çalışmalarında (aktaran Ansari vd., 2020) Nanopartiküller, farklı kimyasalların indirgeme kabiliyeti kullanılarak toplu miktarlarda sentezlenebilir ve reaksiyonun tamamlanması çok daha az zaman alır. Ancak toksik, çevre ve canlılar için risk oluşturan sentetik kimyasalların kullanımından dolayı da zararlı olduklarını belirtmişlerdir. Bu nedenle kimyasal yöntem dışında yöntemler kullanılarak nanoparçacıkların geliştirilmesi için toksik olmayan, çevre dostu ve ekonomik açıdan faydalı yöntemlerin geliştirilmesi zorunlu hale gelmektedir.

4.4.2.2. Biyolojik Sentez

Reddy vd. (2012) çalışmasında (aktaran Ansari vd., 2020) Nanopartiküllerin biyolojik sentezini (Biyolojik varlıklar; virüsler, bakteriler, mantarlar, bitki ekstraktı veya biyokütle biçimindeki mikroorganizmalar) nanoparçacıkların üretimi için fiziksel ve kimyasal yöntemlerden ziyade çevre dostu olan alternatif bir yol olarak tanımlamıştır.

4.5. Nanoteknolojide Kullanılan Araçlar

Yeni teknolojilerin gelişimi, ileriyi görebilmemize imkân veren yeni araçların ve teorilerin gelişimiyle hız kazanır. Nanoteknolojide bu açıdan bakıldığında çok da farklı değildir. Nanoteknolojide bu araçlar günümüzde bile gelişme sürecinde iken kullanılmakta olan araç ve teorilerin büyük kısmı fizik alanında son 100 yıldır bulunan gelişmelerle iç içedir (Allhoff vd., 2017).

Işık mikroskopu, uzun yıllar boyunca bilimsel ve teknolojik araştırma, inceleme ve çalışmalarda önemli rol oynamıştır. Ancak maksimum x2000 büyütme kapasitesine sahip olmasından dolayı istenen görüntü kalitesini yakalayamamış bu nedenle 1 mm'den küçük nesneler için kullanımının sınırlığı olduğu görülmüştür. Metalürji ve malzeme bilimleri çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Nanoteknolojik çalışmalar için elektron mikroskopları kullanılmaktadır (Baykara, 2016).

4.5.1. Elektron Mikroskopları (EM)

Elektron mikroskobunda görüntü elde etmek için ışık yerine elektronlar kullanılmaktadır. Aydınlatma kaynağı olarak lamba veya gün ışığı yerine vakum tüpü içinde hızlandırılmış elektron demeti kullanılmaktadır (Kapakin, 2007). İnsan gözü 0.1 mm, Işık mikroskobu 0.2 μm, elektron mikroskobu 0.1 nm ayırt etme gücüne sahiptir. Bu nedenle elektron mikroskobu insan gözünün ve ışık mikroskobisinin çok ötesinde bir çözünürlük ile incelemeye olanak sağlamaktadır (Karakoç, Ketani, ve Ketani, 2016). Elektron mikroskobunun Transmission Electron Microscopy (TEM), Scanning Electron Microscopy (SEM) ve Scanning Transmission Electron Microscopy (STEM) olarak üç tipi mevcuttur. STEM kullanım alanı olarak diğerlerine göre daha sınırlıdır. (Kapakin, 2007).

4.5.1.1. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM)

1930'larda keşfedilmiştir. Nanoteknolojik uygulamalarda daha fazla tercih edilmektedir. 400.000' lik büyütme birçok malzeme için elde edilebilmekte ve atomlar için 15 milyon kezden daha büyük büyütmeler söz konusudur. TEM projeksiyon cihazı gibi çalışmaktadır. Işık demetini ince yaprağa benzeyen bir cisim üzerinden geçirerek geçtiği nesnenin özellikleri ile ilgili bilgi aktarır. TEM' de ışık yerine elektronlar kullanılmaktadır. TEM' de kullanılan malzemeler elektronların içinden geçebileceği incelikte olmalıdır. Aksi

takdirde iyi bir TEM resmi almak oldukça güçleşir. Numune hazırlamadaki bu zorluk TEM'in SEM' e karşı olan bir dezavantajıdır (Wilson, Kannangara, Smith, Simmons ve Raguse, 2002).

4.5.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) 1942'de geliştirilmiş, ticari olarak piyasaya 1965'de sürülmüştür. SEM' in daha net, üç boyutlu bir görüntü kalitesi sağlaması ve numunenin spektrum alma öncesi daha az hazırlık çalışması gerektirmesi TEM' e göre daha popüler olmasını sağlamıştır. Geçirmeli elektron mikroskobu (TEM) daha büyük bir büyütme olanağına sahiptir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ise daha büyük bir alan derinliğine sahip olup odaklanan görüntünün daha da büyütülmesini 10 ile 100.000 kat büyütme aralığında olmasını sağlamaktadır. Ayrıca numunede üç boyutlu ve net bir görüntü sağlaması da incelenen parçanın şekil ve yapısı hakkında araştırmacılara ayrıntılı bilgi sunmaktadır (Wilson vd., 2002).

4.5.2. Taramalı Uç Mikroskopları (SPM)

Taramalı uç mikroskobu; taramalı tünel mikroskobu ve atomik kuvvet mikroskobu ve yeni geliştirilen belli sayıdaki mikroskop teknolojilerini kapsamaktadır (Wilson vd., 2002).

4.5.2.1. Taramalı Tünel Mikroskobu (STM)

Taramalı tünel mikroskobu (STM) 1981 yılında Heinrich Rohrer ve Gerd Karl Binning tarafından keşfedilmiştir. Keşiften beş yıl sonra, elektron mikroskobunu keşfeden bilim insanları ile birlikte Heinrich Rohrer ve Gerd Karl Binning' e keşiflerinden dolayı fizik alanında Nobel Ödülü verilmiştir. Taramalı tünel mikroskobu yüzeylerin gerçek-uzay görüntülerini atomik çözünürlükte sağlayan ilk mikroskoptur. STM'ler numune ile uç arasında pozitif gerilimin uygulandığı keskin ve iletken uç kullanımı haricinde AFM' ye benzerlik göstermektedir. STM' deki uç numuneye 1 nm kalıncaya kadar yaklaştırıldığında, numuneden gelen elektronlar bu 1 nm' lik boşluktan geçerek uca ulaşmaya veya tam tersi (uygulanan gerilimin fazına bağlı olarak) uçtan numuneye doğru hareket etmeye çalışırlar. Denizde bir dalganın kayalıklar üzerinden aşarak diğer tarafa ulaşması gibi elektronlarda enerji engelini atlayarak numuneye ulaşabilmektedir. Başka bir ifadeyle elektronun dalga özelliği harekete geçirilerek parçacık gibi davranması sağlanıp atlayamayacağı enerji engelini aşması sağlanır. Bu harekete tünelleme denilmektedir. Tünelleme akımı, uç-numune uzaklığına bağlı olarak değişebilmekte ve bir STM görüntüsü oluşturmada sinyal olarak kullanılmaktadır. Tünellemenin oluşabilmesi için numune ve ucun yarıiletken veya iletken olması gerekmektedir. STM' ler yalıtkan numunelerden görüntü alamamaktadır. Ancak bir su tabakası kullanılarak

tünel akımı oluşturulursa yalıtkan malzemelerde de gözlem yapılabilir. Bu özellik biyolojik malzemeler için önemlidir (Wilson vd., 2002).

4.5.2.2. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

Nanoölçekte bir yüzeyin 3 boyutlu profili AFM tekniği ile çıkarılabilmektedir. Nanoteknolojide yüzey esaslı araştırmalarda kullanılan güçlü tekniktir. AFM çok farklı malzeme ve nesnelerin yüzeylerinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Örnek olarak, metaller, camlar, plastikler, yarıiletkenler, bakteriler ve hücre çeperleri gibi biyolojik örnekler verilebilir. AFM' de yüzeyin iletken olma zorunluluğu bulunmamaktadır. Ancak atomik çözünürlüğe erişimde sınırlama söz konusu olmaktadır. Bir AFM prob ucunun üretiminde ne kadar hassas davranılsa da ideal olan bir keskinliğe ulaşması söz konusu olmadığından topografik görüntüler de tam anlamda gerçek görüntüyü vermeyecektir. Buna "Büklümlenme" denilmektedir (Baykara, 2016).

5. NANOTEKNOLOJİNİN UYGULAMA ALANLARI

Nanoteknolojinin uygulama alanı, temel bilimler (Fizik, kimya, biyoloji) ile uygulamalı bilimlerin (malzeme, elektronik, makine, bilgisayar, sağlık gibi) ortak alanlarını kapsayacak kadar geniştir. Bu nedenle 21'nci yüzyılın en önemli teknolojilerinden biri olmaya adaydır. Nanoteknoknolojinin gelecekte etkisini göstereceği araştırma ve uygulama alanları; Nanomalzemeler, Elektronik ve Bilişim Teknolojileri, Tıp ve İlaç Sektörü, Enerji ve Çevre, Otomotiv Sektörü, Yapı ve İnşaat sektörü, Savunma ve Güvenlik, Tekstil Sektörü ve Tarım sektörü olarak dokuz alanda incelenmiştir. Tarım sektörü 7 bölümde detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

5.1. Nanomalzemeler

Nanoteknoloji gelecekteki malzeme ve cihaz üretim yöntemlerinin değişmesi için nanoölçekte işleve sahip malzeme ve cihazların görünebilen boyutlara sahip malzeme içine konularak fazla sayıda hatasız üretim için yeni metotların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Nanoölçek boyutlarındaki malzemelerin daha hafif ve dayanıklı, daha az yer kaplayan malzemeler olması, üretim aşamasında az malzeme ile daha az enerji kullanımı ayrıca artık malzeme üretimi olmaması gibi özellikleri nanoimalatta önemli konulardır (Erkoç, 2012). Nanomalzeme, 1-100 nm ölçekleri arasında olan metal malzemelerin, seramik yapıların, organik molekül yapıların, polimer ya da kompozit malzemelerin ortak adıdır (Özer, 2008).

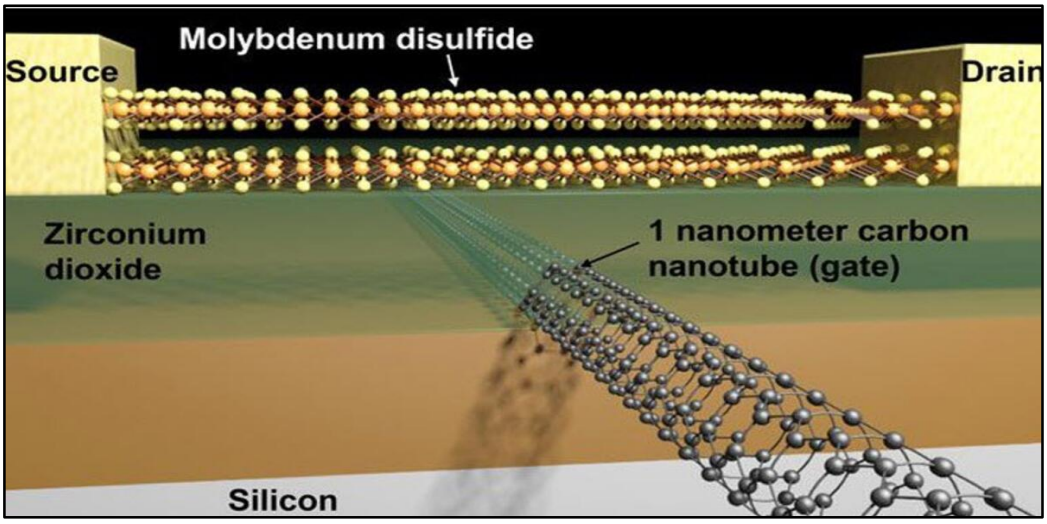
Malzemelerin boyutları, sahip oldukları atomun yörüngesinde bulunan elektronların (serbest elektronlar) hareket serbestlikleri ile alakalıdır. Elektronların serbest hareketinden akım oluşmaktadır. Atomların son yörüngesindeki serbest elektronlar eksenel olarak üç yönde hareket ediyorsa malzeme üç boyutlu (3B) yapıdır. 3B yapılar katı maddelerdir ve bütün kristal yapılar bu sınıftadır. Serbest elektronlar eksenel olarak iki yönde hareket ediyorsa malzeme iki boyutlu (2B) yapı olarak adlandırılır. 2B yapıya sahip olan katmanlı yapıların birçoğunun her bir katı farklı atomlardan oluşmaktadır. Silisyum/Germanyum benzeri katmanlı yapılar bu yapılara örnek olarak verilir. Serbest elektronlar tek bir eksen yönünde hareket edebilirse bu malzemeler bir boyutlu (1B) yapılar olarak tanımlanır. Bu yapılara nanotüpler ve nanotel malzemeler örnek olarak verilebilir. Birde serbest elektronların bulunduğu yapının üç boyutla sınırlı olması sonucu hareket yetenekleri olmayan yapılar mevcuttur. Bunlara sıfır boyutlu (0B) yapılar denir. Bu tip yapılara topaklar, kuantum nokta ve nanotoplar örnek olarak verilebilir. İlk bakışta elektronik bir işlevi yokmuş gibi duran bu yapılar kuantum bilgisayarlar dâhil birçok uygulamanın vazgeçilmez unsurudur (Erkoç, 2012).

Nanoölçek düzeyinde olan yapıların farkı, yalnızca küçük ebatlarda olmaları değil küçük ebatlarda farklı fiziksel özellikler göstermeleridir. Ebatlar küçüldükçe kuantum özellikler ortaya çıkmaktadır. Atomların geometrik düzeninin maddenin bazı fiziksel özelliklerini etkilemesi bu olayın önemli sonuçlarından biridir. Karbondan elde edilmiş malzemeler bu konuda iyi örnekler olarak gösterilebilir. Ayrıca karbondan farklı elementlerden oluşmuş yapıların da boyutları küçülünce benzer özellikler göstermesi olayın ilginç tarafıdır. Örnek olarak bizmut kristali ile bizmut nanoteli verilebilir. Bizmut kristali makroskobik ebatlarda yarımetal özellik göstermektedir. Nanotel halinde iken yarıiletken özellik gösterir. Böylelikle aynı atomlardan meydana gelmesine rağmen geometrileri farklılık göstermektedir. Bu da farklı davranışlara sahip iki malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır, üstelik bizmut kristali ve bizmut nanotelinde de atomların birbirlerine bağlanma şekilleri aynıdır. İkinci Örnek olarak, Altın elementini alalım. Altın elementi gözle görülebilir büyüklükte sarı renkli iken nanoboyutlarda kırmızı renkte görülür. Buda maddenin elektronik özellikleri haricinde optik özelliklerinin de boyutu ile değiştiğini gösterir (Erkoç, 2012). Buradan çıkan sonuç ise; "Malzemelerin nanoölçekteki yapılarını kontrol etmeyi başarmakla birçok özelliği ve dolayısı ile işlevleri kontrol edilebilmektedir" (Erkoç, 2012, s.10).

Nanoboyutlu malzemelerin yüzeyinde meydana gelen atom miktarı değişimi sonucunda yüzey/hacim oranlarında gözle görülür bir seviyede değişim meydana gelmektedir (Erkoç, 2012). Akıllı yüzeyler, kendi kendini temizleme, bazı maddeleri itme ve sürtünmesiz yüzeyler olarak karşımıza çıkmaktadır. Suyu itme özelliğinden dolayı silecek gerektirmeyen otomobil camları, buğulanmayan ayna ve camlar, kendi kendini temizleyebilen bina dış cephe yüzeyleri, yosun ve deniz kabuklularının yapışamadığı deniz araçlarının dış cephe yüzey boyaları ile sürtünmesiz yüzeyler aklımıza ilk gelen uygulamalardan bazılarıdır (Bayındır, 2007).

5.2. Elektronik ve Bilişim Teknolojileri

Nanoteknoloji, elektronik ve bilişim teknolojilerindeki gelişmelere büyük ölçüde katkı sağlayarak, büyük miktarlardaki veriyi depolayıp, yöneten, daha hızlı ve taşınabilen (kompakt) yapılar kurulmasına yol açtı. Bilgisayar teknolojisinde bilgisayarları etkinleştiren transistörler örnek olarak verilebilir. Yarı iletken elektronik devre elemanı olan transistör, sinyali yükselterek bir gerilim ya da akım kazancı sağlar. 21.yüzyılın başında boyutları genelde 130-250 nanometre arasında olan transistörler, 2016 yılında Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'nda yapılan bir çalışmada "karbon nanotüpler" ve "molybdenum disulfide (MoS_2)" kullanılarak 1 nanometreye kadar düşürülmüştür (Yakar Z., 2018). Şekil 5.1



Şekil 5.1. Karbon Nanotüpleri ve Molibden Disülfid (MoS2) İle Yapılan En Küçük Transistor (Yakar Z., 2018).

Nano ölçek boyutlarındaki transistörlerde çok sayıda elektron yerine sadece bir elektronun hareketi ile bilgi işleme yapılarak yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanabilir. Ayrıca nanoölçekte yapılan milyarlarca transistor çok küçük alanlara (bir santimetre kare, vb.) sığdırılarak bilgisayarların hızı ve verimi arttırılabilir. Kısaca küçük ve hızlı transistörler bilgisayarların tüm belliğini oldukça küçük bir çipte saklayabilir. Sonuç olarak nanoölçekte üretilen elektronik devre elemanları ve bilgisayarların, boyutlarının küçük, kapasitelerinin ve çalışma hızlarının yüksek olması ile enerji tüketimlerinin daha az olması beklenmektedir (Yakar Z., 2018).

Nanoelektronik cihazların nitelikleri, ölçeklenebilirlik sınırını aşan son derece küçük cihaz olmalarıdır. Örneğin, Single-Electron Transistors (SET) cihazı: akım yükselten kontrollü elektron" tünelleme" ile çalışan cihazdır. Rezonans Tünelleme Cihazı: Akım Kontrolü yapabilen kuantum cihazıdır. Ayrıca nanoölçekteki cihazlar (Nanoelektronik, nanoelektromekanik, vd.) atomlardan meydana gelmiş küçük boyutlu sistemler makro molekül veya nanoyapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlar; Nanoölçekte cihazlar, devreler, Kuantum SET' ler, spin cihazları, kuantum esaslı cihazlar, karbon nanotüpleri ve moleküler elektronik cihazlardır (Baykara, 2016).

5.3. Tıp ve İlaç Sektörü

Nanoteknoloji canlılara moleküler düzeyde müdahale etme imkânı yaratabilir. Hastalıkların teşhis ve tedavisinde, moleküler düzeyde müdahale ile yaşayan organizmalarla etkileşime geçebilecek boyutlarda araçlar üretmesi hastalığın bulunduğu bölgeye ilaç veren yeni makinalar ve insan vücudunda hareket edebilen teşhis aletleri, nanoteknolojinin tıp ve ilaç

sektörü için gelecekte umut veren çalışmaları olarak ifade edilebilir (Akbaş ve Özarslan, 2007). Bunlardan bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

İlaç salınım**:** İlaç salınımı için tasarlanmış nanorobotlar (Farmasitler), istenilen ilacın, vücutta istenilen bölgede, istenilen oranda ve istenilen süre zarfında temin edilmesini sağlayacaktır. Hedef bölgeye ulaşan robotlar ilacı nanoenjeksiyon veya aşamalı sitopenetrasyonla bütün doz bitene kadar enjekte edebilmektedir (Baykara, 2016). örnek şekil 5.2.

Şekil 5.2. Damarlarda Dolaşan Nanorobotlar (Baykara, 2016).

Bünyede İzleme Takip: Hayati tehlike yaratan hastalıkların izlenmesi ve raporlanması tıbbi teşhis alanında büyük bir aşama olarak görülüp değerlendirilmektedir (Baykara, 2016).

Diş hekimliği: "Nanoteknolojinin diş hekimliğine uyarlanması ile oluşan nano diş hekimliği; doku mühendisliği, dental nanorobotlar ve dental nanomalzemeler kullanarak ağız sağlığının korunmasını mümkün kılacaktır" (Ergül, Ataol, ve Tekli, 2018). Diş hekimliğinde nanorobotlar kullanılarak sınırlı uyuşturma, düzensizlik gösteren diş yapısındaki dokuların düzeltilmesi ve hizalandırılması, diş beyazlatma, sürekli ağız sağlığının korunması, diş tamiri gibi potansiyel kullanım alanları bulunmaktadır (Ergül vd., 2018).

Kanser Tespit ve Tedavisi: Nanorobotlar, kanserli hücrelerin tespitini transferin adı verilen polimer ve protein karışımıyla yapabilecektir. Tedavi sürecinde ise kemoterapi ilaçlarını kanserli hücrelere salabilecek veya doğrudan lazer, mikrodalga veya ultrasonic sinyallerle kanserli hücrelerin yok edilmesini sağlayacaktır (Baykara, 2016).

Gen Tedavisi: Medikal nanorobotlar genetik hastalıkları, hücredeki DNA ve protein moleküllerinin yapılarını karşılaştırarak tespit edip, tedavi sürecinde de etkin bir şekilde

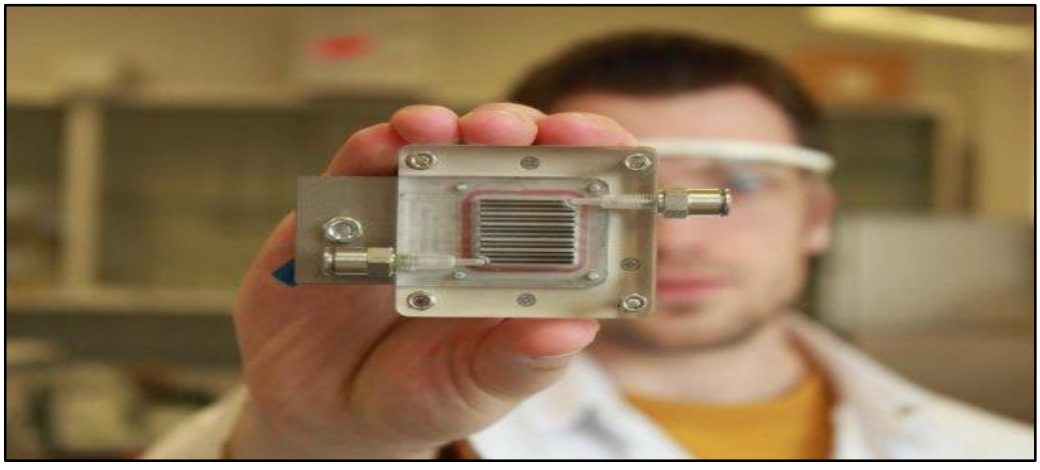
kullanılabilecektir. Kromozom tedavi sürecinde ise kromallositler adı verilen nanorobotlar kullanılacaktır (Baykara, 2016).

Nano aşılar: Polimerik ilaçlar hakkında daha fazla bilgi elde edilmesiyle nano aşı alanı da gelişmektedir. Nano aşılar, kanserle mücadelede vücudun bağışıklık savunmasını tetikleyen proteini harekete geçirip kişinin kanserle kendi kendine mücadele etmesine yardımcı olmaktadır (Yakar Z., 2018).

5.4. Enerji ve Çevre

Enerji üretimi, üretilen enerjinin depolanması ve verimli kullanılmasında nanobilimin uygulama alanları bulunduğu gibi çevresel kirleticilerin tespitinde ve temizlenmesinde de uygulamaları mevcuttur. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminde oluşan enerji verimi kayıpları fazladır. Ayrıca üretilen enerjinin bir yerden başka bir yere taşınması, depolanması ve kullanılması sırasında da enerji kayıpları yaşanmaktadır. Nanoteknolojinin sıralanan bu sorunlarla ilgili sunduğu yeni çözümler ile çalışmalar devam etmektedir (Yakar Z., 2018).

Tarım toplumundan sanayi toplumuna ve kentleşmeye geçiş ile birlikte artan enerji ihtiyacı ile mevcut kaynaklar hızla tüketilmektedir. Bu nedenle günümüzde ucuz, güvenli ve yenilenebilir enerji kaynakları arayışı artmıştır. Gelişmiş ülkeler yenilenebilir enerji kaynakları için AR-GE çalışmalarına önemli oranda maddi destek sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hidrojen enerjisi üzerine yapılan çalışmalar en önemlisidir. Bu çalışmaların birinde, şekil 5.3’ de gücünü ışıktan alıp havayı temizleyerek hidrojen yakıtı üreten jeneratör gösterilmektedir (Yakar Z., 2018).



Şekil 5.3. Havayı Temizlerken, Hidrojen Yakıtı Üreten Jeneratör (Yakar Z., 2018).

Üretilen hidrojen gazı yakıt olarak kullanılabilmektedir. Ancak hidrojen gazının yakıt olarak kullanılabilmesi için yüksek yoğunlukta ve emniyetli bir şekilde depolanabilmesi şarttır. Hidrojen gazını yüksek yoğunlukta depolayabilmek oldukça zor ve maliyeti yüksektir (Yakar Z., 2018). Günümüzde bilim insanları, geçiş elementleri (Pt, Pd, Ti, V, vb.) ile fonksiyonel hale getirilen karbon nano tüplere ve moleküllere oldukça yüksek oranda hidrojen depolamayı başarmıştır. Böylece gelecekte hidrojenle çalışan otomobillerin kullanımı artarak çevre dostu yakıt tüketimi gerçekleşecektir (Bayındır, 2007).

Enerji alanında gerçekleştirilen bir diğer gelişme pil ömürleri üzerine yapılan çalışmada görülmüştür. Bilim insanları pil ömrünü uzatmak için pillerin yapılarında nanoteller kullanmıştır. Kullanılan nanoteller ile yüzey alanı büyütülmüş böylece daha fazla depolama alanı sağlanarak daha fazla elektron transferi gerçekleştirilmiştir. Ancak yapılan çalışmalarda nanotellerin oldukça hassas olduğu tekraren şarj edilemediği gözlemlenmiştir. Bir araştırma grubu bu sorunu çözmek için nanotelleri, mangan dioksit ve pleksiglas-jel elektrot birleşimi içinde kaplayarak karışımın güvenli ve kırılmalara karşı dayanıklı olduğunu 200.000'den fazla döngüde test ederek belirlemişlerdir. Testlerde pil kapasitesinde kayba rastlanmadığı gibi kullanılan nanotellerde kırılma görülmemiştir. Bu çalışma ile ticari pillerin ömürlerinin yüksek oranda artması beklenmektedir. Örnek, şekil 5.4' de gösterilen 28.000 yıl dayanan nano-elmas pil. Yâda yapılacak yeni çalışmalar ile bilgisayarların, akıllı telefonların, otomobillerin ve pille çalışan diğer cihazların pil değişimlerine ihtiyaç duyulmaması olabilir (Yakar Z., 2018).

Şekil 5.4. 28.000 Yıl Dayanan Nano-Elmas Pil (Yakar Z., 2018).

Yenilebilir enerji kaynaklarından biride rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr enerjisi, rüzgâr türbinleri ile hareket halinde olan havanın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürüp sonrasında elektrik enerjisi üretilmesidir. Üretim aşamasında sistemin kapasitesini belirleyen

etmenlerden biri mekanik yüklenmeye karşı olan dayanıklılıktır. Karbon nanotüplerle daha hafif, dayanıklı malzemeler üretilerek sistem kapasitesi artırılabilir (Demirkıran, 2019).

Nanoteknolojide önemli bir uygulamada su temizleme ve atık su arıtma teknolojileri ilgili çalışmalarıdır. Su arıtımında karbon nano tüp, nanoölçekli metal oksit, nanofiber, nano zeolitler, nano TiO_2, nanogümüş, kuantum noktalar ve manyetik nanoparçacıklar gibi nano yapılı malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler taşınabilir, ucuz ve kolay temizlenebilir özelliklere sahiptir. Nanomalzemeler ile suda bulunan çökelti, kimyasal atık, yüklü parçacık, bakteri ve virüsler temizlenebilmektedir. Ayrıca arsenik benzeri zehirli elementler ile suda bulunan yağ benzeri kirlilikler de temizlenebilmektedir (Yakar Z., 2018).

Çevreye zararlı ve zehirleyici maddelerin tespiti sisteme yüklenen eşik değerlerden sapma durumunda ikaz ve alarm veren nanosensörler ile hava, su ve ortam kirliliği izlenebilmektedir. Hava su ve ortamın kalitesinin tam ve hassas verilerle izlenebilmesinde nanosensörlerin rolü oldukça önemli bulunmaktadır (Baykara, 2016).

5.5. Otomotiv Sektörü

Otomotiv endüstrisi, büyüme, gelir, iş yaratma ve inovasyon açısından ekonomiyi canlı tutan endüstri kollarından biridir. Bu nedenle nanoteknolojik gelişmeleri de yakından takip etmektedir. Nanoteknoloji, otomotiv endüstrisinde üretim ve yenilikçi düşünce için önemli bir alandır. Bu alanlar aşağıda sıralanmıştır (Baykara, 2016).

- Daha hafif ve sağlam malzeme,
- Yakıt verimliliği,
- Araç emniyet ve güvenliği,
- Motor verimi (katalistler, yakıt katkıları ve oto yağları ile),
- Çevre dostu gelişimler (hidrojen, yakıt hücreleri),
- Gelişmiş ve daha da küçük elektronik sistem ve sensörler,

Kyoto Protokolü ile zorlayıcı bir koşul haline gelen emisyon değerlerinin en düşük eşik değerlere getirilmesi için yapılan çalışmalarda nanoteknolojiden yararlanılmaya çalışılmaktadır (Baykara, 2016).

5.5.1. Otomobillerde Nanoteknolojik Uygulamalar

Otomotiv endüstrisinde nanoyapılı malzemelerden yararlanılmaktadır. Nanoyapılı malzemelerin kullanımında öncelik araç emniyet ve güvenliğidir. Bunun yanında araç ağırlığının hafifletilmesi, yüksek dayanıklılık ve esnek yapılar olarak sıralanabilir.

5.5.1.1. Araç Gövdesinde Çelik Kullanımı

Çelik, soğuk halde şekillendirilirse araç gövdesinde boyutlandırmada sapmalar söz konusu olmaktadır. Sıcak şekillendirmeyle sorun aşılsa da yüksek sıcaklıkta yüzeyde tufal (oksitlenmeden ileri gelen pas katmanı) oluşum meydana gelmektedir. Nanoteknoloji ile yüzeyde çok işlevli kaplama yapılarak sorun giderilebilmektedir (Baykara, 2016).

5.5.1.2. Araç Dış Yüzeyinde Nanoteknoloji

Nanoteknoloji ile araç dış yüzeylerine kir tutmayan, çizilmeye karşı dayanıklı, kendini onarabilen araç boyaları uygulanabilmektedir. Ayrıca buğulanmaya karşı, antifungal, anti-reflektif kaplamalarda yaygınlaşmaktadır (Baykara, 2016).

Şiddetli sağanak yağışlar, araç sileceklerini yetersiz kılarak görüş mesafesini oldukça düşürür. Ayrıca diğer araçlardan ön cama sıçrayan çamurlu sularda güvenli sürüşü tehlikeye sokar. Nanoteknoloji esaslı hidrofob kaplamalarla cam yüzeyindeki su ve sulu çamur lotus etkisiyle yüzeyden hızla kayarak yüzeyi terk ederek kir ve tozu da temizler örnek şekil 5.5 (Baykara, 2016).

Şekil 5.5. Otomobilde Su Tutmaz, Hidrofob Nanokaplama Örnekleri (Baykara, 2016).

5.5.1.3. Oto Lastiklerinde Nanoteknoloji

Otomobil lastiklerinde yola iyi tutunma önemlidir. Ayrıca sürtünme direnci, yol tutma ve yırtılmalara karşı dayanım özellikleri de önem taşımaktadır. Lastiklerin yola tutunma özelliği düşükse savrulma, yüksekse yakıt tüketiminde artış gibi sorunlarla karşılaşılır. Bu sorunların giderilmesi için lastiklere % 30 oranında dolgu kullanılır. Karbon siyahı (is), slika ve organosilan kullanılan lastik dolgularıdır. Karbon siyahı en etkin olanlarından biridir. Uzun

süredir kullanılıyor olması nedeniyle de bazı kaynaklar tarafından nanoteknolojinin ilk uygulamaları arasında gösterilir. Diğer dolgularda lastik özelliklerinde belirgin gelişim sağlamıştır (Baykara, 2016).

5.5.2. Nanoteknolojilerle Geleceğin Otomobilleri

Nanoteknolojinin gelişmesi ile aşağıda belirtilen başlıklar, geleceğin otomobilleri üzerinde daha sık bir şekilde görülecektir (Baykara, 2016).

- Hafiflik: metallerin yerini alması beklenen yüksek dayanımlı kompozitler ile daha hafif araç tasarımları yapılabilecektir. Şimdiden araç tamponları, iç döşemeler, kapı tasarımlarında ve çamurluklarda kullanılmaktadır.
- Akıllı Bileşenler: araçta çok sayıda sensör ve uyarlama sistemleriyle kendi kendini uyarlayabilen akıllı sistemler ve kendini onaran kaplamalar üzerinde çalışılmaktadır.
- Uyarlanabilir yapılar: değişen koşullara adapte olabilen sistemlerin devreye girmesi, örnek olarak renk değişimi, süspansiyon gösterilebilir.
- Zırh ve görünmezlik
- RFID etiketleme, Pozisyon alma ve Sinyal gönderme,
- Soğutma sıvıları ile üstün termal performans
- Gelişmiş korozyon dayanımı
- Nanosensör ağ yapılarıyla donatılmış sistemler

5.6. Yapı ve İnşaat Sektörü

Yapı ve inşaat sektöründe nanoyapılı malzemelerin kullanımı giderek artmaktadır. Yapı malzemeleri endüstrisinde: daha dayanıklı, daha hafif, uzun ömürlü ve yüksek yalıtım özelliklerine sahip yenilikçi ürünler pazara sürülmektedir. Ayrıca pazarda farklı özelliklere sahip kaplamalar ile yeni yapı malzeme ve teknikleri de görülmektedir. Kaplama olarak betonarmenin yanı sıra ahşap, cam, tuğla ve metal yüzeyler uygulamalarda görülmektedir. Ancak nano inşaat malzemelerinde istenilen düzeyde maliyet düşüşleri sağlanamadığı için alanda yoğun çalışmalar devam etmektedir (Baykara, 2016).

Nanonoteknolojinin yapı inşaat sektöründeki ilk uygulamalarından biri “nano-boya” dır. Nanoparçacıklarla ile kendi kendini temizleyebilen, kir ve su tutmayan, anti-bakteriyal, anti-fungal boyalar pazara sürülmüştür. Yapı inşaat sektöründe Nanomalzemelerin kullanımı dört başlık altında toplanabilir (Baykara, 2016).

1. Çimento esaslı yapı malzemelerinde nanoyapılı malzemeler

Yapı inşaat sektörünün en önemli ürünü çimento ve betondur. Yılda 10 milyar tonun üzerinde üretim gerçekleştirilmektedir. Nanoyapılı malzeme katkıları ile çimentoda yüksek dayanım, uzun ömür ve şekil verme kolaylığı sağlanmıştır. Silika nanoparçacık katkılarla betondaki gözenekler tamamen kapatılmış son derece yoğun ve sert yapılar elde edilmiştir (Baykara, 2016).

Katalitik etkili titan-dioksit nanoparçacıkları çimento-beton uygulamalarında, kendi kendini temizleyen, kir tutmayan, anti-fungal, hava kirliliğinden meydana gelen kararmaları dahi gideren özelikler kazandırmaktadır. Özellikle prestijli yapılarda kullanılmaya başlamıştır. Örnek, şekil 5.6' de gösterilen Roma' daki Jubilee Kilisesi 2003 yılından bu yana beyaz renkli görüntüsüyle parlaklığını korumaktadır (Baykara, 2016).

Şekil 5.6. Jubilee Kilisesi (Baykara, 2016).

2. Isı ve ses yalıtımında kullanılan nanoyapılı malzemeler

Isı yalıtımı enerji verimliliği açısından oldukça önemlidir. Artan enerji tüketimi de yalıtımı önemli hale getirmektedir. Bu nedenle alanda sürekli yeni ve ileri malzemeler pazara sürülmektedir. Nanoboyutlu silika parçacıkları hafiflikleri ve yüksek yalıtım performansları ile dikkat çekmektedir (Baykara, 2016).

3. Farklı malzemeler üzerine yapılan İşlevsel nanokaplamalar

Cam, beton, ahşap, seramik karo-fayans, tuğla ve mobilya yüzeyleri kir ve su tutmayan, kendi kendini temizleme yeteneğine sahip, anti-fungal, anti-bakteriyal nano kaplama malzemeleri en yaygın uygulamalardır. Bu tür kaplamalarla aynı zamanda sızdırmazlık, duvar yazıları ve parmak izi bırakmayan özellikler yüzeylere kazandırılmaktadır (Baykara, 2016).

4. Yanmayı geciktiren malzemeler

Silika nanoparçacıkların köpük ile desteklenmiş pencere çerçevelerinde tutuşmayı (1000 ^{0}C) yaklaşık iki saat geciktirdiği gözlenmiştir. Ayrıca silika nanoparçacıklar, nanokil olarak yalıtım panelleri içerisinde yangına karşı koruma ve ısı yalıtımında yüksek performans göstermiştir (Baykara, 2016).

5.7. Savunma ve Güvenlik

ABD ordusu 2002 yılında Massachusetts Teknoloji Üniversitesinde, Askeri Nanoteknolojileri Enstitüsünü (ISN) kurmuştur. Bu enstitünün görevi ABD askerlerinin hayatta kalma ve performanslarını yükseltmek için çalışmalarda bulunmaktır. Askeri Nanoteknoloji Enstitisünde; vücut fonksiyonlarını takip ederek ısı düzenlemesi yapan, yaraları iyileştirici özelliği olan, kimyasal ve biyolojik saldırılara karşı koruyan savaş kıyafetleri üretilmektedir. Nanoteknoloji ile sağlanan fayda; hızı arttıran, küçük, ucuz ve hafif ürünler olmasıdır (Özer, 2019).

Savunma ve güvenlikle ilgili sektörler incelendiğinde aşağıda sıralan konular öne çıkmaktadır (Baykara, 2016).

1. Ulusal savunma ve güvenlik: Yüksek hız ve kapasitede işleyen komuta, kontrol, iletişim ve gözetim sistemleri, otomasyon ve robotikler, yeni sensör sistemleri, elektrokimyasal güçlerin (batarya-pil) etkin kullanımı,
2. Uzay-Havacılık: Yüksek dayanım, çok işlevli malzemelerle beraber küçük ve kompakt uçaklar, düşük ağırlık, İnsansız hava araçlarının kullanımı,
3. Diğer Tüm Nanoteknoloji alanları: Bilgisayar, İletişim-haberleşme sistemleri, enerji sistemleri, sensörler, nano yapılı malzemelerle yapılmış araç ve gereçler, geleceğin piyade savaşçısının donanımları, askeri nitelikli her türlü taşıtın donanımı, askeri kıyafet, kamuflaj, korunma, görünmezlik vb. gereksinimler.

Aşağıda çizelge 5.1' de askeri alanlarda nanoteknolojinin kullanıldığı savunma ve güvenlik alanlarından önemli başlıklar sınıflandırılmıştır.

Çizelge 5.1. Askeri Alanlarda Nanoteknoloji Kullanımı Sınıflandırması (Baykara, 2016).

ASKERİ ALANLARDA NANOTEKNOLOJİ KULLANIMI				
Etkinleştirici Teknolojiler	Küçük, Hafif ve Yüksek Yetenek Platformları		Sistem ve Alt Sistemler	Evrimsel ve Devrimsel Nitelikli Askeri Uygulamalar
MİKRO NANO İMALAT • Malzemeler • Kaplama • Cihazlar	MALZEMELER • Zırh • Uçak gövdesi • Tekstil • Enerjetik	CİHAZLAR • MEMS • NEMS • Aktüatör • Çip üstü lab. • Optik	• Güdüm • Kontrol • Güç sistemleri • İtki Sistemi • İmza kontrol • Akıllı/İntellijent • Malzemeler • Kendi kendine onarım	• Askeri araçlar • İnsansız araçlar • Robotlar • Silah Sistemleri • Komuta Kontrol • Piyade donanımı • İnsani performans
ATOM MOLEKÜLLERİNİN GÖRÜNTÜLENMESİ • Doğal • Sentetik • Biyo	YAPI • Membranlar • Elektrotlar	BİLGİSAYAR • İşlemciler • Ekran		
	SENSÖRLER • Basınç • Kimya • Biyolojik	LAZERLER		

5.8. Tekstil Sektörü

Nanoteknolojinin uygulama alanlarından biride tekstildir. Tekstilde nanoteknoloji uygulamaları, nano tekstil olarak ifade edilmektedir. Günümüzde tekstil ürünleri arasında en fazla bulunan nano ürünler nano-çoraplar (anti-bakteriyel), kir tutmayan, ütü istemeyen kırışmayan pantolonlar, perdeler, halılar bulunmaktadır. Bu ürünler dünya pazarına sürekli yenilenerek sürülmektedir (Baykara, 2016).

Kir tutmayan, su ve yağı iten, dayanıklı, kırışmayan, kendi-kendine temizlenme özellikleri olan kaplama ve nanoparçacıklar nanotekstiller için önemli uygulama alanlarıdır. Gelecekte giyilebilir elektronikler kavramı ile nano tekstilde sağlık durumunu izleyebilen giyecekler oluşturacaktır. Ayrıca nanokapsüllerle giyeceklerden hoş kuku salınımı gibi farklı yenilikçi ürünler ve yeni nesil boyalar tekstil moda sektörünün ilgi alanları arasındadır (Baykara, 2016).

Nano tekstillerle ilgili ilk nano ürünler, Burlington Industries , Kuzey Carolina , Greensboro' da bulunan Amerikan kumaş üreticisi tarafından yapılmıştır. Burada nanokaplama tekniklerinden yola çıkılarak tekstiller üzerine nanoyapılı malzemelerin uygulanması sonucu bilinen tekstil ürünlerinden farklı özelliklere sahip yenilikçi ürünler ortaya

çıkarılmıştır. Benzer durumun Türkiye gibi tekstil sektörünün güçlü olduğu ülkelerde de yaşandığı görülmektedir. Ülkemizde nanoteknoloji ilişkili ürünlerin başında nanotekstil ürünleri gelmektedir. Baskılama, püskürtme, emprenye, dolgulama-padding yöntemleri nano ürünler için uygulanmaktadır. Yenilikçilik olarak kabul edilen ve üzerinde durulan konular aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Baykara, 2016).

- Kırışma yapmayan toz tutmayan,
- Su ve yağ iticiliği olan, kir tutmayan,
- Anti-bakteriyel, anti-fungal özellikte,
- Ter emen,
- Sıcak ve soğuk geçirmeyen,
- Üzerine elektronik devre montajı yapılabilen,
- Dayanıklı, Tutuşma özelliği olmayan,
- Nefes alabilen, hoş koku salan,
- Ortama uygun renk değiştirebilen,
- Kurşun geçirmeyen, bıçak, şiş darbelerine dayanıklı delinmeyen özellikler olarak sıralanabilir.

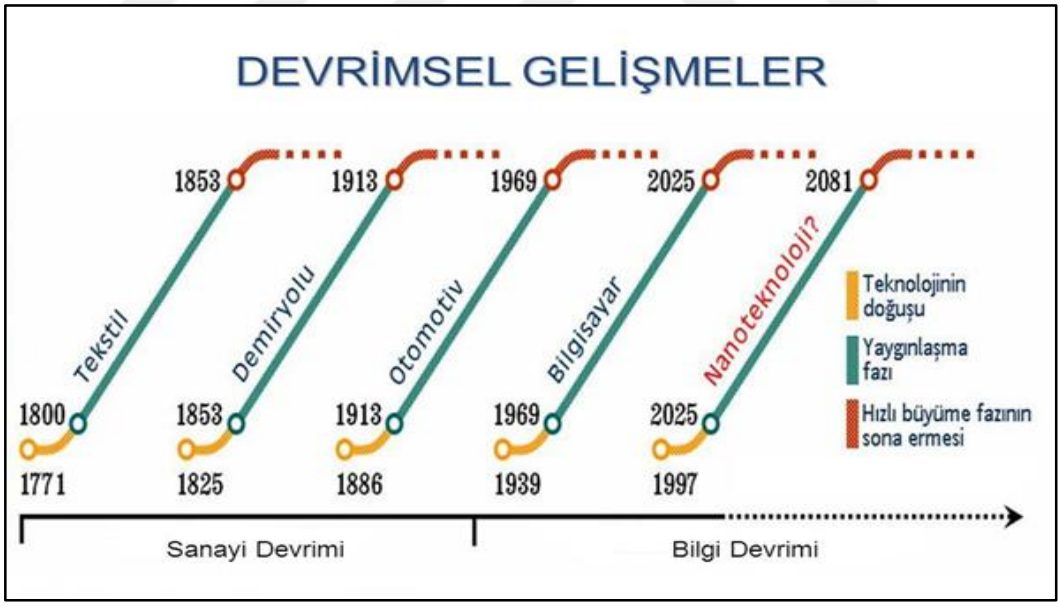
6. NANOTEKNOLOJİDE MEVCUT DURUM

Bu bölümde nanoteknolojinin önemi dünyada nanoteknolojiye yapılan AR-GE harcamaları ve ülkelerin nanoteknoloji stratejileri ile Türkiye' de nanoteknolojide ki mevcut durum incelenecektir.

6.1. Dünyada Mevcut Durum

Uluslararası rekabet, ekonomileri az enerji tüketerek katma değeri yüksek ürünlere yöneltmiştir. Bu nedenle bilim ve teknoloji kaynaklı yeni fikir ve buluşlara sahip girişimcileri desteklemek ulusal ekonomilerin öncelikli politikası olmuştur. Bu yönden bakıldığında nanoteknoloji, dünya ölçeğindeki sosyoekonomik faydaları, yeni iş imkânları ve katma değeri yüksek tüketim ürünleri sağlaması nedeniyle gelişmiş ülkelerin politika ve stratejilerinde önemli bir yere sahiptir (Anonim, 2017).

Yeni yüzyılda devrimsel gelişme olarak görülen nanoteknoloji henüz emekleme aşamasındadır. 2025 yılında gelişimini tamamladıktan sonra hayatın her alanında yer alacağı beklenmektedir (Bayındır, 2007). Şekil 6.1'de bu süreci özetlemektedir.



Şekil 6.1. Teknoloji Devrimleri (Çıracı, 2007)

Nanoteknolojinin tıp, tarım, malzeme, elektronik ve savunma gibi birçok endüstriyel alanı yakından ilgilendirmesi ayrıca gelişime açık olması gelecekte devletlerarası güç dengesini belirleyeceğini düşündürmesi ülkeler tarafından fark edilmesine ve bu alana çok büyük AR-GE yatırımları yapılmasına neden olmuştur (Anonim, 2017).

Dünyada devlet ve yükseköğretim sektörlerinde (okul içi) nanoteknolojiye ayrılan AR-GE harcamaları 2009 yılında toplam 894,6 milyon dolar iken 2020 yılında toplamda 4 milyar dolara yaklaşmıştır. Çizelge 6.1' de Devlet ve yükseköğretim sektörlerinde (okul içi) nanoteknoloji AR-GE harcamaları (2015 – 2021) görülmektedir.

Çizelge 6.1. Devlet ve Yükseköğretim Sektörlerinde (Okul İçi) Nanoteknoloji AR-GE Harcamaları, 2015-2021 / Milyon ABD Doları (OECD, 2022).

Ülkeler	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Belçika	419,9	-	511,3	-	641,8	-	
Çek Cumhuriyeti	70,0	90,2	104,7	132,9	146,5	126,7	99
Danimarka	57,3	53,4	58,6	60,8	44,4	-	
Almanya	313,0	334,8	349,7	343,8	370,0	418,4	
İrlanda	-	-	2,0	-	-	-	
İtalya	256,6	185,9	235,3	262,8	288,3	299,9	
Japonya	537,9	547,0	545,0	552,0	549,2	549,9	
Güney Kore	934,0	912,3	983,8	971,0	977,0	1.206,8	
Letonya	-	1,6	2,9	5,3	7,9	3,2	
Litvanya	-	-	-	7,6	8,0	14,0	203
Meksika	14,6	13,0	-	-	-	-	
Norveç	35,9	-	42,5	-	62,7	-	
Polonya	132,0	78,0	84,1	99,9	99,5	125,5	
Portekiz	22,0	19,1	25,7	35,0	36,3	27,2	
Rusya	694,8	797,2	687,6	830,4	786,9	935,8	
Slovenya	0,5	0,8	1,0	2,3	1,3	0,71	
Toplam	3.488,6	3.033,3	3.634,1	3303,9	4.019,8	3.708,2	302

Çek Cumhuriyeti ve Litvanya için 2021 verileri ön verilerdir. Danimarka için 2019 verileri ön veri niteliğindedir. Almanya için, yükseköğretim sektörü hariç toplam federal kamu nanoteknoloji AR-GE harcamaları yer almaktadır. İtalya için, yükseköğretim sektörü hariçtir. Polonya için kar amacı gütmeyen özel sektörde dâhildir (OECD, 2022).

Dünyada iş sektöründe nanoteknolojiye ayrılan AR-GE harcamaları 2008 yılında yaklaşık 1,1 milyar dolar iken 2020 yılında yaklaşık 26 milyar dolara çıkmıştır. Çizelge 6.2'de İş sektöründe nanoteknoloji AR-GE harcamaları (2015-2021) görülmektedir.

Çizelge 6.2. İş Sektöründe Nanoteknoloji AR-GE Harcamaları, 2015-2021 / Milyon ABD Doları (OECD, 2022).

Ülkeler	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Belçika	172,7		216,1		293,6		
Kanada		38,9	37,4	45,9	51,3	74,7	
Çek Cumhuriyeti	64,7	67,9	66,4	111,3	114,6	136,2	145,5
Danimarka	27,4	-	13,3	-	16,8	-	
Finlandiya		-	38,2	-	-	-	
Fransa	956,9	1.129,1	1.126,0	1.143,4	1.463	1.478	
Almanya	-	-	2.309,4		2.791,3	-	
İrlanda	38,5		199,4		168,3	-	
İtalya	220,6	182,5	204,9	205,9	203,4	222,5	
Japonya (*)	894,9	945,3	905,2	1.013,4	1.069	1.288,6	
Litvanya	-	-	-	4,3	5,8	18,6	19,6
Meksika	37,8	21,7	-	-	-	-	
Norveç	36,4	30,6	35,5	35,8	45,3	30,54	
Polonya	127,3	19,9	23,2	25,4	34,88	33.86	
Portekiz	8,3	6,6	8,6	10,1	10,7	9,9	
Rusya (*)	517,6	511,6	899,1	450,4	1.005,8	294,2	
Slovenya	6,2	1,7	2,2	1,4	0,8	1,4	
İsviçre	190,6	-	152,5	-	135,2	-	
A.B.D (*)	21.616,7	25.304,6	18.237	16.799	23.484	22.422	
Toplam	24.916,61	28.260,48	24.474,2	19.846,3	30.893,8	26.010,6	165,1

Çek Cumhuriyeti ve Litvanya için 2021 verileri ön verilerdir. Danimarka için 2019 verileri ön veri niteliğindedir. Japonya için ödenmiş sermayesi 100 milyon yen veya daha fazla olan ticari işletme sayısı yer almaktadır. Rusya Federasyonu için, nanoteknolojide AR-GE yapan küçük işletmelere yer verilmemiştir. Amerika Birleşik Devletleri için, 2017'den önceki istatistikler, Amerika Birleşik Devletleri'nde 5 veya daha fazla çalışanı olan şirketlere dayanmaktadır. 2017'den başlayarak, anket 10 veya daha fazla çalışanı olan şirketleri içermektedir (10'dan az çalışanı olan şirketler ayrı bir ankete, Yıllık İş Anketi'ne dahil edilmiştir). 2018'den itibaren istatistikler, 50.000 ABD Doları veya daha fazla AR-GE gerçekleştiren veya finanse eden şirketler içindir (OECD, 2022).

Dünya geneli nanoteknoloji AR-GE harcamaları (Devlet ve yükseköğretim sektörleri ile iş sektörü) 2010 yılında yaklaşık 16.6 milyar ABD doları iken 2020 yılında yaklaşık 29.7 milyar ABD dolarına ulaşmıştır. Sektör on yıllık süreçte %78.9 büyüme göstermiştir. Bu nedenle değişen teknolojiye ve piyasa koşullarına ayak uydurmak zorunda olan gelişmiş ülkeler nanoteknoloji AR-GE harcamalarını giderek arttırmaktadır.

6.1.1. Ülkelerin Nanoteknoloji Stratejileri

ABD

2004 ve 2011 yıllarında iki adet stratejik plan yayınlamıştır. 2014 yılında ABD Nanoteknoloji İnisiyatifi (NNI) tarafından bu stratejik plan güncellenmiştir. Güncellenen bu planda NNI' nın vizyonu *"Teknoloji ve sanayide devrim yapılmasını sağlayacak şekilde, maddeyi nano ölçekte anlama ve kontrol edebilme kabiliyeti olan bir gelecek"* tanımlanmıştır (Anonim, 2017).

Japonya

1990 yılında yaşadığı ağır ekonomik kriz sonrasında ülkenin hızlı kalkınmasını ancak bilim ve teknolojiden yararlanılarak olabileceğini karara bağlamış ve bu nedenle 5 yıllık politikalar hazırlamıştır. Hazırlanan politikaların ikincisinde "II. Bilim ve Teknoloji Temel Planı 2001-2005" da belirlediği dört öncelikli alandan birisi "nanoteknoloji ve malzeme bilimi" teknolojisidir. Üçüncü politikada "III. Bilim ve teknoloji Temel Planı 2006-2010" Bilim ve teknoloji alanında yüksek performans elde edilmesi için yapılacak çalışmalar üzerinde durulmuştur. "Nanoteknoloji Platformu Japonya (NTPJ) 2012-2021" plan ve programı ile Eğitim, Kültür, Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı yüksek teknoloji, araştırma ve bilgi birikimi olan enstitülerin ortak çalışması ile bilimsel yenilikler için güvenilir bir araştırma alt yapısı oluşturmayı hedeflemiştir (Anonim, 2017;StatNano, 2022).

Avrupa Birliği

Avrupa Birliği Çerçeve Programları kapsamda, Avrupa Birliğinde Horizon 2020 programıyla nanoteknoloji stratejisi hazırlanması için farklı nanoteknoloji alanlarında Avrupa teknoloji platformları kararlaştırılmıştır. Almanya, Avrupa Birliği ülkeleri içinde nanoteknoloji ile ilgili çalışmalara ilk başlayan ülkedir. Bu kapsamda rekabet edebilirliği sürdürebilmek için AR-GE ve yeniliğe önem vererek "2015 Nano Teknoloji Eylem Planı" hazırlamıştır (Anonim, 2017).

Rusya

Swiss Business Hub Russia (2011) Rusya (aktaran Anonim, 2017) hammadde ithalatını azaltmak için nanoteknolojiyi stratejik sektör olarak tanımış nanosanayiyi desteklemek için 11 milyar ABD doları bütçe ayırmıştır. Ayrıca nanoteknoloji alanında, ticareti geliştirmek için RUSNANO' yu kurmuştur.

Güney Kore

Öztürk, S. (2013**)** Güney Kore (aktaran anonim, 2017) 2001 yılında Ulusal Teknoloji Geliştirme Planları ile nanoteknolojide AR-GE çalışmalarına başlamıştır. Beş yıl sonra nanosanayi kurmak için yeni bir plan hazırlamıştır. 2010'da üçüncü Kore Ulusal Nanoteknoloji Geliştirme Planını hazırlayarak gelecek on yılın hedeflerini belirlemiştir.

Çin

Luther, W. (2004) Çin, (aktaran TUSİAD, 2008) 5 yıllık nanoteknoloji inisiyatifi (NNI) programına 2001 yılında başlamıştır. 1991'den 2001 yılına kadar olan süreçte Çin, ABD ve Japonya'dan sonra nanoteknoloji alanındaki yayınları bakımından üçüncü sıradadır. Çin'in NNI programı çerçevesinde en büyük ve tek teşebbüsü "Ulusal Nano Bilim Merkezi" dir. Çin yabancı sermaye yatırımları için cazip bir pazar olması nedeniyle gelecekte de nanomalzemelerin en önemli tedarikçisi olacağı tahmin edilmektedir.

İsrail

Luther, W. (2004) İsrail' de (aktaran TUSİAD, 2008) nanoteknoloji ve nanobilim doksanlı yılların sonlarında İsrailli bilim topluluğunun dikkatini çekmiştir. Bilim Bakanlığı konu ile ilgili stratejik araştırma programı başlatmıştır. Program ulusal öncelik alanları ve AR-GE uğraşılarına göre seçilmiştir.

- "Gelişmiş Malzemeler ve Kimyasal Teknolojiler için AR-GE Ulusal Komisyonu" Nanokimya ve nanomalzemeyi ulusal önceliğe sahip ilk 5 konu arasına almıştır.
- "Mikro elektronik ve Elektro-optik Teknolojiler Ulusal Komitesi" nanoteknolojiyi ulusal önceliğe sahip konulardan biri olarak belirlemiştir.

6.2. Türkiye' de Mevcut Durum

Sanayi devrimini kaçıran veya bu sürecin içerisine geç giren ülke olarak gelecekte stratejik bir role sahip olacak nanoteknoloji de yetkin olma ve doğru adımları atma, ülkenin

güvenlik ve refah seviyesinin arttırılması, rekabetçi ve sürdürülebilir bir kalkınma hedefinin oluşturulması için oldukça önemli bir adım olacaktır (TUSİAD, 2008).

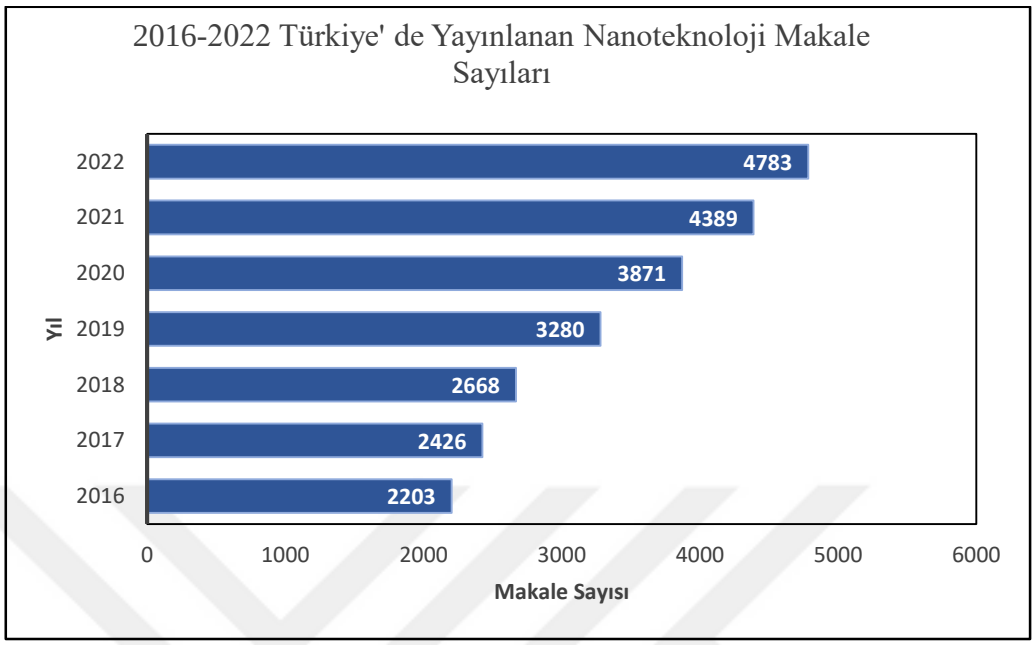
Türkiye' de ekonominin yenilikçi üretim yaklaşımları ile istikrarlı yüksek büyümesini sürdürülebilir hale getirmek, temel politika belgeleri ile sektör strateji belgelerinin ortak hedefi haline gelmiştir. Bu nedenle nanoteknoloji ile ilgili ilk akla gelen belge Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri -Vizyon 2023 projesi- dir. Bu belgede nanoteknoloji, önümüzdeki 10-15 yıl sürecinde büyük, şaşırtan ürünler ve yeni pazarlar ile insan yaşamı ve ekonomide radikal değişiklikler sağlayacak bir alan şeklinde tanımlanmış ve bu amaçlar yönünde bir nanoteknoloji yol haritası hazırlamıştır. Bu doğrultuda nanofotonik, nanoelektronik, nanomanyetizma, nanomalzeme, yakıt hücreleri ve enerji, nanokarekterizasyon, nanofabrikasyon, nano ölçekte kuantum bilgi işleme ve nanobiyoteknoloji öncelikli faaliyet alanları olarak görülmüştür. Bu alanların her birinde politika, strateji ve hedefleri belirten yol haritaları oluşturulmuştur. Bu yol haritası, yetişmiş insan kaynaklarını sağlama, üniversite ve sanayiinin AR-GE altyapısını oluşturma, yasal düzenlemeleri sağlama, araştırma merkezlerinin sayısını arttırma, teknoparkların yaygınlaştırılması amaçlarını yerine getirmektedir. Dünyada ve Türkiye'de değişen sosyoekonomik koşullar, Onuncu Kalkınma Planı, Türkiye Sanayi Stratejisi Belgesi, Orta Vadeli Program, Türkiye Sanayi Stratejisi ve Ulusal Bilim, Teknoloji ve Yenilik Stratejisi ve Eylem Planı'nda yer alan temel ilkeler, politikalar ve hedefler değerlendirilerek Türkiye Nanoteknoloji Stratejisi ve Eylem Planı (2017-2018) hazırlanmıştır. Bu belgenin genel amacı, nanoteknolojiyi devamlı geliştiren, katma değeri yüksek ürünler elde ederek ihracatta payını yükselten bir ülke konumuna getirmek şeklinde belirlenmiştir (Anonim, 2017).

Nanoteknoloji, disiplinler arası bir çalışma alanı olması, alandaki öğretim üyelerinin birçok alanda birden çalışıyor olması gibi nedenlerle tam olarak sayı ortaya konulamamakla birlikte, Türkiye'de 2021-2022 eğitim yılında 44 üniversitede nanoteknoloji ile ilgili lisans, yüksek lisans ve doktora programları yer almıştır. (6 lisans, 17 yüksek lisans ve doktora programı, 18' inde sadece yüksek lisans, 3'ünde sadece doktora programı) 13 Üniversitede (11 Devlet, 2 vakıf) nanoteknoloji ile ilgili anabilim dalı programı kurulmuştur. Anabilim dalı programlarında toplam 85 öğretim elemanı yer almaktadır. Ayrıca 3 üniversitede (2 devlet, 1 vakıf) nanoteknoloji ile ilgili enstitü kurulmuştur. Enstitülerde toplam 30 öğretim elemanı bulunmaktadır. Tüm bunların yanında üniversitelerde 15 nanoteknoloji araştırma merkezi mevcuttur. Çizelge 6.3' Nanoteknoloji araştırma merkezleri gösterilmiştir (YÖK, 2022).

Çizelge 6.3. Nanoteknoloji Araştırma Merkezleri (YÖK, 2022).

S.N	ÜNİVERSİTE	ARAŞTIRMA MERKEZİ
1	Ankara Üniversitesi	Nanobilim ve Nanomühendislik Uygulama ve Araştırma Merkezi
2	Atatürk Üniversitesi	Nanobilim ve Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
3	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi	Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
4	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	Nanobilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
5	Erciyes Üniversitesi	Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
6	Gebze Teknik Üniversitesi	Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
7	İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi	Ulusal Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
8	İstanbul Teknik Üniversitesi	Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
9	Koç Üniversitesi	Bilimsel Ve Teknolojik İleri Araştırmalar İçin Nanofabrikasyon ve Nanokarakterizasyon Uygulama Ve Araştırma Merkezi
10	Konya Teknik Üniversitesi	Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Geliştirilmesi Uygulama Ve Araştırma Merkezi
11	Marmara Üniversitesi	Nanoteknoloji Ve Biyomalzemeler Uygulama Ve Araştırma Merkezi
12	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
13	Sabancı Üniversitesi	Nanotanı İçin Fonksiyonel Yüzey Ve Arayüzler Uygulama Ve Araştırma Merkezi
14	Sabancı Üniversitesi	Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
15	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	Nanofotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi

Türkiye’de yıllara göre nanoteknoloji ile ilgili yayınlanan makale sayıları Şekil 6.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. 2016-2022 Yılları Arasında Türkiye’de Yayınlanan Nanoteknoloji Makale Sayıları (StatNano, 2022).

7. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde literatürden elde edilmiş olan bilgiler detaylandırılarak, nanoteknolojinin tarımda uygulama alanları; hastalıkların hızlı teşhis ve tedavisi, nano ilaçlar, parazitoloji ve aşı araştırmaları, hayvan besleme, bitkisel üretim ve büyüme, abiyotik stres, nano fitopatoloji, bitki zararlı yönetimi, hasat sonrası tarım ürünlerinin muhafazası ve depolanması ve çevre kirliliği ile ilgili bilgilere yer verilerek bu alanda üretim yapan işletmeler (Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli) ve ürün desenleri hakkında bilgilere yer verilecektir.

7.1. Nanoteknolojinin Tarımda Uygulama Alanları

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO 2017) dünya nüfusunun 2050 yılında 9,1 milyara ulaşacağını öngörmektedir. Bitkisel üretim yapılacak verimli tarım arazilerinde sona yaklaşılması ve nüfus artışı kişi başına düşen tarım alanlarını da azalmaktadır. Ayrıca toprakta erozyon, tuzlanma, pH, sıkışma, kirlenme, organik madde kaybı, mineral besin elementi eksikliği tarzı problemlerde bulunmaktadır. Bitkisel üretim için kullanılan 1.47 milyar hektar arazinin yapılan tahminlere göre %38'i bozulma aşamasındadır. Bu süreci tarım alanı kazanmak için ormanların yakılması, su kaynaklarının kirletilmesi daha da olumsuz hale getirmektedir (Gökırmaklı ve Bayram, 2018). Tüm bunlar göze alındığında tarımsal üretimde yeni teknolojilerin kullanımını kaçınılmaz olacaktır.

Nanoteknoloji tarımda; çevresel koşulları takip etme ve iyileştirme, hayvansal ve bitkisel besin üretimi ile pestisit üretimi için yeni sistemler tasarlama, üretimde verim ve kaliteyi arttırma ve katma değeri yüksek ürünler elde etmede kullanılabilecek özellikler taşır.

Nanoteknolojinin tarımda uygulama alanları; hastalıkların hızlı teşhis ve tedavisi, nano ilaçlar parazitoloji ve aşı araştırmaları, hayvan besleme, bitkisel üretim ve büyüme, abiyotik stres, nano fitopatoloji, bitki zararlı yönetimi, hasat sonrası tarım ürünlerinin muhafazası ve depolanması, çevrede bulunan zararlı ve zehirli maddelerin tespit ve teşhisi, su ve topraklarda kirliliğin azaltılması olarak açıklanabilir.

7.1.1. Hastalıkların Hızlı Teşhis ve Tedavisi

Nanoölçekte görüntüleme, biyoçip, mikrodizi, nanoparçacık temelli nükleik asit tanıları, nanoproteomik tanılama, biyobarkod testi, DNA nanomakine, nanoparçacık tabanlı bağışıklık testleri, nanobiyosensörler, kuantum noktalar, nanosheller (nano kabuklar) vb. gibi nanoteşhis teknolojileri teşhis alanında giderek önem kazanmaktadır. Hücre bileşenleri genellikle nano

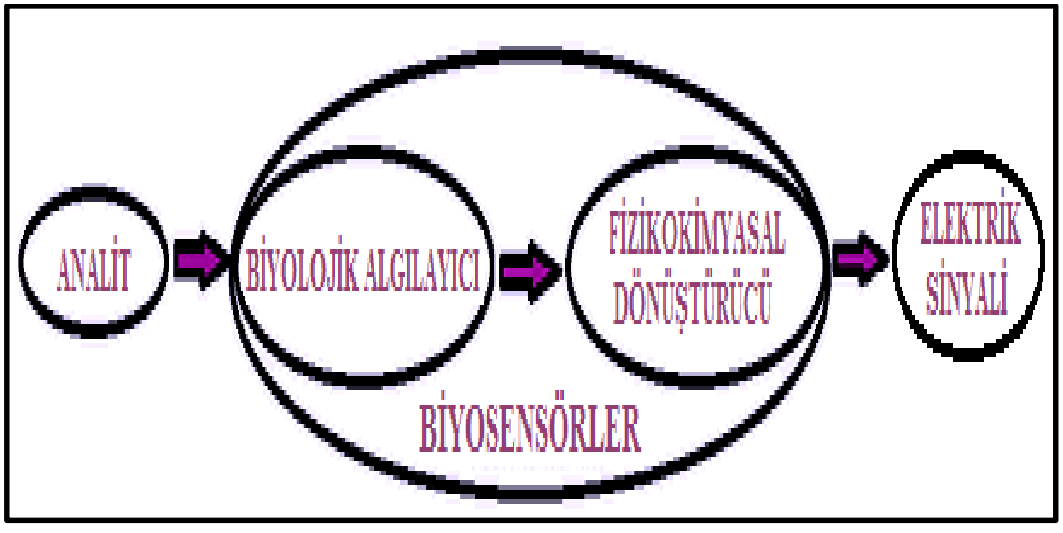
boyutlarda olduğu için bu molekülleri izleyip teşhis edebilen cihazlarında nano ölçekteki boyutlarda olması gerekmektedir (Saçaklı, 2013).

7.1.1.1. Biyoçip ve Mikrodizi Cihazlar

Bu cihazlara örnek olarak nanoakışkan diziler ve protein nanobiyoçipler gösterilebilir. Nanoakışkan cihazlar, DNA ve protein algılama gibi teşhis ile ilgili olan biyomoleküllerin analiz ve izolasyonunda umut vericidir. Çiplerin bu özellikleri kanser için yeni algılama düzenleri oluşturmuştur (Yakar A., 2018). Biyoçipler hayvan hastalıklarının erken teşhisinde kullanılabilmektedir. Deli dana, kuş gribi gibi patojenlerin kaynağını tespit etmede, gıda ve yemlerin kaynağını izlemede kullanılabilir (Saçaklı, 2013).

7.1.1.2. Biyosensörler

Biyosensör, biyolojik bir bileşeni fizikokimyasal çevirici ile birleştirerek kimyasal bir maddenin tespit edilebilmesi için kullanılan analitik cihazlar olarak tanımlanır. Çalışma prensibi, analiz edilecek madde ile biyolojik bir elementin etkileşime girmesine dayanmaktadır. Bu etkileşim sonucu ortaya çıkan değişiklikler (fiziksel, Kimyasal vb.) biyolojik elementin fizikokimyasal bir çevirici ile birleştirilmesi sonucu ölçülebilen elektrik sinyale dönüştürülmesidir (Ebadı, 2015). Şekil 7.1.'de biyosensörlerin blok gösterimi verilmiştir.



Şekil 7.1. "Biyosensörlerin Blok Gösterimi" (Tüylek, 2017 b).

Biyosensörler, biyoreseptör ve dönüştürücü tipine göre sınıflandırılabildikleri gibi iletim ve ölçüm sistemleri arasındaki ilişkiye göre de sınıflandırılabilmektedir. Biyoresöptör tipine göre nükleik asit etkileşimi, biomimetrik malzeme etkileşimi, antikor-antijen etkileşimi, enzimatik etkileşim ve hücresel etkileşim olarak sınıflandırılır. Dönüştürücü tipine göre

elektrokimyasal, termal, manyetik, optik ve kütle hassasiyetine dayalı ölçümler şeklinde sınıflandırılmaktadır. İletim ve ölçüm sistemleri arasındaki ilişkiye göre yapılan sınıflama ise çizelge 7.1.' de gösterilmiştir (Tüylek, 2017 b).

Çizelge 7.1. "Biyosensörlerin, İletim ve Ölçüm Sistemlerine Göre Sınıflandırılması" (Tüylek, 2017 b).

Biyosensörler	**Sınıflandırma**
Elektrokimyasal Esaslı Biyosensörler	-Amperometri Esaslı Biyosensörler (Elektrotlar) -Potansiyometri Esaslı Biyosensörler (Elektrotlar) -Yarı İletken (kondüktometri) Esaslı Biyosensörler (Transistörler)
Optik Esaslı Biyosensörler	-Fotometri Esaslı Biyosensörler (Optik Lifler) -Fluorometri Esaslı Biyosensörler (Optik Lifler) -Biyolüminesans Esaslı Biyosensörler (Optik Lifler)
Kalorimetri Esaslı Biyosensörler	-Termistörler (Isı, İzotermal, İzoperibol)
Piezoelektrik Esaslı Biyosensörler	-Piezoelektrik Kristaller

Biyosensörler küçültülebilir özellikte, maliyeti düşük ve kullanıma uygun oldukları için, tıp, mühendislik, kimya ve biyoloji gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. (Subak, 2019). Biyosensörler, tarımda suni gübre, kötü koku, pestisit, bitki ve hayvan hastalıkları ölçümünde kullanılmaktadır. Biyosensörler, toprak ve yeraltı sularında ağır metal ve pestisit seviyelerini ölçmede, günümüz teknolojisi ile belirlenemeyen toprak hastalıklarının oluşumunu tahmin etmede kullanılabilir. Biyosensör kullanarak toprak hastalıklarının erken dönemde önlenmesi ve dezenfekte edilmesi de sağlanabilir (Boz, Paylan, Kızmaz ve Erkan, 2017).

Biyosensörlerin tarımda diğer bir kullanım alanı bitki patojenlerinin, bakterilerin ve virüslerin hızlı tespitidir. Tarımsal üretimde bakteriler, funguslar, virüsler, viroidler, fitoplazma ve nematodlar gibi bitki patojenleri dünya çapında önemli derecede ürün kayıplarına neden olmaktadır. Tarla ve seralarda bir bitki hastalığını tedavi etmenin ön koşulu bitki patojenlerinin tespit edilmesidir. Bitki patojenlerinin tespitinde ELİSA gibi immünolojik teknikler ile PCR gibi DNA esaslı teknikler kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler, zaman alıcı, kullanımı basit olmayan ekipmanlar gerektiren ve yerinde (tarla-sera) analiz yapımına da uygun olmayan

yöntemlerdir. Bu nedenle biyosensörler bitki patojenlerinin tespitinde hızlı, yerinde analize uygun, kullanımı kolay ve ucuz cihazlar olması nedeniyle tercih edilmektedir Örnek; Tarımsal alanda yapılan bir çalışmada mısır klorotik mozaik virüsü, yüzey plasmon rezonans (SPR) temelli biyosensör ile hızlı bir şekilde teşhis edilmiştir (Boz vd., 2017).

Fang ve Ramasamy (2015) yayınladıkları bir makalede son on yılda mağrul mozaik virüsü, börülce mozaik virüsü, tütün mozaik virüsü, buğday başak yanıklığı, tahıllarda sarı pas, yerfıstığında kök boğazı çürüklüğü, orkide virüsleri ve patates mildiyosu gibi bitki patojenlerinin tespitinde kullanılan antikor temelli biyosensörlerin kapasitesini gösteren birçok makalenin yayınlandığını açıklamışlardır. Hıyar mozaik virüsü (CMV) ve patates Y virüsü (PVY)'nü tespit etmek için taşınabilir hücre biyosensörü geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın tarla içi uygulamalar için taşınabilir bitki virüsü tespit sisteminin geliştirilmesi açısından önemli bir adım olduğu belirtilmiştir (Boz vd., 2017).

Tarımda kullanılan bir diğer biyosensör ise elektronik burun (E-nose)' dur. Elektronik burun, uçucu bileşik ve kokuları algılamaya çalışan, insan koku alma mekanizmasını taklit edebilen elektronik bir cihazdır. Tarımda, meyve olgunluk tayininde (Üzüm olgunluk tayini), balıkların tazelik kontrolünde ve toprak kaynaklı patojenlerin tespitinde kullanıldığı belirtilmiştir (Boz vd., 2017).

Mikotoksinler, Alternaria, Aspergillus, Claviceps ve Penicillium gibi mantar türlerinin ikincil metabolizması sonucu meydana gelen molekül kütleleri küçük, kimyasal yapıları çok farklı olan, doğal toksinler olarak bilinirler. İnsan ve hayvan sağlığı üstünde güçlü toksik etkileri bulunmaktadır. Sağlık üzerinde olumsuz etkilere sahip önemli sorunlara yol açan bazı mikotoksinler (aflatoksin B_1, okratoksin, trikotesen, zearalenon penitrem A ve patulin) karsinojenite, dermatoksisite, östrojenizm, nefrotoksitite ve mutajenite gibi etkiler oluşturmaktadır (Girgin, Başaran ve Şahin, 2001). "Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği" eklerinde "Gıdalardaki Bulaşanların Maksimum Limitleri" belirtilmiştir. 2004 yılında yayınlanan bir derlemede, mikotoksinlerin belirlenmesinde, antijen-antikor ilişkisine dayalı ELİSA yöntemi ile yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC) yöntemlerinin kullanıldığı belirtilmektedir. Kullanılan bu yöntemlerin haricinde mikotoksin analizi için biyosensörlerin kullanımının daha iyi olduğuna yönelik mevcut çalışmaların bulunduğu bildirilmiştir. Yapılan bir çalışmada, biyosensör ile zeytinyağında aflatoksin tespitinin yapıldığı açıklanmıştır (Boz vd., 2017). Yapılan başka bir tarımsal çalışmada bakteri kökenli fitopatojenlerin (Pseudomonas syringae pv. Tomato ve Xanthomonas campestris pv.

Vesicatoria) tespitinde patojen DNA'sının kullanıldığı akustik biyosensörler bulunmaktadır (Boz vd., 2017).

Biyosensörler tarımda süt teknolojisi uygulamalarında ise, süt bileşenlerinin tespitinde (Su, Yağsız kuru madde, Yağ, laktoz, protein, kazein, kuru maddede yağ, minareller ve organik asitler), Süt kontaminantlarının tespitinde, (veteriner İlaçları, ağır metaller, radyoaktif madde kalıntıları, pestisitler, mikotoksinler, genetiği değiştirilmiş organizmalı ürünler, nitrat kontamisyonu) ve mikroorganizmaların tespitinde kullanılmaktadır (Boz vd., 2017).

Son olarak biyolojik savaş ajanı ve çevresel kirleticilerin izlenmesinde de biyosensörler kullanılmaktadır. Örnek, bacillus anthracis (şarbon bakterisi) tespiti (Subak, 2019).

7.1.1.3. Nanobiyosensörler

Nanobiyosensörler 1990'lı yılların sonlarından itibaren kullanılmaya başlamıştır (Tüylek, 2021). Nanobiyosensörler, biyokimyasal veya biyolojik bir olayı kompakt bir prob ve herhangi bir optik, elektronik veya manyetik teknoloji kullanarak ölçebilen cihazlardır (Göktürk ve Denizli, 2018). Nanoparçacıcık, nanotel veya kuantum noktalarla yapılmış nanobiyosensör çeşitleri mevcuttur. Ayrıca bunların haricinde önemli bir potansiyele sahip olan alan-etki transistörleri ve elektronik tespite dayalı sensörlerde bulunmaktadır (Baykara, 2016). Nanobiyosensörler kan, ter, gözyaşı, tükürük, idrar, sperm gibi vücut sıvalarından alınan çok küçük örnekler ile kısa zamanda onlarca bilginin mikro ve nano ölçeklerde temin edilebildiği oldukça hassas ölçüm cihazlarıdır. Canlı organizmada bulunan biyolojik maddeler mg/L veya mmol/L düzeyindedir. Nanobiyosensörlerle nmol/L veya pmol/L seviyesinde ölçüm yapılabilmektedir. Böylece organizmadaki değişiklik anında tespit edilip ölçülebilir ve gerekli müdahale vakit geçirilmeden yapılabilir. Hastalık erken dönemde teşhis edileceğinden tedavi sürecine başlanır. Bu nedenle nanobiyosensör uygulamalarına günümüzde oldukça ihtiyaç vardır (Tüylek, 2021).

Kan birçok organın sağlıklı veya hastalıklı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle günümüz teknolojileri ile yapılan kan testleri en yaygın klinik tanı uygulamalarıdır. Kan sıvısı moleküler parmak izi tespiti ile sağlık ve hastalık değerlendirilmelerine olanak sunmaktadır (Tüylek, 2021). "Moleküler elektronikler ve nano ölçekli kimyasal sensörler, bir sıvıdaki kimyasalları tespit edebilen mikroskobik sensörlerdir" (Tüylek, 2021, s.23). Kandan büyük oranda bilgi sağlayan bu cihazlar makroskobik doku hacmindeki küçük kimyasalların özelliklerini de ortaya çıkarır. Nano biyosensörlerin uzun süreli kullanımı değişikliklerin takibi

ve hastalığın teşhisi için umut vericidir. Yakın gelecekte nanoteknoloji ile geliştirilen biyosensörler, sadece teşhiste değil, kişiselleştirilmiş tıbbın tedavisi ve geliştirilmesi ile ilişkilendirilmesinde önemli rol oynayacaktır. Bir diğer uygulama alanı kanserde erken teşhis olacaktır. Günümüzde mevcut yöntemlerle konulan kanser teşhisinde tedavi için genellikle çok geç kalınmaktadır. Nanobiyosensörler, gelecekte kanserin erken teşhis ve tedavisinde kullanılabilecek biyolojik belirteçlerin saptanmasında hassasiyet sağlayacaktır (Tüylek, 2021). Tarımda nano biyosensörlerin uygulama alanları olarak; zirai kimyasal kalıntı, GDO, patojen, gaz, kanser, biyotoksin tespiti gösterilebilir.

7.1.1.4. Kuantum Noktalar

Kuantum noktalar, boyutu birkaç nanometre olan yarıiletken parçacıklardır. Kuantum noktaların özellikleri geniş ve sürekli absorpsiyon (soğurulma) spektrumu, dar emisyon (yayılma) spektrumu ve yüksek ışık kararlılığı gibi eşsiz lüminesans ve elektronik özelliklerdir. Ayrıca kuantum noktaların optik ve elektronik özellikleri boyutları ile değişim göstermektedir. Kristal çapları genellikle 1-10 nanometre aralığındadır. Boyutları deneysel olarak ayarlanabilen kuantum noktalar uygulamalara özgü özellikte sentezlenebilmektedir. Kuantum noktaların optik ve elektronik özellikleri nedeniyle biyosensörler, kimyasal sensörler, biyogörüntüleme, fotokataliz ve elektrokataliz, fotovoltaik cihazlar ve ışık saçan diyotlar gibi pek çok uygulama alanlarında görülmektedir (Patır ve Aslan, 2018). Kuantum noktaları DNA hasarlarının tespiti için büyük umut vaat etmektedir (Yakar A., 2018).

7.1.1.5. Nanosheller (Nano Kabuklar)

Nanoshelller, ilaç dağıtımı, kanser tanısı ve tedavisi için geliştirilmiştir. Merkez noktasında silisyum çekirdek olan ve üstü altın tabaka ile kaplanmış küreciklerdir. İstenen dalga boylarındaki ışığın emilmesi için altın tabakanın kalınlığı değiştirilebilir. Nanoshelllerin yüzey kısmına antikor ve/veya kanser tedavisinde kullanılan ilaçlar konularak kanserli hücrelere yönlendirilir. Kanserli hücreler fagositoz yoluyla nanoshelleri içine alır. Hücre içine alınan nanosheller enzimler ile metabolize edilip hücreden atılmak istenir. Ancak nanosheller metabolize edilemezler. Bu nedenle kanserli hücreler hedef alındıktan sonra elverişli dalga boyunda kızılötesi (NIR) ışık ile ısı yaymaları sağlanır. Yayılan ısı sağlıklı hücrelere zarar vermez böylece nanosheller tümör hücrelerini yok ederek çevresindeki sağlıklı hücrelere zarar vermeden tümörü temizler (Oylar ve Tekin, 2011).

7.1.2. Nano İlaçlar, Parazitoloji ve Aşı

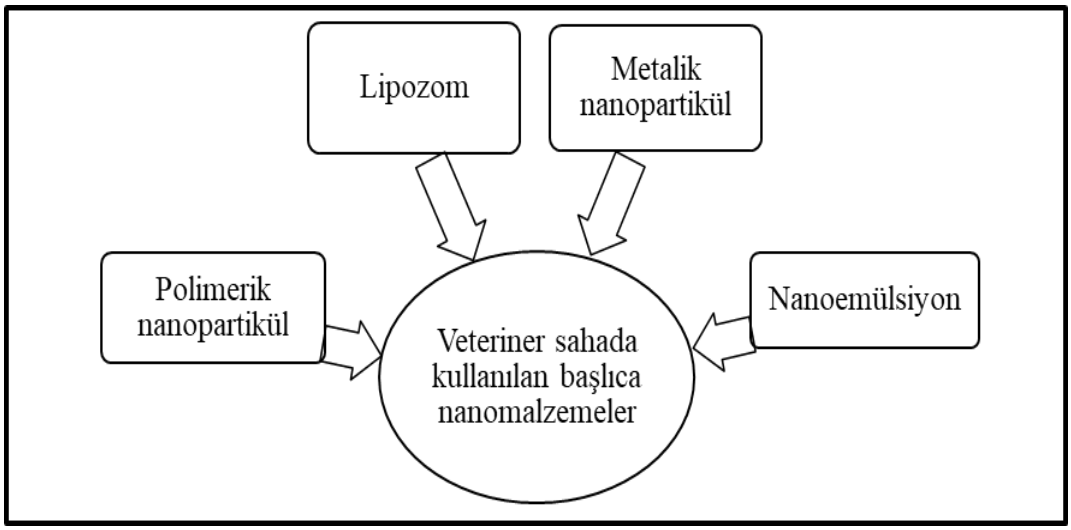
7.1.2.1. Nano İlaçlar

Klasik İlaçlarla tedavinin etkili olabilmesi için sık ve tekrarlanan dozlarda uygulanması söz konusudur. Kullanıma sunulan etkin maddenin yoğunlaşması için kullanılan dozun altında kalması veya toksik düzeyi aşması halinde istenmeyen durumlar meydana gelebilmektedir. Bu beklenmedik durumları düşük dozlarda ve doz aralığını uzatan, toksik etkiden arındıran ve etkin maddeyi istenen noktaya ileten ilaç taşıma sistemleri ile çözmek akılcı olacaktır (Tüylek, 2017 a). Nano ilaçlar, etkilenen hücre ve dokuları hedef alan, biyolojik engelleri aşan, ilaç taşıyıcı sistemi olarak rol alan ve bir hastalığın tanı ve tedavisini bir araya getiren çalışmaları içermektedir. Buda nanomalzemelerin ortaya koyduğu benzersiz fiziksel-kimyasal özelliklerle ilişkilidir. Çiftlik hayvanlarında ilaçların düşük dozlarda, direkt hedef hücre ve dokulara verilmesi ilaç kalıntı miktarını minimuma düşürecektir. Nanoteknolojinin ilaç dağıtımında faydaları; gelişmiş stabilite, İlaç konsantrasyonunun etki bölgesinde artışı, hedef olmayan hücre ve dokularda azalan ilaç konsantrasyonu, görünür çözünürlük ve kontrollu salımdır (Altav, Baş, Erci ve Kocabaş, 2019).

Hedeflendirilmiş nano ilaç taşıma sistemlerinde, kanser araştırma ve aşı geliştirme çalışmalarında nano ilaç taşıma sistemleri hakkında umut verici çalışmalar yapılmıştır (Marangoz ve Yavuz, 2020). Bu sayede ilaç moleküllerinin ulaşmakta zorlandığı kanser dokusu, kan-beyin bariyeri, bronşlar ve sıkı bağlantılar (zonula occludens) tarzı biyolojik ve anatomik yapılar aşılarak ilaçların hedef hücreye/dokuya ulaştırılması sağlanmaktadır. Ayrıca yeni kazandırılan özellikleri sayesinde ilaç toksisitesini azaltarak daha verimli ilaç dağılımını sağlamaktadırlar (Tüylek, 2017a).

7.1.2.1.1.Veteriner Sahada İlaç Taşıma Sistemlerinde Yer Alan Başlıca Nanomalzemeler

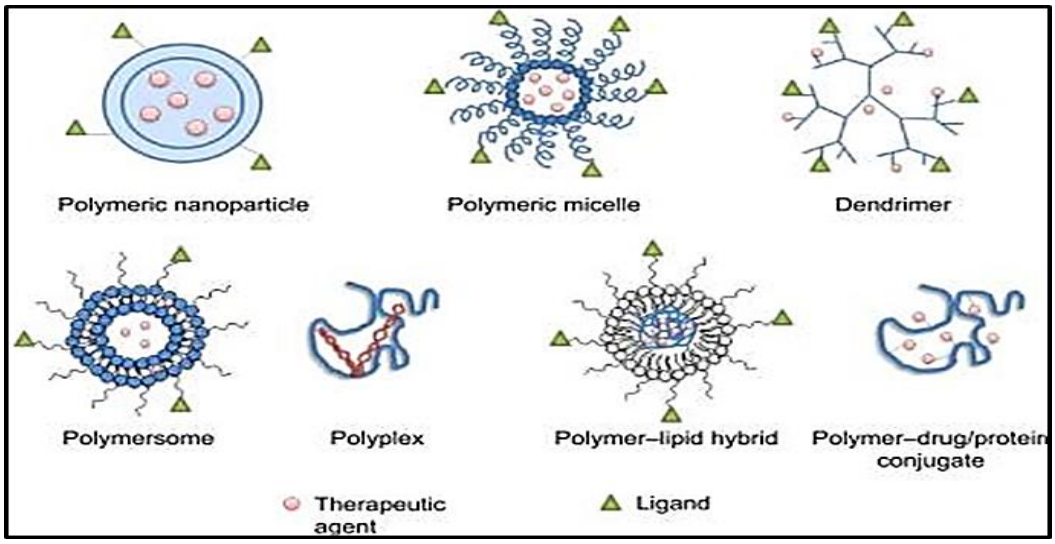
Nano ilaç taşıma sistemleri lipozomlarla başlamıştır. Veteriner sahada ilaç taşıma sisteminde yer alan başlıca nanomalzemeler şekil 7.2’ de gösterilen Polimerik nanopartikül, Lipozom, Metalik nanopartikül ve Nanoemilsiyonlardır.



Şekil 7.2. "Veteriner Sahada İlaç Taşıma Sistemlerinde Kullanılan Başlıca Nanomalzemeler" (Altav vd., 2019).

Polimerik nanopartikül: Sentetik veya doğal polimerlerden oluşan, 10-1000 nm arasında olan, hazırlama metoduna bakılarak nanoküre yada nanokapsül olarak isimlendirilen ve partikül içinde etkin maddenin çözündürüldüğü, tutulduğu ve/veya yüzeye tutunduğu yada bağlandığı matriks sistemler olarak tanımlanır. Polimerik nanopartiküllerin iki temel özelliğinden kaynalanan avantajı sözkonusudur. İlki partikül boyutlarının küçük olmasıdır. Bu sayede küçük kapillerlerden geçerek hücrelere ulaşırlar ve istenen bölgede etkili olan etkin madde birikimini sağlarlar. Diğeri ise nanopartiküllerin biyobozunur materyal ile hazırlanmasıdır. Biyobozunur malzemeler ile hedef dokuda uzun süreli periyotlarda kontrollü etkin madde salınımı sağlanmaktadır. Ayrıca bunlara ilave olarak nanopartiküller, ilaç/ protein veya peptidlerin stabilitesini sağlamaktadır (Derman, Kızılbey ve Akdeste, 2013).

Polimerik nanopartikül platformları (şekil 7.3.) katı polimeriknanopartikül, polimerik misel, dendrimer, polimer some, poliplex, polimer lipit hibrit sistemi, polimer- ilaç /protein konjugatı olarak benzersiz fizikokimyasal yapıları ile ayırıcı özelliklerini ortaya koymaktadır (Altav vd., 2019).



Şekil 7.3. "Polimerik Nanopartikül Platformları" (Prabhu, Patravale ve Joshi, 2015).

Veteriner hekimlikte gelecek vaat eden ilaç taşıyıcı sistemlerden biride dendrimerler dir (Altav vd., 2019). Dendrimer kelimesi Yunancada dendri (ağaçlar) ve meros (kısım) anlamına gelen kelimelerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Dendrimerler birbirini tekrarlayan dallanmış, küre biçimindeki geniş moleküllerdir (Bulut ve Akar, 2012). Kullanım amaçlarına göre farklı ebatlarda sentezlenebilir. Yüzey özelliklerine yapılan müdahale ile biyolojik ajanlarla etkileşimi sağlanabilir. Dendrimerleri mükemmel farmokolojik ajan adayı haline getiren üç özelliği bulunmaktadır. İlki, ilaç moleküllerini yapısında tutabilmesi ve dağıtım aracı rolünü üstlenmesidir. İkincisi, hücre girişleri kolay olduğu için doğrudan hedefe ilaç bırakabilmeleridir. Üçüncüsü ise bağışıklık sistemi tepkisini tetiklememeleridir (Altav vd., 2019).

Lipozom: Lipozom kelimesi Yunancada Lipos (yağ) ve Soma (vücut) anlamına gelen kelimelerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Esas olarak fosfolipit temelli, tek veya birçok tabakadan meydana gelen aralarında sulu bir faz olan küresel keseciklerdir. Hidrofilik ve hidrofobik bölgeler içerdikleri için suda ve yağda eriyen maddeleri taşıma özelliğine sahiptirler. Yapı ve içerik bakımından hücre zarına benzemesi, toksik olmaması ve kimyasal içeriğinin ayarlanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı araştırıcılar tarafından yıllardır model zar olarak kullanılmıştır (Susar ve Karahan, 2019).

Lipozomlar topikal (lokal), intramusküler (Kas içi), intravenöz (damar içi) uygulamalara uygun olup, gastrointestinal sistemde yaşanan bozulmalara karşı hassasiyet gösterdiklerinden oral kullanımda nadir tercih edilirler. Lipozomlar, daha az yan etki, biyouyumluluk, biyolojik bozunabilirlik ve aynı zaman da hidrofobik ve hidrofilik preparatları yükleme yetenekleri sayesinde sıra dışı ilaç dağıtım sistemleridirler. İlaçlar basit difüzyon veya

hücre içine penetrasyonu yolu ile salınabilir. Dezavantajları ise, zayıf stabilite, kısa depolama alanı, kolay oksidasyona uğrama ve içerik salınımının hızlı olmasıdır (Altav vd., 2019).

Metalik nanopartikül: Metalik nanopartiküller 1-100 nm aralığındaki metal elementlerden oluşmaktadır (Marangoz ve Yavuz, 2020). Metalik nanopartiküller hedeflendirilmiş ilaç taşıma sistemi ile hastalıkların tedavisine yeni bir boyut kazandırmıştır. Metalik nanopartiküllerin nanoteknoloji alanındaki potansiyeli keşfedilince mühendislikte ve biyomedikal bilimlerde kullanımı artmaktadır. Metalik nanoyapıların farklılığı şekil ve ebatlarının küçüklüğü ile ilgili olmayıp, küçük ebat ve şekillerde farklı fiziksel özellik göstermeleri ile ilişkilidir. Ebatlar küçüldükçe kuantum özellikler ortaya çıkmaktadır. Metalik nanopartiküllerin, biyoteknoloji, hedeflendirilmiş ilaç taşıma, gen ve ilaç taşıma ile tanısal görüntüleme gibi alanlarda uygulamaları mevcuttur (Uyanıkgil ve Salmanoğlu, 2020).

Nanopartiküller çizelge 7.2' de gösterildiği gibi karbon, inorganik, organik ve kompozit temelli nanometaryeller olarak dört sınıfa ayrılmıştır. Metalik nanopartiküller, altın, gümüş, titanyum, çinko, demir, silisyum, seryum, platin ve talyum veya bunların bileşiklerinden yapılmış mikrometre ölçekli maddelerdir. Mikrometre ölçekli maddelere örnek, oksitler, hidroksitler, sülfitler, fosfatlar, florürler ve klorürler verilebilir (Uyanıkgil ve Salmanoğlu, 2020).

Çizelge 7.2. "Nanopartiküllerin Sınıflandırılması" (Uyanıkgil ve Salmanoğlu, 2020).

Nanopartiküller- Nano yapılı materyaller			
Karbon bazlı nanomateryaller	İnorganik bazlı nanomateryaller	Organik bazlı nanomateryaller	Kompozit bazlı nanomateryaller
-Fullerenler (C60) -Karbon nanotüpler (CNT) -Karbon nanofiberler -Grafen (Gr)	-Altın -Gümüş -Titanyum dioksit -Çinko oksit -Demir oksit -Silisyum -Kuantum nok.	-Dendrimerler -Miseller -Lipozomlar -Polimer nanopartiküller	-Kitosan -Polilaktik asit -Hidroksi etil metakrilat

Metalik inorganik nanopartiküller

Altın (Au) Nanopartiküller: Altın, önemli bir soy metal dir. Altın nanopartiküllerinin sentezini ilk Michael Faraday 1850' li yıllarda yayınlanmıştır. Altın nanopartiküllerin ilaç taşıyıcı sistem olarak kullanılabilmesi, yüzeylerinin amin, tiyol ve karboksil grupları tarafından

kolayca modifiye edilmesine dayanmaktadır (Uyanıkgil ve Salmanoğlu, 2020). Altın nanopartiküller nanotaşıyıcı olarak plazmid DNA'lar, siRNA'lar, peptitler, proteinler ve kemoterapötik ajanlar gibi etkin maddelerin taşınımında kullanılmaktadır (Demirtaş ve Türk, 2021). Bu nanopartiküller, ilaç taşıma, biyouyumluk, sağlam hücrelere toksik olmama, , kan akışıyla hedeflenen bölgeye taşınma, farklı yöntemlerle sentezlenebilme ve ilaç verimliliği gibi fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Altın nanopartiküller 1-100 nm arasında farklı boyutlarda küresel, çubuk, kafes gibi çeşitli şekillerde kolayca sentezlenebilir (Uyanıkgil ve Salmanoğlu, 2020).

Gümüş (Ag) Nanopartiküller: kimyasal kararlılık, iyi iletkenlik, katalitik, anti bakteriyel, antifungal, antiviral ve antiinflamatuvar gibi özellikleri ile dikkat çekmiştir. Gümüş bazlı tıbbi ürünlerin, (topikal merhemler, yara örtüleri vb.) bakteriyel enfeksiyonların önlenmesine ve geciktirilmesine katkı sunduğu kanıtlanmıştır. Gümüş nanopartiküllerin plazmonik yapısı ışığın absorpsiyonuna ve saçılımına katkı sağlar. Kanser teşhisinde gümüş nanopartikülleri tarafından saçılan ışık kanser hücrelerinin görüntülenmesini sağlarken absorbe edilen ışık, kanser hücrelerinin termal öldürülmesini sağlamaktadır. (Uyanıkgil ve Salmanoğlu, 2020). Ayrıca demir (Fe), bakır oksit (CU_2O), çinko oksit (ZnO), ve diğer metalik nanopartiküllerde farmasötik formülasyonlarda, anti bakteriyal uygulamalarda ve tıbbi teşhis ve tedavide kullanılmaktadır (Altav vd., 2019).

Çiftlik hayvanları ve kanatlıların büyüme oranlarını, üreme ve bağışıklık sistemlerini iyileştiren çinko oksit nanopartikülleri (Nano-ZnO) gibi ticari kullanımda olan birçok nanomineral bulunmaktadır. Örnek, genç domuz yavrularında ishal sıklığını bu nanominarellerin azalttığı bilinmektedir. Sığırlarla yapılan çalışmalarda subklinik mastitis teşhisi alan sığırlarda nano Zn' nin süt üretiminde artış sağladığı bildirilmiştir. Tüm bunların yanında antimikrobiyal etki için nano- çinko oksit, dış çevre ve UV' ye karşı koruma için nano-titanyum dioksit ve ekstra dayanıklılık (ambalaj malzemeleri) için nano-titanyum nitrür kullanılmaktadır (Altav vd., 2019).

Nanoemilsiyon: Emilsiyonlar, birbiri ile karışmayan iki sıvının birbirleri içerisinde damlacıklar halinde dağılması ile oluşan heterojen sistemlerdir (İşleyici, Çakmak, Sancak, Elçek ve Tuncay, 2019). Termodinamik olarak dayanıklı değildirler. Bu sistemler hidrofilik ve lipofilik olmak üzere iki fazdan oluşmaktadır. Bu fazlar emisyonun iç ve dış fazı olarak tanımlanmaktadır. İç faz, sıvılardan dağılmış damlacıkları içeren karışımı, dış faz ise sürekli fazı ifade etmektedir (İlyasoğlu ve El, 2010). Mikroemülsiyon hidrofilik faz, lipofilik faz,

surfaktan ve ko-surfaktanın biraraya getirilmesi sonucu oluşan, termodinamik açıdan dayanıklı, 5-100 nm damla çapında, kolloidal sistemler olarak tanımlanır (Altav vd., 2019). Bu sistemlerin özellikleri, düşük viskozite, saydam görünüş, damlacık çaplarının 140 nm' den küçük olması ve kendiliğinden oluşmaları olarak açıklanabilir (Çilek, Türkyılmaz ve Çelebi, 2002). Nanoemilsiyonlar, seyreltme, sıcaklık değişimleri ve pH' dan etkilenmezler. Avantajları, suda çözünürlüğü oldukça düşük olan etkin madde ve yapıların suda kolay çözünebilir hale getirilmesini sağlamaları, yüzey gerilimlerinin düşük olmasından dolayı temas ettikleri yüzeye yayılma ve ıslatma özelliklerinin iyi olmasıdır (Sayıner ve Çomoğlu, 2016). Nanoemülsiyonlar, gıda kalitesinin iyileştirilmesinde, ilaç dağıtım sistemlerinde, zirai ilaç endüstrisi, kozmetik endüstrisi ve veteriner ilaç endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Altav vd., 2019).

Nanoteknoloji sağlık alanında in vivo ortamda yeni ilaçların değerlendirilmesi çalışmalarında uzun zamandır kullanılmaktadır. Hayvan biyoteknolojisinde son zamanlarda nanopartiküllerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Nanosensörler, nanoçubuklar, nanotüpler ve nanopartiküller gibi nanomateryallerin sağlık alanında (insan ve hayvan sağlığı) yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Nanomateryaller, akıllı ilaç dağıtım sisteminin iyileştirilmesine katkı sunarak hayvanlarda brusella, tüberküloz gibi ciddi sonuçlara yol açan hastalıkların tedavisinde farklı bir yaklaşım sunmuştur. Bu sistemle hasta doku ve hücrelere direk etki ederek küçük dozlarla ilaç ya da etkin madde uygulaması ile tedavi yapılabilmektedir (Demirel, 2020).

7.1.2.2. Nanoteknoloji ve Parazitoloji Araştırmaları

Nano parazitolojide uzun doz aralıkları sunan yeni ilaç dağıtım sistemleri ile parazitlere karsı ilaç etkisinin arttırılması çalışmaları ana çalışma konularından bazılarıdır. Bu nedenle aktif hedefleme, aktif olmayan hedefleme, katı lipit nanoparçacık, lipozom ve hidrofobik polimerik nanoparçacık kullanımı bu alanda artmaktadır (Altav vd., 2019).

Parazitoloji araştırmaları kapsamında veteriner hekimlerin önemli sorunlarından biri ilaç direnci oluşmasıdır. Nanopartiküller, mevcut kullanımda olan ilaçlara direnci azaltmak, direnç mekanizmalarından bazılarını etkisiz hale getirmek, ilaç biyoyararlanımını artırmak ve doğrudan hedef dokuya taşınarak tedavi olanağını sunmaktadır. Nanoteknolojiden yararlanarak üretilen antiparaziter ilaçlarda TiO2@Ag nanopartikülleri kullanımı ucuz ve çevre dostu yeni ilaçların geliştirilmesine seçenek oluşturmaktadır. Nanopartiküller ile ilaç-parazit etkileşimi kolaylaştırılarak dış parazitlerin kitlesel kontrolünde veteriner ilaçlarına katkı sunmaktadır.

Nanosheller (nano kabuklar) olarak bilinen merkez noktasında silisyum çekirdek olan ve üstü altın tabaka ile kaplanmış kürecikler, paraziti hedef alarak enfeksiyonu fiziksel olarak tahrip etmektedir. Ayrıca konak parazitinin incelenmesinde nanoshellerin biyosensör olarak kullanımları faydalı olacaktır (Altav vd., 2019).

7.1.2.3. Nanoteknoloji ve Aşı Araştırmaları

Aşı, herhangi bir hastalığa karşı organizmada bağışıklık sağlayan biyolojik madde olarak tanımlanır (Yıldız, 2021). Aşılar, bulaşıcı hastalıkların önlenmesi ve kontrol altına alınmasında düzelen çevre koşulları dışında (temiz içme ve kullanma suyu, hijyen ve kanalizasyon sistemi) en büyük katkıyı sağlamıştır. Bu nedenle aşılar sadece hayvan hastalıklarını önleme ve kontrol etmenin dışında, insanların tüketim aşamasında zoonoz hastalıklar veya enfeksiyonlardan korunmasını ve gıda için yetiştirilen hayvanların verimliliğini arttırmasını hedefler. Nanoteknoloji veteriner aşı uygulamalarında başlangıç düzeyindedir. Bu çalışmalar hakkındaki bilgi ve belgelerin bazıları, insan aşı çalışmalarına katkı sunmak için kullanılan küçük hayvan örneklerinden elde edilebilir. Nanoaşılar, nanopartikülleri taşıyıcı ve/veya adjuvan olarak kullanabilen yeni nesil aşılar olarak tanımlanmaktadır. Nanopartiküller ile patojenlerin aynı büyüklükte olması bağışıklık sistemini uyarır böylece hücresel ve sıvısal bağışıklık tepkilerini tetiklemiş olur. Ayrıca diğer faydaları kanda kalma süresini uzatmak için kan akışında daha iyi stabilite sağlaması, tekrarlı doza gerek duyulmaması, soğuk zincirine gerek duyulmaması, gelişmiş bağışıklık sistemi ve aktif hedefleme oluşturma yeteneği sayılabilir. Nanoteknoloji ile enjeksiyon kullanmadan mukozal bağışıklık sağlama, hayvancılık sektöründe aşı yapmayı kolaylaştırırken çiftliklerde önemli ekonomik zarara neden olan hastalıkların önüne geçmektedir. Nanopartikül taşıyıcı sistemler kitlesel bağışıklamada enjeksiyon kullanmadan yapılan aşılamalar için veteriner biyolojik ürünlerin geliştirilmesi adına testlere tutulmuştur. Yapılan testlerde nanopartikül taşıyıcıların damar içi, deri altı, pulmoner ve kas içi gibi uygulama yollarında terapötik ve aşı etkisini arttırdığı gözlenmiştir. Günümüzde onaylı ve piyasada bulunan farklı nanofarmasötikler bulunmaktadır (Altav vd., 2019). Nanofarmasötik terimi, nano yapıdaki toz ilacı ve ilaç taşıyıcı sistemi kapsamaktadır (Sayıner ve Çomoğlu, 2016). Ancak, nanoteknolojinin bu tür ilaç çalışmaları yanında aşı uygulamaları içinde çalıştığı bilinmektedir. Örneğin İsviçre'de grip için geliştirilen, onaylanan ve piyasada mevcut olan bir nano aşı mevcuttur (Altav vd., 2019).

Aşıların ihtiyacı olanlara dağıtılmasındaki zorlukların üstesinden gelebilmek adına yeni teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Deri yoluyla iğnesiz aşılama, standart iğne ve şırınga

yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sağlamaktadır. NanoPatch, deri üzerine kolayca ve acısız uygulanabilen üzeri binlerce aşı ile kaplı nano çıkıntılardan oluşan mikro enjeksiyon yöntemine dayanan bir teknolojidir. Aşı ile kaplı nano çıkıntılar deri altındaki bağışıklık hücreleri ile etkileşime girerek bağışıklık sistemini harekete geçirmektedir. Nanopatch, preklinik araştırmalarda standart kas içi enjeksiyonlarla karşılaştırıldığında Fluvax® aşıları için yaklaşık yüz kat doz azalması gösterdiği bilinmektedir (Altav vd., 2019).

7.1.3. Nanoteknoloji ve Hayvan Besleme

Çiftlik hayvanlarının sağlık problemlerini çözmek, verimlerini arttırmak amacıyla kullanılan iyonofor grubu antibiyotiklerin dirençli suşlarının ortaya çıkması sonucu yasaklanması sonrasında hayvanların sağlık problemlerini çözmede, beslenmesinde, üretim kalitesi ve verim artışını sağlamada biyoteknolojik yöntemlere ilgi artmıştır. Bunun sonucunda probiyotikler, prebiyotikler, organik asitler, enzimler ve bitkisel ekstraktlar gibi doğal yem katkı maddeleri kullanılmaya başlanmıştır. Nanoteknoloji biyoteknoloji uygulamalarından farklı olmamakla beraber besin maddelerinin kalitesi ve verim artışını moleküler düzeyde kontrol ederek işlevsel değişiklikler sağlayan yeni bir yaklaşımdır (Budak, 2018).

Hayvan beslemede nanoteknoloji ile ilgili çalışmalar, minarellerin nanopartiküllerinin ilavesi sonucu oluşan etkisinin araştırılması üzerine yoğunlaşılmıştır. Nanoboyutlu malzemelerde yüzey/hacim oranının çok yüksek değerlerde olması yüzey etkinliği, katalitik verim ve güçlü absorpsiyon yetenekleri ile yemin biyoyararlanımını arttırmaktadır. Böylelikle hayvanların gelişim performansları, tükettikleri yemlerin besleme değeri ve sindirilebilirliği yani yemden yararlanma oranını arttırmak mümkün olmaktadır (Budak, 2018).

7.1.3.1. Kanatlı Hayvanlar

Etlik piliç (broiler) civcivlerinde gümüş nanopartiküllerinin 5, 15 ve 25 ppm düzeylerinde büyüme performansı, lenfoid organlar ve oksidatif stres üzerindeki etkileri hakkında yapılan araştırmada, gümüş nanopartiküllerin büyüme performansını etkilemediği, oksidatif stres enzimlerini etkilediği ve bağışıklığı azaltabileceği sonucuna varılmıştır (Ahmadi ve Kurdestany, 2010). Piliçlerde ticari çinko nanopartiküllerinin (20 ppm) büyüme performansını artırdığı yönündeki bir başka çalışmada çinko nanopartiküllerinin kanda Kolesterol ve LDL Kolesterol (düşük yoğunluklu lipoprotein) seviyelerini önemli oranda düşürdüğü, HDL Kolesterolü (yüksek yoğunluklu lipoprotein) yükselttiği görülmüştür (Budak, 2018).

Etlik (broiler) piliçlerde nano selenyum (0,2 - 0,5 ppm) katkısının, sodyum selenit (0,2ppm) katkısına kıyasla ve nano çinko (20 ppm) takviyesinin çinko oksit (60 ppm) takviyesine kıyasla yemden yararlanma oranı, günlük canlı ağırlık artışı, katalaz aktivitesi ve antioksidan özelliğini büyük ölçüde arttırdığı bildirilmiştir (Budak, 2018).

Etlik (Broiler) piliçler üzerine yapılmış bir çalışmada, etlik broiler piliçler bakır yüklü kitosan nanopartiküller (0, 50, 100 ve 150 mg/kg) ile beslendi. 100 mg/kg CNP-Cu içeren diyet takviyesi serum toplam protein ve albümin değerlerini arttırdığı ve üre azotu değerini azalttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak serumda üre azotunun azalması protein sentezinin artışının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. 100 mg / kg CNP-Cu takviyesinin hayvan bağırsaklarında lactobacillus ve bifidobacterium popülasyonunun çoğalması için daha iyi bir ortam oluşturduğu ve koliform populasyonunu azaltması nedeni ile bağırsak mikroflorasında pozitif sonuç oluşturabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, CNP-Cu takviyesinin büyüme performansına, bağışıklık sistemine ve protein sentezine olumlu katkı sağladığını belirtmişlerdir (Budak, 2018).

Yumurta tavuklarının yemlerine farklı oranlarda selenyum nanopartikül (0.075, 0.15, 0.3, 0.6 ppm) ilavesinin, sodyum selenit ilavesi ile karşılaştırılması sonucu yapılan çalışmada vücut ağırlığı, göğüs kası, karaciğerde selenyum içeriği, pankreas ve tüy oluşumunun önemli oranda daha yüksek bulunduğu saptanmıştır. Yumurta tavuklarının yemlerine farklı oranlarda nano selenyum (0.10, 0.30 ve 0.50 ppm) ilavesi ile yapılan başka bir çalışmada yine benzer sonuçlar bulunmuş bununla beraber glutatyon peroksidazın selenyum ilavesi ile doğru orantılı olarak artış sağladığı açıklanmıştır (Ülger, Koca, Beyzi ve Kaliber, 2019).

7.1.3.2. Laboratuvar Hayvanları

Çinko nanopartiküllerinin kobay alyuvarlarında süperoksit dismutazı (SOD) yükseltmesi, nanoboyuttaki parçacıkların normal boyuttaki parçacıklar üzerinde etkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır (Budak, 2018). Parçacık boyutu, zayıf çözünür Fe bileşiklerinden demir (Fe) emiliminin bir belirleyicisidir. Gıdalara eklenen metalik Fe ve ferrik pirofosfatın parçacık boyutunun azaltılması Fe emilimini arttırmaktadır. Az çözünür Fe bileşikleri nano ölçeğe indirilip biyoyararlanımı ve laboratuvar ortamındaki çözünürlüğü arttırıldığında ratlardaki demir emilimini yarı yarıya arttırdığı gözlenmiştir (Rohner vd., 2007).

Sharma vd. (2007) Monodispersif Demir Nanopartiküllere Bağlı Enzimlerin Stabilitesinde ve Uzun Ömürlülüğünde Dramatik Artış konulu çalışmada enzimlerin stabilitesini, uzun ömürlülüğünü ve yeniden kullanılabilirliğini arttırmanın etkili bir yolu olarak

onları manyetik demir nanoparçacıklarına bağlamak olduğu belirlenmiştir. Bu amaçla, laboratuvarda üretilen tek tip manyetik çekirdek-kabuk demir nanoparçacıklarına (MNP) tripsin ve peroksidaz enzimleri bağlanmıştır. Enzimlerin ömrünün birkaç saatten haftalara çok hızlı bir şekilde arttığı ve MNP-Enzim konjugatlarının daha kararlı, verimli ve ekonomik olduğu gözlenmiştir. Böylelikle MNP-enzim konjugatları verimli bir şekilde yeniden kullanılarak enzimleri daha üretken kılmaktadır.

Selenyum nanoparçacıklarının (3-5 nm ve 10-20 nm) erkek albino sıçanların beyin ve böbreklerinde asetaminofen toksisitesine karşı bir antioksidan olarak iyileştirici rolü ile değerlendirildiği çalışmada, beyin ve böbrek oksidatif stresleri, artan doku malondialdehit, nitrik oksit konsantrasyonu, parçalanmış DNA ve glutatyon içeriğinde ve toplam antioksidan kapasitesinde önemli bir azalma ile değerlendirildiği ve beyin gama-glutamiltransferaz (γ-GT) ve butiril kolinesteraz (BCHE) de arttış olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, sıçanların iki farklı çapta (3-5 nm ve 10-20 nm) selenyum nanoparçacıkları ile muamele edilmesi, önceki dokudaki malondialdehit ve nitrik oksit konsantrasyonlarının güçlü inhibisyonu gibi birden fazla mekanizma yoluyla parasetamol ile ilgili toksikliği tersine çevirdiği gözlendi. Hücresel antioksidanların sentezinin uyarılması, GSH konsantrasyonunda önemli bir artış ve TNF-a konsantrasyonu ile temsil edilen enflamatuar yanıtta önemli bir azalma görüldü. Bununla birlikte, aynı dokularda DNA parçalanma yüzdesi de önemli ölçüde azaldı. Mevcut sonuçlar, beyin ve böbrek dokularında parasetamol doz aşımının neden olduğu oksidatif hasarın, antioksidan etkileri olan iki farklı çaptaki selenyum nanoparçacıkları tarafından iyileştirildiği sonucuna varılmıştır (Mohammed ve Safwat, 2013).

7.1.3.3. Tek Mideliler (Monogastrik)

Domuzlarda yapılmış bir araştırmada, bakır nanopartikülleri (50 mg/kg) ile yapılan takviyede, ham yağ sindirilebilirliği, büyüme hızları ve enerjilerinde önemli farklılıklar gözlendiği ayrıca IgG, γ-globulin ve toplam globulin protein düzeyleri ile süperoksit dismutaz (SOD) enzimi aktivitesinin belirgin bir şekilde düzeldiği gözlenmişidir. Nanoselenyum takviyesi ile de benzer sonuçlara ulaşılmış, ham besin madde sindirile bilirliğinin artışına yönelik bilgilere de ulaşılmıştır. Ayrıca sütten kesilmiş domuz yavrularının yemlerine 100 mg/kg CNP-Cu ilavesi ile büyüme performansını arttırdığı, ishal oranını azalttığı, duodenum jejunum ve çekumdaki Escherichia coli miktarının kontrol grubuna göre önemli ölçüde azaldığı, jejunum ve çekumdaki Lactobacillus sayısı ile duodenum ve çekumdaki

Bifidobacterium miktarının arttığı, duodenum, jejunum ve ileum mukozasının villus yüksekliğinin önemli oranda artırdığı tespit edilmiştir (Budak, 2018).

Domuzlarda et kalitesi üzerine yapılan bir çalışmada nano-selenyum ve sodyum selenit takviyesinin etkileri incelenmiş, nano selenyumun sodyum selenite göre ette damla kaybını azalttığı tespit edilmiştir (Ülger vd., 2019).

7.1.3.4. Ruminantlar

Keçilerde farklı selenyum formlarının (Sodyum selenit SS, selenlenmiş maya SY ve elementel nano selenyum NS) 0,3 mg/Kg kuru madde (DM) takviyesi tam kan, serum ve dokulardaki selenyum konsantrasyonlarını arttırdığı gözlenmiş, ayrıca elementel nano selenyum takviyesinin serum antioksidan enzim aktivitesini (glutation peroksidaz, süperoksit dismutaz ve katalaz) kanda ve bazı dokularda Se tutulmasını arttırmada daha etkili göründüğü tespit edilmiştir. Tüm bunların yanında sodyum selenit (SS), takviyesinin ortalama günlük kazancı, selenyum maya (SY) ve nano selenyum (NS) takviyesinin ortalama günlük kazancından daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Shi vd., 2011b).

Koyunların 0, 0.3, 3 ve 6 g nano-Se/Kg kuru madde (DM) ile desteklendiği bazal diyetle beslenen çalışmada, 6,6 - 6,8 olan ruminal pH ve amonyağın azot konsantrasyonu azalmış, toplam uçucu yağ asitleri (VFA) konsantrasyonu ve propiyonat konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir. Leymus chinensis' in yerinde ruminal nötr deterjan lifi (aNDF) bozunması ve soya fasulyesi küspesinin ham proteini (CP) nano-Se ile iyileştirildiği, artan nano-Se takviyesi ile besinlerin sindirilebilirliği ve pürin türevlerinin idrarla atıldığı gözlenmiştir. Nano-Se'nin optimum dozu, mevcut deneysel koşullar altında koyunlarda yaklaşık 3.0 g/kg diyet DM olarak açıklanmıştır (Shi, vd., 2011a).

Mastitis, süt sığırlarında staphylococcus aureus bakterisinin enfeksiyonu sonucu oluşan süt veriminde olumsuz etkiye neden olan bir tür hastalıktır (Ülger vd., 2019). Mastitis'in farklı nedenleri ve şiddet dereceleri bulunmaktadır. Subklinik mastitis, klinik yönden fark edilebilen ancak, sistemik ve lokal belirti göstermeyen sütte akyuvar sayısında artışa neden olan ve patojen etkenlerin tecriti ve biyokimyasal değişimlerin tespiti ile tanınan bir mastitis türüdür. Sütün yapısında değişikliklere sebep olmakla beraber süt üretim kayıplarının %70-80'ni Subklinik mastitis' ten kaynaklanmaktadır (Gürler, Çiftçi, Salar ve Baştan, 2018). Bu nedenle tedavi amaçlı antibiyotikler kullanılmaktadır. Ancak antibiyotik direnci nedeniyle son yıllarda alternatif olarak nanoteknoloji ürünü antimikrobiyal preparatlar kullanılmaya başlanmıştır

(Ülger vd., 2019). Süt sığırlarında subklinik mastitis için nano çinko oksit takviyesinin süt üretimini iyileştirdiği gözlenmiş, subklinik mastitis' in nano çinko ilavesi ile baskılandığı (somatik hücre sayısında azalma) gözlenmiştir (Budak, 2018). Nano-selenyum antioksidan ve düşük miktarda bulunan element olarak anılmakla beraber antimikrobiyal etkisi hakkında az sayıda yayın bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada staphylococcus aureus yayılımının önlenmesinde etkisi gözlenmiştir. Ayrıca pseudomonas türlerine karşı da etkili olduğu bulunmuştur (Ülger vd., 2019).

7.1.4. Bitkisel Üretim ve Büyümede Nanoteknoloji

7.1.4.1. Tohum Üretimi

Tohumlar, bitki embriyosunu koruyan, zorlu ortamlarda hayatta kalabilen, kendi kendini sürdürebilen biyolojik canlılardır. Tohumdan yeni bir bitki oluşum süreci özellikle rüzgârla tozlanan bitkilerde oldukça sıkıntılıdır. Nanoteknoloji ile polen yükünün nanosensörler yardımıyla tespiti ve stigmaya aktarımı sırasında kontaminasyon önlenerek genetik saflığın elde edilmesi sağlanabilir. Gerekli genler tohumlara aktarılarak, genetiği değiştirilmiş tohumlar ile ürün verimliliği arttırılabilir. Satılan tohumlar nanobarkodlarla pazarlarda takip edilebilir. Depolanan tohumlar ise çoğunlukla hastalığa neden olan patojenler tarafından zarara uğratılmaktadır, ancak gümüş (Ag), altın (Au), çinko (Zn), manganez (Mn) ve titanyum (Ti) gibi nanomalzemelerle kaplandığında tohumlar korunmaktadır (Ansari vd., 2020).

7.1.4.2. Tohum Çimlenmesi

Son yıllarda farklı nanomalzemelerin tohum çimlenmesi ve bitkilerin büyümesi üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Nanomalzemeler çimlenme oranını hızlandıran ve strese karşı direnci artıran su ve oksijen alımını artıran özelliklere sahiptir. Besinlerin emilimi, organik bileşiklerin parçalanması ve çeşitli işlemler sırasında oluşan oksijenin serbest radikallerinin söndürülmesi de nanomalzemeler tarafından hızlandırılmaktadır. Nanoteknoloji ile yapılan bir diğer gelişme ise tohum kaplamadır. Tohum kaplama ile aşağıda belirtilen avantajlar elde edilmiştir.

a) Suyu algılayarak, tohumların yalnızca çimlenme zamanında emmesine izin verir.
b) Depolama sırasında nem içeriğini tespit eder.
c) Tohumların yaşlanmasını belirler

Bilim insanları, karbon nanotüpler ve metalik nanopartiküller kullanarak yağmur suyu ile sulanabilen mahsuller için tohumların çimlenme oranını iyileştirmeye çalışmaktadırlar. Karbon nanotüp kullanılarak domates tohumlarının daha iyi çimlenmesi, karbon nanotüpün suyun tohumlara daha iyi nüfuz etmesine izin veren gözenekler/kanallar gibi hareket ettiğini rapor etmişlerdir. Bu işlemler sulama yapılamayan yağmur suyu kullanılan tarım sistemlerinde çimlenmeyi kolaylaştıracaktır (Ansari vd., 2020).

7.1.4.3. Sürdürülebilir Su Kullanımı

Tarımsal üretimi sürdürebilir kılmak için su kullanımını en uygun hale getirmede nano hidrojeller kullanılabilir. Bu jeller normal topraktan daha fazla suyu emer ve serbest bırakır böylelikle suyun bitkiler tarafından daha uzun süre kullanımı sağlanır. Gümüş kaplı hidrojel ile yapılan çalışmalarda, gümüş kaplı hidrojelli toprağın, gümüş kaplı hidrojel kullanılmayan toprağa göre % 7,5 daha fazla su tuttuğu gözlenmiştir. Ayrıca hidrojeller ağırlıklarının 130-190 katına kadar yağmur veya sulama suyu depolayabilir. Buda kurak alanlar için oldukça önemlidir (Denizli, Yavuz ve Bereli, 2018).

7.1.4.4. Nanogübre

Kimyasal gübrelerin çevreyi bozan çeşitli yıkıcı etkileri nedeniyle maksimum üretime ulaşmak için, aynı zamanda kirliliği azaltacak, bitki ve toprak üzerinde mükemmel bir etkiye sahip olacak gübrelerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Nanoteknoloji, akıllı gübrelerin üretimi için kullanılabilecek gübre taşıyıcı veya gübre olarak nano ölçekli malzemelerin keşfini sağlamıştır. Bu nano yapılı gübreler, besin kullanım verimliliğini artırmak ve çevre kirliliğini azaltmakta kullanılmıştır. Nano temelli gübrelerin kullanımı, bitkilerin ve tarımsal ürünlerin besin gereksinimlerini karşılamak için önemli bir alternatif olarak görünmektedir. Nano kaplı gübrelerin uygulanması, bitkiler tarafından kolayca emilen besinlerin yavaş salınımını sağlar. Son birkaç yılda, nano gübrelerin geliştirilmesi ve kullanılması, arazi kirliliğine neden olarak çevreyi ağır bir şekilde bozan kimyasal gübrelere göre daha fazla önem kazanmıştır (Butt ve Naseer, 2020).

Brunner vd. (2006) Nanogübre, **(**aktaran Butt ve Naseer, 2020) nanoteknolojik yöntemlerle üretilen bitkiye besin elementi sağlayan geleneksel kimyasal gübrelerin değiştirilmiş formudur. Dağhan (2017). Nano gübreler bitki besin elementlerini bitkiye üç yoldan iletir. 1) Besin elementleri, nanotüpler veya nano gözenekli malzemeler içine

kapsüllenerek, 2) İnce koruyucu polimer ile kaplanarak, 3) Emülsiyonlar veya partiküller halinde bitkiye iletilir.

7.1.4.4.1. Nanogübrelerin Temel Formları

Tarımda kullanılan nanogübrelerin yaygın olarak bulunan biçimleridir. Bunlar; zeolitler, Nano kompozitler, Süper emici gübreler ve Karbon nanotüplerdir (Butt ve Naseer, 2020).

Zeolitler

Zeolitler, "Kafes yapılarında alüminyum, silis ve oksijen, gözeneklerinde katyon ve su içeren mikro gözenekli kristal katılardır" (Gülen, Zorbay ve Arslan, 2012). İyon değiştirme kapasitelerine ve su tutma veya kaybetme özelliğine bağlı olarak farklı mineral zeolit türleri (klinoptilolit, stilbit, şabazit, analsim, natrolit) bulunmaktadır (Butt ve Naseer, 2020).

Nano kompozitler

Barbarick vd. (1990) Nano kompozitler (aktaran Butt ve Naseer, 2020) malzemenin istenen özelliğini geliştirmek için nanoparçacıklarla birleştirilmiş çok fazlı silikat matrisleridir. Örnek olarak montmorillonit kil ve bazı organik polimerler gösterilebilir. Bunlar benzersiz özelliklere sahip nano malzemeleri geliştirmek için kullanılabilecek umut verici araçlar olacağı tahmin edilmektedir. Amonyum yüklü klinoptilolitin iyi bir taşıyıcı olarak fosforit ile kombinasyon halinde uygulanması azot ve fosforun yavaş salınımını kolaylaştırır.

Süper Emici Gübre (SAF)

Liu vd. (2006) Süper emici gübre (aktaran Butt ve Naseer, 2020) gübrelerin (azot, potasyum, fosfor) ve süper emici polimerin kopolimerleridir ve hidrojen bağları ile bağlanır. Bu süper emici gübrelerin su tutma potansiyeli, büyük ölçüde moleküler yapılarında bulunan hidrofilik gruplara bağlıdır. Azotun yavaş salınımı ve toprağın nem tutma kapasitesi de süper emici azotlu gübre (SANF) kullanılarak incelenmiştir. Çalışma, çapraz bağlara sahip ürünlerin, besin maddelerinin mükemmel yavaş salıvericileri olduğunu ve yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğunu ve bunun da mahsulün su ve gübre kullanım verimliliğini arttırdığını doğrulamıştır. Kurak bölgelerde yavaş salınan süper emici azotlu gübre (SSNF), tarımsal uygulamalarda dikkate değer bir uygulamaya sahiptir. Xiao vd. (2008) Nanogübrelerin (aktaran Butt ve Naseer, 2020) kimyasal gübre ile karşılaştırıldığında etkileri buğdayın verimi ve besin

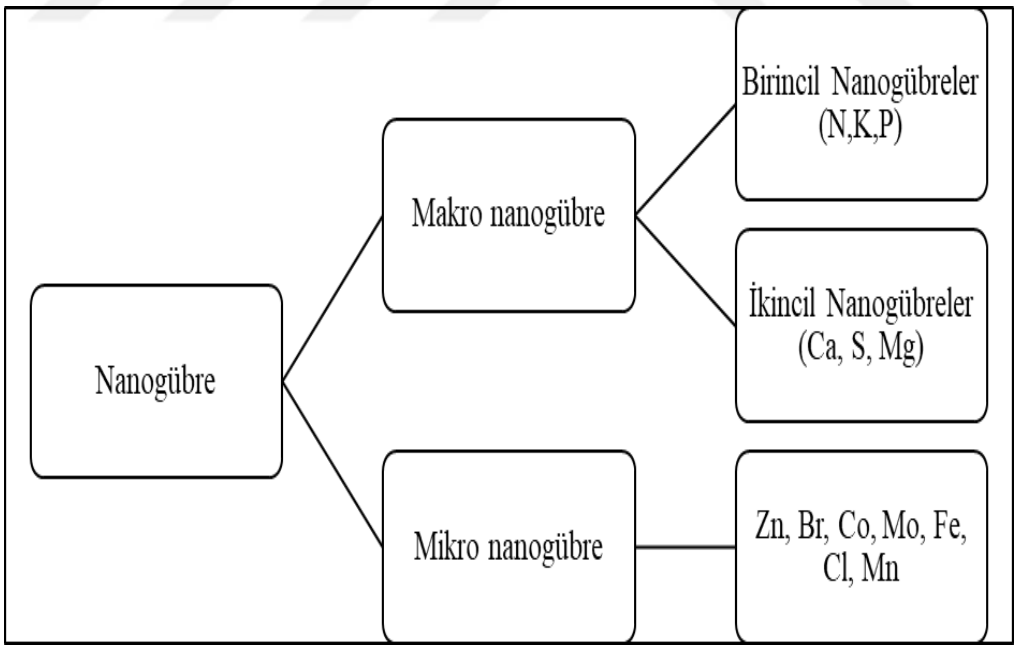
içeriği üzerinde gözlemlenmiştir. Sonuçlar, buğdayın genel veriminde ve protein içeriğinde bir artış olduğunu göstermiştir.

Karbon Nano Tüpler (CNT' ler)

Khodakovskaya vd. (2009) Karbon Nano Tüpler (aktaran Butt ve Naseer, 2020). tarımsal endüstride yaygın çeşitli benzersiz özelliklere sahip nano yapılı, allotropik karbon formlarıdır. Yavaş salınımlı gübreler olarak karbon nano tüplerin kullanılması tohumların çimlenmesi üzerinde mükemmel etkilere sahiptir, sonuçlar çimlenme oranında iki kata kadar artış olduğunu doğrulamıştır. Ayrıca, tohum analizinde tohumun içine karbon nano tüplerin nüfuz ettiğini ve bunun da çimlenme ve büyüme üzerinde iyileştirici etkileri olduğunu ortaya çıkarmıştır.

7.1.4.4.2. Nanogübrelerin Mineral Besin Maddelerine Göre Sınıflandırılması

Mineral besinler bitki büyümesinde ve metabolizmasında önemli bir rol oynar. Nanogübreler mineral besin maddelerine göre ikiye ayrılır. 1. Makro nano gübreler 2. Mikro nanogübreler. Makro nano gübreler de Birincil nanogübreler ve ikincil nanogübreler olarak ikiye ayrılmaktadır. Şekil 7.4‘ de bu sınıflandırılma gösterilmiştir (Butt ve Naseer, 2020).



Şekil 7.4. “Nanogübrelerin Mineral Besin Maddelerine Göre Sınıflandırılması” (Butt ve Naseer, 2020).

Makro Nanogübreler

Makro besinler, bitkilerin çok miktarda ihtiyaç duyduğu mineral elementlerdir. Bunlar azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) dur. Makrobesinler ayrıca birincil ve ikincil besinler olarak sınıflandırılır (Butt ve Naseer, 2020).

Birincil Besinler ile Kaplanmış Nanogübreler

Azot Nanogübreler

Azot, bitkide birçok organik bileşiğin yapısında yer alan kimyasal bir elementtir. Proteinler, azot içeren amino asitlerin oluşturduğu bitki hücrelerinin ana yapısal birimleridir. Klorofil, DNA, enzimler, ATP ve ADP' nin temel bir bileşeni olarak birçok metabolik ve düzenleyici olayda yer alır. Nitrat ve amonyum iyonları ile organik azotlu maddeleri içerir, ancak atmosferik azot bitkiler tarafından kullanamaz (Preetha ve Balakrishnan, 2017). Bitki köklerinin solunumunda, çiçeklenmenin süresi içinde gerçekleşmesinde, meyvenin (tohumun) oluşumunda ve olgunlaşma sürecinde azotun rolü oldukça fazladır. Ayrıca azotu yeterli miktarda alan bitkilerin zararlılara direnci artmaktadır (Bolat ve Kara, 2017).

Azot Zeolitler

Gupta vd. (1997) Zeolit kullanımı (aktaran Butt ve Naseer, 2020), gerekli besin maddelerini tutan ve serbest bırakan, dolayısıyla tüm besin maddelerini uygun miktarlarda sağlayarak ürün verimliliğini artıran çok etkili bir alternatiftir. Klinoptilolit zeolit (gözenekli zeolit), kayda değer katyon değişim kapasitesi (300 cmol kg-1) ile amonyum iyonları için mükemmel bir afiniteye sahiptir. Amon vd. (1997). Amonyak (aktaran Butt ve Naseer, 2020) salınımını kontrol etmek ve bitkileri amonyum iyonlarının toksik etkilerinden korumak için uygulanmıştır.

Fosforlu Nanogübre

Fosfor tüm canlılar için vazgeçilmez elementlerden biridir. Bitkilerde çeşitli biyokimyasal süreçleri düzenleyen ve ATP ve ADP dâhil birçok bileşiğin yapısal bir bileşenidir. Enerji transferinde çok önemli bir rol oynar. Fosfor tohum veriminde iyileşme, kök sürgün uzunluğunda ve canlılıkta artış, gelişmiş çiçeklenme, hastalık direnci ve mahsul kalitesi ve veriminde yer alır (Preetha ve Balakrishnan, 2017). Ayrıca potasyumun bitkiler tarafından alınmasına da zemin oluşturmaktadır (Bolat ve Kara, 2017).

Fosforlu Zeolitler

Preetha ve Balakrishnan (2017) Yapay besin büyüme sisteminde bitkiye besin salınımını değerlendirmek için zeoponik (modifiye edilmiş doğal zeolit) iyon değişimi ve apatit'in (fosfat minareli) çözünmesi ile bitki ihtiyacına göre N, P, K gibi besinleri serbest bırakan zeoponik üzerine bir araştırma yapılmıştır. Bu yapay sistemler, besin tutma kapasitesini iyileştirerek mineral besin kaybını azaltır ve böylece bitkilere yenilenebilir tedarik dengesini koruyarak gübre bağımlılığını azaltmış olur. Subramanian ve Rahale (2009). Zeolitlerden ve nano killerden (aktaran Butt ve Naseer, 2020) fosfat salma şeması rapor edilmiş ve nanogübrelerin 1200 saate kadar fosfatı yavaş saldığı, geleneksel gübrelerin ise 300 saat içinde tüm besin maddelerini saldığı gözlemlenmiş bu nedenle yüzey modifiyeli zeolitlerin kullanılması önerilmiştir.

Potasyum Nanogübre

Bitkilerin hayatta kalması için gerekli olan önemli bir besindir. Çok sayıda enzim ve koenzimlerin aktivasyonunda, protein ve nişasta sentezinde, fotosentezde, karbonhidratların taşınmasında, iyonik dengenin korunmasında ve kuraklığa karşı dayanma gücünü artırmakta rol oynamaktadır. Potasyum noksanlığı kök filizlerinin gelişiminin zayıflamasına, tohum ve meyve üretiminin azalmasına, bitkilerde hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığın azalmasına neden olur. Uygun potasyum konsantrasyonu ise meyvelerde renk, şekil, boyut, tat ve raf ömrünü iyileştiren önemli bir faktör olarak görülmektedir (Preetha ve Balakrishnan, 2017).

Potasyum Zeolitler

Mazur vd. (1986) Doğal zeolitlerin (aktaran Butt ve Naseer, 2020), gübrelerdeki diğer katyonlardan ziyade potasyumu emme kapasitesine sahip oldukları ve böylece topraktan kaybını azalttığı bilinmektedir. Zeolit ile birlikte kimyasal ticari gübrelerin uygulanması, toprakta büyük miktarda potasyum bulunduğunu göstermektedir. Treacy ve Higgins (2007) Potasyum (aktaran Butt ve Naseer, 2020), maksimum katyon değişim kapasitesine (216 cmol kg-1) sahip besinlerden biridir, bu nedenle toprak çözeltisinde kolayca salınır ve çözülür.

İkincil Besinler ile Kaplanmış Nanogübreler

Supapron vd. (2002) İkincil mineral besinler (aktaran Butt ve Naseer, 2020) Kalsiyum, magnezyum ve kükürt' tür. Kalsiyum ve magnezyum, topraktaki kil içeriği ile birleşerek topraktaki potasyum gibi aynı davranışı gösterir. Zeolitlerin gübre olarak kullanılmasıyla toprakta kalsiyum ve magnezyum içeriğinin iyileştirilebileceği öne sürülmüştür.

Mikro Nanogübreler

Mikro besinler, bitki büyümesi ve gelişmesi için eser miktarlarda gerekli olan kimyasal maddelerdir. Bu kimyasallar, manganez (Mn), bor (B), molibden (Mo), demir (Fe), çinko (Zn), klorür (Cl) ve bakır (Cu) dır. Küçük miktarları, uygun bitki büyümesi ve düzenlenmesi için makro besinler kadar hayati önem taşır (Butt ve Naseer, 2020).

Mikrobesin Eksikliği

Malakouti (2008) Asya'nın birçok ülkesinde, mikro besinlerin eksikliği (aktaran Butt ve Naseer, 2020), çeşitli abiyotik faktörlere bağlanır, aslında tarımsal üretimde temel sorundur. Mikrobesin eksikliği, bitki morfolojisi ve fizyolojisi üzerinde ciddi zarar verici etkilere sahip olmakla beraber üretimde ve veriminde bir azalmaya neden olabilir.

Doğal Zeolitler

Sheta vd. (2003) Doğal zeolitlerin bentonit ve şabazit minerallerinin (aktaran Butt ve Naseer, 2020) özellikle besin emilimi için daha etkili olduğu yapılan araştırmalarda gösterilmiştir. Schmidt ve Szakal (2007) Buğday bitkisinde çinko ve bakır zeolitlerinin (aktaran Butt ve Naseer, 2020) yapraktan uygulanması sonucu çinko zeolitli buğday bitkisinin protein içeriğinde bakır zeolitlerle muamele edilen bitkilere göre artış olduğu gözlenmiştir.

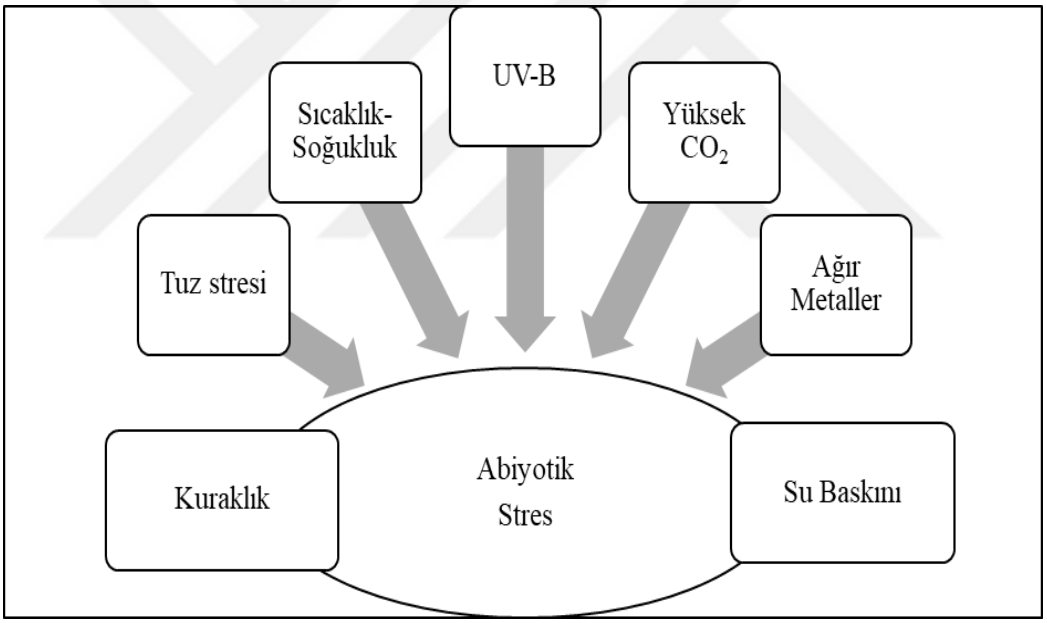
7.1.4.4.3. Nanogübreler ve Nanotoksisite

Oberdörster vd. (2005) Nanoteknolojideki gelişme ile beraber (aktaran Butt ve Naseer, 2020) bu teknolojiyle ilgili belirsizlikler de kendini göstermektedir. Bu teknoloji ile ilgili temel endişelerden biri, nanoparçacıkların insan sağlığı ve çevre üzerindeki uzun süreli ve bilinmeyen etkileridir. Bu sorunları ele alabilmek için, nanoteknolojinin uygulanmasından önce nanoparçacıkların kullanımının değerlendirilmesinin gerektiğidir. Bu düşünce, toksikolojik potansiyeli değerlendirmenin yanında nanopartiküllerin güvenli tasarımını ve kullanımını teşvik etmekten sorumlu olan "nanotoksikoloji" yi geliştirmiştir. Meng vd. (2009). Sağlığa olan etkileri (aktaran Butt ve Naseer, 2020), çevre temizliği ve nanoparçacıkların güvenli bir şekilde ortadan kaldırılması ile ilgili sistematik ve kapsamlı bir analiz, nanoteknolojinin daha ileri uygulamalarının tasarlanmasında iyileştirmelere yol açacaktır.

7.1.5. Nanoteknoloji ve Abiyotik Stresler

Boscaiu vd. (2008) Abiyotik stres (aktaran Iqbal, Waheed ve Naseem, 2020) bitkilerin üremesini, canlılığını ve büyümesini engelleyen çevresel faktörler olarak tanımlanır. Örnek; tuzluluk, kuraklık, ağır metaller, düşük-yüksek sıcaklıklar, yüksek UV radyasyonu veya düşük ışık, toprak pH'sı ve besin noksanlığı vb. sayılabilir. Korkmaz ve Durmaz (2017) Dünya genelinde bitkisel üretimde verim kaybının ilk sırasında abiyotik stres yer almaktadır. Ortalama ürün verimini % 50' nin üzerinde azaltmaktadır.

Kang vd. (2009) Oluşan stres koşulları altında (aktaran Iqbal vd., 2020) tarımda verimlilik sorununu çözmek için, büyük harcamalar gerektirmeyen modern çevre dostu yaklaşımlar gereklidir. Hatami vd. (2016) Nanoteknoloji (aktaran Iqbal vd., 2020) abiyotik stres için bitkisel üretimde ortaya çıkan yeni bir çözüm olacaktır Şekil 6.5 'de abiyotik stres türleri gösterilmiştir.



Şekil 7.5. "Abiyotik Stres Türleri" (Iqbal vd.,2020).

7.1.5.1. Kuraklık

Bitkiler, kök bölgelerinde su azaldığında veya yapraklarında terleme hızı çok yükseldiğinde kuraklık stresiyle karşılaşırlar. Bitki hücrelerinde su azalması, bitkinin büyüme ve gelişmesini kısıtlayarak bitki hücresinin turgor durumuna geçişini engeller. Kuraklıkta bitki su ilişkilerinin etkilenmesi dışında, hücre metabolizmasında bozulma, enzim aktivitelerinde azalma, stomaların kapanması, fotosentez ve solunumun etkilenmesi ile hücre zarında yırtılma

ve hücre kaybı gibi sitolojik süreçler üzerinde de olumsuz etkilere yol açtığı gözlenmektedir (Yavaş ve İlker, 2020).

Davar vd. (2014) Farklı nem stresi seviyeleri altında yapılan bir araştırmada (aktaran Iqbal vd., 2020) alıç fidelerinin farklı miktarlarda silika Nanoparçacıkları ile karışımlarında biyokimyasal ve fizyolojik reaksiyonları incelenmiştir. Nem eksikliği koşullarında çalışmalar yapılmış ve nanopartiküllerin ön muamelesinin fizyolojik parametreler üzerindeki olumlu etkileri not edilmiştir. Bu araştırma, Silika NP' lerinin kuraklık stresi sırasında alıç fidelerinde kritik biyokimyasal ve fizyolojik fonksiyonların sürdürülmesinde olumlu bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Kuraklık stresinin verim parametreleri üzerindeki zararlı etkilerinin yapraklara demir NP spreylenmesi ile azaltılabileceği ve aspir çeşitlerinin yağ yüzdesinin ve verim bileşenlerinin iyileştirilebileceği bildirilmiştir.

Jaberzadeh vd. (2013) Titanyum dioksitin kuraklık stresi sırasında buğday üzerindeki olumlu etkilerini tanımlamıştır (aktaran Iqbal vd., 2020) Bu uygulama, buğday tohumlarındaki nişasta ve glüten içeriğini arttırmıştır. Sonuçlar, %0.02 seviyesinde titanyum dioksit NP ilavesinin koçan ağırlığı, bitki boyu, koçan sayısı, 1000 tane tohum ağırlığı, tohum sayısı, biokütle, nişasta ve glüten içeriğinde artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

7.1.5.2. Tuz Stresi

Tuz stresi veya toprak tuzluluğu, toprakta sodyum, magnezyum ve kalsiyum tuzların fazlalığı anlamına gelir ve büyük çevresel sorunlardan biri olarak görülmektedir. Topraktaki tuzluluk bitki, alg ve siyonobakteriler ile beraber fotosentetik organizmalara iki durumda tesir etmektedir. Birincisi tuz, topraktaki negatif su potansiyeli sonucu oluşan düşük su içeriği ile ozmotik stresi tetiklemektedir. İkincisi hücre içi sıvısında yüksek Na^+ ve Cl^- iyonları ve hücre içi K^+/Na^+ iyon oranındaki değişimler sonucu meydana gelen iyonik strestir (Yavaş ve İlker, 2020).

Nanoteknoloji tuzluluk sorununun üstesinden gelmek için farklı şekillerde kullanılmaktadır. Tuzdan etkilenmiş toprakların ıslahında nano jips, nano kalsiyum ve nano magnezyum bileşikleri kullanılmaktadır. Bu bileşiklerin toprağın hidrolik özelliklerini ve stabilitesini arttırdığı bilinmektedir. Bitkilerin tuzlu koşullarda büyümelerini iyileştirmek için de farklı nanopartiküller uygulanmaktadır (Iqbal vd., 2020). Hojjat ve Kamyab (2017) Tuzluluğun çemen otunun çimlenmesi ve büyümesi üzerindeki olumsuz etkilerini iyileştirmek için gümüş nano parçacıkları ile yaptıkları çalışmada (aktaran Iqbal vd., 2020) Çemen otu

fidelerinin tuzluluk toleransını geliştirmede genel AgNP uygulamasının faydalı olduğu bulunmuş ve nanopartiküller uygulanarak bitkilerin tuz stresine karşı farklı savunma mekanizmalarının uyarılabileceği öne sürülmüştür.

7.1.5.3. Sıcaklık Stresi

Kai ve Iba (2014). Bitkiler için (aktaran Iqbal vd., 2020), uygun olan ortamın üstünde veya altındaki sıcaklık değerleri stres faktörü olarak tanımlamaktadır. Sıcaklık stresi, bitkilerin büyümesini, gelişmesini ve çimlenme oranlarını azaltarak olumsuz etkilemektedir.

Iqbal vd. (2017)' nin nanopartiküllerle sıcaklık stresi altındaki bitkiler üzerinde yapılan olumlu çalışmaları bulunmaktadır (aktaran Iqbal vd., 2020). Örnek, Gümüş nano parçacıkların yüksek sıcaklık stresi altında buğday büyümesi üzerindeki etkisinin araştırılması. Konu ile ilgili olarak buğday bitkileri, çeşitli seviyelerde gümüş nano partiküller (25, 50, 75 ve 100 mg/L) ile üç yapraklı fazlarında işleme tabi tutuldu. 3 gün boyunca günde 3 saat 35-40 °C sıcaklıkta ısı stresi uygulandı. Elde edilen sonuçlara göre, kontrol grubunda ısı stresi uygulandığında kök sayısı ve uzunluğu, sürgün uzunluğu, bitki kütlesi (yaş ve kuru), yaprak sayısı, yaprak yaş ağırlığı ve kuru kütle ve yaprak alanında azalma gözlenmiştir. Gümüş nanopartiküller bitkilere uygulandığında bitki büyüme parametrelerini iyileştirdiği bulunmuştur. 50 ve 75 mg/l' lik bir konsantrasyonda gümüş nanopartiküller bitki ağırlığını (taze ve kuru), kök sayısını ve uzunluğunu, sürgün uzunluğunu, yaprak sayısını, taze ve kuru yaprak kütlesini ve yaprak alanını kontrole göre iyileştirdiği tespit edilmiştir. Burada gümüş nanopartiküllerinin buğdayı yüksek sıcaklık stresinden koruyabileceği buğdayın büyümesini artırma kabiliyetine sahip olduğu ve stresin olumsuz etkilerinden korumak için kullanılabileceği sonucuna varılabilir.

Soğuk havanın bitki büyümesini ve ürün verimliliğini etkilediği ve önemli ürün kayıplarına yol açtığı bilinmektedir. Bhati-Kushwaha vd. (2013) bir araştırmalarında (aktaran Iqbal vd., 2020), Tridax procumbens (tridax papatya) kullanılarak sentezlenen biyo nanopartiküller, anti-oksidatif mekanizmayı uyarmak ve bu nano partiküllerin buğdayın tohum çimlenmesi ve fide büyüme özellikleri üzerindeki etkilerini gözlemlemek için bir astar ajanı olarak kullanılmıştır. Biyo nanopartiküllerin süper oksit dismutaz ve diğer antioksidanların aktivitelerini önemli ölçüde arttırdığı bulunmuştur. Bu çalışma, abiyotik stresler altında çok önemli olan bitkilerin antioksidan mekanizmasını güçlendirmede nanopriming potansiyelini göstermektedir (Iqbal vd., 2020).

7.1.5.4. UV Stresi

Güneşten yeryüzüne gelen ışık içinde dalga boyları birbirinden farklı olan çeşitli ışınlar bulunmaktadır. Bu ışık ışınları dalga boyları baz alınarak, uzun (7000 A$^{o'}$ un üzerinde olanlar), orta (7000-4000 A^{o} arasında olanlar) ve kısa (4000 A^{o} dan küçük olanlar) olmak üzere 3 ana grupta toplanmıştır. Kısa dalga boylu ışınlarda, dalga boyları 4000-3150 A^{o} arasında olanlar "UV-A" ışınları, dalga boyları 3150-2800 A^{o} arasında olanlar "UV-B" ışınları, dalga boyları 2800 A^{o}" dan küçük olanlar "UV-C" ışınları olarak adlandırılır. Yeryüzüne gelen toplam ışığın %39 'u orta dalga boylu, % 60' kadarı uzun dalga boylu ve %1 kadarı da kısa dalga boylu ışınlardan oluşur (Canbay ve Polat, 2020).

Tevini (2004). Ozon tabakasındaki incelme (aktaran Iqbal vd., 2020), UV-B radyasyonunu yükseltecek bu da bitkileri olumsuz yönde etkileyecektir. En yaygın semptomlar, fotosentezde, büyümede ve biyokütlede azalma olarak gözlenmiştir. Kumar ve Swati (2016) Nanopartiküller (aktaran Iqbal vd., 2020), son yıllarda bitki bilim insanlarının dikkatini çekmektedir. Özellikle nanopartiküller arasında biyotik streslerin yanı sıra abiyotik stresleri de en aza indirmede silikonun rolü bilinmektedir. UV-B radyasyonunun, fotosentetik performansın azalması ve yaprağın hayati yapılarının değişmesiyle ilişkili olarak buğday fidelerinin büyümesi üzerinde önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiş, araştırmada silikon nanopartiküllerin, reaktif oksijen türleri (ROS) tarafından tetiklenen fotosentez hasarını art arda dengeleyen nitrik oksit aracılı antioksidan savunma sistemini aktive ederek buğday fidelerini koruyabileceği gözlenmiştir.

7.1.5.5. Karbon Dioksit (CO2) Stresi

Ziska (2008). Karbondioksit miktarındaki artış (aktaran Iqbal vd., 2020) küresel düzeyde iklimi etkilemektedir. Artan karbondioksit seviyesinin bitkilerin fizyolojisi, kimyası ve büyümesi üzerinde doğrudan etkisi bulunmaktadır. Miralles vd. (2012). Fotosentez (aktaran Iqbal vd., 2020), bitkilerin ana metabolik süreci olarak tanımlanmaktadır. Fotosentez de karbondioksit seviyesindeki artış, bitkinin büyüme ve fizyolojisi üzerinde büyük bir etkiye neden olabilir. Yüksek karbondioksit oranı birçok bitkide fotosentezde düşüşe neden olur. Ayrıca geçmişteki araştırmalardan, karbondioksitteki ani bir artışın çeşitli bitki türlerinde daha fazla hasara yol açtığına dair bulgular mevcuttur.

Yapılan bir çalışmada, yüksek karbondioksit seviyesinin, nTiO2'nin (0, 50 ve 200 mg/kg) tarım arazisinde mikrobiyal ve fitotoksisitesinin etkileri incelenmiştir. Araştırmada,

nTiO2'nin normal karbondioksit seviyesinde (370 µmol/mol) yetiştirilen çeltik bitkilerinde toksisiteye neden olmadığı, ancak nTiO2'nin daha yüksek karbondioksit konsantrasyonunda (570 µmol/mol) bitki biyokütlesinde %17,9 azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yüksek karbondioksit seviyeleri nTiO2; Ca, Mg, Mn, P, Zn ve Ti birikiminde artışa neden olmuş, tahılların yağ ve toplam şeker içeriğini azaltmıştır. Bunun yanında toprak mikrobiyal topluluk bileşimini de değiştirmiştir. Genel olarak, bu çalışma, karbondioksit seviyelerindeki bir artışın, nTiO2'nin mahsullerin besinsel bileşimi ve toprak mikrobiyal popülasyonlarının işlevi üzerindeki etkilerini değiştireceğini ve gelecekte insan sağlığı ve ekonomi üzerinde olumsuz etkiler doğurabileceğini göstermektedir (Du vd., 2017).

7.1.5.6. Ağır Metal Stresi

Dünyada metal kirliliği giderek artmaktadır. Kurşun, krom, kadminyum, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko gibi 60'ın üzerinde metal içeren ağır metaller düşük konsantrasyonlarda bile toksik etkilidirler (Yavaş ve İlker, 2020). Nagajyoti vd. (2010) Ağır metaller arasında (aktaran Iqbal vd., 2020) kurşun, krom, bakır cıva ve kadmiyum, özellikle antropojenik baskının yoğun olduğu bölgelerde başlıca çevresel kirleticiler olarak karşımıza çıkmaktadır. Cu, Fe, Mn, Co, Zn ve Cr gibi metallerden birkaçı, bitkilerin eser miktarda ihtiyaç duyduğu temel mikro besin elementleridir. Ancak metaller biyolojik olarak kullanılabilir olduğunda ve fazla miktarda bulunduğunda bitkiler için de toksik etki gösterir. Iqbal vd. (2020). Topraklarda ağır metallerin birikmesi, gıda güvenliği, bitkisel üretim ve pazarlanabilirlik üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle tarım alanında büyük bir endişe kaynağı oluşturmaktadır

Nanopartiküllerin, ağır metallerin zararlı etkilerini azaltmada etkili olduğu tespit edilen çalışmalar vardır. Ağır metaller içeren atık suyun ve nano-TiO2'nin (2-6 nm) mısır fidelerinin büyümesi üzerindeki etkisini araştırmak için bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada nano-TiO2 süspansiyonu, otoklavlanmış atık su içinde, in vitro deneyler sırasında (25, 50 ve 100) mg/L seviyelerinde uygulandı. Atık su analizleri yapılarak ağır metal içeriğinin (Zn, Cu, Fe, Mn, Cr ve Cd) sulama için kabul edilebilir değerlerin üzerinde olması nedeniyle sulama amaçlı kabul edilemeyeceği tespit edildi. Atık sularda yüksek miktarda ağır metaller ve 100 mg/L düzeyinde nano-TiO2 olması, tohumların çimlenmesini, fidelerin büyümesini belirgin şekilde engellemiş ve ayrıca mısırda fenoliklerin birikmesine neden olmuştur. 25 mg/L düzeyinde Nano-TiO2 uygulaması sürgünün kuru ve taze ağırlığını, kök yaş ve kuru ağırlığını, kök alanını, karotenoidleri ve klorofil (a ve b) içeriğini önemli ölçüde artırmıştır. Atık suyun mısırın büyüme parametreleri üzerindeki olumsuz etkileri, nano-TiO2 ile 25 mg/L seviyesinde belirgin şekilde

hafifletildi. Atık suların tarım amaçlı kullanılmadan önce 25 mg/L düzeyinde nano-TiO2 ile uygulanması önerilmektedir. Ancak, yüksek miktarda nano-TiO2 bitkiler için toksikti. Nano-TiO2'nin (25 mg/L) seviyesinde uygulanmasının mısırın büyümesi üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığını ve ağır metal toksisitesi ile kirlenmiş atık su ile sulama sırasında mısırın gelecekte uygulanması için önerilebilir (Yaqoob vd., 2018).

7.1.5.7. Su Basması

Toprağın çok fazla ıslanması ve gözenek boşluğunda yetersiz oksijen bulunması sonucu su basması meydana gelir. Bu durum bitki köklerinin yeterince nefes almasını zorlaştırır. Su basması stresi, köklerin büyümesini, köklerin geçirgenliğini engeller. Bitkilerde hipoksi ve etilen üretimine yol açar ve oksijen eksikliği yaratır (Iqbal vd. ,2020). Su basması, özellikle sebzeler, buğday, mısır ve soya fasulyesi gibi yağlı tohum bitkileri ile farklı bitkilerin büyümesini olumsuz etkilemektedir. Su basması stresi altında gümüş nanopartiküllerinin soya fasulyesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere yapılan çalışmada, su basması stresi altında, 2 ppm (boyut = 15 nm) kullanılan gümüş nanopartikülleri soya fasulyesi fidelerinin büyümesini kolaylaştırdı ve soya fasulyesi fidelerinin stres altında büyümesini de arttırdı (Mustafa, Sakata, Hossain ve Komatsu, 2015).

Nanoteknoloji gelişmekte olan bir alandır. Elektronik, enerji, tıp ve tarım gibi çeşitli alanlarda potansiyel uygulamalara sahiptir. Ancak nanoteknoloji ve nanopartiküllerin tarım alanında kullanımı özellikle stresli ortamlarda henüz başlangıç aşamasındadır. Her ne kadar son yıllarda bu konuyla ilgili birçok ön çalışma yapılsa da, nanoteknolojinin normal ve stresli koşullarda bitkisel üretimin iyileştirilmesi için kullanılabileceği tarım bilimi ile uğraşanlara umut vermektedir (Iqbal vd., 2020).

7.1.6. Nano-Fitopatoloji

Bitki enfeksiyonları, yıllık toplam üretimin % 20-30’ una yakın kısmının kaybına neden olduğu, beslenmenin sürdürülebilirliği açısından bu kaybın en önemli sorunlardan biri olarak görüldüğü ileri sürülmektedir (Nezhad, 2014).Toplumların uzun süredir bu sorunla boğuştuğu ve dünya nüfusunun hızla arttığı düşünüldüğünde artan nüfusun ihtiyaçlarının sınırlı kaynaklarla (toprak, su, enerji) nasıl karşılanacağı ve çevreye yönelik zararın nasıl azaltılacağı üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmalarda ana konu bazen bitki hastalıkları ile mücadele olabilmektedir. Bilim insanlarının bitki hastalıklarının kontrol altına alınabilmesi için çeşitli çalışmaları bulunmaktadır. Nanoteknoloji yüzyılın bu dönemi için yeni bir alandır, ancak

ileriki dönemlerde bu alanda yapılan araştırmalarla, bitki enfeksiyonlarının tedavisinde nanopartiküllerin kullanımı artacaktır. Nanoteknoloji, antibakteriyel ve antifungal etkileri nedeniyle bitki patolojisi çalışmalarına parlak bir gelecek sunacaktır. En etkili yolu olarak nanopartiküller yardımıyla tohumları ve yaprakları izinsiz ziyaret eden patojenlerden koruması gösterilebilir. Nanopartiküllerin toprakta uygulanması ve hedeflenmemiş türlerle etkileşimlerinde sorun olabilir. Özellikle hedeflenmeyen bu türler, nitrojen sabitleyici bakteriler gibi toprakta faydalı rollerini oynarken, bu sorun ciddi bir problem haline gelebilir. Araştırmalar ayrıca nanomalzemelerin feromonlar, inhibitörler, pestisitler, besinler vb. gibi önemli kimyasalların taşıyıcısı olarak da kullanılabileceğini göstermektedir (Younas vd., 2020).

7.1.6.1. Nanopartiküllerin Patojenler/Mikroorganizmalar Üzerindeki Etkisi

Malzemeler makroformdan nanoforma geçerken sadece ebatları değişmemekte, farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri de değişmektedir. Nanopartiküller, avantajlı boyutları ve yüzey alanları ile bitki patojenlerinin aktivitesini etkilemektedir (Younas vd., 2020).

7.1.6.2. Nanopartiküllerin Bakteriler Üzerindeki Etkisi

Son yıllarda yapılan araştırmalar, nanopartiküllerin, bakteri hücre duvarını fiziksel olarak tahrip etmesi ve ROS üretilmesi ile oksidatif stresin neden olduğu antibakteriyel özellikler sergileyebileceğini göstermiştir (Younas vd., 2020). Bakteriyel enfeksiyon, kontaminasyon ve mortalitenin önde gelen nedeni olarak gösterilmektedir. Günümüzde bakteriyel enfeksiyonun tedavisinde antibiyotikler kullanılmaktadır. Ancak bazı çalışmalar, aşırı antibiyotik kullanımının çoklu ilaca dirençli bakteri suşlarına yol açtığını göstermiştir. Bir tür süper bakteri oluşarak hemen hemen her türlü antibiyotiğe karşı direnç geliştirmiştir (Hsueh, 2010; Younas vd., 2020). Nanopartiküller, bu tür dirençli süper bakterileri kontrol edebilir, çünkü nanopartiküllerin etki şekli, bakteri hücre duvarı ile doğrudan ilişkilidir. Son araştırmalar, nanopartiküllerin, bakteri hücre duvarının fiziksel olarak yok edilmesini ve sonuçta oksidatif strese neden olan reaktif oksijen türlerinin oluşumunu gösteren anti bakteriyel özellikler içerdiğini göstermiştir. Çinko oksit, Bakır ve Gümüş nanopartiküllerinin Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli ve Klebsiella pneumonia bakterilerine karşı gelişmiş antimikrobiyal aktiviteleri olduğu rapor edilmiştir (Younas vd., 2020).

7.1.6.3. Nanopartiküllerin Mantarlar Üzerindeki Etkisi

Mantar hastalığı, bitkinin belirli bir bölümünde oluşan belirtilerle tanımlanabilir. Bitki hastalıklarına neden olan mantarların teşhis ve kontrolü bitkilerin büyüme ve gelişmesi için oldukça önemlidir. Manganez (Mn) ve çinko (Zn) nanoparçacıkları gibi mikro besinler, Helianthus annuus'ta sönümleme ve kömür çürüklüğü hastalıklarını kontrol altına aldı (Younas vd., 2020). Yapılan bazı çalışmalarda kitosan ve kitosan nanopartiküllerinin sentetik kimyasallara göre Fusarium solani gibi bitki patojenine karşı daha fazla başarı sağladığı görülmüştür. Kitosan nanopartikülleri, zeta potansiyeli ve partikül boyutu ile engelleyici etkisini göstermektedir. Bu nedenle doğal bir antifungal olarak başarılı bir şekilde tarımsal uygulamalarda kullanılmaktadır (Atakan ve Özkaya, 2018).

7.1.7. Bitki Zararlı Yönetiminde Nanoteknoloji

7.1.7.1. Zararlı ve Pestisitler

İnsanlara, hayvanlara ve mahsullere zarar veren istenmeyen organizmalara zararlı, zararlıları engellemek, kontrol altına almak ve yok etmek için kullanılan kimyasal maddelere de pestisit denir. İnsanlara, hayvanlara ve bitkilere farklı türde ve ölçüde zarar veren haşere grupları bulunmaktadır. Zararlıların neden olduğu zararın türünü belirlemek için zararlının türünü anlamak ve belirlemek gerekir. Zararlılar, Eklembacaklılar, Nematodlar, Omurgalılar, Yabani Otlar ve Patojenler olmak beş ana grupta toplanmıştır (Akhtar, Iqbal ve Saddiqe, 2020).

Pestisitler, görünüş, formülasyon şekilleri, etki şekilleri, kimyasal yapıları, kullanıldıkları zararlı grupları ve zehirlilik derecesine göre çok farklı şekillerde sınıflandırılırlar. En çok kullanılan sınıflandırma şekli, kullanıldıkları zararlı gruplarına göre yapılan sınıflamadır. Kullanıldıkları zararlı gruplarına göre pestisitler; Herbisit (yabancı otlara karşı), Fungisit (funguslara karşı), Avisit (kuşlara karşı), Akarisit (akarlara karşı), Virisit (virüslere karşı), Rodentisit (kemirgenlere karşı), Nematisit (nematodlara karşı), Mollussisit (yumuşakçalara karşı), Bakterisit (bakterilere karşı), İnsektisit (böceklere karşı), ve Algisit (yosunlara karşı) şeklinde sınıflanmıştır (Tiryaki, Canhilal ve Horuz, 2010).

7.1.7.1.1. Pestisitlerle İlişkili Riskler

Pestisitlerin zehirli özelliklerinden dolayı kullanımları ile ilgili birçok risk faktörü bulunmaktadır. Bunları genel olarak pestisit kullanıcıları, tarım ürünleri tüketicileri ve çevre olarak üç başlık altında toplayabiliriz (Akhtar vd., 2020).

Pestisit kullanıcıları, çiftçiler ve aile üyeleri ilaçları veya kimyasalları hazırlamak için karıştırdıklarında ve bu kimyasalları bitkilere uyguladıklarında, pestisitlerle doğrudan temas (Ağız yolu, Nefes yolu, Deri yolu) halinde olacaklardır. Bu nedenle yüksek risk grupları arasındadırlar (Akhtar vd., 2020).

Tarım ürünleri tüketicileri, tarımsal ürünlere pestisit uygulandığında bu kimyasallar geride kalıntılar bırakabilir ve bu kalıntılar tüketiciler tarafından kullanılacaktır (Akhtar vd., 2020).

Çevre, pestisitler sadece hedeflenen organizmaları öldürmekle kalmaz, aynı zamanda çevrede bulunan kuş, balık, solucan ve böcekler gibi diğer faydalı organizmaları da öldürerek biyolojik çeşitliliğin kaybolmasına ve vahşi yaşamın ölümüne neden olur. Ayrıca bu zehirli kimyasallar su, hava ve toprağa karışarak kirlenmelerini sağlar (Akhtar vd., 2020).

Aşırı Pestisit Kullanımı

Ürün verimliliği hastalıklar nedeniyle sınırlanmaktadır. Sorun hastalık yönetiminin, hastalıkları önlemek için hastalık aşamalarını takip edememesi süreci iyi yönetememesinden kaynaklanmaktadır. Bu aşamada pestisitler zararlı yönleri dikkate alınmadan uygulanmakta, bunun sonucunda kalıntı toksisite ve çevresel tehditler ön plana çıkmaktadır. Günümüzde pestisit kullanımı, farklı hastalık ve zararlıların etkilerinin üstesinden gelmenin en hızlı yoludur. Biyolojik mücadele yöntemleri pahalı olduğu için şu an kullanılmamaktadır. Kontrolsüz pestisit kullanımı sonucu oluşan sorunlar aşağıda sıralanmıştır (Akhtar vd., 2020).

- İnsan sağlığı için zararlı etki oluşturması,
- Evcil hayvanlar ve tozlaşan böcekler üzerinde zararlı etki oluşturması,
- Toprağa sızarak su ile karışması sonucu toprak ve su kirliliği oluşumu,
- Ekosistem üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilerinin olması şeklinde sıralanabilir

7.1.7.2. Nanopestisitlerin Formülasyonu

Nanometre aralığındaki elementlerden oluşan ve yenilikçi özellikleri bulunan herhangi bir pestisitin formülasyonu, küçük boyut aralıklarıyla ilişkilidir. Nano pestisitler farklı yapı ve içerikte olabilir, bu yüzden tek bir kategori altında toplanamaz. Nano pestisitler; organik olan ve polimerler içeren bileşenler ile inorganik olan bileşenler, miseller ve partiküller gibi farklı formlardaki metal oksitleri içerir. Nano formülasyonların amacı ise; ana bileşenin çözünürlüğünü arttırmak, aktif maddenin yavaş kontrollü salınması ve aktif maddeyi erken bozulmaya karşı korumak olarak açıklanabilir (Akhtar vd., 2020).

7.1.7.3. Nanomalzemeler ve Pestisitlerin Kontrollü Salımı

Nanomalzemelerin yardımıyla pestisitlerin kontrollü salımı, gıda ve enerji talebindeki hızlı büyümenin yanı sıra artan toprak, su ve hava kirliliğine çözüm için yeni bir yaklaşımdır. Gıda ve enerji sektörü ile çevrenin hedeflerine ulaşması için kontrollü pestisit salımı çok önemli bir adım olarak görülmektedir. Pestisit taşıyıcılar, etken maddeleri kapsülleme kararlılığının yanında, pestisitlerin aktif kısmını taşıyan ve hedefe aktaran kontrollü salım özelliklerine sahip maddelerdir (Akhtar vd., 2020).

7.1.7.4. Pestisit Olarak Metal Nanopartiküller

Rani vd. (2009). Belirli biyolojik ve kimyasal özelliklere sahip metal nanopartiküller (aktaran Akhtar vd., 2020) bir pestisit taşıyıcısı veya bir pestisit olarak kullanılabilir. Bu metaller, böceğin vücuduna kolayca nüfuz edebilir ve vücudu delebilir. Gümüş ve silika nanopartiküllerin antimikrobiyal ve anti-parazitik özellikleri, haşere kontrolü için çeşitli tarım ve gıda işleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Jones ve Hoek (2010). Nanopartiküllerin yüzey tabakası (aktaran Akhtar vd., 2020), pestisitlerin depolama kapasitesini 180 güne çıkarırken, iki solucana (tütün solucanı ve yarı ilmekli solucan) karşı gözlemlenen böcek öldürücü özelliklerde ise on kat artış sağlanmıştır. Gümüş nanopartiküller, tip II piretroid pestisit olan deltamethrin ile muamele edildiğinde sivrisinek öldürücü aktivitesi, Aedes aegypti (Sarıhumma sivrisineği) dang vektörüne karşı test edilerek, nanogümüş-deltametrin kompleksi, 20-300 nm boyut aralığında oluşturularak deltametrin insektisit etkinliği iyileştirilmiştir.

7.1.7.5. Nanopestisitler ve Çevre

Nanopartiküller fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle çevre üzerinde öngörülemeyen olumsuzluklara neden olabilir. Kaygı, nanopartiküllerin, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkiler yaratarak yeni bir kirletici konumuna gelmesidir (Ormanoğlu, Emekçi ve Ferizli, 2021). Bu sorunları ele alabilmek için, nanoteknolojiyi uygulamadan önce nanoparçacıkların kullanımının değerlendirilmesinin gerektiğidir. Meng vd. (2009) Sağlığa olan etkileri (aktaran Butt ve Naseer, 2020), çevre temizliği ve nanoparçacıkların güvenli bir şekilde ortadan kaldırılması ile ilgili sistematik ve kapsamlı bir analiz, nanoteknolojinin daha ileri uygulamalarının tasarlanmasında iyileştirmelere yol açacaktır.

7.1.8. Hasat Sonrası Tarım Ürünlerinin Muhafazası ve Depolanmasında Nanopartiküller

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO 2017) dünya nüfusunun 2050 yılında 9,1 milyara ulaşacağını öngörmektedir. Artan nüfus, doğal kaynakların azalmasına neden olmaktadır. Buda gelecekte gıda teminini zorlaştıracaktır. Biyoteknoloji ve nanoteknoloji gibi ileri teknolojiler ile tarımsal üretimde verimliliğe ve hasat sonrası dirençli patojenlere bağlı ürün kayıplarının azaltılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Nanoteknolojinin hasat sonrası hastalıkların yönetimi alanında çeşitli uygulamaları mevcuttur. Bunlardan biride nanomalzemelerle paketlemedir. Paketleme ile ürünlerin raf ömrü uzar, patojenlerin büyümesi kontrol altına alınır, gazlardan ve UV ışınlarının zararlı etkilerinden korunur ayrıca gıda kalitesi ile gıda bozulmaları tespit edilir (Ansari vd., 2020).

Hasat sonrasında enfeksiyonlara neden olan fungal patojenlerin (Botrytis cinerea, Penicillium expansum) ZnO nanopartikülleri ile muamelesi sonucu enfeksiyon oluşturması da büyük oranda engellenmiştir. Bu çalışma ile ZnO nanopartiküllerinin, fungus hiflerini deforme ederek, konidi ve konidiofor gelişiminin engellenmesi ve sonucunda ölüme neden olması ile etkili olduğu ortaya konulmuştur (Atakan ve Özkaya, 2018).

Depolanmış tahıllarda zararlılara karşı yapılan bir çalışmada, pestisit özelliğine sahip kimyon esansiyel yağı, miristik asit-kitosan nanojeline takviye edilerek, depolanmış tahıllarda zararlılara Tribolium confusum Jacquelin du Val. (Coleoptera: Tenebrionidae) ve Sitophilus granarius (L.) (Coleoptera: Curculionidae) karşı 24 saat süreli yağ ile yüklü nanaojellerle yapılan uygulamada %97 oranında ölüm gerçekleşmiştir. Makro esansiyel yağ uygulamasında bu oran %18' dir. Ayrıca esansiyel yağ ile yüklü nanojeller 10 gün süresince yapılan depolama sonucu %54 oranında ölüme neden olurken, makro esansiyel yağda 4 gün sonra ölüm oranı % 9'lara düşmüştür (Ormanoğlu vd., 2021).

7.1.9. Nanoteknoloji ve Çevre

Endüstriyel büyüme sonucu ağır metaller ve diğer kirleticiler atıklarını doğrudan toprağa ve suya bırakarak çeşitli çevre sorunları geliştirmiştir. Çevre kirliliğinin önlenmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması için kirlilik kaynağı olan hammaddelerin ve diğer kirleticilerin daha az kullanımı ile atık madde miktarının azaltılması kirliliği azaltmada önemli rol oynayacaktır. Bu da enerji ve enerji üretiminin verimli kılınması ile sağlanacaktır. Nanopartiküllerin kimyasal ve yeşil sentez kullanılarak üretimi ile tehlikeli atık oluşumu büyük

oranda azaltılarak toksik olmayan daha güvenilir ürünler elde edilerek enerji tüketimi ve veriminde önemli gelişmeler sağlanacaktır (Baykara, 2016).

Nanoteknolojinin çevre ile ilgili uygulamaları; sürdürülebilir ürünler, tehlikeli maddelerle kirlenmiş materyallerin iyileştirilmesi ve çevresel tehditler için sensör uygulamaları olarak üç bölümde incelenir. (Tratnyek ve Johnson, 2006)

7.1.9.1. Nanoteknoloji ile Temiz Su

İçilebilir temiz su toplumların en önemli gereksinimlerinin başında gelmektedir. Dünya nüfusunun hızlı artışı, artan su ihtiyacını endişeli hale getirmektedir. Bu nedenle, su bu yüzyılın en önemli sorunlarından biri olma durumuna gelmektedir. Bilinen su arıtma tekniklerinin kısıtlı imkânlarına karşılık nanoteknoloji ile yenilikçi ucuz yaygın kullanıma uygun tekniklerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Su arıtımında kullanılan başlıca nanomalzemeler; Nano-Adsorban, Nano metaller ve metal oksitler, Nano-Membranlar, Nano-Fotokataliz dir (Baykara, 2016).

Nanopartiküllerin yüksek yüzey tutunma özelliği ile organik ve inorganik kirleticilerin atık sulardan temizlenmesinde başarılı uygulamalar geliştirilmiştir. Yüksek yüzey alanı seçici emilme soğurum özellikleri ile nanopartiküllerle başarılı su arıtma mümkün olmaktadır. Karbon Nanatüpler, farklı organikler için aktif karbondan daha iyi daha yüksek düzeyde yüzey tutunma özelliği gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca ağır metal tutunumu içinde verimli olarak kullanılmaktadırlar. Karbon Nanotüplerin yanısıra zeolitler, gümüş nanopartiküller, demir nanopartiküller, manyetik nanoparçacıklar, nano-$T\dot{I}O_2$ ve fullerenler gibi nanomalzemeler su arıtım ve filtrelemede kullanılmaktadır (Baykara, 2016). Çizelge 7.3’ de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. "Nanoteknolojinin Su ve Atıksu Arıtımında Mevcut ve Potansiyel Uygulamaları" (Qu, Alvarez ve Li, 2013).

Uygulamalar	**Nano Malzemeler**	**İstenen Nanomalzeme Özellikleri**
Adsorpsiyon	Karbon Nanatüpler (CNT)	Yüksek spesifik yüzey alanı, Çeşitli kirletici CNT etkileşimleri, ayarlanabilir yüzey kimyası
	Nano Ölçekli Metal Oksit	Yüksek spesifik yüzey alanı, kısa parçacık içi difüzyon mesafesi, Yüzey alanı değişmeden baskılanabilme, Kolay yeniden kullanım, bazıları süperparamanyetik
	Çekirdek-Kabuk Yapısına Sahip Nanofiberler	Seçici adsorpsiyon için özel kabuk yüzey, bozunma için reaktif çekirdek, kısa dahili difüzyon mesafesi
Membranlar ve Membran Süreçleri	Nano-Zeolitler	Moleküler elek, hidrofilik
	Nano-Ag	Güçlü ve geniş spektrumlu antimikrobiyal aktivite,
	Karbon Nanotüpler	Antimikrobiyal aktivite Küçük çap, iç yüzeyin atomik düzgünlüğü
	Aquaporin	Yüksek geçirgenlik ve seçicilik
	Nano-TiO_2	Fotokatalitik aktivite,
	Nano-Manyetit	Ayarlanabilir yüzey kimyası,
Fotokataliz	Nano-TiO_2	UV ve muhtemelen görünür ışık aralığında fotokatalitik aktivite,
	Fulleren türevleri	Güneş spektrumunda fotokatalitik aktivite
Dezenfeksiyon ve mikrobiyal kontrol	Nano-Ag	Güçlü ve geniş spektrumlu antimikrobiyal aktivite,
	Karbon Nanotüpler	Antimikrobiyal aktivite, lif şekli, iletkenlik
	Nano-TiO_2	Fotokatalitik ROS üretimi, yüksek kimyasal kararlılık, düşük insan toksisitesi
Algılama ve izleme	Kuantum Noktaları	Parçacık boyutu ve kimyasal bileşen ile ölçeklenen geniş absorpsiyon spektrumu
	Asil metal Nanoparçacıklar	Gelişmiş lokalize yüzey plazmon rezonansları, yüksek iletkenlik
	Boya katkılı silika nanopartiküller	Kolay konjugasyon için yüksek hassasiyet ve kararlılık,
	Karbon Nanotüpler	Geniş yüzey alanı, yüksek mekanik mukavemet ve kimyasal kararlılık,
	Manyetik Nanoparçacıklar	Ayarlanabilir yüzey kimyası

7.1.9.2. Ağır Metallerin Uzaklaştırılması

Endüstriyel büyüme sonucu oluşan çevre sorunlarının başında toprağa ve suya bırakılan ağır metaller ve diğer kirleticilerdir. Arsenik, kadmiyum, kurşun, cıva, krom, bakır, gümüş, nikel, çinko gibi ağır metaller sürekli olarak toprakta birikmektedir. Ağır metallerin uzaklaştırılması, yıkama, erozyon ve bitki alımı ile gerçekleşir. Toksik olmayan veya daha az toksik formlara bölünemedikleri için ekosistemde kalırlar. Ekosistemde var olmaları halk sağlığı içinde büyük tehlike arz etmektedir (Dixit, vd., 2015).

Yeraltı sularının temizlenmesinde nano sıfır değerlikli demir (n ZVI) üzerinde durulan konulardan biridir. Nano sıfır değerlikli demir (n ZVI) organik kirleticilerin haricinde inorganik anyon nitratı amonyağa, perkloratı (klorat veya klorit dahil) kloride, selenata, arsenata, arsenite, kromata indirgeme de etkin olarak kullanılabilir (Baykara, 2016).

7.1.9.3. Çevre Kirliliğinde Nanosensör Teknolojileri Uygulamaları

Çevreye zararlı ve zehirleyici maddelerin tespiti sürekli ölçüm yapan ve verilen eşik değerlerden sapma olduğunda ikaz ve alarm veren nanosensörler ile hava, su ve ortam kirliliği izlenebilmektedir. Hava su ve ortamın kalitesinin tam ve hassas verilerle izlenebilmesinde nanosensörlerin rolü oldukça önemli bulunmaktadır. Örnek Gümüş nanopartiküllerden oluşan membranlar su kalitesi izlenmesinde, geçişli raman sensörleri olarak kullanılmaktadır. Karbon nanotüpler ile gazların (NO_2, NH_3, CO, O_3) elektriksel özelliklerinin değişiminden faydalanılarak ölçüm gerçekleşir. Elektro kimyasal nanosensörler su kaynaklarında ağır metal izleme ve tespitini yapmak üzere tasarlanmıştır. Düşük enerji kullanımı, hızlı ve hassas ölçüm ve küçük boyutlar ile bu ürünlerin yüksek oranda kullanılacakları görülmektedir (Baykara, 2016).

7.2. Türkiye'de Trakya Bölgesinde Bulunan İllerde (Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli) Tarımsal Alanda Nanoteknoloji Kullanarak Üretim Yapan İşletmeler ve Ürün Çeşitleri

Tarımsal alanda nanoteknoloji kullanarak üretim yapan işletmeler ve ürün çeşitleri araştırılmıştır. Konu hakkında Tarım ve Orman Bakanlığı merkez birimlerinden gıda ve kontrol genel müdürlüğü, tarımsal araştırmalar ve politikalar genel müdürlüğü ile bitkisel üretim genel müdürlüğü' ne tarımsal alanda nanoteknoloji kullanarak üretim yapan, ruhsatlandırılmak için izin onay alan firmaların web adresleri veya üretim yerlerinin açık adres bilgileri istenmiştir. Akabinde Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlükleri, İl ilçe Ticaret ve

Sanayi Odaları, Ticaret Borsaları ile Trakya Kalkınma Ajansı'ndan tarımsal alanda nanoteknoloji kullanarak üretim yapan firmaların açık adres bilgileri ile nanoteknoloji alanında yürütülen projeler hakkında bilgi istenmiştir.

Tarım ve Orman Bakanlığı - Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü

- Veteriner hekimlikte nano ilaç, nano ilaç taşıyıcı ve nano aşı üretimi yapan bakanlıktan izinli üretim yerinin bulunmadığını,
- Hayvan yeminde (büyükbaş, küçükbaş, kanatlı) kullanılmak üzere nanopartikül veya nano mineral üretimi konusunda paylaşılacak herhangi bir bilgi ve belgenin bulunmadığını,
- Nano Pestisit (İnsektisit, Fungusit, Mollussisit, Herbisit vb.), Nano fitopatoloj (Bakteri ve funguslara etki eden nanopartiküller), Hasat sonrası tarım ürünlerinin muhafazası depolanması için zararlılara karşı üretilen nanopartiküller konularına ilişkin olarak, Bitki koruma ürünlerinin ruhsatlandırma iş ve işlemlerinin 5996 sayılı "Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu" ve bu kanuna bağlı olarak çıkarılan 09.11.2017 tarihli ve 30235 sayılı "Bitki Koruma Ürünlerinin Ruhsatlandırılması ve Piyasaya Arzı Hakkında Yönetmelik" hükümlerine göre yürütüldüğünü konu ile ilgili verilerin "https://bku.tarimorman.gov.tr/" Bakanlık resmi web adresinden temin edilebileceğini belirtmektedir.

Ancak Bakanlık web adresinde üretim teknolojileri belirtilmediğinden zirai mücadele ilaçları üreticileri derneği (ZİMİD) üyeleri ile iletişime geçilmiştir. Firmaların web sayfaları incelenerek ürün sınıflarına göre nanoteknoloji ile ürettikleri pestisit (Herbisit, Fungisit, Akarisit, Rodentisit Nematisit, Mollussisit, Bakterisit, Virisit, İnsektisit, Avisit, Algisit vb.), pestisit taşıyıcı, bitki gelişim düzenleyici, bitki besleme ve tohum kaplama ürünleri hakkında bilgi istenmiştir. ZİMİD Üyelerinin % 53'ü dönüş sağlamıştır.

Geri dönüş sağlayan firmalar Türkiye'de nanoteknoloji ile üretilen ve piyasaya sürülen nano ürünlerinin olmadığını ifade etmiştir. Ancak bir firmanın tohum kaplama alanında araştırmalarının devam ettiğini piyasaya sürülmüş ürünlerinin olmadığını, başka bir firmanın da nano bir ürününün olduğunu ancak yurt dışında (Çin) piyasaya sürüldüğünü Türkiye pazarında nano ürünlerinin bulunmadığını ifade etmiştir.

Tarım ve Orman Bakanlığı -Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü

Enstitülerinde nano gübrelerin tarımda kullanımı ile ilgili 1 proje yürütüldüğünü belirtmektedir. Projede, "sentetik olarak elde edilen üre ile zenginleştirilmiş nano-hidroksiapatitin buğday bitkisi yetiştiriciliğinde taban gübrelemede yaygın olarak kullanılan DAP gübresine alternatif olarak kullanılabilme olanağı ve buğday verimine etkisinin araştırıldığını" proje sonuçlandığında elde edilen verilerin ilgili paydaşlara aktarılacağını ifade etmektedir.

Tarım ve Orman Bakanlığı - Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü

Tarım ve Orman Bakanlığı - Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü, Türkiye genelinde ticari isimlerinde nano beyanı yaparak tescil belgesi alan toplam dört firmanın olduğunu belirtmiştir. (Bursa 1, Manisa 1, İzmir' de 2 firma).

Ticari isimlerinde nano beyanı yaparak tescil belgesi alan firmalara, nanoteknoloji kullanarak ürettikleri bitki koruma ürünleri, pestisit (Herbisit, Fungisit, Akarisit, Rodentisit Nematisit, Mollussisit, Bakterisit, Virisit, İnsektisit, Avisit, Algisit vb.), pestisit taşıyıcı, bitki gelişim düzenleyicileri ve bitki besleme ürünleri ile alana yönelik AR-GE çalışmaları hakkında bilgi istenmiştir.

Ticari isimlerinde nano beyanı yaparak tescil belgesi alan firmaların geri bildirimleri

1. Firma: "2014 - 2019 yılları arasında nanoteknoloji prosesleri kullanarak üretim yapmış olduğumuz ürünlerimizi, 2019 yılından sonra üretim maliyetlerinin artması nedeni ile sonlandırmak zorunda kaldık. Şuanda nanoteknolojik ürünler üretmemekteyiz. Üretim maliyetlerinin daha ucuz olduğu biyoteknolojik (spor formda bakteriler) ürünlere odaklandık. Tarımsal üretimde kimyasal fungusit ve insektisit kullanımının yerine, yararlı bakteriler ve funguslar kullanarak daha sağlıklı, doğal ve ucuz bitki koruma ürünleri üretmekteyiz." Demektedir.

2. Firma: "Nanoteknoloji ile ürettiğimiz bitki besleme ürünümüz bulunmamaktadır. Bitki besleme ürünü olarak, Nanofer ve IRON-G isimli ürünlerimiz ultrasonic homogenizer kullanılarak 2015 yılında çalışılmıştır. Ancak maliyetler yüksek olduğu için sürdürebilirlik sağlayamadık. Bu nedenle şu an nano gübre üretimimiz bulunmamaktadır."

3. Firma: "Belirtmiş olduğunuz Nanoteknoloji ile Nano Tohum Kaplama ve Bitki Besleme ürünleri konusunda güncel durumda herhangi bir çalışma yapmamaktayız. Bitki besleme alanında farklı konularda laboratuvar ve sahada Ar-Ge çalışmalarımız bulunmaktadır."

4. Firma: "Şuan aktif bir üretim yok, mikroemilsiyon üzerine çalışıyoruz." Demektedir.

Yapılan görüşmelerde firmaların bazıları bir dönem nanoteknoloji kullanarak üretim yaptığını ancak maliyetlerin yüksek olması nedeniyle üretimlerini durduklarını ifade etmektedir. 4. firma nanoparçacık sentezinde kullanılan mikroemilsiyon yöntemi üzerine çalışmaları olduğunu belirtmektedir. Sonuç olarak dört firmanın hâlihazırda nanoteknoloji yöntemiyle ürettiği bir ürünü bulunmamaktadır.

Türkiye'de gübre sektöründe yaklaşık 1.284 firma bulunmaktadır. Piyasada sürekliliği ve işlem hacmi yüksek olan 6 üretici-ithalatçı firma, 20 ithalatçı firma ve 11 fabrika mevcuttur. Bu firmalardan 6' sı piyasanın yaklaşık % 80'ini temsil etmektedir (Anonim, 2018). Bu nedenle piyasanın yaklaşık % 80'ini temsil eden firmalardan nanoteknoloji kullanarak ürettikleri bitki besleme ürünleri (Nano gübre) ile alana yönelik AR-GE çalışmaları hakkında bilgi istenmiştir.

Piyasanın yaklaşık % 80'ini temsil eden 6 firmanın geri bildirimleri:

1. Firma: ARGE Merkezi olarak nanoteknoloji alanındaki gelişme ve teknolojileri yakından takip ediyor, proje çalışmalarını yürütüyoruz. Henüz nanoteknoloji alanında piyasada bir ürünümüz bulunmamaktadır.

2. Firma: Bitki besleme sınıfında farklı varyasyonlara sahip 90 Kalemin üzerinde, bütün gelişim dönemlerinde etkili olabilecek ürün portföyümüz mevcuttur. Fakat ilgili ürünün üretimini gerçekleştirmiyoruz, konu hakkında araştırmalarımız devam ediyor.

3. Firma: Fabrika tesisimizde klasik gübrelerden; AS, CAN, DAP ve kompoze grubu gübre üretimi yapabilen fabrikalarımız mevcuttur. Bu ürünler dışında gübre üretim faaliyetlerimiz ve çalışmalarımız bulunmamaktadır.

4. Firma: Nano teknoloji ve tarımda uygulamaları konusunda üretimimiz veya Ar-ge çalışmamız bulunmamaktadır.

5. Firma: Nano gübre üretimimiz bulunmadığından bu konu hakkında size yardımcı olamayacağımızı bildirir, iyi çalışmalar dilerim.

6. Firma: Nanogübreler henüz yurt içi pazarda yaygın olmayıp bizim tahminlerimize göre orta-uzun vadede gelişecek olacak ürünlerdir.

Firmalarla yapılan görüşmelerde nanogübre üretimlerinin olmadığı ancak 1. ve 2. firmalar ile 6. firmanın nanoteknoloji alanındaki gelişmeleri takip ettikleri anlaşılmaktadır.

Ayrıca Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlükleri, Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli İl ve İlçe Ticaret ve Sanayi Odaları, Ticaret Borsaları ve Trakya Kalkınma Ajansı' ndan tarımsal alanda aşağıda maddeler halinde belirtilen sektörlerde üretim yapan firmaların üretim yerlerinin açık adres bilgileri ile nanoteknoloji alanında yürütülen projeler hakkında bilgi istenmiştir.

1. Nano ilaç, nano ilaç taşıyıcı ve nano aşı (veterinerlik hekimlikte) üreten firmalar
2. Nano Pestisit – (İnsektisit, Fungusit, Mollussisit, Herbisit vb.) üreten firmalar
3. Nano gübre, nano tohum kaplama üreten firmalar
4. Hayvan yemi için (Büyükbaş, Küçükbaş, Kanatlı) nanopartikül veya nano mineral üreten firmalar
5. Abiyotik stresler (Kuraklık, Tuzluluk. Su basması, Sıcaklık vb.) için nanopartikül üreten firmalar
6. Nano fitopatoloji, Bakteri ve funguslara etki eden nanopartikül üreten firmalar
7. Hasat sonrası tarım ürünlerinin muhafazası depolanması için zararlılara karşı nanopartikül üreten firmalar.
8. Ağır metal kirliliğini temizlemek için yeraltı sularını ve arazileri temizlemek için nanopartikül üreten firmalar.
9. Tarımsal alanda kullanılan biyosensör, elektronik burun, nanosensör, nanobiyosensör üreten firmalar.

Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüklerinin Geri Bildirimleri:

Tekirdağ ve Edirne Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlükleri, sanayi sicil kayıtlarında yukarıda bahsedilen tarımsal alanda nanoteknoloji ile üretim yapan firmalara rastlanmadığını, sadece Kırklareli Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğü kriterlere uyan bir firmanın olduğunu belirtmiştir. Firma web sayfası incelendiğinde ürünler başlığı altında otomotiv, endüstri, sağlık, marin, tarım ve savunma alanlarında ürünlerinin olduğu görülmektedir. Otomotiv alanında nano yağlayıcılar, şanzıman ve dişli yağlayıcı, motor içi filtre temizleyici ve yakıt tasarruf katkı ürünleri görülmektedir. Savunma alanında nanokompozit alüminyum zırh, karbon nanotüpler, nano yapılı ultrafine elmas tozları ve radyasyon emici termoplastik ürünleri mevcut, tarımsal alanda ise nano bor elementi içeren bitki besin takviyesi bulunmaktadır.

Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli İl ve İlçe Ticaret ve Sanayi Odaları ile Ticaret Borsalarının Geri Bildirimleri:

Tekirdağ ve Edirne İl ve İlçe Ticaret ve Sanayi Odaları ile Ticaret Borsalarının oda ve borsa kayıtlarında yukarıda bahsedilen tarımsal alanda nanoteknoloji ile üretim yapan firmalara rastlanmadığı, sadece Kırklareli Ticaret ve Sanayi Odası Kırklareli Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğünün belirttiği nano bor elementi içeren bitki besin takviyesi üretimi yapan firmanın adres bilgilerini vermiştir.

Trakya Kalkınma Ajansının Geri Bildirimi:

Trakya Kalkınma Ajansı, tarımsal alanda nanoteknoloji ile üretim yapan firmalardan kurumlarına herhangi bir müracaatın olmadığını ifade etmektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uluslararası rekabet, ülkeleri daha az girdi ile katma değeri yüksek ürünler elde etmeye yöneltmektedir. Bu nedenle bilim ve teknolojiye dayalı yeni fikir ve buluşlara sahip girişimcilerin desteklenmesi, AR-GE faaliyetlerinin arttırılması ve teşviklerin sağlanması gelişmiş ekonomilerin öncelikli politikaları arasındadır. Nanoteknoloji, dünya genelinde sosyo ekonomik hayata faydası, yeni iş imkânları sağlama potansiyeli ve katma değeri yüksek ürünler üretebilmesi nedeniyle gelişmiş ülkelerin politika ve strateji belgelerinde yer almaktadır. Nanoteknolojinin elektronik ve bilişim teknolojileri, tıp ve ilaç sektörü, nanomalzemeler, enerji ve çevre, otomotiv sektörü, yapı ve inşaat sektörü, savunma ve güvenlik, tekstil sektörü ve tarım sektörünü yakından ilgilendirmesi ayrıca gelişime açık olması gelecekte devletlerarası güç dengesini belirleyeceğini düşündürmesi ülkeler tarafından fark edilmesine ve bu alana çok büyük AR-GE yatırımları yapılmasına neden olmuştur (Anonim, 2017).

Türkiye'de nanoteknoloji ile ilgili ilk akla gelen belge Nanobilim ve Nanoteknoloji Stratejileri -Vizyon 2023 projesi- dir. Bu belgede nanoteknoloji önümüzdeki 10-15 yıl sürecinde büyük, katma değeri yüksek ürünler ve yeni pazarlar ile insan yaşamı ve ekonomide radikal değişiklikler sağlayacak bir alan şeklinde tanımlanmış ve bu amaçlar yönünde bir nanoteknoloji yol haritası hazırlamıştır. Bu yol haritası, yetişmiş insan kaynaklarını sağlama, üniversite ve sanayiinin AR-GE altyapısını oluşturma, yasal düzenlemeleri sağlama, araştırma merkezlerinin sayısını arttırma, teknoparkların yaygınlaştırılması amaçlarını yerine getirmektedir. Dünyada ve Türkiye'de değişen ekonomik ve sosyal koşullar, Onuncu Kalkınma Planı, Türkiye Sanayi Stratejisi Belgesi, Orta Vadeli Program, Türkiye Sanayi Stratejisi ve Ulusal Bilim, Teknoloji ve Yenilik Stratejisi ve Eylem Planı'nda yer alan temel ilkeler, politikalar ve hedefler değerlendirilerek Türkiye Nanoteknoloji Stratejisi ve Eylem Planı (2017-2018) hazırlanmıştır. Bu belgenin genel amacı, nanoteknolojiyi devamlı geliştiren, katma değeri yüksek ürünler elde ederek ihracatta payını yükselten bir ülke konumuna getirmek şeklinde belirlenmiştir (Anonim, 2017).

Nanoteknolojinin Tarımda Uygulama Alanları 7. bölümde ayrıntılı bir şekilde incelendikten sonra Türkiye'de Trakya bölgesinde bulunan illerde (Tekirdağ, Edirne ve Kırklareli) tarımsal alanda nanoteknoloji kullanarak üretim yapan işletmeler ve ürün çeşitleri araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucu Türkiye' de tarım sektöründe (kamu ve özel sektör) nanoteknoloji alanında yeteri kadar atılım yapılmadığı görülmektedir.

Tarım ve Orman Bakanlığı'nın mevzuatlarında 5996 sayılı "Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu", 09.11.2017 tarihli ve 30235 sayılı "Bitki Koruma Ürünlerinin Ruhsatlandırılması ve Piyasaya Arzı Hakkında Yönetmelik", 09.06.2021 tarih ve 31506 (mükerrer) sayılı "Tarımda Kullanılan Gübrelerin Piyasa Gözetimi ve Denetimi Yönetmeliği", 23.02.2018 tarih ve 30341 sayılı "Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik" ve 18.03.2004 tarih ve 25406 sayılı "Tarımda Kullanılan Kimyevi Gübrelere Dair Yönetmelik" lerde nanopestisit ve nanogübre tanımlarının olmadığı görülmektedir. Bunun yanında Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü nanogübreler ile ilgili 1 projelerinin olduğunu ve proje ile ilgili çalışmalarının devam ettiğini ifade etmektedir. Özel sektör ise konu ile ilgili AR-GE çalışmalarının olduğunu piyasada ticari ürünlerinin bulunmadığını belirtmektedir. Oysa 2017-2018 Türkiye Nanoteknoloji Stratejisi ve Eylem Planı'nda Türkiye'de nanoteknoloji tasarımı, üretimi, kullanımı ve mevcut durumun ortaya konması için Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar ve Tehditler (GZFT) analizi yapılmıştır. GZFT analizi ile tespit edilen sorunlar gruplanarak müdahale alanları dört başlık altında toplanmıştır.

Nanoteknoloji Sektörünün Müdahale Alanları

1. Hukuki ve İdari düzenlemeler,

2. Teknik Altyapı,

3. Üretim Kapasitesi,

4. İşbirliği ve Koordinasyon olarak belirlenmiştir.

Strateji belgesi hazırlıkları kapsamında gerçekleşen çalıştay ile dört hedef altında eylem planı hazırlanmıştır. "Hukuki ve İdari Düzenlemeleri Yapmak" başlığı altında tanımlanan eylem planında ilgili kuruluşlar arasında Tarım ve Orman Bakanlığı 'da yer almaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı ilgili kuruluşlar arasında yer almasına rağmen bitkisel üretimin girdileri arasında yer alan tohum, gübre ve pestisitte nanoteknoloji ile ilgili hukuki ve idari düzenlemelere yer vermediğini yürürlükteki mevzuatlarına baktığımızda görmekteyiz. Hukuki ve İdari düzenlemeler ise üretimi yapılan ürünlerin tanımı (nanopestisit, nanogübre vb.), üretim metotları, nanopartikül boyut ve şekilleri, çevreye olan etkilerini ölçme yöntemleri ve üretim sonrası süreçlerin düzenlenmesi şeklinde açıklanmaktadır.

Nanobilim ve nanoteknolojinin, hastalıkların hızlı teşhis ve tedavisi, nano ilaçlar, parazitoloji ve aşı araştırmaları, hayvan besleme, bitkisel üretim ve büyüme, abiyotik stres,

nano fitopatoloji, bitki zararlı yönetimi, hasat sonrası tarım ürünlerinin muhafazası ve depolanması ve çevre kirliliği üzerinde olumlu etkileri hakkında çalışmaları mevcut olup, sürdürülebilir bir tarım sistemi kurmada büyük rolü olduğuna inanılmaktadır. Bu nedenle tarımın geleceği nanoteknoloji ve uygulamalarında yatmaktadır. **S**anayi ve mikro elektronik-enformatik devrimlerini yakalayamayan kaçıran veya bu sürecin içerisine geç giren ülkemizde nanoteknoloji yakalanabilecek son fırsat olacaktır. Bu fırsatların yakalanabilmesi; tarımsal alanda hukuki ve idari düzenlemelerin yapılması, kamu ve özel sektörde AR-GE alt yapıların güçlendirilmesi, Üniversitelerin Ziraat Fakültelerinde nanobilim ve nanoteknoloji ile ilgili derslerin veya bölümlerin açılması ve tarımsal alanda yenilikçi iş fikirleri ve projelerin öncelikli olarak desteklenmesi ile mümkün olacaktır. Gelecekte stratejik öneme sahip olacak nanoteknoloji alanında yetkinlik kazanmak ve doğru adımları atmak, ülkenin güvenlik ve refah seviyesinin arttırılması, rekabetçi ve sürdürülebilir bir kalkınma hedefinin oluşturulması için çok önemli bir adım oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

Ahmadi, F. ve Kurdestany, A. H. (2010). The impact of silver nano particles on growth performance, lymphoid organs and oxidative stress Indicators in broiler chicks. *Global Veterinaria, 5*(6), 366-370.

Akbaş, T. ve Özarslan, C. (2007). Nanoteknoloji ve Tarımda Uygulama Olanakları. *Tarımsal Mekanizasyon 24.Ulusal Kongresi*, (s. 309-315). Kahramanmaraş.

Akhtar, I., Iqbal, Z. ve Saddiqe, Z. (2020). Nanotechnology in Pest Management. *Nanoagronomy* (s. 69-83). içinde Cham, Switzerland: Springer.

Allhoff, F., Lin, P. ve Moore, D. (2017). *Nanoteknoloji Nedir Ve Neden Önemlidir? Bilimden Etiğe* (1 b.). (Ö. Özgür, Çev.) Ankara: Gökçe Ofset Matbaacılık Yay.San.Ltd.Şti.

Altav, Y., Baş, A. L., Erci, F. ve Kocabaş, E. (2019). Veteriner hekimlikte nanoteknoloji. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 12*(2), 149-156.

Anonim. (2017, Nisan). *Türkiye Nanoteknoloji Stratejisi ve Eylem Planı (2017-2018)*. Mart 2018 tarihinde http://www.resmigazete.gov.tr: http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/09/20170919.htm&main=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/09/20170919.htm adresinden alındı

Anonim. (2018). *Gübre Sektör Politika Belgesi 2018-2022*. https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM: https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/yayin/G%C3%BCbre%20Sekt%C3%B6r%20Politika%20Belgesi%202018-2022.pdf adresinden alındı

Anonim. (2019). *https://www.akillisehirler.gov.tr/*. https://csb.gov.tr/: https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf adresinden alındı

Anonim. (2020, 2 24). *2020 Teknoloji Trentleri*. https://thinktech.stm.com.tr/: https://thinktech.stm.com.tr/detay.aspx?id=314 adresinden alındı

Anonim. (2022). *Ulusal Nanoteknoloji Girişimi*. 9 23, 2022 tarihinde What İs Nanotechnology: https://www.nano.gov/about-nanotechnology adresinden alındı

Ansari, M., Shahzadi, K. ve Ahmed, S. (2020). Nanotechnology: A Breakthrough in Agronomy. *Nanoagronomy* (s. 1-21). içinde Cham, Switzerland: Springer.

Asilkan, Ö., Albayrak, Y. ve Oral, O. (2014). Yüksek teknoloji çok fonksiyonlu ürünlere karşı tüketici tutumlarının incelenmesi. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi, ıx*(ıı), 61-72.

Atakan, A. ve Özkaya, H. Ö. (2018). Fitopatalojide nanoteknoloji. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 22*(2), 296-303.

Ateş, H. ve Bahçeci, E. (2015). Nano malzemeler için üretim yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3*(2), 483-499.

Ayhan, A. (2002). *dünden bugüne Türkiye'de Bilim Teknoloji Ve Geleceğin Teknolojileri.* İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.

Basalla, G. (1996). *Teknolojinin Evrimi* (4. b.). (C. Soydemir, Çev.) Ankara: Nurol Matbaacılık.

Bayındır, M. (2007, Şubat). Nanoteknoloji hayatımızda. *Bilim ve Ütopya*(152), 12-18.

Baykara, T. (2016). *Nanoteknolojiler Dünyasına Doğru* (1 b.). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.

Bıyıklı, C., Başbay, M. ve Başbay, A. (2014). Ortaokul ve lise öğrencilerinin bilim kavramına ilişkin metaforları. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 14*(1), 413-437.

Bolat, İ. ve Kara, Ö. (2017). Bitki besin elementleri: kaynakları, işlevleri, eksik ve fazlalıkları. *Bartın Orman Fakultesi Dergisi,, 19*(1), 218-228.

Boz, B., Paylan, İ. C., Kızmaz, M. Z. ve Erkan, S. (2017). Biyosensörler ve tarım alanında kullanımı. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 13*(3), 141-148.

Budak, D. (2018). Hayvan beslemede nanoteknoloji. *Journal of Advances in VetBio Science and Techniques, 3*(3), 90-97.

Bulut, M. O. ve Akar, E. (2012). Dendrimerlerin önemi ve kullanım alanları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 2*(1), 5-11.

Butt, B. Z. ve Naseer, I. (2020). Nanofertilizers. *Nanoagronomy* (s. 125-152). içinde Cham, Switzerland: springer.

Canbay, S. ve Polat, E. (2020). Patlıcan fidelerine yapılan Uv-B ışın uygulamalarının fidelerde bitki besin maddesi içeriğine etkisi. *Medıterranean Agrıcultural Scıences, 33*(3), 321-325.

Çilek, A., Türkyılmaz, A. ve Çelebi, N. (2002). Mikroemülsiyonlar: Genel özellikleri ve farmasötik amaçla kullanımları. *FABAD journal of Pharmaceutical Sciences, 27*, 27-41.

Çıracı, S. (2007, Şubat). 21. yüzyılda yeni bir sanayi devrimi: Nanoteknoloji. *Bilim ve Ütopya*(152), 4-11.

Dağhan, H. (2017). Nano gübreler. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 4*(2), 197-203.

Demirel, F. (2020). Bitki ve hayvan biyoteknolojisi; hücresel tarım ve nano-teknoloji. *Journal Of Agrıculture, 3*(2), 1-9.

Demirkıran, A. (2019). Enerji sorunlarına nanoteknolojinin faydaları. *İleri Teknoloji Bilimler Dergisi, 8*(2), 100-108.

Demirtaş, H. ve Türk, C. T. (2021). Altın nanopartiküller ve kanserde kullanımları. *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi, 45*(1), 70-95.

Denizli, A., Yavuz, H. ve Bereli, N. (2018). Tarımsal üretimde nanoteknoloji. *TÜBA GÜNCE Dergisi*(57), 50-53.

Derman, S., Kızılbey, K. ve Akdeste, Z. M. (2013). Polymeric nanoparticles. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 31*(1), 107-120.

Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U. B., Sahu, A., . . . Paul, D. (2015). Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes. *Sustainability, 7*, 2189-2212.

Du, W., Gardea-Torresdey, J. L., Xie, Y., Yin, Y., Zhu, J., Zhang, X., . . . Guo, H. (2017). Elevated CO2 levels modify TiO2 nanoparticle effects on rice and soil microbial communities. *Science of the Total Environment, 578*, 408-416.

Ebadı, A. (2015). *Biyolojik etkileşim kinetiğini algılamada yeni bir yaklaşım: plazma polimerizasyonu İle modifiye edilmiş kuvars ayar çatalı* (Yüksek Lisans Tezi) Hacattepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

Erdal, M. (2003). *Yüksek Teknoloji Yönetimi ve Bilişim Pazarlaması.* İstanbul: Filiz Kitabevi.

Ergül, G., Ataol, A. S. ve Tekli, B. (2018). Diş hekimliğinde robotik uygulamalar: Bir literatür derlemesi. *Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 39*(3), 125-133.

Erkoç, Ş. (2012). *Nanobilim ve Nanoteknoloji* (6 b.). Ankara: ODTÜ Yayıncılık.

Fang, Y. ve Ramasamy, R. P. (2015). Current and Prospective Methods for Plant Disease Detection. *Biosensors, 4*, 537-561.

Girgin, G., Başaran, N. ve Şahin, G. (2001). Dünyada ve Türkiye'de insan sağlığını tehdit eden mitotoksinler. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 58*(3), 97-118.

Gökırmaklı, Ç. ve Bayram, M. (2018, Ekim 29). Gıda İçin gelecek öngörüleri: Yıl 2050. *Akademik Gıda, 16*(3), 351-360.

Göktürk, I. ve Denizli, A. (2018). Nanobiyosensörler: Hastalık teşhisi için gelecek vaat ediyor mu? *Biyokromatograf ve Biyoteşhis Araştırma Grubu Popüler Bilim Dergisi*, 34-40.

Gülen, J., Zorbay, F. ve Arslan, S. (2012). Zeolitler ve kullanım alanları. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 2*(1), 63-68.

Gürler, H., Çiftçi, G., Salar, S. ve Baştan, A. (2018). Subklinik mastitis'in Anadolu mandalarının süt kompozisyonundaki bazı biyokimyasal parametrelere etkisi. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi, 29*(2), 151-156.

Hayta, A. B. (2006). Çevre kirliliğinin önlenmesinde ailenin yeri ve önemi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi, 7*(2), 359-376.

Hsueh, P.-R. (2010). New Delhi Metallo-b-lactamase-1 (NDM-1): *Journal of the Formosan Medical Association*, *109*(10) 685-610.

İlyasoğlu, H. ve El, S. N. (2010). Nanoemülsiyonlar: Oluşumları, yapıları ve kollodial salınım sistemleri olarak gıda sektöründe kullanım alanları. *Gıda, 35*(2), 143-150.

Iqbal, S., Waheed, Z. ve Naseem, A. (2020). Nanotechnology and Abiotic Stresses. *Nanoagronomy* (s. 37-52). içinde Cham, Switzerland: Springer.

İşleyici, Ö., Çakmak, T., Sancak, Y. C., Elçek, R. ve Tuncay, R. M. (2019). *Eğreli Uluslararası Bilim ve Akademi Kongresi Bildiriler Kitabı - Gıda ambalajlarında nanoteknoloji uygulamaları* -. konya: Nobel.

Kapakin, K. A. (2007). Transmission elektron mikroskobu. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 18*(1), 105-110.

Karakoç, Z., Ketani, M. A. ve Ketani, Ş. (2016). Mikroskopların çalışma mekanizması ve çeşitleri. *Dicle Üniv Vet Fak Derg, 1*(1), 1-6.

Kavaz, D. (2011, Mayıs). Nanopartiküller. *Aylık Nanoteknoloji ve Nanotıp Bilim Dergisi*, 12-19.

Korkmaz, H. ve Durmaz, A. (2017). Bitkilerin abiyotik stres faktörlerine verdiği cevaplar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7*(2), 192-207.

Marangoz, Ö. ve Yavuz, O. (2020). Nano-ilaç taşıma sistemleri ve toksikolojik değerlendirmeleri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 77*(4), 509-526.

Mohammed, E. ve Safwat, G. (2013). Assessment of the ameliorative role of selenium nanoparticles on the oxidative stress of acetaminophen in some tissues of male albino rats. *Beni- Suef University Bournal of Basic and Applied Sciences2*, 80-85.

Mustafa, G., Sakata, K., Hossain, Z. ve Komatsu, S. (2015). Proteomic study on the effects of silver nanoparticles on soybean under flooding stress. *Journal of proteomics, 122,* 100-118.

Nezhad, A. S. (2014). Future of portable devices for plant pathogen diagnosis. *Lab on a Chip, 1* (1), 2887-2904.

OECD. (2022). *Temel nanoteknoloji göstergeleri*. https://www.oecd.org/: https://www.oecd.org/sti/nanotechnology-indicators.htm adresinden alındı

Ormanoğlu, N., Emekçi, M. ve Ferizli, A. G. (2021, Haziran). Böceklerle mücadelede nanoteknoloji. *Bursa Uladağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 35*(1), 181-202.

Oylar, Ö. ve Tekin, İ. (2011). Kanserin teşhis ve tedavisinde nanoteknolojinin önemi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 16*(1), 147-154.

Özcan, N. (2018). Nitel araştırma yöntemlerinden iz sürme (tracer) ve kan transfüzyonu sürecinde bir uygulama örneği. *Journal of Health Services and Education, 2*(2), 58-65.

Özer, Y. (2008). *Nanobilim ve nanoteknoloji: ülke güvenliği / etkinliği açısından doğru modelin belirlenmesi* (Yüksek lisans Tezi), Kara Harp Okulu, Savunma Bılımleri Enstıtüsü. Ankara.

Özer, Y. (2019, Nisan). Nanoteknoloji'nin askeri uygulamaları üzerine bir değerledirme. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 33-52.

Patır, İ. H. ve Aslan, E. (2018). Kuantum Noktalar. *Nanoteknoloji 1 Nanoteknolojinin Temelleri* (s. 203-210). içinde Denizli: Bilal Ofset Basım Yayın Matbaacılık .

Prabhu, R. H., Patravale, V. B. ve Joshi, M. D. (2015). Polymeric nanoparticles for targeted treatment in oncology: current insights. *International Journal of Nanomedicine, 10*, 1001-1018.

Preetha, P. S. ve Balakrishnan, N. (2017). A Review of Nano Fertilizers and Their Use and Functions in Soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6*(12), 3117-3133.

Qu, X., Alvarez, P. J. ve Li, Q. (2013). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Research, 47*(12), 3931-3946.

Rohner, F., Ernst, F. O., Arnold, M., Hilbe, M., Biebinger, R., Ehrensperger, F., . . . Zimmermann, M. B. (2007). Synthesis, Characterization, and Bioavailability in Rats of Ferric Phosphate Nanoparticles. *The Journal of Nutrition, 137*(3) 614-619.

Saçaklı, P. (2013, 11 30). 2000'li Yılların devrimi nanoteknoloji. *Veteriner Tavukçuluk Derneği, 11*(4), s. 20-26.

Sart, G. (2020, Ekim 8). *Geleceğin teknolojileri hakkında bilmeniz gerekenler*. https://gamzesart.com/: https://gamzesart.com/2020/10/08/gelecegin-teknolojileri-hakkinda-bilmeniz-gerekenler/ adresinden alındı

Sayıner, Ö. ve Çomoğlu, T. (2016). Nanotaşıyıcı sistemlerde hedeflendirme. *Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi, 40*(3), 62-79.

Sharma, A., Qiang, Y., Antony, J., Meyer, D., Kornacki, P. ve Paszczynski, A. (2007). Dramatic Increase in Stability and Longevity of Enzymes Attached to Monodispersive Iron Nanoparticles. *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 43*, 2418-2420.

Shi, L., Xun, W., Yue, W., Zhang, C., Ren, Y., Liu, Q., . . . Shi, L. (2011a). Effect of elemental nano-selenium on feed digestibility, rumen fermentation, and purine derivatives in sheep. *Animal Feed Science and Technology, 163*, 136-142.

Shi, L., Xun, W., Yue, W., Zhang, C., Ren, Y., Shi, L., . . . Lei, F. (2011b). Effect of sodium selenite, Se-yeast and nano-elemental selenium on growth performance, Se concentration and antioxidant status in growing male goats. *Small Ruminant Research, 96*, 49-52.

StatNano. (2022). *https://statnano.com/policydocuments*. https://statnano.com/: https://statnano.com/policydocuments?keyword=&page=1&ctrl=document&action=search&min_start_date=1997&max_end_date=2035&order_type=asc&order=date&policy_type

%5B%5D=2&policy_type%5B%5D=5&country%5B%5D=112&page=1&ctrl=document&action=search adresinden alındı

Subak, H. (2019). *Dna dizilerinin tayinine yönelik uygulama seti (kit) tipinde elektrokimyasal nanobiyosensörlerin tasarımı* (Doktora Tezi) Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.

Susar, H. ve Karahan, İ. (2019). Lipozomlar ve genel özellikleri. *Fırat Üniversitesi Sağ. Bil. Vet. Derg., 33*(3), 211-219.

TDK. (2022). *https://sozluk.gov.tr/*. Ocak 14, 2022 tarihinde https://www.tdk.gov.tr/: https://sozluk.gov.tr/ adresinden alındı

Tiryaki, O., Canhilal, R. ve Horuz, S. (2010). Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26*(2), 154-169.

Tratnyek, P. G. ve Johnson, R. L. (2006). Nanotechnologies for environmental cleanup. *Nanotoday, 1*(2), 44-48.

TUSİAD. (2008, Kasım). *Uluslararası Rekabet Stratejileri - Nanoteknoloji ve Türkiye.* https://tusiad.org/tr/: https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/9000-uluslararasi-rekabet-stratejileri-nanoteknoloji-ve-turkiye adresinden alındı

Tüylek, Z. (2017 a). İlaç taşıyıcı sistemler ve nanoteknolojik etkileşim. *Bozok Tıp Dergisi, 7*(3), 89-98.

Tüylek, Z. (2017 b). Biyosensörler ve nanoteknolojik etkileşim. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6*(2), 71-80.

Tüylek, Z. (2021). Biyolojik sistemlerde gelecekteki nano / biyosensör ürünlerine hazırlık. *Biyosistem Mühendisliği Dergisi, 2*(1), 17-39.

Uyanıkgil, E. Ö. ve Salmanoğlu, D. S. (2020). Metalik nanopartiküllerin hedeflendirilmesi. *Ege Tıp Dergisi, 59*(1), 71-81.

Ülger, İ., Koca, F. D., Beyzi, S. B. ve Kaliber, M. (2019). Nanopartikül selenyumun hayvan beslemede kullanımı. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 2*(3), 1-4.

Wilson, M., Kannangara, K., Smith, G., Simmons, M. ve Raguse, B. (2002). *nanoteknolojiye giriş.* Değişim Yayınları.

Yadav, A. ve Yadav, K. (2018). Nanoparticle-Based Plant Disease Management: Tools for Sustainable Agriculture. *Nanobiotechnology Applications in Plant Protection* (s. 29-61). içinde Cham, Switzerland: Springer.

Yakar, A. (2018). Bölüm 4 Uygulamalar - Biyomedikal ve Nanobiyoteknoloji uygulamaları. *Nanoteknoloji 2 Karakterizasyon ve Uygulamalar* (s. 158-175). içinde Denizli: Bilal ofset Basım Yayın Matbaacılık.

Yakar, Z. (2018). Bölüm1 Nanoteknolojiye Giriş - Nanoteknolojinin Gelişimi- Elektronik ve Bilişim Teknolojilerinde Nanoteknoloji. *Nanoteknoloji 1 Nanoteknolojinin Temelleri* (s. 31-46). içinde Denizli: Bilal ofset Basım Yayın Matbaacılık.

Yaqoob, S., Ullah, F., Mehmood, S., Mahmood, T., Ullah, M., Khattak, A. ve Zeb, M. A. (2018). Effect of waste water treated with TiO2 nanoparticles on early seedling growth of Zea mays L. *Journal of Water Reuse and Desalination* , 424-431.

Yavaş, İ. ve İlker, E. (2020). Çevresel stres koşullarına maruz kalan bitkilerde fotosentez ve fitohormon seviyelerindeki değişiklikler. *Bahri Dağdaş Bitkisel Araştırma Dergisi, 9*(2), 295-311.

Yıldız, K. (2021). Veteriner parazitolojide güncel aşılar. *Türkiye Parazitoloji Dergisi, 45*(4), 304-310.

Younas, A., Yousaf, Z., Rashid, M., Riaz, N., Fiaz, S. ve Haung, A. A. (2020). Nanotechnology and Plant Disease Diagnosis and Management. *Nanoagronomy* (s. 101-123). içinde Cham, Switzerland: Springer.

YÖK. (2022). *Yüksek Öğretim Bilgi Sistemi*. Kasım 2022 tarihinde https://www.yok.gov.tr/: https://istatistik.yok.gov.tr/ adresinden alındı

Yörükoğulları, E. (2013). Tarih Öncesi Çağlarda Bilim Ve Teknoloji. *Bilim VeTeknoloji Tarihi* (s. 2-27). içinde Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayını.