

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**NANOPARÇACIKLARIN ELDE EDİLMESİ, KARAKTERİZASYONU VE
NANOTEKNOLOJİNİN ÇEVRE VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Meral ALKAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2021

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**NANOPARÇACIKLARIN ELDE EDİLMESİ, KARAKTERİZASYONU VE
NANOTEKNOLOJİNİN ÇEVRE VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Meral ALKAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EKİM 2021

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NANOPARÇACIKLARIN ELDE EDİLMESİ, KARAKTERİZASYONU VE
NANOTEKNOLOJİNİN ÇEVRE VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Meral ALKAN

FİZİK

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 05/10/2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Melike Behiye YÜCEL (Danışman)

Prof. Dr. Rıza ERDEM

Prof. Dr. Hülya METİN GÜBÜR

ÖZET

NANOPARÇACIKLARIN ELDE EDİLMESİ, KARAKTERİZASYONU VE NANOTEKNOLOJİNİN ÇEVRE VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Meral ALKAN

Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Melike Behiye YÜCEL

Ekim 2021; 113 sayfa

Nanobilimin önemi, elde edilen yeni nanoparçacıkların, hacimli yapılarından farklı ve üstün özellikler göstermesi nedeniyle her geçen gün artmaktadır. Boyutu 1-100 nm arasında olan ve davranışı kuantum kuramı ile anlaşılabilen parçacığa “nanoparçacık” denilir. En az bir boyutu 1-100 nm arasında olan maddenin fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişen özelliklerini anlamamızı sağlayan bilime de “nanobilim” denilmektedir. Nanoteknoloji, nanobilimi temel alır. Nanobilimin konusu olan nanoparçacıklar ve nanoyapıların yeni özellikleri ise nanoteknolojik uygulamaların hızla gelişmesine ve yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Nanoteknoloji kullanımı askeriye, sağlık, endüstri, optik, fizik, kimya, tıp, biyoloji, ziraat, enerji, uzay araştırmaları, kısaca hayatın her alanında yer almakta ve giderek artmaktadır. Teknoloji ilerledikçe yenilikçi yaklaşımlar da fazlalaşmaktadır. Nanobilimin gelişmesi, nanoteknolojide boyut ve ebat olarak küçük, yüzey/hacim oranı hacimli yapılarına göre oldukça büyük, elektrik, optik, ısısal, kimyasal vb. özellikleri ile farklı ve üstün birçok çalışma ve tasarımın ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Her boyutunda farklı ve üstün özellikleri gösteren nanoparçacıkların elde edilme (sentezleme) yöntemleri ile özelliklerinin belirlenmesi ve görüntülenmesini sağlayan (karakterizasyon) yöntemlerinin bilinmesi, bu gelişimde büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasının amaçlarından biri nanoparçacıkların sentezlenme ve karakterizasyon yöntemlerinin derlenmesidir. Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağı ve elde edilecek sonuçlara etkilerinin araştırılması birçok çalışmaya yön verebilecek önemdedir.

Nanoparçacıklar ve nanoyapılar doğal ortamda kendiliğinden vardır; yapay olarak da elde edilebilmektedir. Bu yapılar da nanoteknolojiye ilham kaynağı olmaktadır. Nanoteknoloji güncel hayatta her geçen gün daha çok uygulama alanı bulmaktadır; fakat doğrudan ya da dolaylı olarak canlı hayatı tehdit edebilecek risk faktörlerini de beraberinde getirmektedir. Bilim insanları artık yenilikçi çalışmaların yanı sıra nanoteknolojinin çevreye, doğaya ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini de incelemeye başlamıştır. Çalışmalar arttıkça kullanılan materyaller de artmaktadır. Artan bu materyallerin sonucu olarak çevre kirliliği, doğada ve atmosferde toksik madde miktarının birikimi ve canlı dokuyla etkileşimi sonucunda da sağlık üzerinde olumsuz etkilerin ortaya çıktığı, yapılan çalışmaların sonucu olarak bildirilmektedir. İnsanda zehirlenmelere, solunum yolları ve deride hastalıklara yol açmaktadır. Atıklarda biriktiği zaman ekolojik dengeye zarar vermektedir. Eğer yapılan çalışmaların sonucunda ortaya çıkabilecek olan riskler göz ardı edilirse büyük zararlara neden olacaktır. Bu riskleri de en aza indirgeyebilmek için çalışmaların

sonuçlanmasında ortaya çıkabilecek riskler öngörülebilmeli ve verilen zararın nasıl üstesinden gelinebileceği hakkında gerekli araştırmalar yapılarak önlemler alınabilmelidir. Bu tez çalışmasında, çevresel ve sağlık yönünden toksik nanomateriyaller ve nanoyapılar, risk faktörleri, riskler için alınabilen ve gerekli olan önlemler konusunda yapılan çalışmalar da incelenmiştir.

Nanoparçacıkların sentezlenmesi, karakterize edilmesi ve nanoteknolojinin canlı sağlığı ve çevresel etkileri konularında yapılan çalışmaların çağımızda, önemi her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, bilimsel nitelikli araştırmaların güncel durumunun belirlenebilmesi amacıyla literatür taraması yapılmış ve sonuçları bu tez çalışmasında sunulmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: Nanoparçacık, Nanoparçacık sentezleme, Nanoparçacık karakterizasyonu, Nanoteknoloji ve çevresel etkiler, Nanoteknoloji ve sağlık

JÜRİ: Doç. Dr. Melike Behiye YÜCEL

Prof. Dr. Rıza ERDEM

Prof. Dr. Hülya METİN GÜBÜR

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NANOPARTICLES AND INVESTIGATION THE EFFECTS OF NANOTECHNOLOGY ON ENVIRONMENT AND HEALTH

Meral ALKAN

MSc Thesis in Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Melike Behiye YÜCEL

October 2021; 113 pages

Nanoparticles show different and more excellent properties than their bulk structures; therefore, as new nanoparticles are obtained, the importance of nanoscience is increasing day after day. A particle whose size is between 1-100 nm and whose behaviour can be understood by quantum theory is called nanoparticle. The science that enables us to understand the physical, chemical, biological changing properties of matter that has at least one dimension between 1-100 nm is called "nanoscience". Nanotechnology is based on nanoscience. The new properties of nanoparticles and nanostructures which are the subject of nanoscience. The new properties of nanoparticles and nanostructures, which are the subject of nanoscience, enable more and more widespread use of nanotechnological applications. The use of nanotechnology is increasing in the military, health, industry, optics, physics, chemistry, medicine, biology, agriculture, energy, space research, and in brief in every field of life. Advancing technology also causes innovative approaches. The development of nanoscience causes nanotechnological structures that becomes smaller in size and dimensions, and whose surface/volume ratio is quite large compared to their bulk structures, and also the emergence of many different and superior studies and technological designs with its electrical, optical, thermal, chemical etc. properties. Knowing the obtaining methods of nanoparticles (synthesis of nanoparticles) and the methods that enable the determination of the structural and surface properties of the obtained nanoparticles (characterization of nanoparticles), are of great importance in this development, because nanoparticles exhibit different and superior properties in all their sizes. One of the aims of this thesis is to review the synthesis and characterization methods of nanoparticles. It is important for many forthcoming studies to determine which of these methods can be used, and also to investigate how it will affect on the results to be obtained; as a result, this information is important to contribute to the development of research.

Nanoparticles and nanostructures exist in the natural environment; they can also be obtained artificially. These structures are among the structures that inspire nanotechnology. Nanotechnology, which can be applied in almost every field, has positive results as well as various risks. In addition to innovative studies, the scientists have begun to examine the negative effects of nanotechnology on the environment, nature, and human health. It causes poisoning, respiratory tract and skin diseases in humans. It causes poisoning, respiratory tract and skin diseases in humans. When it accumulates in waste, it harms the ecology. If these risks are ignored, it will cause great

harms. In order to minimize these risks, the toxicity risks that may occur should be foreseen, and also the precautions to prevent and to remove the damage should be determined. In this thesis, researches on nanomaterials and nanostructures that are toxic on the environment and health, risk factors, and precautions that can and should be taken for risks are also reviewed.

The results of studies on synthesis and characterization of nanoparticles and the health and environmental effects of nanotechnology have been more increasing importance in this era. For this reason, a literature review is presented in order to determine the current status of scientific studies and the results are presented in this thesis.

KEYWORDS: Nanoparticle, Nanoparticle synthesis, Nanoparticle characterization, Nanotechnology and environmental effects, Nanotechnology and health

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Melike Behiye YÜCEL

Prof. Dr. Rıza ERDEM

Prof. Dr. Hülya METİN GÜBÜR

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, nanoparçacıkları sentezleme yöntemleri ve karakterizasyon teknikleri ile nanoteknolojinin çevresel ve canlı sağlığına etkileri incelenmektedir. Bu alanda yapılan araştırmalar, sonuçları yönünden yeni özellikler eklenmiş parçacıklar, yeni teknoloji ve uygulamada büyük açılımları beraberinde getirmektedir. Gelişen, insan popülasyonu artan ve değişen Dünya'nın daha küçük, daha fonksiyonel ve özellikle de eko sisteme ve canlılığa tehdit oluşturmayacak malzemelerin üretilmesine ihtiyaç vardır. Nanobilimin teknolojiye uygulanması umut verici sonuçları öngörmekte ve günümüzde yaygın olarak her alanda kullanılmaktadır. Yapılan çalışmaların sayısı oldukça fazladır; bu nedenle yapılan çalışmaların derlenmesi de büyük öneme sahiptir. Bu tez çalışması, günümüzde çok sayıda bilimsel çalışmaların üretildiği bu konularda var olan bilimsel çalışmaları inceleme ve yararlı bir kaynak oluşturabilme amacıyla hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca bana çok emek veren, her konuda moral ve desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen, her zaman benim yanımda olan ve tüm bilgilerini bana sabırla öğreten kıymetli hocam Doç. Dr. Melike Behiye YÜCEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca her zaman ve her koşulda maddi manevi desteğini benden hiç esirgemeyen ve her zaman bana çok güvenip hep yanımda olan canım anneme ve babama çok teşekkür ederim.

Her daim beni destekleyen ve bana hiçbir konuda desteğini esirgemeyen ve yine her koşulda yanımda olan canım eşime de teşekkürlerimi sunuyorum.

Özel Teşekkür: Yüksek Lisans tezimin tamamlanmasında metodolojik yöntem ve usulleri ile ilgili fikir, öneri ve bilgileri ile yol gösteren saygıdeğer hocalarım Sayın Doç. Dr. H. Kürşat ÇELİK'e, Sayın Doç. Dr. İ. Ethem KARADİREK'e ve ayrıca Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisi Sayın Gökhan KUNT'a özel teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
2.1. Nanoparçacıkların Sentezlenme Yöntemleri.....	5
2.1.1. Yukarıdan-aşağıya sentezleme yöntemleri	6
2.1.1.1. Mekanik yöntem	6
2.1.1.2. Elektro patlama yöntemi	7
2.1.1.3. Dağlama yöntemi	7
2.1.1.4. Gaz atomizasyonu yöntemi.....	7
2.1.1.5. Yüksek enerji yöntemi	7
2.1.1.6. Termik (ısı) yöntem	7
2.1.1.7. Dönen soğuk yüzeyde katılaştırma yöntemi	7
2.1.1.8. Litografi (baskı) yöntemi	7
2.1.2. Aşağıdan-yukarıya sentezleme yöntemleri.....	8
2.1.2.1. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi	8
2.1.2.2. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi.....	8
2.1.2.3. Asal gaz yoğunlaştırma yöntemi.....	8
2.1.2.4. Alev sentezi yöntemi.....	8
2.1.2.5. Moleküler hüzme epitaksi yöntemi.....	9
2.1.2.6. Atom tabaka çökmesi yöntemi.....	9
2.1.2.7. Sol-Jel yöntemi	10
2.1.2.8. Lazer ablasyonu yöntemi	10
2.1.2.9. Ultrasonik sprey proliz (USP) yöntemi.....	10
2.1.3. Yeşil sentez (biyosentez) yöntemleri.....	11
2.2. Nanoteknolojide Karakterizasyon Teknikleri	12

2.2.1. Taramalı elektron mikroskopi (SEM).....	12
2.2.2. Geçirimli elektron mikroskopi (TEM).....	13
2.2.3. Yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikrograf (HRTEM) tekniği.....	14
2.2.4. Taramalı tünelleme mikroskopi (STM)	15
2.2.5. Atomik kuvvet mikroskopi (AFM).....	15
2.2.6. Lazer taramalı konfokal mikroskopi (LSCM)	17
2.2.7. X-ışını kırınımı (XRD)	17
2.2.8. X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS)	17
2.2.9. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi	18
2.2.10. Zeta potansiyel analizi	18
2.2.11. Dinamik ışık saçılımı (DLS) analizi	19
2.2.12. Brunauer- Emmett- Teller (BET) yöntemi	20
2.2.13. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)	20
2.2.14. Morötesi-görünür bölge (UV-Vis) spektroskopisi	20
2.2.15. Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX).....	20
2.3. Nanoteknolojinin Çevre ve Sağlık Üzerine Etkileri.....	21
3. MATERYAL VE METOT	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. Nanoparçacıkları Sentezleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	28
4.2. Karakterizasyon Teknikleri	28
4.3. Çevre ve Sağlık Üzerine Etkileri.....	29
4.4. Veri Tabanları Tarama Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Güncel Durum İncelenmesi.....	37
4.4.1. Nanoparçacıkların sentezlenmesi, karakterize edilmesi ve nanoteknolojinin çevresel ve canlı sağlığına olan etkileri konusunda WOS (Web of Science) veri tabanı tarama sonuçlarının değerlendirilmesi	37
4.4.1.1. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların bilim kategorilerine göre dağılımı	37
4.4.1.2. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların yıllara göre dağılımları	42
4.4.1.3. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların türlerine göre dağılımları	44

4.4.1.4. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımları.....	45
4.4.1.5. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların araştırma alanlarına göre dağılımları.....	50
4.4.1.6. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların araştırmaların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımları.....	54
4.4.1.7. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların Türkiye için değerlendirilmesi.....	58
4.4.2. Google scholar (Google akademik) veri tabanı tarama sonuçlarının değerlendirilmesi	65
5. SONUÇLAR	82
6. KAYNAKLAR	84
ZGEMİř	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Nanoparçacıkların Elde Edilmesi, Karakterizasyonu ve Nanoteknolojinin Çevre ve Sağlık Üzerine Etkilerinin Araştırılması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

05/10/2021

Meral ALKAN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ag	: Gümüş
Au	: Altın
β_s	: Tam pik genişliği
C	: Karbon
$^{\circ}C$	: Celsius-Santigrat derece
CuO	: Bakır oksit
d	: Kristalin ağ sabiti
D	: Parçacık boyutu
θ	: Açı
Fe	: Demir
Fe_2O_4	: Demir oksit
K	: Kelvin
κ	: Scherrer sabiti
m	: Metre
Mo	: Molibden
λ	: Dalgaboyu
P	: Fosfor
Pd	: Paladyum
Pt	: Platin
Se	: Selenyum
Si	: Silisyum
SiO_2	: Silika
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko

ZnO : Çinko oksit

Tezde ondalık ayraç olarak virgül kullanılmaktadır. Örnek: 1,42 eV

Kısaltmalar

AFM	: Atomic Force Microscopy (Atomik Kuvvet Mikroskopi)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Kurumu)
BET	: Brunauer-Emmett-Teller
CVD	: Chemical Vapor Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
DLS	: Dynamic Light Scattering (Dinamik Işık Saçılımı)
DSC	: Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetri)
EDAX	: Energy Dispersive X-Ray Analyses (Enerji Dağılımlı X-Işını Analizi)
EDX	: Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi)
FTIR	: Fourier Transform Infrared (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi)
HRTEM	: High Resolution Transmission Electron Micrograph (Yüksek Çözünürlüklü Geçirimli Elektron Mikrograf)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
kHz	: Kilohertz
LSCM	: Laser Scanning Confocal Microscopy (Lazer Taramalı Konfokal Mikroskopi)
MHz	: Megahertz
NP	: Nanoparçacık
m	: Metre
μm	: Mikrometre
nm	: Nanometre
pH	: Hidrojen iyonu derişiminin negatif logaritması ($-\log[H^+]$)
PVD	: Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)

SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskopi)
SI	: Systeme International d'Unites (Uluslararası Birimler Sistemi)
STM	: Scanning Tunneling Microscopy (Taramalı Tünelleme Mikroskopi)
TEM	: Transmission Electron Microscopy (Geçirimli Elektron Mikroskopi)
TÜSİAD	: Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği
USP	: Ultrasonic Spray Pyrolysis (Ultrasonik Sprey Proliz)
UV-Vis	: Ultraviolet-Visible (Morötesi-Görünür Bölge)
WOS	: Web of Science
XPS	: X-Ray Photoelectron Spectroscopy (X-Işını Fotoelektron Spektroskopi)
XRD	: X-Ray Diffraction (X-Işını Kırınımı)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Nanoparçacık sentezinde kullanılan yaklaşımların şematik gösterimi (Arığ 2010).....	2
Şekil 2.1. Nanoparçacıkların sentezleme yöntemleri (Ravichandran 2010).....	5
Şekil 2.2. Mekanik aşındırma ile parçacıkların küçültülmesi (Ateş ve Bahçeci 2015)	6
Şekil 2.3. Alev sentezinin aşamalarının gösterimi (Kamacı 2019).....	9
Şekil 2.4. Ultrasonik atomizörde geyser oluşumunun prensibi (Aşık 2012)	10
Şekil 2.5. a) Doğal halinde cam bir elyaf hücrenin SEM görüntüsü; b) Fabrikasyon hücrenin SEM görüntüsü; c) Yüzey katmanı soyulmuş olan hücrenin ara katmanının SEM görüntüsü; d-f) Yüksek çözünürlüklü SEM görüntüsü (Chen vd. 2016).....	12
Şekil 2.6. Köpüklü karbon kaplanmış Ag NP'lerinin TEM görüntüsü (Elechiguerra vd. 2005)	13
Şekil 2.7. a) Pd/C'nin TEM ile elde edilen görüntüsü ve karşılık gelen histogramı (küçük resim), b) Grafenin SEM görüntüsü, c) Grafenin TEM görüntüsü ve karşılık gelen histogramı (küçük resim) ve d) Pd@grafenin HRTEM ile elde edilen görüntüsü (Wang ve Astruc 2018)	14
Şekil 2.8. STM'de örnek ve uç arasındaki mesafeye bağlı olarak monitörde gözlenen tünel akımı (Evcin 2020)	15
Şekil 2.9. a) AFM cihazındaki parçaların şematik gösterimi (Evcin 2020), b) AFM'nin ölçüm mekanizması (Erkoç 2007)	16
Şekil 2.10. AFM ile SEM ve TEM tekniklerinin karşılaştırılması (Evcin 2020)	16
Şekil 2.11. Zeta potansiyel analizinin gösterimi.....	19
Şekil 2.12. Koronavirüs (Covid 19) ile mücadele de kullanılan nanoyapılı malzemeler.....	22
Şekil 2.13. Tasarlanmış nanoyapıların doğaya salınması sonucunda besin zincirine girmesi ve insanların maruz kalma yollarının şematik gösterimi (Mondal 2020)	23
Şekil 2.14. Bitki hücresinde NP'ler yardımıyla gen aktarımı (Singh ve Prasad 2017) ..	24
Şekil 4.1. Atıkların şematik görünümü ve izledikleri yollar (Özkaleli ve Erdem 2016)	29
Şekil 4.2. Oksidatif stresin hücrede yarattığı etki (Anonim1)	30
Şekil 4.3. Tıpta kullanılan tedavi yöntemlerinden Fotodinamik/fototermaal terapi (Bimova vd. 2021)	31
Şekil 4.4. Çevre, insan ve hayvanların toksikolojik durumu ve ölçülen konsantrasyonlara göre nanomalzemenin risk değerlendirme şeması (Aslan 2017)	31
Şekil 4.5. Farklı boyutlardaki nanoparçacıkların akciğere ulaşması (Aslan 2017)	32
Şekil 4.6. Nanoparçacıkların insanlara ve çevreye olan etkileri (Ünşar ve Perendeci 2016)	34
Şekil 4.7. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan çalışma sayılarının WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı	38
Şekil 4.8. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan çalışma sayılarının WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı	39
Şekil 4.9. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan çalışma sayılarının WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı	40
Şekil 4.10. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan çalışma sayılarının WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı	41

Şekil 4.11. “Nanoparçacık sentezleme”, “nanoparçacık karakterizasyonu”, “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” ve “nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimeleri ile yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımları.....	43
Şekil 4.12. “Nanoparçacık sentezleme”, “nanoparçacık karakterizasyonu”, “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” ve “nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimeleri ile yapılan çalışmaların türlerine göre dağılımları	44
Şekil 4.13. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımı	46
Şekil 4.14. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımı	47
Şekil 4.15. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımı	48
Şekil 4.16. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımı	49
Şekil 4.17. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların araştırma alanlarına göre dağılımı.....	50
Şekil 4.18. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların araştırma alanlarına göre dağılımı	51
Şekil 4.19. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların araştırma alanlarına dağılımı.....	52
Şekil 4.20. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yıllara araştırma alanlarına dağılımı.....	53
Şekil 4.21. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı	54
Şekil 4.22. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı.....	55
Şekil 4.23. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı.....	56
Şekil 4.24. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı	57
Şekil 4.25. Türkiye ölçeğinde, belirlenen anahtar kelimeler ile yapılan bilimsel nitelikli çalışma sayılarının, 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında, yıllara göre dağılımı	59
Şekil 4.26. Türkiye ölçeğinde, belirlenen anahtar kelimeler kullanılarak, 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan toplam çalışmaların anabilim dallarına göre dağılımı	61
Şekil 4.27. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile Türkiye’de 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışmaların WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı.....	62
Şekil 4.28. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile Türkiye’de 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışmaların WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı.....	63
Şekil 4.29. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile Türkiye’de 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışmaların WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı.....	64
Şekil 4.30. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile Türkiye’de 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışmaların WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı.....	65

Şekil 4.31. “Nanoparticle synthesis, characterization, nanotechnology and environmental effects, nanotechnology and health” anahtar kelimeleriyle “Google akademik” taramasından rastgele seçilen araştırmaların 2016-2021 yıllara göre dağılımı	78
Şekil 4.32. “Nanoparticle synthesis, characterization, nanotechnology and environmental effects, nanotechnology and health” anahtar kelimeleriyle 2016-2021 zaman aralığında “Google scholar (Google akademik)” veri tabanı taramasından elde edilen araştırma alanlarına göre araştırma sayı yüzdelerinin dağılımı.....	79
Şekil 4.33. “Nanoparticle synthesis, characterization, nanotechnology and environmental effects, nanotechnology and health” anahtar kelimeleriyle 2016-2021 zaman aralığında “Google scholar (Google akademik)” taramasından elde edilen a) Tıp, b) Ziraat, c) Genel, d) Çevre, e) Gıda, f) İlaç, g) Enerji araştırma alanlarına göre araştırma konusu malzemelerin dağılımı	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Nanoteknolojinin kullanım alanları	36
Çizelge 4.2. Anahtar kelimelere göre, 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında WOS veri tabanından elde edilen çalışma sayıları.....	37
Çizelge 4.3. Türkiye ölçeğinde, belirlenen anahtar kelimeler ile 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışma sayıları	58
Çizelge 4.4. 2016-2021 yılları arasında “nanoparticle synthesis, characterization, nanotechnology and environmental effects, nanotechnology and health” anahtar kelimeleri kullanılarak, rastgele seçilen ilk 50 adet bilimsel nitelikli çalışmanın özet bilgileri	66

1. GİRİŞ

Nanobilim, disiplinlerarası bir bilimdir; özellikle son zamanlarda teknolojiye kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber nanoteknoloji, hayatımızda önemli bir yer edinmiştir ve her alanda karşımıza çıkmaktadır. Enerji, kozmetik, endüstri, askeriye, sağlık, optik, elektronik, kimyasal, biyolojik, gıda ve daha birçok alanda araştırma konusu olup beraberinde birçok yenilikçi fayda getirmeye devam etmektedir.

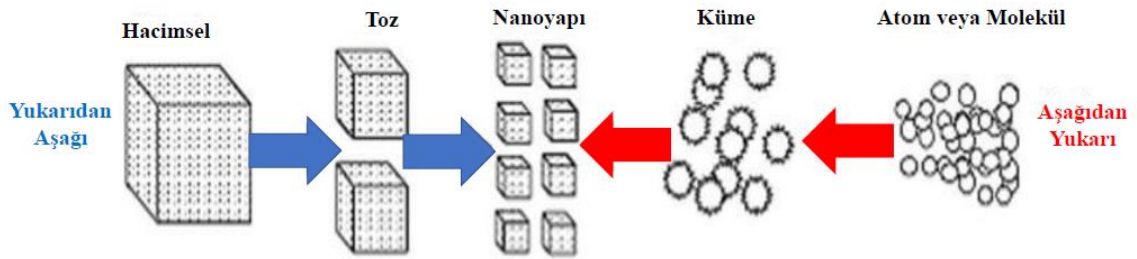
Nanoölçek, herhangi bir ölçünün milyarda biridir (10^{-9}) ve Uluslararası Birimler Sistemi (SI: Systeme International d'Unites) birimlerinden metrenin ön-eki olarak kullanıldığında 1 metrenin milyarda birini ($1nm = 10^{-9}m$) ifade eder. Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (ASTM: American Society for Testing and Materials) standardına göre “bir veya daha fazla boyutta 1-100 nanometre arasında değişen uzunluklara sahip parçacık” “nanoparçacık (NP)” olarak adlandırılmaktadır (Mansoori and Soelaiman 2005; Ealias and Saravanakumar 2017). “Nanometre” kavramı ilk olarak 1925 Nobel Kimya Ödülü sahibi Richard Zsigmondy tarafından önerilmiştir. Nanometre terimini parçacık boyutunu karakterize etmek için kullanmış ve altın (Au) kolloidler gibi parçacıkların boyutunu bir mikroskop kullanarak ölçen ilk kişi olmuştur (Hulla vd. 2015).

Nanoteknolojinin tanımı ise, Amerika Ulusal Bilim ve Teknoloji Konseyi'nin verdiği beyana göre “moleküler düzeyde, atom-atom çalışma ve temelde, yeni moleküler organizasyonlu büyük yapılar oluşturma teknolojisi”dir (Roco vd. 1999). Amaç, yapıların ve cihazların atomik, moleküler ve supramoleküler seviyelerde kontrolünü sağlamayı başararak, cihazları verimli bir şekilde üretmeyi ve kullanmayı öğrenmektir (Mansoori and Soelaiman 2005). ABD Ulusal Nanoteknoloji Birimi Danışmanı Dr. Mihail C. Roco tarafından verilen tanıma göre nanoteknoloji, maddenin, en az bir boyutu 1 ile 100 nm arasında olan boyutta incelenip, yeniden tasarlanması ve uygulamaya konulmasıdır (Roco 2004). Nanoteknoloji, malzemelerin nanoboyuta indirgenerek, karakterize edilmesi, maddenin yapısındaki fiziksel ve kimyasal değişimlerinin incelenip yeni yapıların ortaya çıkarılması, ölçüm yapılması, yeni büyük yapı modellemelerinin tasarlanıp uygulamaya konulması gibi çalışmalara olanak verir (Roco vd. 1999; Mongillo 2007). Malzeme nanoboyutlara indikçe yüzey/hacim oranı artmakta ve kuantum özellikleri değişmektedir; dolayısıyla nanoyapılar optik, elektrik, manyetik, fiziksel ve kimyasal olarak değişebilmektedir (Bhushan 2017). Nanoteknolojinin başlangıcı, Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman'ın 29 Aralık 1959 yılında Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde yapılan Amerikan Fizik Derneği toplantısında ‘Altta Daha Çok Yer Var’ konuşmasıyla başlar (Feynman vd. 1999). Yaptığı bu konuşmada, maddelerin en küçük boyutlara (atomik ve moleküler boyutlara) kadar indirgendiğinde yapılarının değiştirilebileceği ve yönlendirilebileceğinden bahsetmiştir (Godale ve Sharon 2019). Feynman, nanoteknolojiden hiç bahsetmemiş olmasına rağmen bugün söylediklerinin doğruluğu kanıtlamaktadır; bu nedenle Richard Feynman nanoteknolojinin babası olarak kabul edilmektedir (Hulla vd. 2015). Nanoteknoloji terimini ilk defa kullanan Norio Taniguchi'dir; 1974 yılında yayınladığı makalede, nanoteknoloji başlığı altında, atomların ve moleküllerin ayrıştırılabileceği ve birleştirilebileceğini ve böylece düşük maliyetli, sağlam, hassas yapılar da elde edilebileceğini ifade etmiştir (Nimesh 2013). Malzemeler nanoboyuta kadar ulaştığı zaman artık makro boyuttaki özelliklerini taşımazlar; mekanik, optik, elektromanyetik, morfolojik yapıları da değişmektedir (Loos 2015).

Nanoteknolojinin günümüzdeki yeri ve teknolojiye olan etkisi düşünülürse, NP'lerin sentezlenme yani elde edilme yöntemlerinin incelenmesi gerekmektedir; çünkü NP'leri sentezleme yöntemleri, nanoyapıların ve nanomalzemelerin özelliklerini de etkilemekte ve özelliklerin geliştirilmesi açısından önem arz etmektedir (Findik 2021). NP'leri sentezleme yöntemleri Şekil 1.1'de de gösterildiği gibi, yukarıdan aşağı (top down) ve aşağıdan yukarı (bottom up) olmak üzere ikiye ayrılır:

a) Yukarıdan Aşağı Yaklaşımı: Bütün bir parçadan başlayarak sadece mekanik veya kimyasal ya da her iki işlemin beraber uygulanmasıyla, enerji açığa çıkması sonucunda maddenin nanoboyuta ulaşmasıdır. Bu yaklaşımda mikro boyutlara ulaşmak için daha büyük malzemelerden uygulamaya başlanır. Yukarıdan aşağıya yönteminde öğütme, inceltme, toz haline getirme işlemleri yapılarak parçacık NP ölçeğine getirilir. Yukarıdan aşağıya yaklaşımıyla yapılan işlemler çok yüksek enerji ile yapılır. Bu yaklaşımdaki sentezlemelerin en önde gelenleri termik, yüksek enerji, litografik ve mekanik olarak sıralanabilir.

b) Aşağıdan Yukarı Yaklaşımı: Atomların veya moleküllerin kimyasal reaksiyonlarla üst üste konularak NP elde edilmesidir. Aslında bu yöntemin temelini atomlar veya moleküllerle organik ve inorganik yapılar oluşturmaktadır. Yaklaşım kimyasal veya biyolojik yöntemleri kullanır. Bu yaklaşımdaki sentezlemeler ise kimyasal buhar biriktirme, sol-jel, alev sentezi, asal gaz yoğunlaştırma, moleküler hüzmeye epitaksi, atom tabaka çökmesi, elektro-patlama, lazer ablasyonu ve ultrasonik sprey proliz yöntemi olarak sayılabilir (Baykara 2016).



Şekil 1.1. Nanoparçacık sentezinde kullanılan yaklaşımların şematik gösterimi (Arıç 2010)

Günümüzde daha çevreci sentezleme yöntemleri tercih edilmeye başlanmış, toksik etki yaratmayan, üretim maliyeti düşük, insan sağlığına ve doğaya daha az zarar veren yaklaşımlara ilgi artmıştır. Bir çözelti içinde NP sentezi için kullanılan çeşitli klasik yaklaşımlar (sonokimyasal çöktürme, kimyasal indirgeme, elektrokimyasal ve hidrotermal sentez, yeşil sentez gibi), fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler içerirler. Klasik yöntemlerle NP'lerin istenilen boyuta ve hedeflenen morfolojiye uygun sentezlenebilme çabalarında artış olması yanında, son zamanlarda daha çevre dostu

olduğu ve sağlığa zarar vermediği dikkat çeken yeşil nanoteknoloji uygulamaları artarak önem kazanmaktadır (Beykaya ve Çağlar 2016; Abraham vd. 2020).

NP'lerin bir ortamla etkileşime girdiklerinde nasıl davranış sergileyeceklerini bilmiyoruz. Boyutları ve kimyasal etkileşimleri hakkında tahminler yapabiliyoruz fakat bu yapıların yeni özelliklerini kolaylıkla tahmin edemiyoruz. Doğruluğundan emin olmadığımız bu bilgiler birçok risk faktörünü de beraberinde getirmektedir. Bunun için risk analizleri, analitik teknikler ve hassas ölçüm yapabilen yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. NP'lerin karakterizasyonu, fiziksel ve kimyasal özellikleri bu yöntemlerle incelenebilir. Karakterizasyon teknikleri şu şekilde sıralanabilir: Taramalı elektron mikroskopi (SEM: Scanning Electron Microscopy), geçirimli elektron mikroskopi (TEM: Transmission Electron Microscopy), taramalı tünelleme mikroskopi (STM: Scanning Tunneling Microscopy), atomik kuvvet mikroskopi (AFM: Atomic Force Microscopy), lazer taramalı konfokal mikroskopi (LSCM: Laser Scanning Confocal Microscopy), X-ışını kırınımı (XRD: X-Ray Diffraction), X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS: X-Ray Photoelectron Spectroscopy), Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR: Fourier Transform Infrared) spektroskopisi, zeta potansiyel analizi, dinamik ışık saçılımı (DLS: Dynamic Light Scattering) analizi, Brunauer-Emmett-Teller (BET) yöntemi, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC: Differential Scanning Calorimetry) tekniği olarak sıralayabiliriz.

Günümüzde giderek daha çok gelişen nanoteknoloji hayatın birçok yerinde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Bu kolaylıkları nedeniyle tüketimi de artmakta ve artan tüketim sonucunda da risk faktörleri oluşmaktadır. Bunun yanında dezavantajları arttığı gibi avantajları da artmaktadır. Sağlık konusunda hastalıkları tedavi etmek ve tanısını koymak için bunlara uygun nanomateriyaller üretilmiştir. Erken teşhis edilmesi gereken hastalıklar, nanomalzemeler sayesinde, önceden tespit edilip gerekli önlemler alınmaktadır. Özellikle son zamanlarda hayati fonksiyonları tespit eden tekstil ürünlerinin üzerinde çalışılmaktadır. Buna, Smartshirt adı verilen bir tekstil ürünü örnek olarak gösterilebilir. Bu tişört pamuklu hafif malzemeden üretilmiş ve insan vücudundaki hayati fonksiyonları ölçmek için tasarlanmıştır. Tişört, içerisine yerleştirilen sensörler sayesinde verileri bilgisayara aktarmaktadır (Kayacan 2008). Nanomateriyallerin yüzey/hacim oranları büyük olduğu için deri yoluyla insan vücuduna kolaylıkla girebilmektedirler. Örneğin gümüş (Ag) NP'leri kıyafetlerde bakteri üremesini, dolayısıyla koku oluşmasını engeller; fakat bunun fazla birikmesi sonucunda vücutta hasar meydana gelebilmektedir. NP'ler vücuda girince hücre, doku ve organ yapılarında bozulmalar meydana getirmektedir (Moore 2006). Nanoteknoloji kullanımının yaygınlaşmasıyla beraber doğaya salınan atıklar da fazlalaşmıştır. Bu atıkların her birinin üzerinde NP'ler bulunmakta ve dikkate alınmadığında kontrolsüz bir şekilde birikip fazla toksin oluşmasına neden olmaktadır. Doğaya bırakılan NP'lerin tüm sonuçları incelenmelidir. Örneğin sonucu bilinmeyen bir NP toprakla temas ettiği zaman oradaki yararlı olan bakterileri öldürüp toprağın ekolojik dengesini bozabilir. Çevreye bırakılan metaller uzun süreli olarak doğada kaldıkları için zararları da oldukça fazladır. Parçacıklar doğaya salınmadan önce risk faktörlerinin değerlendirilerek belli bir şema çerçevesinde incelenmesi, bırakıldığı ortamda ne gibi etkiler yaratabileceği önceden belirlenip gerekli önlemleri alınması sağlanmalıdır (Demirkıran 2019).

Tez çalışmasının akışı: Kaynak taramasının yapıldığı Bölüm 2, NP'leri sentezleme yöntemleri ve karakterizasyon yöntemleri ile nanoteknolojinin doğada ve

canlı sağlığı üzerinde oluşturabileceği tehditler konusunda literatür bilgilerini içermektedir. Bölüm 3'te literatür araştırmasının yapılmasında kullanılan materyaller ve yöntemler açıklanmaktadır. Bölüm 4'te, yapılan çalışmalar sonuçları yönünden tartışılmıştır. Bu tez çalışmasında elde edilen bilgilerin yorumlanması ise Bölüm 5'te sunulmaktadır.

2. KAYNAK TARAMASI

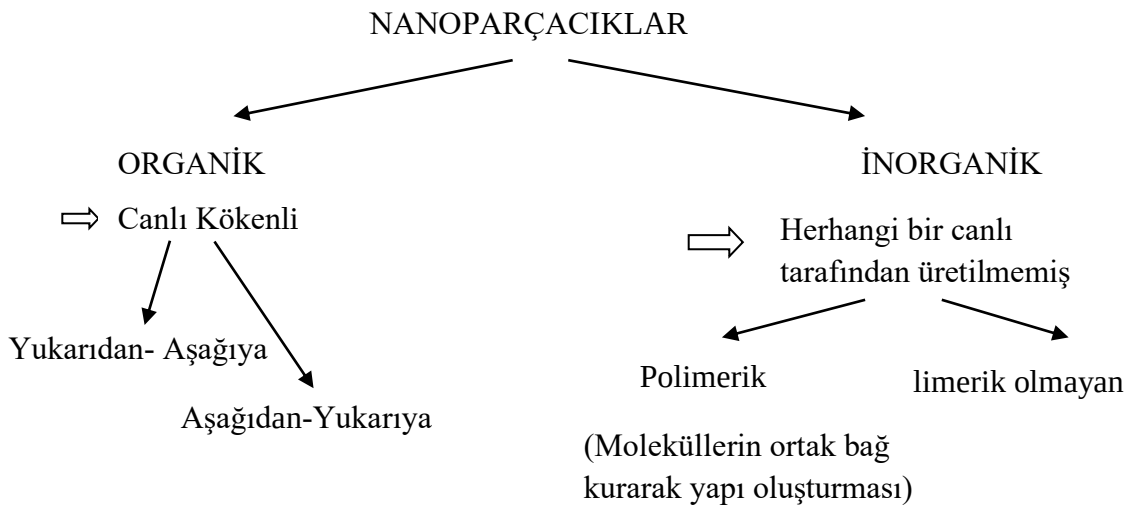
Hayatın her noktasında yer alan nanoteknoloji, bilimsel ve teknolojik alanda devrim yaratan disiplinlerarası bir teknolojidir. En az bir boyutu 1-100 nanometre arasında olan ve hacimli (bulk) yapıya göre oldukça farklı ve üstün fiziksel ve kimyasal özellikler gösteren nanoyapı ve malzemelerle uğraşan bilim dalına nanobilim denir (Khan vd. 2019); nanobilimin teknolojiye uygulanması ise nanoteknolojinin konusudur (Nasrollahzadeh vd. 2019).

Bu bölümde, çalışmada araştırılan literatür bilgileri yer almaktadır. İlk olarak NP elde edilmesi (sentezlenmesi) yöntemleri anlatılmaktadır. İkinci olarak NP'lerin karakterize edilmesinde yani elde edilmesi sonrasında özelliklerinin anlaşılmasında kullanılan yöntem, gereç ve teknikler açıklanmaktadır. Son olarak NP'lerin hem doğada kendiliğinden var olan formları hem de yapay olarak elde edildikten sonraki aşamalarında çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri hakkında yapılan çalışmalar sunulmaktadır.

2.1. Nanoparçacıkların Sentezlenme Yöntemleri

Nanobilimin teknoloji ve bilimde büyük gelişmeler ortaya çıkarması, nanomalzemenin yapısındaki fiziksel ve kimyasal özelliklerinin anlaşılması için NP sentezleme yöntemlerinin bilinmesi, anlaşılması ve geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

NP'lerin sınıflandırılması inorganik ve organik olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sınıflamaların sentezleme yöntemleri Şekil 2.1'de verilmiştir (Ravichandran 2010).



Şekil 2.1. Nanoparçacıkların sentezleme yöntemleri (Ravichandran 2010)

2.1.1. Yukarıdan-aşağıya sentezleme yöntemleri

Yukarıdan aşağıya sentezleme yöntemi, hacimsel bir malzemenin bütününden başlayarak malzemeye mekaniksel veya kimyasal ya da her ikisinin uygulanmasıyla enerji vererek nanoboyuta kadar küçültülmesi işlemine denir ve çoğunlukla inorganik NP'lerin elde edilmesinde kullanılır. Bu yöntemde küçük boyutlara ulaşmak için çok daha büyük malzemelerden üretime başlanır (Pande vd. 2016).

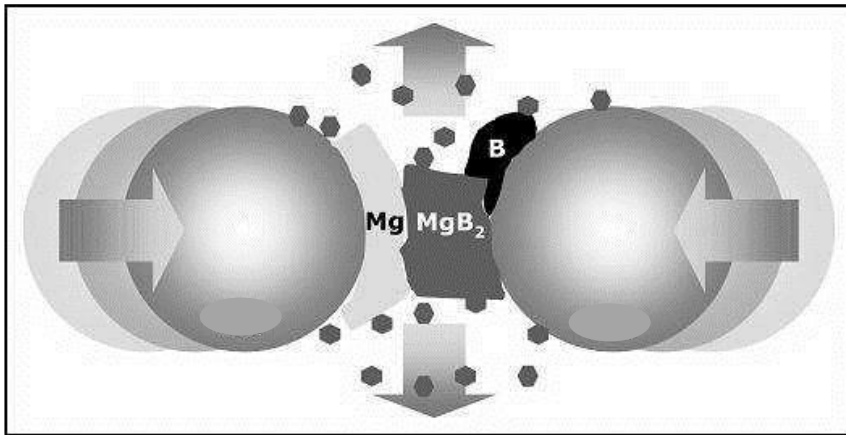
Burada, hacimsel bir malzemeye bu yaklaşım uygulandığında kimyasal özelliğinin nasıl değiştiği konusunda basit bir örnek verilebilir: Kuru bir öğütme yöntemi buğdayın un haline gelmesine neden olur; un haline dönüşen buğdayın su tutma özelliği artar (Shibata vd. 2009).

Bu yaklaşımı kullanan ve aşağıda kısaca anlatılan yöntemlerde oldukça yüksek enerji kullanılmakta ve kimyasal veya mekaniksel işlemler uygulanmaktadır.

2.1.1.1. Mekanik yöntem

Bu yöntem fiziksel uygulamayla yapılır. Mekanik olarak sıkıştırma, püskürtme, kesme, dövme, haddelme (dönen silindirler arasında malzemeyi ezerek öğütme), frezeleme (düzgün ve dairesel hareket eden kesici aletlerle yapılan öğütme) NP'leri elde etmek için uygulanan yöntemlerden bazılarıdır.

Madde ve öğütücü ortam arasındaki etkileşimler sonucunda, malzeme parçalanarak toz haline gelir. NP oluşumu üç aşamada gerçekleşir: **(i)** Maddenin öğütücü ortamda hacimsel parçalara ayrılması; **(ii)** Parçacıkların daha da küçülmesi ile oluşan toz bulutu ve toz parçacıklarının düzensiz boyutlarda oluşması; **(iii)** Oluşan tozların nanoboyuta küçülmesi (DeCastro ve Mitchell 2002).



Şekil 2.2. Mekanik aşındırma ile parçacıkların küçültülmesi (Ateş ve Bahçeci 2015)

Şekil 2.2’de verilen örnekte yüksek frekanslı ve düşük genlikli bilyalı öğütücü gösterilmiştir; bilyeler malzemeyi sıkıştırarak parçalara ayırır. Oluşan bu toz

parçacıklarının içerisinde nanoboyuttaki malzemeler ayırt edilir. Bu yöntemle en fazla 20 nm boyutunda parçacık elde edilebilmektedir.

2.1.1.2. Elektro patlama yöntemi

Bu yöntemde iletken bir telde, soy ya da reaktif gaz ortamında çok yüksek sıcaklıkta ve kısa zamanda çok yüksek akım oluşturulur. Plazma haline geçen tel 20 000 – 30 000 °C 'ye kadar ısınır ve direnç sonsuz olduğunda süpersonik bir hızla genişler ve bulunduğu iyonize gaz ortamında şok dalgası oluşturur. Bu yöntemle 100 nm boyutunda metalik parçacıklar elde edilebilmektedir (Yazıcı 2009; Vandana ve Sen 2005).

2.1.1.3. Dağlama yöntemi

Anlam olarak malzeme uzaklaştırma manasına gelir. İstenilen boyutta NP'lerin elde edildiği bu yöntem kimyasal bir süreçtir. Dağlama yönteminde kuvvetli asitlerden veya bazik çözeltilerden yararlanılır (Luther 2006).

2.1.1.4. Gaz atomizasyonu yöntemi

Bu yöntemde hızı yüksek olan asal gazlar metal eriyik ortamına püskürtülür ve çarpışmalar sonucunda nanoboyutta metal parçacıklar ve katılaştırıldıktan sonra da metal nanoboyuttaki toz elde edilir (Ateş 2018).

2.1.1.5. Yüksek enerji yöntemi

Yüksek enerji yöntemi, katı bir plakaya yüksek elektrik akımı, tek dalgaboylu (monokromatik) ışınım veya güneş ışınımı gönderilerek NP elde edilme yöntemidir. Karbon nanotüpler bu yöntemle elde edilebilmektedir (Ateş ve Bahçeci 2015).

2.1.1.6. Termik (ısı) yöntem

Kimyasal üretim yöntemlerinden olan bu yöntemde klasik ısıtma işlemleri uygulanmakta ve parçacık boyutları kontrol edilebilmektedir. Termik yöntemde ısıtılan malzemeler ergitilir (cevherden saf maden elde etme), kontrollü sıcaklık ve basınç değerleri ile katı faza geçişi sağlanarak NP'ler elde edilir (Ateş ve Bahçeci 2015).

2.1.1.7. Dönen soğuk yüzeyde katılaştırma yöntemi

Bu yöntem, nozul (kum saati şeklinde olan püskürtme sistemi) yardımıyla ergitilen bir malzemenin dönen soğuk bir yüzeye püskürtülmesi ve yüzeyde yoğunlaşan bu malzemenin ani soğuma sonucu katılaşarak NP oluşturma sürecidir.

2.1.1.8. Litografi (baskı) yöntemi

Si (Silisyum) ve cam bir alttaşın polimer tabakayla kaplanarak ışık, elektron veya iyon demetine maruz bırakılması sonucunda istenilen görüntünün kimyasal yolla elde edilmesi yöntemine denilir. Litografinin çeşitli uygulamaları vardır; ışın litografi (optik, X-ışını, iyon ışını), yumuşak litografi (kalıp, baskı yapma, damgalama) örnek olarak verilebilir (Menceloğlu ve Kırca 2008). Bu yöntemle 10 nm kadar boyutlara

sahip NP'ler elde edilmektedir. NP üretiminde en ucuz yöntemlerden biridir (Ateş ve Bahçeci 2015).

2.1.2. Aşağıdan-yukarıya sentezleme yöntemleri

Aşağıdan yukarıya yaklaşımı, atomların veya moleküllerin kimyasal reaksiyonlarla veya biyolojik süreçlerle birleştirilmesi sonucunda büyütülerek NP'lerin elde edilmesi yöntemidir. Bu yaklaşımda, elde edilmek istenen özellikler saptanır ve NP'lerin elde edilmesi ve kimyasal bileşimlerini oluşturmak için uygun ürünler seçilir (Baykara 2016).

Evrende kendiliğinden oluşan nanoyapıların hepsi aşağıdan yukarıya yöntemiyle oluşmaktadır. Bu yüzden daha çok organik maddelerde görülmektedir. Bu yaklaşımın en çok bilinen sentezleme yöntemleri kimyasal buhar biriktirme, sol jel ve sprey proliz yöntemidir. Kimyasal buhar biriktirme tekniği aşağıdan yukarıya yaklaşımında kullanılan ilk tekniktir. Bu yöntem nanokristalin metal ve alaşımlarının üretilmesinde kullanılmıştır (Wolfgang 2007; Zaki 2007).

2.1.2.1. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi

Fiziksel buhar biriktirme (PVD: Physical Vapor Deposition) yöntemi, bir alttaş üzerine, katı bir kaynak malzemenin atom veya moleküllerinin vakumda yüksek sıcaklıkta buharlaştırılarak yoğunlaştırılması sürecidir. Bu süreçte ince film nanokaplamalar elde edilebilmektedir.

2.1.2.2. Kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi

Kimyasal buhar biriktirme (CVD: Chemical Vapor Deposition) yöntemi, gaz fazındaki ya da kolaylıkla buhar fazına geçebilen bir malzemenin ısıtılmış bir ortamda kimyasal reaksiyona girerek ısı parçalanması ve sonuçta atom-molekül kümeleri veya NP'ler olarak birikmesi yöntemine denilir (Özbudak 2021). CVD yönteminin maliyet yönünden avantajlıdır; buhar fazına kolaylıkla geçebilen metal organikler, hidrürler gibi bileşiklerin kullanılmasıyla çok çeşitli kimyasal bileşimler üretilmektedir (Wang vd. 2003; Markus 2007).

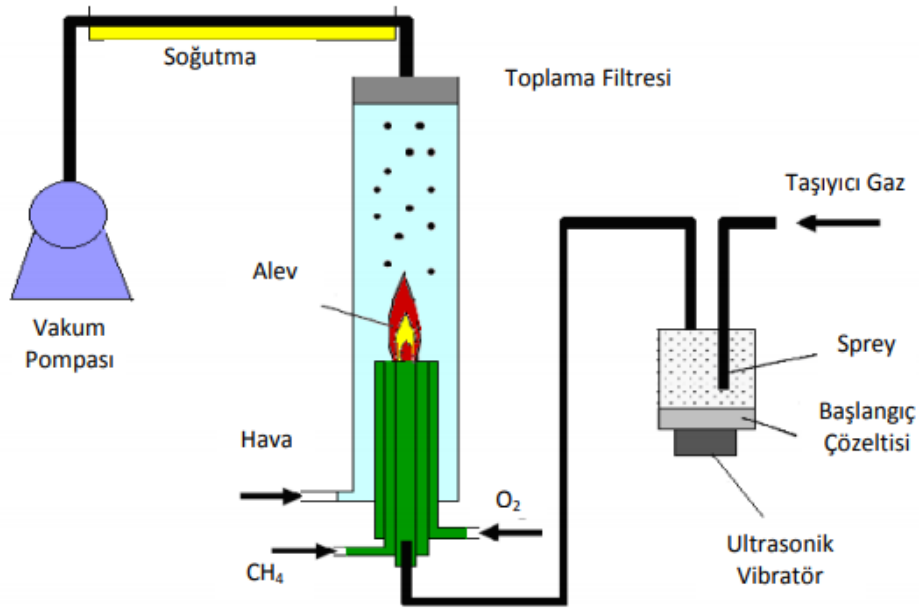
2.1.2.3. Asıl gaz yoğunlaştırma yöntemi

Bu yöntem, bir PVD sürecidir. Bu süreç, başlangıç malzemesinin genellikle diğer asal gazlara göre daha yüksek ısısal iletkenliğe sahip olan helyum ortamında buharlaştırılması ve yine aynı ortamda soğutulması işlemidir. Sonuçta atomlar yoğunlaşır ve NP'ler elde edilir (Gürmen ve Ebin 2008).

2.1.2.4. Alev sentezi yöntemi

Alev sentezi yöntemi zaman, başlangıç çözeltisi ve sıcaklık gibi değişkenlerin kontrollü izlenmesi altında gerçekleştirilen bir kimyasal süreçtir. Yanma işlemi sonucunda çözelti buharlaşır ve buharın yoğunlaşması ile nanoboyutlu parçacıklar elde edilir. Bu teknik parçacık yapısının kontrolü, parçacığın kimyasal bileşim aralığı ve boyut dağılımının incelenmesi için gerekli koşulları sağlar ve oldukça düşük maliyetlidir (Gürmen ve Ebin 2008).

Alev sentezi yöntemi düşük maliyetli olduğu için ticari olarak oldukça fazla kullanılmaktadır. Şekil 2.3'te görüldüğü üzere yöntemde ilk olarak başlangıç çözeltisi belirlenir. Başlangıç çözeltisinin içerisinde metal halojenürler bulunmaktadır. Buradaki çözelti pompalama ile sisteme verilir ve oksijen ile etkileşime girerek spray yapıyı oluşturur; alev kullanılarak sistemin içerisindeki sprayin buharlaşması sağlanır. Buharlaşma ile tutuşma gerçekleşir. Gerçekleşen bu olay sonucunda gaz fazı oluşur ve buradaki yoğunlaşma ile NP'ler bir oda içerisinde toplanmış olur (Gürmen ve Ebin 2008).



Şekil 2.3. Alev sentezinin aşamalarının gösterimi (Kamacı 2019)

2.1.2.5. Moleküler hüzme epitaksi yöntemi

Epitaksi anlam olarak malzeme çoğaltma, alttaş üzerine düzenli kristal büyütme ve katmanlı film kaplama şeklinde tanımlanır. Alttaş kristal yüzeyine buharlaştırılan moleküller birbirleriyle etkileşerek ince bir film oluştururlar ve oluşan film nanoboyuttadır. Ayrıca bu yöntemle yarıiletkenler ve birçok metalin büyütülerek epitaksiyel film oluşturulması sağlanır (Arthur 2002; Karaçam 2020).

2.1.2.6. Atom tabaka çökmesi yöntemi

Bu yöntem kimyasal buhar çöktürmesine benzerdir. Uygulanacak olan yüzeye malzemeyi buharlaştırarak çökeltilmesi esasına dayanır. Her defasında buharlaştırılan malzeme yüzey üzerinde, her çevrimde bir molekül kalınlığında kaplanır ve böylece çevrim sayısı arttıkça film tabakasının kalınlığı artar; sonuçta istenilen kalınlıkta film elde edilir (Wack vd. 2019).

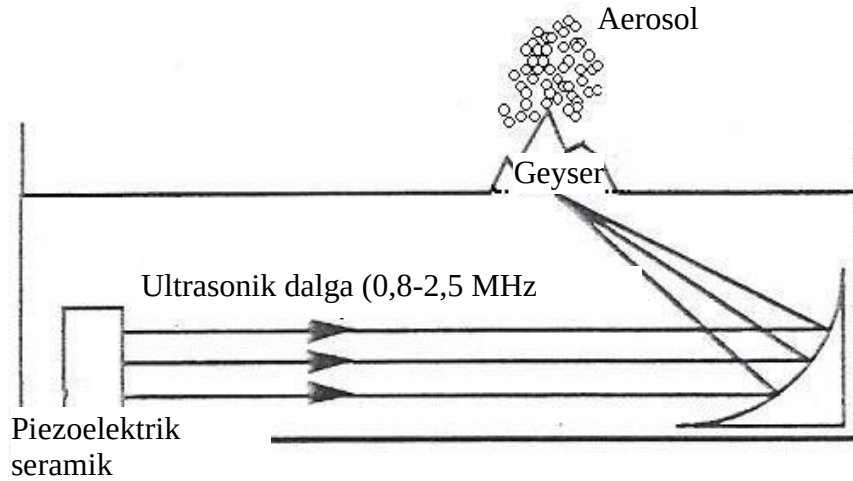
2.1.2.7. Sol-Jel yöntemi

Bu süreç, sıvı bir “sol” fazdan katı bir “jel” faza geçişi içeren, düşük sıcaklık sıvı-faz sentezleme yöntemidir. Hazırlanan solüsyon yani çözelti-sol, belirli sıcaklıklarda karıştırma, soğutma, bu esnada oluşan kimyasal reaksiyonlar ve taneciklerin yüzey yükü elektrokimyasal etkileşimleri sonucunda jelleşmesi, yüksek sıcaklıkta kurutma ya da yaşlandırma aşamalarından geçer. Bu yöntemle istenilen boyutta ve saflıkta nanomalzeme üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Sarigül vd. 2021). Günümüzde seramik, gözenekli nanomalzeme, ince film yüzey kaplamaları ve daha birçok nanooptik, nanoelektronik, nanomanyetik malzemelerin oluşturulmasında bu yöntemden faydalanılır (Ateş ve Bahçeci 2015).

2.1.2.8. Lazer ablasyonu yöntemi

Bu süreç, katı veya sıvı olabilen bir hedef malzemenin yüzeyine gönderilen atımlı lazer enerjisinin, hedef malzemenin kolayca buharlaşamayan kısmında da soğurularak NP ve nanomalzeme elde edilmesidir (Ateş ve Bahçeci 2015).

2.1.2.9. Ultrasonik sprey proliz (USP) yöntemi



Şekil 2.4. Ultrasonik atomizörde geyser oluşumunun prensibi (Aşık 2012)

Ultrasonik sprey proliz (USP: Ultrasonic Spray Prolysis) yöntemi, bir araya gelmemiş yani yığınlaştırma oluşturmamış ve küresel olmayan parçacıkların, kimyasal bileşim yaparak küresel NP oluşturma işlemidir. Genel olarak USP yönteminde elde edilmek istenen malzeme sıvı veya gaz bir ortamda buharlaştırılarak aerosol oluşturulur. Aerosol gaz taşıyıcı ile ısıtıcı ortama verilir. Burada oluşan reaksiyon sonucunda NP oluşumu gözlenmektedir (Gurav vd. 1993; Tsai vd. 2004; Toparlı 2013).

USP çalışma prensibi: Bir piezoelektrik seramik malzemeye elektrik akımları gönderilir. Gönderilen bu akımlar sonucunda malzeme salınım yapmaya başlar ve salınım hareketi ile 0,8-2,5 MHz dalgaboyları arasında ultrasonik dalgalar oluşur. Bu

dalgalar sonucunda, Şekil 2.4'te de gösterildiği gibi, aerosol ve geyser oluşumu gerçekleşir.

Sprey Proliz Yöntemi: Aerosol oluşumu 100 kHz ve 10 MHz frekans aralığındaki dalganın gaz-sıvı ara yüzeyine gönderilmesiyle meydana gelmektedir. USP yönteminin ilk aşamasını aerosolün yüksek sıcaklığa girerek buharlaşması oluşturur. Buharlaşma sonucunda maddenin çökmesi, kuruması gibi olaylar olsa da aerosol buharı her zaman damlacık olarak kalır. Buharlaşma sırasında çözünen ve çözücünün sıcaklığı buharlaşma sıcaklığı ile eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Bu durumların hepsi sıcaklık, kütle ve çözünme parametrelerine bağlı olarak değişmektedir (Messing vd.1993; Kim ve Kim 2004).

2.1.3. Yeşil sentez (biyosentez) yöntemleri

Biyosentez, biyolojide canlı organizmalardaki kimyasal süreçleri belirten terimdir ve enerji kullanılarak gerçekleştirilen bu süreçler basit yapıdaki maddelerden daha karmaşık ürünler elde edilmesini sağlar. Nanoteknolojideki tanımı ise bitki özütü ya da bakteri, mantar, maya, alg, virüs vb. canlı organizmaları kullanarak NP sentezlemektir. Toksik olmayan malzemelerin kullanıldığı yeşil yöntemler, tehlike yaratmayan ve çevre dostu oldukları için daha fazla önem kazanmıştır. Ayrıca bazıları küresel dışında çeşitli şekillerde NP'ler üretebilmektedir (Ronavari vd. 2021).

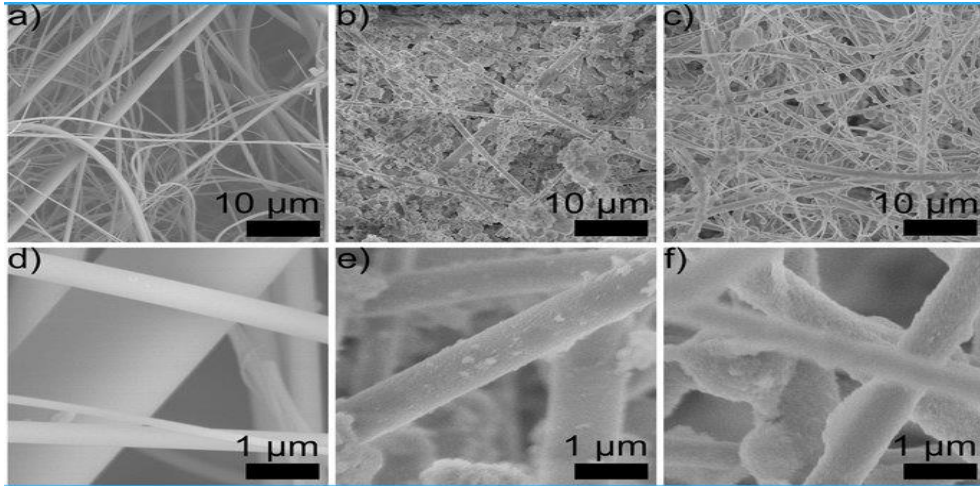
Bu yönteme dahil olan süreçler: **(i) Yeşil kimyasal yöntem:** Bu yöntemler, yeşil ve çevre dostu olan saf kimyasal reaktiflerin kullanımına dayanmaktadır. Bu yöntemlerin çoğunda, indirgeyici ajanlar, kapatma ajanları veya her ikisi olarak glukoz, sakaroz, nişasta, kitosan ve kalsiyum aljinat gibi karbonhidratlar kullanılır. Ayrıca, biyolojik olarak parçalanabilen ve toksik olmayan polimerler, metalik NP'lerin yeşil sentezi için başarıyla kullanılmıştır. Bu yöntemlerle üretilen NP'ler genellikle küreseldir. **(ii) Mikroorganizma tabanlı yöntem:** Bu yöntemlerde NP'ler üretmek için bakteri, mantar, maya ve alg gibi mikroorganizmalar kullanılır. Bu süreçte bu mikroorganizmalar kültür ortamında çoğalır. **(iii) Bitki özütü tabanlı yöntem:** Bu yöntemlerde özüt hazırlamak için bitkinin yaprak, kök, sürgün, taç yaprağı, meyve ve kabuk gibi farklı kısımları taze veya kurutulmuş olarak kullanılır. Kurutulmuş bitki kullanmanın faydası, bitkinin ihtiyaç duyulana kadar oda sıcaklığında uzun süre saklanabilmesidir. Ayrıca, bitki bileşenlerinde değişikliklere yol açan mevsimsel değişikliklerin etkileri, kurutulmuş malzemeler kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Sıcaklık, özütün yoğunluğu, metalik iyonların yoğunluğu ve pH gibi değişkenler, NP'lerin boyutunu ve morfolojisini etkileyebilmektedir. Metalik NP'lerin biyosentezi üzerine ilk çalışma Shankar ve ark. tarafından gerçekleştirilmiştir ve Au NP sentezi için indirgeme maddesi olarak sardunya yaprağı özütünü kullanmışlardır (Shankar vd. 2016). **(iv) Bal-ortamlı yeşil sentez:** Metalik NP'lerin yeşil sentezi için bal kullanılmaktadır. Bal, metalik NP sentezinde indirgeyici ajanlar olarak hareket edebilen karbonhidratlar, enzimler ve antioksidanlar açısından zengin doğal bir bileşiktir. Balın kullanılması, bitki kurutma aşamasını ortadan kaldırdığı için bitki özütlerinin kullanılmasına göre bir üstünlüğe sahiptir. Sulu bal çözeltisi, Platin (Pt), Au ve Gümüş (Ag) NP'lerin yeşil sentezinde kullanılmıştır (Shankar vd. 2016).

2.2. Nanoteknolojide Karakterizasyon Teknikleri

NP'lerin ve nanomalzemelerin boyut, şekil, yüzey morfoloji analizi, topografyası, gözeneklilik dağılımı, iç yapısı ve kristal yapısı vb. gibi fiziksel, kimyasal, elektrik ve optik özellikleri, karakterizasyon teknikleri ile belirlenir (Ersöz vd. 2016). Bu nedenle yapılan araştırmalarda ve uygulamalarda nanomalzemenin özelliklerinin anlaşılması, geliştirilmesi, malzemenin izlenmesi için kullanılan görüntüleme ve izleme cihazları ile bunların karakterize ettiği parametreler çok önemlidir (Titus vd. 2019). Aşağıda bu teknikler kısaca anlatılacak ve karakterize ettiği parametreler verilecektir.

2.2.1. Taramalı elektron mikroskopi (SEM)

SEM'in temeli, 1926'da Hans Busch'ın elektromanyetik lensi geliştirmesiyle atılmıştır. Bu tarihten itibaren birçok çalışma yapılmış görüntüleme tekniklerinde yeni gelişmeler kaydedilmiştir. 1937'de Manfred von Ardenne küçük bir alanı elektron demetiyle tarayarak gerçek anlamda taramalı elektron mikroskobunu oluşturmayı başarmıştır (von Ardenne 1985). SEM yüksek enerjili, odağı iletken numune üzerinde sabitlenmiş elektron demetinin iletken numuneyle etkileşmesinde, numuneden yansıyan elektronların oluşturduğu sinyallerle üç-boyutlu görüntü elde edilmesi işlemidir (Yayla 2021); iletken numunenin yüzey morfolojisini ve yüzey analizini karakterize eder fakat çözme gücü bir kristalin ağ sabitinin üzerinde olduğu için numunenin kristalografisi konusunda bilgi vermez (Sarıbuğa 2014). Şekil 2.5'te, örnek olarak, bir cam elyafın SEM görüntüleri verilmektedir.

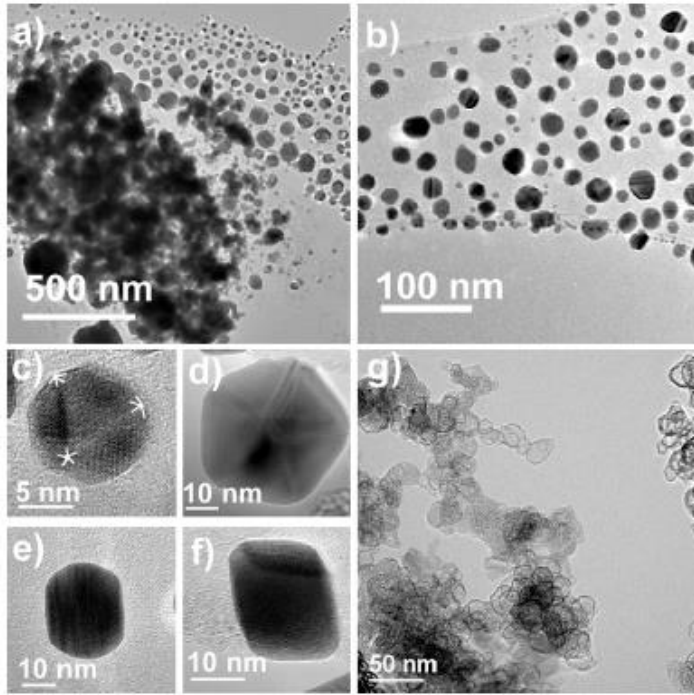


Şekil 2.5. a) Doğal halinde cam bir elyaf hücrenin SEM görüntüsü; **b)** Fabrikasyon hücrenin SEM görüntüsü; **c)** Yüzey katmanı soyulmuş olan hücrenin ara katmanının SEM görüntüsü; **d-f)** Yüksek çözünürlüklü SEM görüntüsü (Chen vd. 2016)

2.2.2. Geçirimli elektron mikroskopi (TEM)

1931 yılında Ernst Ruska tarafından icat edilen geçirimli elektron mikroskobu, kalınlığı birkaç yüz nm'yi geçmeyen çok ince bir numuneden elektronların geçmesiyle görüntü oluşturulması ilkesine dayanır. TEM'de görüntü floresans bir ekran üzerinde oluşturulur (İnce 2021; Li vd. 2019). Büyütme ve çözünürlüğü SEM'e göre daha yüksektir (1 nm'nin altında). Nanomalzemenin kristal yapısının incelenmesinde, boyut, şekil, morfoloji, iç yapı gibi analizlerde daha doğru bilgi sağlaması, TEM'in araştırmalarda genellikle tercih edilme nedenidir. (Fan vd. 2019). TEM, NP'ler gibi çok küçük yapılar hakkında ayrıntılı bilgi almak için en uygun yöntemdir. TEM'de bir madde üzerinde elektron yoğunluğu ne kadar fazlaysa iletilen elektron yoğunluğu da o kadar az olup görüntü zayıftır. Bu sebeple görüntü farklı elektron yoğunluklarına sahip olduğu için farklı bölgeler olarak görünür (McClements ve McClements 2016). TEM'in SEM'e göre bir başka avantajı, TEM'in kristal yapıları amorf yapılardan ayırt etmek için kullanılabilmesidir.

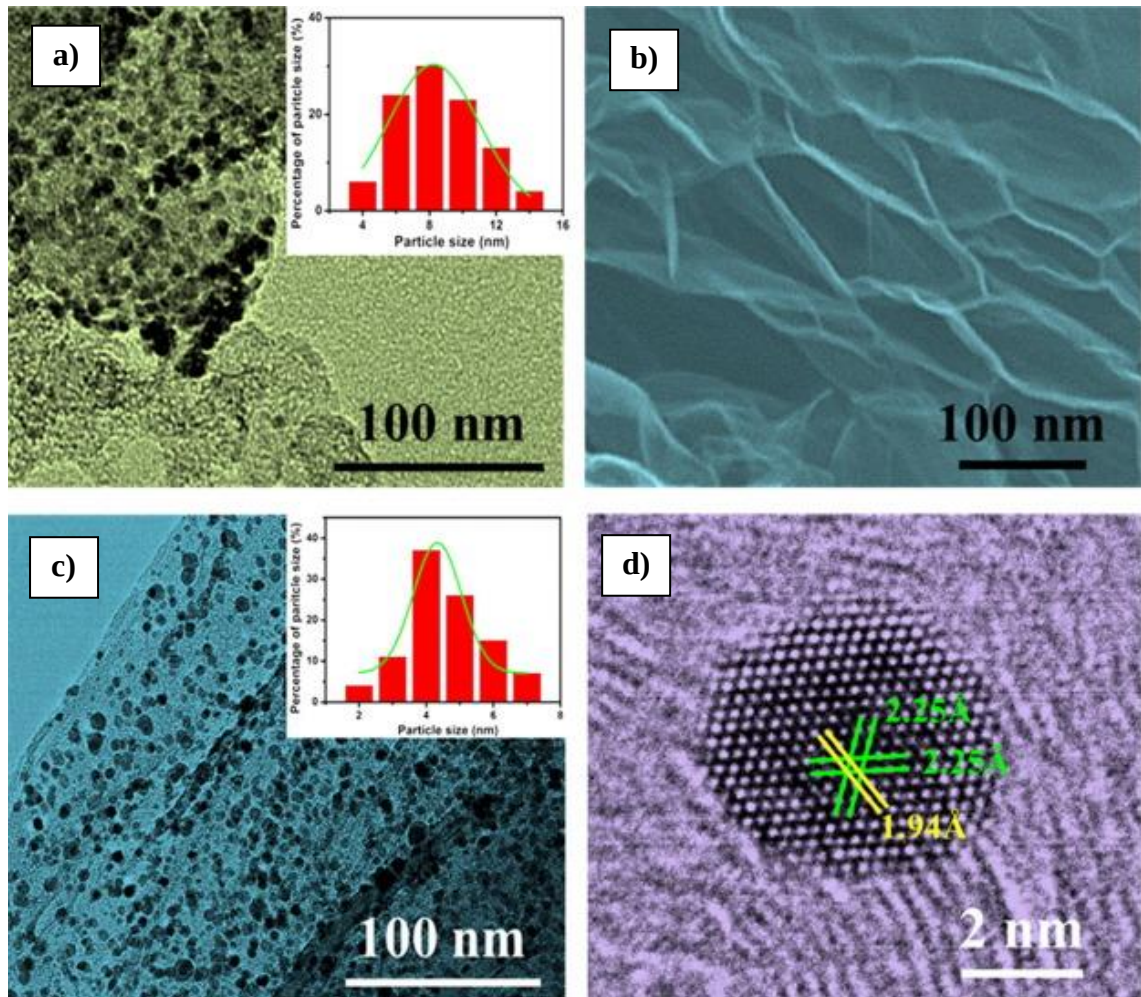
Şekil 2.6'da köpüklü karbon kaplanmış Ag NP'lerinin TEM ile elde edilen görüntüsü örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.6. Köpüklü karbon kaplanmış Ag NP'lerinin TEM görüntüsü (Elechiguerra vd. 2005)

2.2.3. Yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskop (HRTEM) tekniği

Yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskop (HRTEM: High-Resolution Transmission Electron Micrograph) karbon yapıların katmanlarını doğrudan görüntüleme yoluyla yapının içeriğine ulaşmada en yol gösterici mikroskopi tekniğidir. HRTEM mekanik, optik iletim gibi alanlarda düzensiz yapıların özelliklerini daha iyi gözlemlememizi sağlamaktadır. Ayrıca HRTEM, heterojen malzemeleri nanokompozit olarak karakterize ettiği gibi nanometrik ölçekte karakterize edilmesini de sağlamaktadır (Rouzaud ve Clinard 2002). Şekil 2.7’de grafenin TEM, SEM ve HRTEM görüntüleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Histogramlarda gösterilen küçük resimler, parçacık büyüklüğünün yüzde olarak ne kadar büyütüldüğünü göstermektedir. En iyi büyütmenin HRTEM görüntüsü ile elde edildiği görülmektedir.

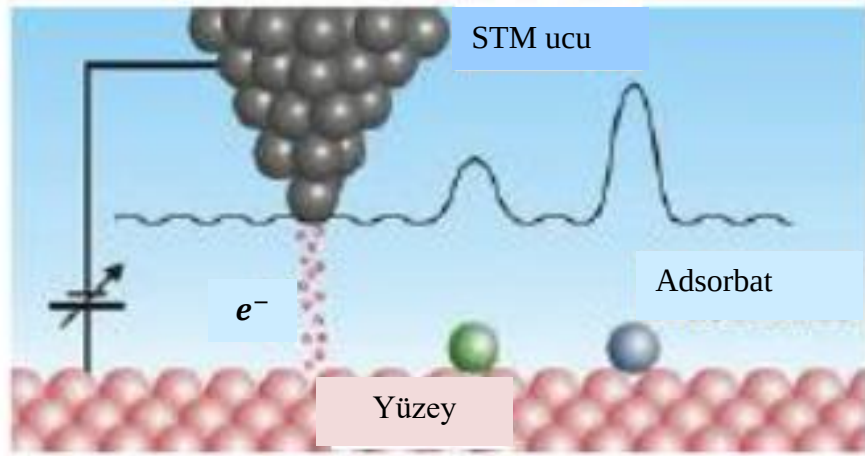


Şekil 2.7. a) Pd/C'nin TEM ile elde edilen görüntüsü ve karşılık gelen histogramı (küçük resim), b) Grafenin SEM görüntüsü, c) Grafenin TEM görüntüsü ve karşılık gelen histogramı (küçük resim) ve d) Pd@grafenin HRTEM ile elde edilen görüntüsü (Wang ve Astruc 2018)

2.2.4. Taramalı tünelleme mikroskopi (STM)

Taramalı tünelleme mikroskobu, iletken malzemelerin yüzeylerini nanometre seviyesinde analiz etmeyi sağlayan bir mikroskop çeşididir. STM doğrudan görüntü almaz; iletken malzemelerin yüzeylerini tarayarak atomik boyutta yüzey analizini, yüzey elektronik yapı analizini ve yüzey modifikasyonunu karakterize eden bir sistemdir. Taramalı tünelleme mikroskobu ilk olarak Binnig ve Rohrer tarafından 1982 yılında icat edilmiş ve 1986 yılında bu başarı onlara Nobel Fizik Ödülünü kazandırmıştır (Binnig ve Rohrer 1987).

Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, STM’de iletken malzemedan yapılmış ve numune yüzeyine 0,1 nm - 0,5 nm aralığında yaklaşabilen sivri bir uç kullanılır. Bu sivri uç ve numune yüzeyi arasında bu mesafede yaklaşık 1 Volt’luk voltaj uygulandığında, uç ve yüzey atomları arasında elektron akışı gerçekleşir. Yüzeyi tarama esnasında bu tünelleme akımını sabit tutmak için iletken ucun numune yüzeyine olan uzaklığı sürekli ayarlanır; böylece iletken numunenin atomik ölçekte yüzey analizi elde edilir. Uç, numune yüzeyine daha fazla yaklaştırıldığında elektromekanik etkileşmeler oluşur ve sonuçta yüzeydeki atom veya moleküller kaydırılarak yüzey modifikasyonu gerçekleştirilebilir.

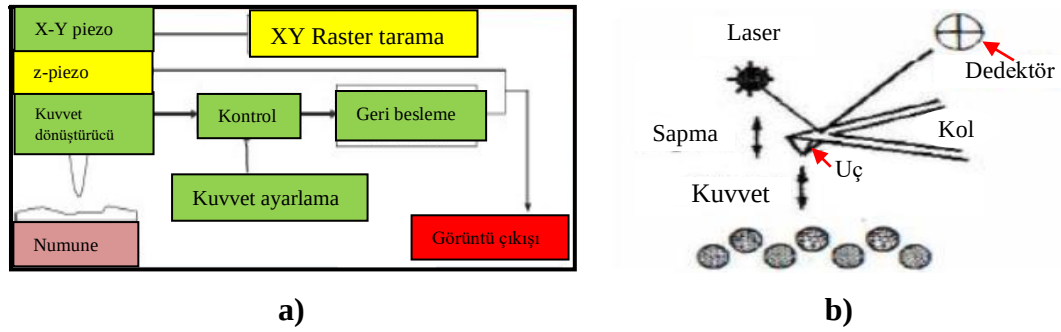


Şekil 2.8. STM’de örnek ve uç arasındaki mesafeye bağlı olarak monitörde gözlenen tünel akımı (Evcin 2020)

2.2.5. Atomik kuvvet mikroskopi (AFM)

AFM, yüzeyleri üç boyutta karakterize ederek nanoboyutta şekil, yapı ve yüzey morfolojisi analizine olanak sağlar. Bu teknikle, incelenen numune yüzeyinin topografyası, 0,1 nm’den 100 μm ’ye kadar görüntülenebilmektedir ve biyolojik yüzeyler üzerinde bir hasara neden olmadığı için biyomalzemelerde canlı dokularda da kullanılabilmektedir (Xie ve Ren 2019; Kiio ve Park 2020).

AFM, piezoelektrik kullanan bir tekniktir. Şekil 2.9.(a)'da şematik olarak gösterilen atomik kuvvet mikroskobu, geri besleme ve güç dönüştürücüsü tarayıcı uç kısmıyla yüzey arasında bir ölçüm yapmaktadır (Çatçat Kayım 2014). Geri besleme ile z-piezoelektrikteki güç sabit tutulmaktadır. X-Y piezoelektrik kısmı ise tarama ucundan gelen görüntüyü çıkarır. Yüzey üzerindeki görüntü de z-piezoelektrik seramiği ile elde edilmektedir. Şekil 2.9.(b)'de ise kola bağlı tarama ucundaki atomlarla yüzey atomlarının etkileşimi (atomik kuvvet) gösterilmektedir. Yüzey taranırken, koldan yansıyan lazer ışınının sapması, konum duyarlı dedektörde (fotodiyot) ölçülür. Atomik kuvvet mikroskobu, uç-yüzey arası uzaklığın 1 nm den küçük olduğu itici, aralıklı numune temas ve uç-yüzey arası uzaklığın 1-10 nm olduğu çekici modlar olarak adlandırılan farklı tarama modlarında çalışır.



Şekil 2.9. a) AFM cihazındaki parçaların şematik gösterimi (Evcin 2020), **b)** AFM'nin ölçüm mekanizması (Erkoç 2007)

Atomik kuvvet mikroskobunun taramalı tünelleme mikroskobundan farkı, yalıtkanların yüzeylerini ölçmek için tasarlanmış olmasıdır (Binnig vd. 1986). Atomik kuvvet mikroskobunun ucu yüzeye temas ettiği için incelenen numunenin fiziksel özelliklerini daha iyi ölçebilmektedir. Atomik kuvvet mikroskobunun litografik bir yapısı da vardır. Çünkü atomik kuvvet mikroskobu ile yüzey üzerine yazı yazılabilmektedir. Bu metot nanometre skalasında uygulanan yeni bir yöntemdir.

AFM ile diğer mikroskopi tekniklerinin (SEM/TEM) karşılaştırılması Şekil 2.10'da gösterildiği gibidir.

	SEM/TEM	AFM
İncelenen örnek	İletken	Yalıtkan/İletken
Büyütmesi	2-boyutta	3-boyutta
Çevre ortam	Vakum	Vakum/Hava/Sıvı
Görüş alanı	100 nm (TEM)-1 mm (SEM)	100 μm
Alan derinliği	İyi	Az
Düz örnek karşılaştırması	Az	İyi

Şekil 2.10. AFM ile SEM ve TEM tekniklerinin karşılaştırılması (Evcin 2020)

2.2.6. Lazer taramalı konfokal mikroskopi (LSCM)

Diğer mikroskop çeşitlerine göre daha net görüntü almamızı sağlayan bir görüntüleme tekniğidir. LSCM, özellikle biyolojik malzemelerde üç boyutlu morfolojik analiz yapma olanağı sağlar (Sarı 2021). İlk kullanma amacı, renksiz beyin hücrelerinin ve sinir uçlarının görüntülenerek incelenmesinin yapılmasıydı. Egger ve Petran tarafından yapılan çalışmalar sonucunda nörolojik görüntüleme elde edilmiş (Egger and Petran 1967) ve Egger bu çalışmadan faydalananak lazer taramalı konfokal mikroskopunu üretmeyi başarmıştır (Akkın 2009).

2.2.7. X-ışını kırınımı (XRD)

XRD, kristallerin atomik ve moleküler yapısını analiz ederek karakterize edilmesine olanak sağlar (Kaplan 2021). Bu yöntemle, materyallerin kimyasal yapıları hakkında ayrıntılı bilgi alınabilir. 1912 yılında Bragg, λ dalgaboyuna sahip bir X-ışını demetini düzenli dizilmiş atomların oluşturduğu bir kristal düzlemine θ açısıyla göndermiş ve kristal atomlarından ardışık yansıyan ışığın kırınımını incelemiştir. Kırınımına uğrayan (saçılan) X-ışınlarının oluşturduğu yapıcı girişim Bragg yasası,

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

ile verilir. Burada $2d\sin\theta$ saçılan iki X-ışını arasındaki yol farkı, n tamsayı ($n = 1, 2, 3, \dots$), d kristalin ağ sabitidir. Bu yöntemle, birçok kristalin yapısı, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenebilir (Schwartz ve Cohen 1987). Her kristalin özel kırınım deseni, XRD tekniği ile elde edilebildiği için, bu teknik NP'lerin kristal yapısını aydınlatmada kullanılabilmekte ve sıfır değerlikli NP'lerin oluşumunu doğrulamaktadır. Her kristal materyalin özel bir kırınım deseni vardır ve bu desen referans kütüphanelerinde bulunabilmektedir. XRD tekniği, elde edilen modeli referans kütüphanesi ile karşılaştırarak kristal materyalleri tanımlayabilir. XRD'deki yapıcı girişim pikleri, nanoboyutta parçacıkların varlığını gösterir; eğer NP'ler amorf bir yapıda ise, herhangi bir yapıcı girişim deseni gözlenmez ve bu teknikle numune tanımlanamaz. Ayrıca, NP'ler ne kadar küçükse, XRD yapıcı girişim pikleri o kadar geniş görünmektedir (Noruzi 2015). XRD spektrumu, Scherrer formülü (Sheny vd. 2011)

$$D = \frac{\kappa\lambda}{\beta_s \cos\theta}$$

kullanılarak NP'lerin ortalama boyutlarını hesaplamak için kullanılabilir: Bu formülde D parçacık boyutu, κ şekle bağlı Scherrer sabiti, λ ışınının dalgaboyu, β_s tam pik genişliği ve θ kırınım açısıdır.

2.2.8. X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS)

XPS, herhangi bir malzemenin yüzey kaplama ve kimyasal yapısını fotoelektrik etkiyle karakterize eden, numunenin element analizinde ve element türlerinin belirlenmesinde kullanılabilen bir yüzey kimyasal analiz tekniğidir. Malzemenin en üst

1-10 nm'sinden ölçüm yapar. Bu teknikte düşük enerjili X-ışınları kullanılır. Fotoelektrik olay sonucunda, gelen foton, saçılan foton ve saçılan elektronun enerjileri ölçülerek incelenen materyallerin yapısı hakkında bilgi edinilir. Bu teknik özellikle XRD ile karakterize edilemeyen amorf metalik NP'lerin tanımlanmasında kullanışlıdır. (Hoffman 2012).

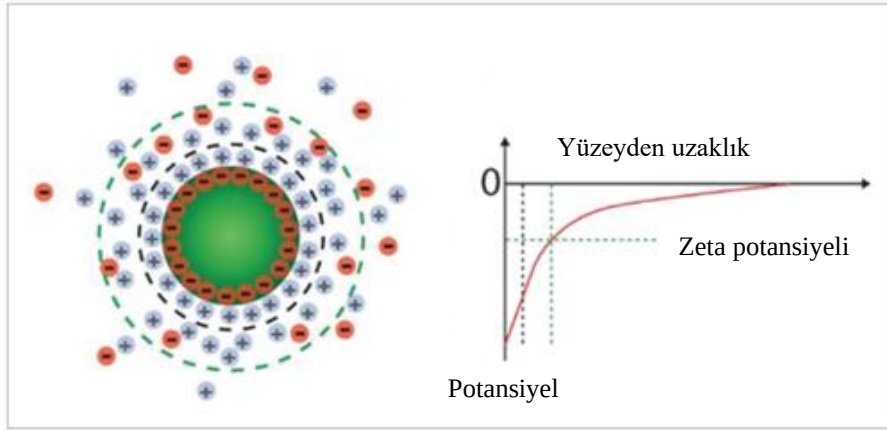
2.2.9. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi

FTIR spektroskopisi, kızılötesi ışıının kimyasal bağların titreşimleri arasındaki ilişkinin Fourier dönüşümüyle analiz edilmesi esasına dayanmaktadır; ışığın dalgasayısına karşılık kızılötesi yeğnliği ölçen bir yüzey kimyasal analitik tekniktir (Skoog vd. 1997). Kimyasal bağların büzülme, genleşme, öteleme hareketi yapması, kızılötesi (infrared) ışıının kimyasal bağlar tarafından soğurulmasıyla meydana gelir (Mwafy vd. 2019). Kızılötesi bölgesi, $10^{-3} m - 7 \times 10^{-7} m$ arasındadır ve oda sıcaklığındaki cisimlerden ve moleküller tarafından yayınlanırlar ve çoğu malzemede ve canlı dokuda kolaylıkla soğurulurlar (Skoog vd. 1997).

FTIR spektroskopisi biyolojide, gıda sektöründe ve tıpta, bakterileri ve gen dizilimlerini incelemek gibi birçok alanda pratik ve bilimsel uygulamaları olan bir yöntemdir (Kılıç ve Karahan 2010) ve NP'lerin yüzeyine bağlı olan ve NP'lerin kararlı kalmasını sağlayan fonksiyonel grupları belirlemek için kullanılır. Bu biyomoleküllerin tanımlanması, NP sentezinde yeni yaklaşımların geliştirilmesinde önemlidir. Ayrıca NP'lerin yüzey kimyası, özelliklerine ve uygulamalarına etki etmektedir (Schaefer 2010; Luo vd. 2020).

2.2.10. Zeta potansiyel analizi

Zeta potansiyeli, tanecikler arasındaki elektrostatik etkileşmelerin yarattığı potansiyelin ölçümüdür ve sıvı ortam içerisinde dağıtılmış NP'lerin yüzey yüklerinin belirlenmesine olanak sağlar. Bu etkileşimlerle ifade edilen, maddenin itme ve çekme (koagülasyon) kuvvetleri olduğu için zeta potansiyeli maddenin itme ve çekme kuvvetleri hakkında bize detaylı bilgi vermektedir. Zeta potansiyelinin oluşumu şöyle açıklanabilir: Su içerisindeki tanecik belli bir yük kazanarak iyonlaşır ve süspansiyon içerisindeki karşıt yüklerle etkileşime geçerek birbirlerine çekme kuvveti uygularlar. Şekil 2.11'den de görüldüğü gibi, taneciğin yüzeyi ile iyon tabakası birbirleriyle etkileştiği zaman yüklerin bir kısmı kendi içlerinde güçlü bir bağ kurar; kalan diğer kısmı ise dışı doğru bir yüzey etkileşimi oluşturur. Tanecik ile iyon tabakası arasında oluşan bu elektrostatik potansiyel farkına "zeta potansiyeli" denir. İyonlaşma tabakası ile tanecik arasında oluşan voltaj, kondansatör levhaları arasındaki potansiyel farkına benzetilmektedir. Zeta potansiyeli ne kadar büyük olursa, NP'lerin kararlılığı o kadar yüksek olur çünkü komşu parçacıklar arasındaki itme, NP'lerin toplanmasını önler.



Şekil 2.11. Zeta potansiyel analizinin gösterimi

Zeta potansiyel analizinden en çok çimento sektöründe faydalanılmaktadır. Yapıların uyumlu olup olmadığı, dayanıklılığı ya da uyumsuz bir maddenin nasıl uyumlu hale getirilebileceği analiz edilip incelenmektedir (Ucar vd. 2010; Baran 2021). Kolloidal sistemlerin kararlılığının değerlendirilmesinde çok önemli bir faktördür ve ilaçlar ve boyalar gibi kolloidal sistemlerin formülasyonunu değiştirmek için kullanılabilir. Tıp alanında da kan ve hücrelerin içerisindeki değişik moleküllerin incelenmesinde ve bunların sağlığa etkilerinin neler olabileceğinin araştırılmasında kullanılmaktadır (Akguner 2021).

2.2.11. Dinamik ışık saçılımı (DLS) analizi

Bu yöntemde, lazerden yayılan ışık, koloidal çözeltiden geçirilir ve saçılan lazer ışığının şiddeti ölçülür. Foton korelasyon spektroskopisi olarak da adlandırılan DLS tekniği, NP'lerin sıvı içerisindeki ortalama parçacık boyutunu ve boyut dağılımını ölçmeye dayanır. Bunun yanında, saçılan ışık ortamın yoğunluğuna, sıcaklığına ve parçacık büyüklüğüne de bağlıdır. Sıvı içerisindeki asılı ve yüzen parçacıklar, çözücü içerisindeki moleküllerle çarpışır ve rastgele bir hareket oluşur. Meydana gelen bu harekete Brownian hareket denir. Numune içindeki parçacıkların Brownian hareketleri, Doppler etkisine dayalı olarak saçılma yoğunluklarında zamana bağlı dalgalanmalar üretir DLS cihazı bu dalgalanmaları ölçer. Brownian harekette, parçacıklar küçük boyutta olduğunda daha fazla ışık saçılır; parçacıkların büyük olduğu durumlarda daha az ışık saçılır. DLS, parçacık boyutlarına bağlı saçılmaları analiz ettiği için kullanım alanları da oldukça fazla çeşitliliğe sahiptir. Örneğin, biyolojik moleküllerin ve hücrelerin yapısını incelemeye, petrol, yapıştırıcılar, boyalar, kimyasal ürünlerin birçoğunda kullanılmaktadır. Ya da aşılarda içerisindeki parçacıkların dağılımı ve yapısını araştırmada kullanıldığında, aşının yapabileceği etkiler hakkında bilgi edinilmesini kolaylaştırmaktadır. Ürün izleme, elde etme, kalitesinin kontrolü gibi araştırma ve inceleme bölümlerinde sistematik bir veri elde edilmesini sağlar (Ateş 2018).

2.2.12. Brunauer- Emmett- Teller (BET) yöntemi

Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett ve Edward Teller, 1938 yılında yayınladıkları çalışmalarında bu yöntemi sunmuşlardır (Brunauer vd. 1938). BET yöntemi, katı taneciklerin katı bir yüzey üzerindeki tutunmasını inceler. Bu kuram malzemelerin yüzey alanlarındaki ölçümler için önemli yer teşkil etmektedir. Bu yöntemde, genellikle maddeyle kimyasal etkileşime girmeyecek azot, karbondioksit, argon gibi maddeler kullanılır ve çoğunlukla sıcaklığı 77 K'de azot gazı olan bir ortamda ölçüm yapılır. Yapılan bu ölçüm gözenekli yapıya ve yüzey alanına bağlıdır (Hanaor vd. 2014).

2.2.13. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

DSC tekniği, ölçülen maddenin fazlar arası geçiş sıcaklığını, entalpisini, erime sıcaklığını analiz etmektedir. Uygulama yapılacak numunede sıcaklık sabitken, soğutulurken veya ısıtılırken belli bir enerji açığa çıkmaktadır. Bu enerjiyi ölçen cihaza diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı denilmektedir. Diferansiyel taramalı kalorimetre, üzerinde çalışılacak olan numunenin korozyonunu, camsı yapısını ve nemini ölçmektedir. Bunun yanında numunenin kütle kaybını, maddenin saflığını, geçiş fazlarını ve süblimleşmesini diferansiyel taramalı kalorimetre ile ölçmek mümkündür; aynı zamanda, değişik alanlarda sıcaklıkla ilişkilendirilecek olan çalışmalara da fayda sağlamaktadır. Örneğin, sert şekerlerin DSC numune analizleri yapıldığında entalpi sıcaklığı, geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklığı incelenebilmektedir. Bu gibi veriler işlenerek şekerin lezzeti, sertliği, yapısı incelenip ek olarak malzemelerin konulma miktarlarındaki değişimleri de analiz edilmektedir (Yılmaz vd. 2019).

2.2.14. Morötesi-görünür bölge (UV-Vis) spektroskopisi

Morötesi-görünür bölge (UV-Vis: Ultraviolet-Visible) spektroskopisi genellikle metalik NP'lerin karakterizasyonunda birinci sırada kullanılan bir tekniktir. Metalik NP'lerde meydana gelen yüzey plazmon rezonansı nedeniyle, Au ve Ag gibi metalik NP'ler, görünür bölgede sırasıyla 500-600 ve 400-450 nm aralığında maksimumu olan güçlü soğurmalar sergilerler. Yüzey plazmon rezonansının ortaya çıkmasının nedeni, metalik NP'lerde etkileşen bir elektromanyetik alan tarafından indüklenen serbest iletim elektronlarının toplu osilasyonu (titreşmesi) olarak bilinir. Bu nedenle UV-Vis spektrofotometresi ile yüzey plazmon rezonansına ait soğurma pikleri gözlenir (Godfrey vd. 2017).

2.2.15. Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX)

Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX: Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy), sentezlenen NP'lerdeki mevcut minerallerin temel bileşimlerini belirlemek ve nicel analizini elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Elektronların NP'lerle çarpışması X-ışınları üretir. Her elementin X-ışını spektrumu o elementin atomik yapısının piklerini verir ve bu da elementlerin karakterize edilmesini sağlar (Zou vd. 2006).

2.3. Nanoteknolojinin Çevre ve Sağlık Üzerine Etkileri

Nanokirlilik olarak tanımladığımız ifade nanoteknoloji ile üretilen yapıların oluşturulma ve kullanılması aşamalarında meydana gelen atıklardır. Nanoteknolojik ürünlerin oluşturduğu çevresel atıklar giderek arttığı için tehdit edici hale gelmektedir (Sullivan vd. 2021). Bunun yanında, nanoteknolojinin laboratuvar çalışmalarında ortaya çıkan deney atıklarının çoğu çevreye bilinçsiz bir şekilde salınmaktadır (Tsekhmistrenko vd. 2020). Sonuç olarak, doğaya salınan bu nanoatıklar doğadaki toksik madde miktarını artırabilir; suya, toprağa, yetiştirilen tarımsal ürünlere dolayısıyla da yenilen ve içilen her şeye kolayca karışabilirler ve bu NP'ler doğada çıplak gözle görülemezler (Malakar vd. 2020). Bu nedenle temasta bulunan ürünler yoluyla NP'ler her ortama ulaşabildiği gibi vücudumuza da girer (Yılmaz 2021). Kısaca bu parçacıkların bir canlı organizmaya ve çevreye zarar vermemesi için etkileşme sonuçları iyi araştırılmalı ve risk oluşturduğu durumlar ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bunun yanında çevresel tahribatını önlemek için doğaya salınmadan önce kontrollü olarak analizlerinin yapıp sonuçlarının öngörülmesi gerekmektedir (Cai vd. 2020). Dolayısıyla nanoteknolojideki gelişmelerin ürünleri ilk bakışta faydalı ve iyi gibi görünse de beraberinde risk faktörlerini getirmekte, doğayı, insan sağlığını ve eko sistemi olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Demirkıran 2019).

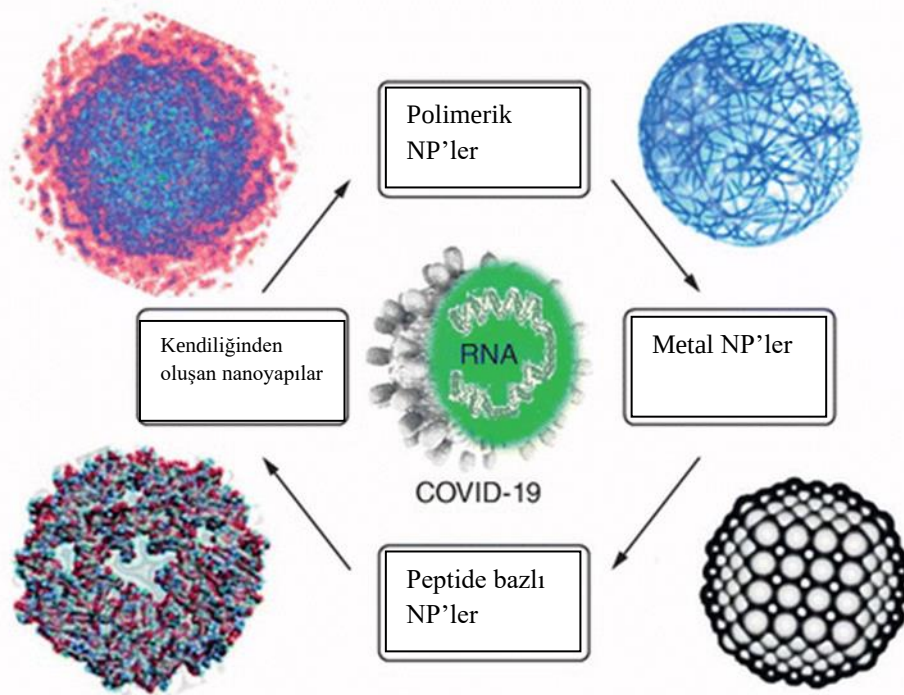
Nanobilim ve nanoteknoloji, nanoyapı ve nanomateryalleri istenilen özellikte ve boyutta oluşturabilme olasılıklarını çoğaltma olanağını sağlamakta ve yeni üstün özelliklere sahip nanoyapıların ortaya konulduğu birçok tasarım araştırılmaktadır. Böylece daha fonksiyonel, dayanıklı, hafif, sağlam ve daha az yer işgal eden nanoyapıların çeşitliliğinin artması bu alanda çalışma yoğunluğu ve motivasyonunu artırmaktadır. Nanoteknoloji tıpta, askeri alanda, endüstride, gıda alanında ve daha birçok alanda hayatı kolaylaştıracak yeni ürünleri elde etme olanağını sağlamakta ve bu ürünlerin pazarlanması ile nanoteknoloji kullanımını da yaygınlaştırmaktadır. Bu teknolojinin uygulama alanları genişledikçe ve kullanımı yaygınlaştıkça öngörülemeyen risk faktörleri de artmaktadır. Bu nedenle NP'lere maruz kalma durumlarına göre risk değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu parçacıklara maruz kalma durumlarının sonuçları insanda, diğer canlılarda ve çevresel olarak farklı olabilir.

NP'ler doğa ile doğrudan etkileşir; doğayı kirletici NP'lerin doğadaki bileşenlere de etki yapacağı düşünülmüştür (Svendsen vd. 2020). Nanoteknolojide elde edilen NP atıkları toprağa, suya veya atmosfere çok fazla karıştığında o ortamda toksik birikime neden olur; bu durum ortamdaki doğal dengeyi de bozucu etkiye sahiptir (Pico vd. 2019). Örneğin, doğal veya işlenmemiş toprağa anti bakteriyel bir madde olan Ag NP'leri ve genelde metal gibi doğaya ciddi zarar veren elementler bırakılırsa toprağın yapısı bozulmaktadır (Demirkıran 2019). Ayrıca, günümüzde giderek yaygınlaşan nanomalzeme kullanımının ekolojik denge üzerinde yaratabileceği olumlu ve olumsuz etkilerinin de araştırılması ve olası zararların öngörülerek, gerekli önlemlerin alınması ve bu konu üzerinde daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. (Tüylek 2018). Herhangi bir ortamda bulunan kirletici maddelerin ekolojik dengeye zarar vermemesi için ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu kirleticilerin ortamdan uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunların içerisinde en çok dikkat çeken yöntem "biyoremediasyon"dur ve bu yöntemde, kirletici maddeler mikroorganizmalar kullanılarak uzaklaştırılır; biyolojik şekilde kirleticilerin taşınması ve uzaklaştırılması yani arıtım süreci olan bu yöntemde en çok bitkiler kullanılmaktadır.

Bu teknik diğer yöntemlere göre hem çevre dostu hem de daha ekonomiktir (Andreotti vd. 2015).

NP'ler, boyutları çok küçük olduğu için deri, sindirim ve solunum yolu ile bir canlı organizmasına hızlıca girebilmekte, dolaşım sistemi (kan dolaşımı) aracılığıyla doku, organ ve merkezi sinir sistemine ulaşabilmekte ve hücrelere, solunum yollarına, cilde, akciğerlere ve diğer organlara zarar verebilmektedir. Vücuda giren bu parçacıkların hücrelerde ve dokularda birikmesi, biyolojik olarak organlara ve vücudun işleyişine zarar vermeye başlar; bu durumda hücrelerin yapısını bozar ve sonuçta organ ve doku tahribatları oluşur. Yüksek miktarda NP içeren havanın solunması durumunda insanların kalp ritminde düzensizlik veya kalbin bir anda durması gibi kalp-damar rahatsızlıklarına yakalanma riskinin artabileceği bildirilmektedir. Örneğin madende çalışan kömür işçileri için daha çok solunum yoluyla ilgili olan bir risk değerlendirilmesi yapılmalıdır (Tüylek 2018; Öztürk 2019).

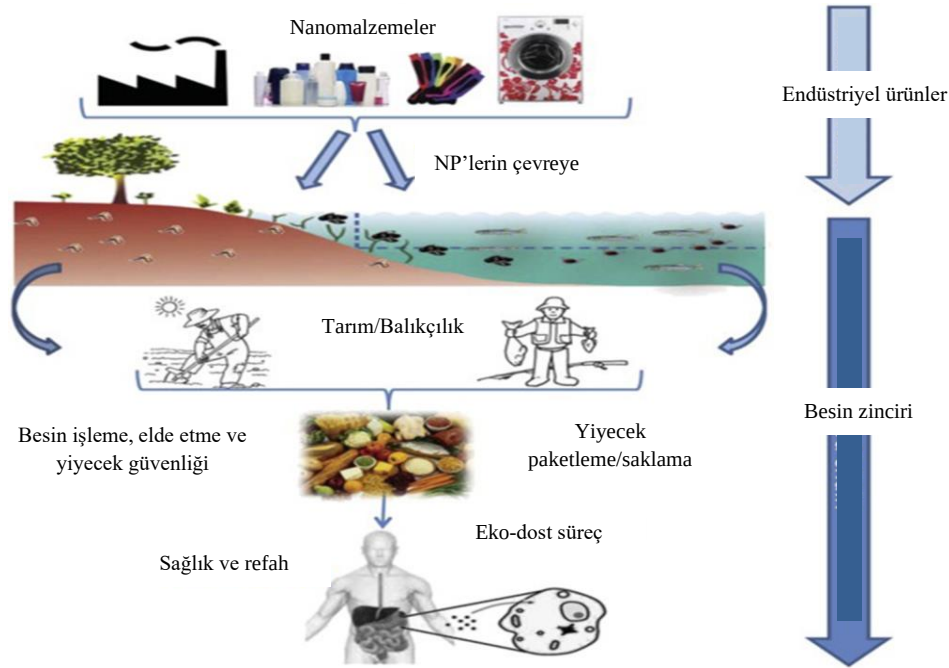
Günümüzde, Covid-19 pandemisi tüm dünyayı etkilemekte ve insan sağlığı için ciddi bir tehdit/tehlike unsuru olarak halen varlığını sürdürmektedir. Boyutları çok küçük olan NP'ler birçok özelliği sebebiyle Covid -19 hastalığına karşı stratejiler oluşturmada kullanılmaktadır. Covid -19 tedavisinde nanoteknoloji temelli aşılarda umut vadettiği öne sürülmüştür. Aşağıdaki şekilde antiviral etkili ve aktif aktivitelere sahip nanoyapılı malzemeler gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Koronavirüs (Covid 19) ile mücadelede kullanılan nanoyapılı malzemeler

Günümüzde, tıpta genetik toksisiteler ve hücre zehirlenmeleri testi yapılması fazlalaşmaktadır. NP'lerin genlerde oluşturduğu toksik etki de araştırılmakta ve özellikle metal NP'lerin hücrelerde mutasyonlara neden olabileceği bildirilmektedir. Metal NP'ler, hücreye rahatlıkla girebilir ve hücrede serbest radikal oluşmasına neden olarak genetik hasar meydana getirebilir. Örneğin, hamile bir fareye titanyum dioksit nanoparçacığı verilmiştir. Fare yavrularını dünyaya getirdikten sonra yavrularda beyin hasarı ve üreme problemleri olduğu gözlemlenmiştir. Balıklar da aynı şekilde iki gün boyunca bu nanoparçacığa maruz bırakılmış ve sonuç olarak balıklarda da beyin hasarı gerçekleştiği rapor edilmiştir. Yani NP'lerle olan bu tür maruz kalmalar, canlıda hasar oluşturmakta ve oluşan hasar o canlının neslinin devamlılığını ve popülasyonunu tehdit etmektedir. Bu popülasyon bozulumu da doğadaki dengeyi bozmaktadır (Syed vd. 2013; Donaldson vd. 2010). Kolaylıkla hücrelere girebilen bu NP'ler, bakterilerle birlikte organizmaya girdikten sonra beslenme zincirini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Örneğin, etteki hormonlar, balıklarda cıva sağlık yönünden tehdit oluşturmaktadır (Pfuhler vd. 2013).

NP'ler, topraktaki mikroorganizmalara, faydalı böceklerle ve bazı bitkilerde ekotoksikolojik etkiye oluşturabilirler. İnsanlar gıda zincirleri yoluyla NP'lere maruz kalmaktadırlar. İnsan organizması içerisinde çok fazla reaktif bölgelerde bulunabilen NP'ler, toprak, böcek ve bitkiler aracılığıyla biyolojik bariyerleri geçerek vücutta birikirler (Mondal 2020).

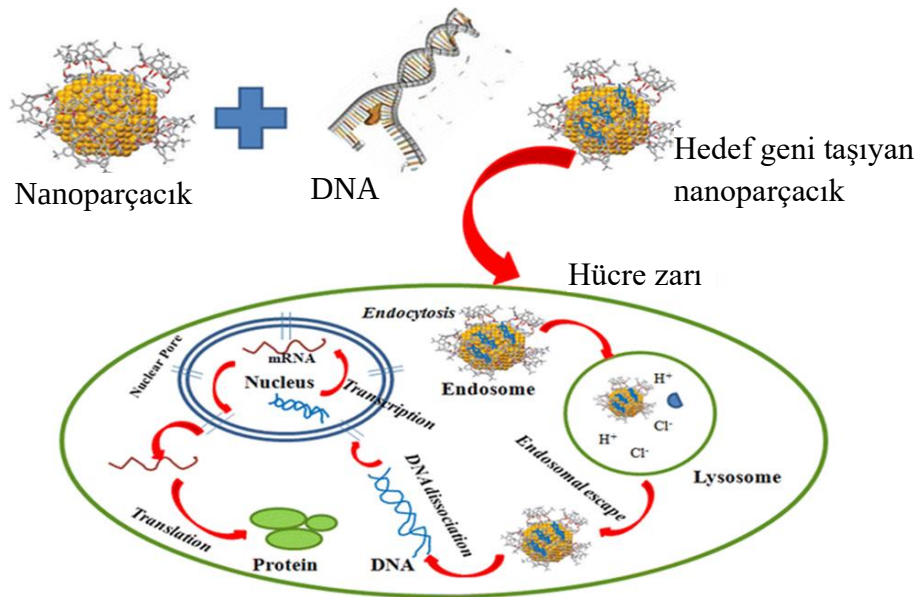


Şekil 2.13. Tasarlanmış nanoyapıların doğaya salınması sonucunda besin zincirine girmesi ve insanların maruz kalma yollarının şematik gösterimi (Mondal 2020)

NP'lerle ilgili yapılan başka bir çalışma da ise farelere damardan kuantum noktaları enjekte edilmiş ve kuantum noktalarının karaciğer ve kan hücrelerinde biriktiği gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda akciğerde pıhtı oluşması (pulmoner tromboembolinin) gerçekleşmiştir (Geys vd. 2008).

NP'lerin insan hayatına girdiği en önemli sektörlerden biri sağlık sektörüdür. Çünkü insan ömrünün uzaması için gerekli yatırımlar fazlasıyla yapıp bu alana oldukça önem verilmektedir (Kiio vd. 2020). Medikal alanda birçok hastalığın tanı, teşhis ve tedavisinde kullanılan malzemeler ve ilaçlarda nanoteknolojik ürünler giderek artmaktadır. Birçok hastalıkta erken teşhis hayati tehlikeyi ortadan kaldırmaktadır. Bu yüzden bu alanla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin vücuttaki bir tümörün yerini tespit edebilmek için manyetik özelliğe sahip demiroksit NP'leri ile tümöre karşı oluşturulan antikorlar işaretlenir. İşaretlenen antikorlar tümörlü hücreye yapışarak manyetik rezonans görüntüleme cihazında tümörün tespit edilmesini sağlar (Nikalje 2015). Vücuttaki yaraların enfeksiyon kapmaması ve yaranın mikropardan arındırılması için Ag NP'lerinden de faydalanılmaktadır. Bir başka çalışmada, içerisinde nitrik oksit gazı bulunan kremler üretilmiştir. Nitrik oksit gazı yaranın içerisindeki bakterilerle etkileşime girerek gazı serbest bırakır. Serbest kalan gaz zararlı olan mikroorganizmaları öldürür ve yaralı olan yerin enfeksiyon kapmasını önlemiş olur (Adnan 2010).

Nanoteknolojik ürünler genler üzerinde de belli değişimler yapabilmektedir; özellikle bitkilerde genleri belirli yerlere ulaştırarak ve aynı sistemin DNA'sındaki atomları düzenleme yoluyla genlerini aktarabilmektedirler. Günümüzde DNA'nın bitki hücrelerine doğrudan verilmesi için gen tabancası kullanılmaktadır; çalışmalarda, DNA'yı kolay bir şekilde soğurdıkları ve toksik özellikte olmadıkları için Au NP'lerin kullanıldığı bildirilmektedir (Singh ve Prasad 2017). Şekil 2.14'te, bitki hücresinde NP'ler yardımıyla gen aktarımı şematize edilmiştir.



Şekil 2.14. Bitki hücresinde NP'ler yardımıyla gen aktarımı (Singh ve Prasad 2017)

Kolay bir şekilde sentezlenebilen metal NP yapılar, üzerinde kimyasal değişimler yapılabildiğinden, askeri, endüstri, tıp gibi alanlarda çok fazla uygulamalara sahiptir. Aralarındaki çok kuvvetli metalik bağ ve kristal yapılarından dolayı tercih edilen metal NP'ler iskelet ve kas sisteminin yapısına diğer malzemelerden daha fazla uyum sağlamaktadır ve bu nedenle ortopedik implantlarda kullanılabilir. Çelik, kullanılan bu malzemelerin en başında gelmektedir. Çelik, oksitlenebilir özellikte olduğu için zamanla yerini paslanmaz çelik, krom, krom-kobalt ve titanyum ve titanyum alaşımlarına bırakmıştır (Bayram 2013).

NP'ler, kozmetik ürünlerde de kullanılmaktadır; fakat deriye etki yapan NP'ler hakkında araştırmalar oldukça azdır. Derinin herhangi bir bölgesi NP içeren bir madde ile etkileştiğinde meydana gelecek tepkinin hangi bölge ile temas yapıldı ise orada etkileşimde olması düşünülerek derideki emilim araştırılmıştır; beklenenden daha düşük cilt emiliminin olduğu bildirilmektedir. NP'lerin vücutta kaşıntı, döküntü, alerji ve enfeksiyon gibi tepkilere neden olduğu gözlenmekle beraber bu tepkileri oluşturan faktörler tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Fakat fareler üzerinde yapılan bir deneyde, güneş kreminin içerisine eklenen titanyum dioksitin farelerde beyin hasarına neden olduğu bildirilmiştir. Buna benzer birçok araştırma, NP'lerin merkezi sinir sisteminde hasara neden olduğunu göstermektedir (Syed vd. 2013).

3. MATERYAL VE METOT

NP'lerin elde edilmesi, karakterizasyonu ve çevre ve sağlık üzerine etkileri konusunda literatürde çok fazla sayıda çalışma vardır. Kaynaklar bölümünde anlatıldığı gibi, sentezlenip karakterize edilen nanomalzemelerin keşfedilen nanoboyut özellikleri, teknolojik olarak yeni nanotasarımların geliştirilmesine ve kullanım alanlarının yaygınlaşmasına neden olmaktadır; bunun sonucu olarak nanoteknolojinin çevre ve insan sağlığına etkileri konusunda yapılan çalışmalar son yıllarda daha da önem kazandığı için sonuçlar tematik olarak verilmekte ve güncel durum değerlendirmesi de yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında yapılan uluslararası bilimsel nitelikli yayınlar için güncel durum incelemesinde “i) NP sentezleme (nanoparticle synthesis), ii) NP karakterizasyonu (nanoparticle characterization), iii) nanoteknoloji ve çevresel etkiler (nanotechnology and environmental effects), iv) nanoteknoloji ve sağlık (nanotechnology and health)” anahtar kelimeleriyle yapılan bilimsel taramalar, araştırılan konularda ne kadar çok çalışılma üretildiğini ve teknolojide uygulama alanlarının geniş olması nedeniyle de ne kadar hızlı geliştiğini ortaya koymaktadır. Yukarıda anılan anahtar kelimelerin parantez içerisinde yer alan İngilizce dilindeki karşılıkları kullanılarak yapılan bilimsel literatür taranması, Bakkalbasi vd. (2006) tarafından belirtildiği gibi güvenilir, hassas ve bilimsel olduğu bilinen Web of Science (WOS) veri tabanı ile sınırlandırılarak gerçekleştirilmiştir (Kunt 2019). Araştırmaların taranmasında uygulanan diğer sınırlılıklar:

- 2016-2021(Mayıs) zaman aralığını kapsamaktadır.
- Anahtar kelimeler araştırmaların başlıklarında taranmaktadır.
- Makale (article), bildiri (proceedings paper), derleme (review), genişletilmiş bilim atıf indeksi (SCI-Expanded), gelişen kaynaklar atıf indeksi (ESCT) ve konferans bildirileri atıf indeksi (CPCI-S) çalışmalarının tümünü içermektedir.

Tarama sonuçları, “Miktarı, sıklığı, yaygınlığı nedir ve ne kadardır?” sorularına yanıt veren ve verileri sayısal değerlere indirgeyen nicel araştırma ve metodolojik araç ve teknikler bütünü olarak tanımlanan içerik analizi ile değerlendirilmiştir (Akarsu ve Akarsu 2019; Kunt 2019). Yapılan araştırmaların nicel verilerini elde etmek ve sonuçta dünyada ve Türkiye’de yapılan uluslararası bilimsel çalışmaların güncel durumu hakkında bir görüş oluşturmak için aşağıda sıralanan sorulara yanıt aranmıştır:

NP'lerin sentezlenmesi, karakterize edilmesi ve nanoteknolojinin çevresel ve canlı sağlığına olan etkileri konusunda yapılan çalışmaların,

- a. Bilim kategorilerine göre dağılımı nasıldır?
- b. Yıllara göre dağılımı nasıldır?
- c. Yayın türlerine göre dağılımı nasıldır?
- d. Yayınlandığı ülkelere göre dağılımı nasıldır?
- e. Araştırma alanlarına göre dağılımı nasıldır?
- f. Yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı nasıldır?
- g. Türkiye’deki durumu nedir?

Veri tabanlarının güçlü ve zayıf yönlerini ortaya çıkarmayı amaçlayan karşılaştırmalı çalışmalarda, Karasozen vd. (2011) tarafından kritik edildiği gibi,

akademik taramaların yalnızca WOS ile sınırlı kalmaması, başka veri tabanlarından da (Scopus, Google Scholar (Google akademik) gibi) yararlanılması gerekliliği bildirilmektedir. Bunlar arasında Google akademik, bilimsel nitelikte yayınlar yanında, teknik raporlar, konferans metinleri, literatürde bilimsel niteliği tartışılan yazılar, kütüphane ve öğrenciler için yazılan belgeler gibi diğer türdeki bilimsel belgeleri ve atıflarını da kapsayan geniş içerikli bir veri tabanıdır (Karasozen vd. 2011). Belirlenmiş bir yayın grubu ve bu yayınlara yapılan atıflara ait veriler üzerinde yürütülen karşılaştırmalı çalışmalarda, araştırma ve atıf derlemede güçlük ve konu sınıflandırması zorluğu yanında, çeşitli veri tabanlarını tarayabilme özelliği nedeniyle Google akademik de tercih edilen veri tabanlarından biridir. Bu nedenle, Google akademik veri tabanından 2016-2021 yılları arasında rastgele seçilen ilk 50 adet bilimsel nitelikte araştırma, belirlenen anahtar kelimelerle “makaleler”de taranmış ve yapılan uluslararası bilimsel çalışmalar hakkında Google akademik veri tabanından elde edilen özet kaynak bilgiler sunulmaya çalışılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Nanoparçacıkları Sentezleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bölüm 2’de bahsedilen NP’lerin sentezi birçok yöntemle yani fiziksel, kimyasal ve biyolojik veya bunların birden çoğu bir arada kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu süreçlerde bir yöntemin diğer bir yönteme göre üstün veya zayıf kaldığı durumlar ortaya çıkmaktadır. Günümüzde daha çok maliyeti ucuz, doğaya bırakıldığında herhangi bir tahribata neden olmayan, canlı organizmasına zarar vermeyen, kolay uygulanabilir ve istenilen özellikleri sağlayacak numuneyi üretme yöntemleri tercih edilmektedir. Bu nedenle, doğada çözünmesi kolay ve ayrıştırılabilir malzemelerin seçilmesi, deney sonucunda atık oluşmaması, çevre ile olumsuz reaksiyon riski taşımayacak materyaller tercih edilmelidir. Risk faktörlerini azaltmada dikkat edilecek durumlar aşağıda sıralanmıştır:

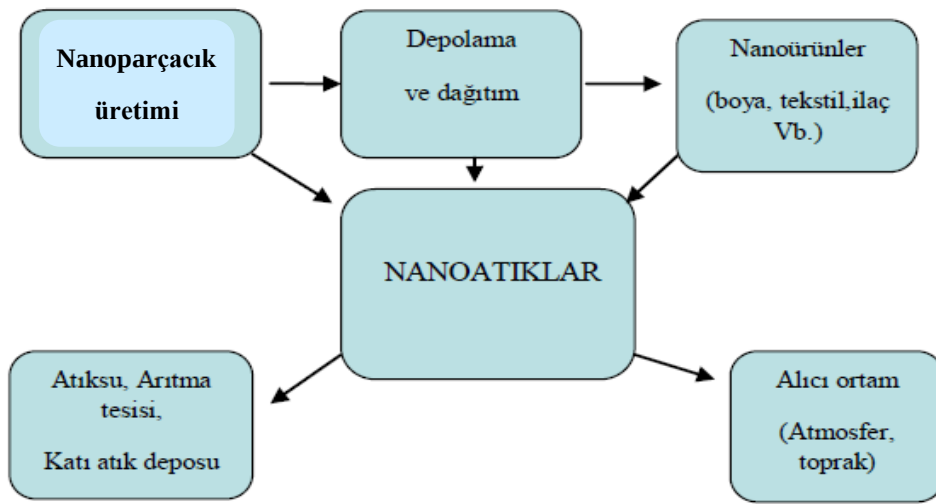
- Toksik madde miktarının birikimini önlemek için kullanılan yöntemlerde toksik etkisi az olan veya hiç toksik barındırmayan materyaller kullanılmalıdır.
- Yöntem tasarlamasında enerji verimliliği olması için sıcaklık ve basınç gibi parametreler ortamın şartlarına uygun seçilmelidir.
- Materyaller tercih edilirken yenilenebilir kaynaklar ön planda tutulmalıdır.
- Deneylerde veya herhangi başka araştırmada kullanılan kimyasal ürünün çevreye salınmasıyla beraber ürünün çözünmesi gerekir. Onun için kullanılan kimyasalın ayrışma özelliği olursa çevreye vereceği zarar minimum seviyeye indirilmiş olur.
- Fiziksel ve kimyasal yöntemler çok sayıdadır, çoğu pahalıdır ve toksik maddelerdir. Bu sebepler sentezin tercih edilmeme nedenleridir. Bu yöntemlere alternatif olarak bitkilerin ve mikroorganizmaların kullanıldığı biyolojik yöntemler daha tercih edilebilir hale gelmiştir.
- Çoğu kimyasal ve fiziksel yöntemlerdeki problem NP üretiminin oldukça pahalı olması ve birçok çevresel ve biyolojik risklere potansiyel oluşturan zehirli ve tehlikeli kimyasalların kullanımındır.

4.2. Karakterizasyon Teknikleri

Nanomalzemelerin fiziksel, kimyasal, optik, elektronik ve morfolojik özellikleri incelenirken doğru verilerin elde edilmesi çok önemlidir; bu nedenle uygun tekniklerin kullanılması gerekir. Kullanılan cihaz, nanomalzemelerin yapısını, morfolojik özelliklerini, malzemenin aşınma oranını, üç boyutlu olarak haritasının çıkarılmasını, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamalıdır. Kaynaklar Bölümü’nde açıklanmaya çalışılan karakterizasyon tekniklerinin nanoyapı ve NP’lerin özelliklerinin elde edilmesinde tek başına yeterli olmadığı anlaşılmaktadır. Birden çok nanoyapı karakterizasyon tekniği bir nanoyapının aydınlatılmasında aynı anda kullanılabilir. Üstelik her teknik her nanoyapı analizinde de kullanılamamaktadır. Yapılan bilimsel nitelikli yayın/literatür taramalarında daha çok varolan tekniklerin kullanıldığı görülmektedir; fakat yeni özelliklerde nanoyapılar bilimsel olarak türetildikçe, yeni nanoyapı karakterizasyon tekniklerinin tasarlanması ve geliştirilmesi kaçınılmaz olacaktır.

4.3. Çevre ve Sağlık Üzerine Etkileri

Teknolojinin gelişmesi ve oluşturulan nanoyapıların çeşitliliğinin artması ile nanoteknolojinin gelişim süreci hızlanmış olup günümüzde kullanım alanları artmıştır. Kullanım alanlarının artması demek tüketimin de artması anlamına gelir. Bu nedenle çevrede oluşan NP'lerin atık miktarı da fazlaşmaktadır. NP'ler çevreye kolaylıkla dağılabilmektedir. Boyutları küçük olduğu için NP'ler insan vücuduna, doğadaki canlıların organizmalarına hızlıca girmektedirler. Nanoyapıların ve NP içerikli endüstriyel, kozmetik, tarımsal, tıbbi vs. amaçlı kullanımının artması sonucunda çevreye salınan nanoatıklar Şekil 4.1'de görüldüğü gibi artmaktadır. Bu atıkların üzerindeki toksik etkilerin en az olabilmesi için belli yollar izlenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.1. Atıkların şematik görünümü ve izledikleri yollar (Özkaleli ve Erdem 2016)

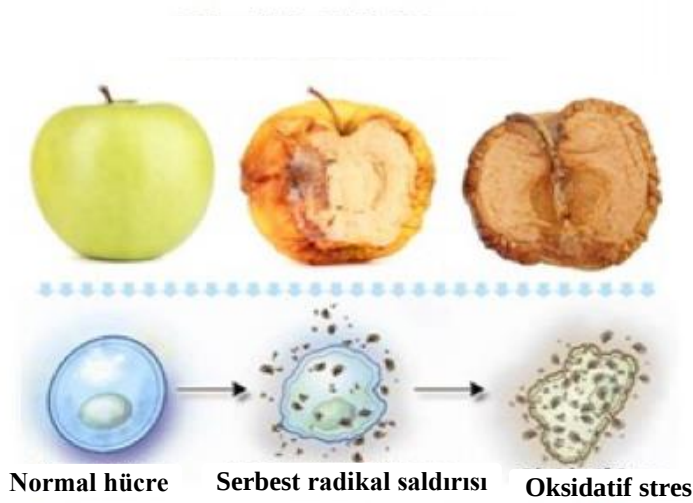
Toksik madde miktarının birikmesine neden olan nanoatıklar alıcı ortamla etkileşime girdiği zaman çoğalma, yüzey yapısının özelliklerini değiştirme gibi etkileşimler yaparak bulundukları ortamı kirletirler (Özkaleli ve Erdem 2016). Deneyler sırasında kullanılan metal NP'ler doğaya salındığında metallerin çözünmesi zor olduğundan çevreye ciddi anlamda zarar verir. Eğer bu zararları göz ardı edilirse geri dönülmez sonuçlara neden olabilir (Saygılı vd. 2021).

Nanoteknolojinin birçok uygulaması sağlık sektöründe fayda sağlarken bazıları da insan sağlığına zarar vermektedir. İnsan vücuduna kolaylıkla geçebilen NP'lerin davranışları ve etkileri analiz edilirse vücuda zarar verme oranı daha da azaltmış olur. Eğer bu parçacıklar organlarda birikirse vücudun işleyişini bozar. Nanoteknoloji ile enzimlerle veya genlerin dizilişleriyle oynanılırsa sonuçta doğuracağı riskler de etkisiz hale getirilmelidir (Duffin vd. 2007).

Son zamanlarda NP'lerin insan sağlığı üzerinde ne gibi etkiler yarattığını incelemek için nanotoksikoloji adında bir araştırma alanı ortaya çıkmıştır.

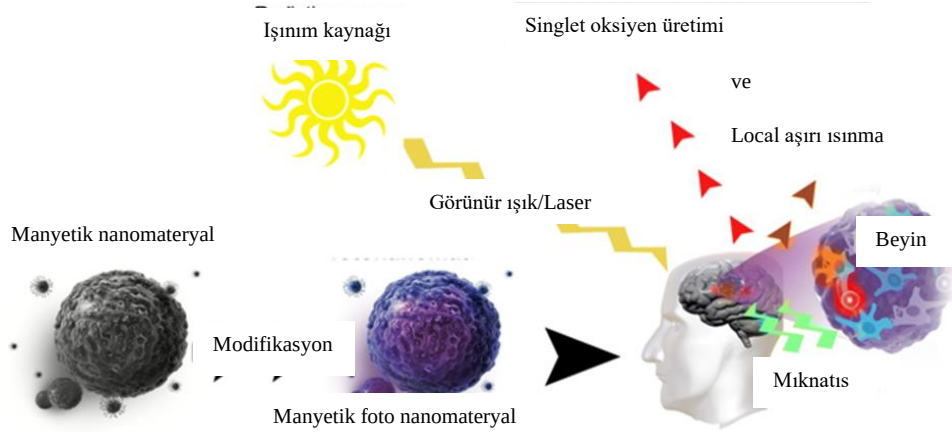
Nanotoksikolojide en çok göze çarpan özellik şudur: Herhangi bir malzeme insan sağlığına makro boyutta yan tesir göstermezken, nanoboyutlu örneklerinde yan etkiler oluşturmaktadır. Buna, farklı boyutlarda olan titanyum oksit ve karbon parçacıklarının boyutu nano mertebesine indirildikçe akciğer üzerindeki toksik etkisinin artışı üzerine çalışmalar örnek olarak verilebilir (Özgüz 2019; Zhao vd. 2021).

Canlı organizmalarda bulunan Demir elementi, NP'ler ile etkileşime girdiğinde reaktif oksijen oluşumuna neden olmaktadır. Bu oluşum serbest radikaller oluşturarak doku veya organlara zarar vermektedir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi oluşan serbest radikaller oksidatif stresin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.2. Oksidatif stresin hücrede yarattığı etki (Anonim1)

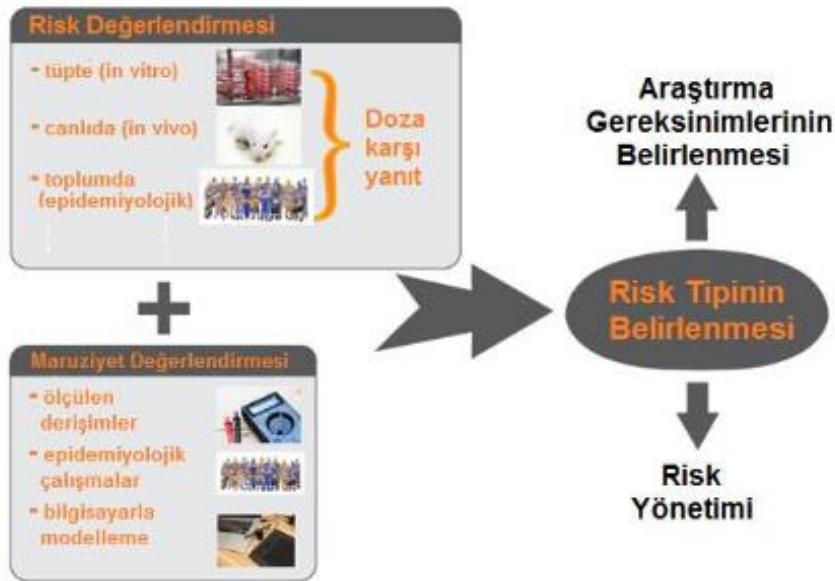
Üzerinde işlem yapılmış NP'ler, boyalarda, ilaçlarda veya bir bileşikle beraber canlı organizmasına girebilmekte ve manyetik özellikler de gösterebilme özelliğine sahip olabilmektedir. Şekil 4.3'te manyetik bir nanomalzemenin canlı dokuya girerek oluşturabileceği etkiler şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Tıpta kullanılan tedavi yöntemlerinden Fotodinamik/fototermal terapi (Bimova vd. 2021)

Oksidatif stres, beynimizin işlev gören birçok bölgesinde dokuların yapısını bozarak beynin normal fonksiyonlarının yerine getirilememesi durumudur. Oluşan doku hasarı sonrasında beyinde alzheimer, otizm, şizofreni gibi hastalıkların ortaya çıkma riski oluşmaktadır. Özellikle Ag NP'lerinin hücre zarından çabuk geçebilmesi, antibakteriyel, antivirüs ve antifungal etkilerinden dolayı, dokumacılık, tekstil ve halı sanayisinden, ilaç endüstrisine kadar sayısız birçok sahada kullanılmaktadır.

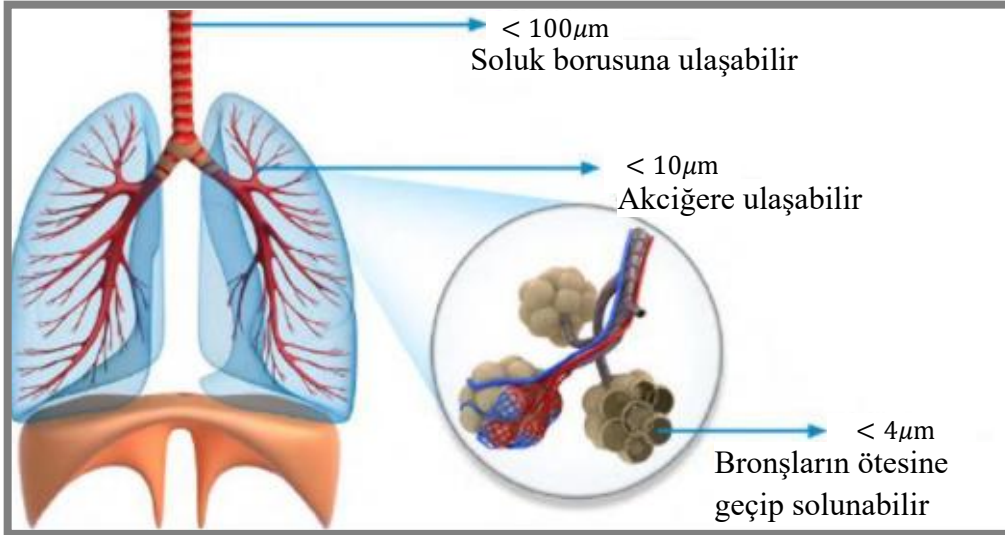
Çevre ve sağlık üzerine olan risk durumları bulunan ortama göre değişebilmektedir. Büyük kentlerde yaşayanlar için hava kirliliği veya fırınlarda çalışan işçiler için solunum riski gibi etkenlere göre farklılıklar göstermektedir. Risk durumları Şekil 4.4'te modellendiği gibi iki ana başlıkla verilebilir: i) Maruz kalma durumuna göre; ii) Kimyasal maddenin karakterizasyonuna göre.



Şekil 4.4. Çevre, insan ve hayvanların toksikolojik durumu ve ölçülen konsantrasyonlara göre nanomalzemenin risk değerlendirme şeması (Aslan 2017)

Nanomalzemelerin sağlık, çevre ve toplum üzerindeki olumsuz etkilerini anlama, tahmin etme ve yönetmede birçok yeni zorluklar ortaya çıkmaktadır. Yapılan birçok araştırma da kütle olarak bakıldığı zaman kütlesi büyük parçacıklardan naoparçacıkların toksik etkisinin ve tehlikeli olma durumunun daha fazla olduğu anlaşılmıştır (Sim ve Wong 2021). Her nanomalzeme riskli kabul edilmemektedir. Sadece hareketliliği fazla olan ve yüksek reaktiviteye sahip olan NP'ler tehlikeli kabul edilmektedir.

Herhangi bir nanoparçacığa ne kadar çok maruz kalınırsa o kadar fazla olumsuz sonuçların ortaya çıkabileceği gözlenmektedir. NP yoğunluğu olan ortamlarda solunum yaparken, Şekil 4.5'te görüldüğü gibi akciğerde biriken NP'ler kana ve dokulara karışabilmektedir. Hava kirliliğinden dolayı oluşan NP'lerin bronşit, akciğer kanseri, astım, amfizem (akciğerdeki keseciklerin genişleyerek esnekliğin yok olması) gibi birçok rahatsızlığa yol açmaktadır (Taşkonak 2021). NP'lerin yüzey alanları ne kadar fazla artarsa kendilerine o kadar çok molekül bağlayabilirler. Bu sebeple parçacıklar daha reaktif hale gelerek mikroorganizmaya zarar verme durumlarını da artırırlar. Şekil 4.5'te boyutları farklı olan NP'lerin akciğere ulaşma durumları da gösterilmektedir. Örneğin mikrometrik boyuttaki çok küçük parçacıkları solumak, pnömokonyoz hastalığına neden olmaktadır. Pnömokonyoz hastalığı akciğerlerdeki inorganik tozların birikmesi ve buna karşı oluşan doku reaksiyonudur (Bromma vd. 2020). Bu hastalık özellikle maden ocaklarında çalışan kömür işçileri ve büyük şehirlerde yaşayanlarda görülmektedir.



Şekil 4.5. Farklı boyutlardaki nanoparçacıkların akciğere ulaşması (Aslan 2017)

Bazı NP'ler vücudumuzdaki giriş noktasında tahrişe neden olmaktadır. Oluşan tahriş durumu akciğerdeki savunma mekanizmasının çalışıp çalışmadığı hakkında bize işaret vermektedir. Fareler üzerinde yapılan solunum deneylerinde, NP'lerin iyileşmesi mümkün olmayan iltihaplara ve çok sayıda tümör oluşumuna neden olduğu gözlemlenmiştir.

NP'lerle en çok temasta olan organ deridir. Deri, dışarıdan gelen tehdit unsurlarına karşı organizmaları koruyan bir bariyer gibidir. Parçacıklar, boyutlarına göre deriden geçebilirler. Örneğin güneş kremlerinin içerisinde bulunan çinko oksit, deriyi UV ışınlarına karşı koruma görevini üstlenir fakat tavşan ve fare üzerinde yapılan deneylerde derilerinin alt tabakalarına kadar sızabildiği gözlemlenmiştir. Sızan bu NP'lerin deri de iltihaplanmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple parçacıkların yüzey kimyası, kompozisyonu, çözünürlüğü gibi faktörler cilt zehirlenmelerinde dikkate alınması gereken önemli unsurlardır (Özgüz 2019).

Nanoteknolojik dokulu tekstiller, doğrudan cilt teması bulunmayan ürünler, bebek ürünleri gibi kullanım alanlarına ayrılmaktadır. Kumaşın tüketiciyle temas etmesinde toksik, alerjenik metaller ve kimyasallar için sınırlar ağır metal toksisitesine göre farklılık göstermektedir. NP'lerin etkileri tam olarak tahmin edilemediğinden tüketiciler kontrol edilemeyen tekstil endüstrilerinden ve tekstil ürünlerinden dolayı NP'lerin emisyonuna maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle tekstil endüstrilerinde olası durumlar için yeterli çalışmaların sayısının artmasının büyük önem taşıdığı görülmektedir (Saleem ve Zaidi 2020).

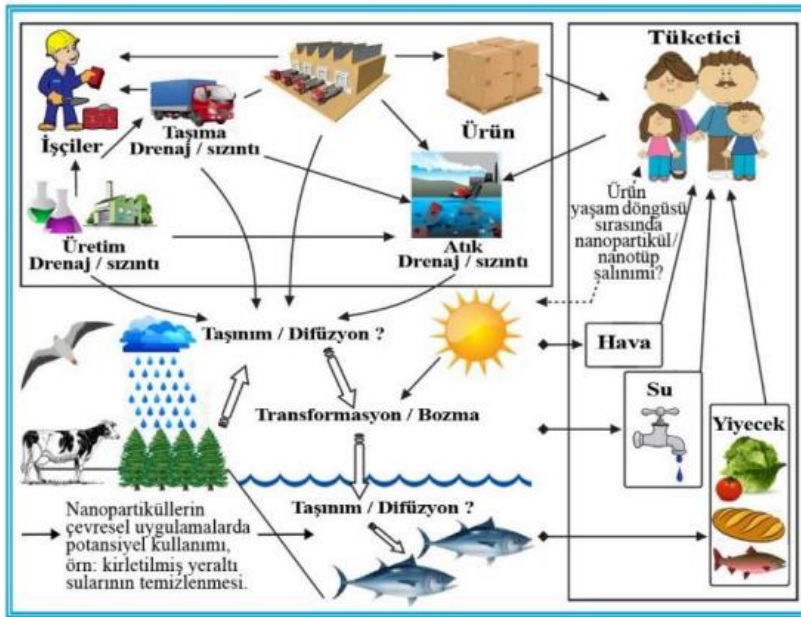
Dünya nüfusunun artması, planlı olmayan endüstrileşme, nükleer çalışmalar, ürün verimini arttırmak için kullanılan tarım ilaçları, suni olarak üretilen gübreler ve deterjan gibi kimyasal maddelerin kullanılmasıyla beraber çevre kirliliği giderek artmaktadır. Bu sebeplerin etkisiyle kirlenen toprak, su, hava canlılar için büyük oranda zarar verecek boyutlara ulaşmıştır. Son yıllarda NP'lerin artmasıyla beraber atık oranları da hızla artmaktadır. NP'lerin özellikleri ve miktarı alıcı ortamda nasıl bir etki yaratabileceği tam olarak belirlenememesi nedeniyle araştırmalarda tam olarak ele alınamamaktadır (Nasrollahzadeh ve Sajadi 2019). Bu sebeple nanoatıkların oluşturduğu toksik etkilerin en aza indirgenebilmesi için etkili atıklar üzerinde gerekli uygulamaların ve planlamaların yapılması gerekmektedir. NP'lerin tüm özellikleri dikkate alınarak risk değerlendirmeleri yapılması gerekmektedir. Nanoatıkların devam edilebilir atık yönetimi kapsamında olabilmesi için insan sağlığına ve çevre üzerine etkilerinin tam olarak belirlenmesi ve nanoatıkların alıcı ortamda oluşturacağı etkilerin ortam özelliklerine göre anlaşılması gerekmektedir. Çünkü NP'ler bir kez ekosisteme girdiği zaman büyük ve öngörülemez sonuçlar meydana getirerek yayılım göstermektedir.

Nanoatıkların hali hazırda bulunan yönetmeliğine ilişkin alternatif çözümlerin geliştirilmesi için yasal düzenlemelerin de tamamlanması gerekmektedir. Ülkemizde atık yönetimine ilişkin yönetmelikler bulunmaktadır. Fakat bu maddeler içerisinde nanoatıklara dair herhangi bir mevzuat geçmemektedir. Amerika, Avrupa Birliği ve diğer ülkelerde de herhangi bir mevzuat geçmemekte, sadece çevre ve sağlık ile ilgili yönetmeliklerinde NP'lere ve dolaylı bir şekilde atıklara değinilmiştir. Nanomateriyallerin geliştirilmesi, kullanılması ve üretilmesi sırasında her türlü oluşabilecek risk faktörlerinin değerlendirilmesi, belirlenmesi ve yönetilmesi konusunda kurumlara destek olmak amacıyla Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO: International Organization of Standardization) teknik bir rapor yayınlamıştır. "Nanoteknolojiler ve Nanomalzeme Risk Değerlendirmesi" başlıklı raporda nanomateriyallerin risk haritası oluşturulması hedeflenmiştir (Anonymous 1). Bunun yanında nanomateriyallerin kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre meydana getirecekleri tehlike yollarının da belirlenmesini amaçlamıştır (Özkaleli ve Erdem 2016; Miernicki vd. 2019). Ülkemizde

ise TÜSİAD (Türk Sanayicileri ve İş Adamları Derneği) tarafından yayınlanan bir raporda nanoteknolojinin diğer ülkelerdeki önemi ve yerinden bahsedilirken ayrıca Türkiye için oluşturabileceği fırsatlardan ve faydalardan da bahsedilmektedir; Türkiye'nin teknolojik yönden diğer ülkelere uyum sağlayarak iş birliği içerisinde gitmesiyle, ülkemize getireceği faydalar değerlendirilmiştir. Bu nedenle birçok yönetmeliğin Avrupa ülkelerine uygun hale getirilmesi hedeflenmiştir.

Nanomateriyallerin veya NP'lerin oluşturdukları atıkları incelemiden önce ilk olarak yapılması gereken üretim faaliyetlerinin gerçekleştiği basamakların incelenip belirlenmesi gerekmektedir. Her aşamasında meydana gelebilecek atık durumlarının incelenmesi ve basamaklarda oluşan atıkların işaretlenmesi ve daha sonra bu atıkların işaretlenmesiyle atıklar sınıflandırılarak etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu sayede hammadde ve ürün aşamalarındaki atık miktarları belirlenerek atık yönetiminin ilk basamağı tamamlanmış olacaktır. Daha sonrasında ürünlerin kullanımı, dağıtımı, taşınması sırasında veya sonrasında atık durumuna gelmesiyle atıkların ayrıştırılması yapılması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda toksik etkisi az olan nanomateriyallerin kullanılması sonucunda nanoatıkların miktarında önemli bir azalma meydana geleceği düşünülmektedir.

NP'ler, çevreye bırakıldıktan sonra kaybolmuş veya önemli ölçüde değişime uğramış olarak bulunurlar. Bu değişim NP'lerin oluşturdukları yapı ve özelliklerine göre değişmektedir. Buna örnek olarak, yüzey veya toprak suyu ya da atık su tesislerinden çıkan kirli su birikintilerinde bulunan nanotanecikler, fosfatlar, oksitler veya organik maddeler gibi çevre bileşenleriyle etkileşime girerler. Sonuçta ise bu parçacıklar parçalanmış veya dönüşmüş olarak bulunur. NP'lerin insanlara ve çevreye olan etkileşim yollarının döngüsü Şekil 4.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 4.6. Nanoparçacıkların insanlara ve çevreye olan etkileri (Ünşar ve Perendeci 2016)

Günümüzde hayatımızı kolaylaştıran birçok ürün artık nanoteknoloji ile üretilmektedir. Nanoteknolojik ürünler hem hayatı kolaylaştırması hem de çevre üzerindeki olumlu etkileriyle birçok tüketim ürününde kullanılmaktadır. Otomotiv, kozmetik, elektronik bunlara iyi birer örnektir. Otomotiv sektöründe kullanılan nanoteknoloji, araçların daha güvenli daha verimli ve daha sağlam olmasını sağlamaktadır. Nanoteknoloji sayesinde araçlar darbelere, çizilmelere karşı daha dayanıklı olmaktadır. Çevre kirliliğine neden olan araç emisyonları nanoyapılı katalizörler ile engellenmektedir. Nanoteknoloji hayatımızın birçok alanında kullanılmakta ve yaşam şeklimizi kolay hale getirmektedir; kozmetik, çocuk malzemeleri, oyuncaklar, spor malzemeleri, teknolojik cihazlar hem daha işlevsel hale gelmiştir hem de kolaylık sağlamaktadır. Bunlara birkaç örnek verilebilir: i) Gıdaların paketlenmesinde, raf ömrünün uzun olmasında, gıda ürünlerinin taşınmasında nanoteknolojinin sağladığı avantajlar büyüktür (Thangadurai vd. 2020). Vücudumuza giren NP'lerin insan bedenine yaptığı etki henüz bilinmemektedir; toksik etkileri kesin olarak bilinmiyor ya da çok az biliniyor. Nanoteknoloji etik kurallara uygun kullanılmalıdır ve toksisite çalışmasının yapılmış olması gereklidir (Doğan ve Çelebi 2011). ii) Günlük hayatta, evde, çeşitli amaçlarla birçok eşyada kullanılmaktadır; koltuk kumaşında, ütülerin tabanlarında, kıyafetleri yıkarken kullanılan yumuşatıcılarda vs. bulunmaktadır. Toksik etkileri çok az bilinmekte olan NP'lerin kullandığımız temizlik ürünleri veya dezenfektan spreyleyler ile insan bedenine temasında ne gibi etkiler yaptığı öngörülemezdir. Bunun yanından, ev içi yaşantı kolaylaşmakta özellikle temizlik daha kolay hale gelmektedir. Nano-Ag teknolojisi ile çamaşır makinesindeki bakterilerin neredeyse hepsi ölmektedir. Fırın camları yağ tutmamakta ve daha uzun seneler parlak kalmaktadır. iii) Nanoteknolojik ürünler, yüzeylerde, daha çok camda ve boyada karşımıza çıkmaktadır. Nanoteknoloji, kendi kendini temizleyebilen ve leke tutmayan camların üretilmesine olanak sağlamıştır. Boya sanayisinde yine kendi kendini temizleyebilen, leke tutmayan, silinebilir, yangın geciktirici boyalar elde edilmiştir. Boyalarda kimyasallar kullanılması çevreyi ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir. iv) Nanoteknolojinin tekstile girmesiyle kumaşların özellikleri değışmeye başlamış ve buruşmama, lekelerle karşı itme gibi özellikler eklenmiştir. Nanoteknolojinin kullanıldığı alanlar ve eşyalar Çizelge 4.1'de listelenmiştir (Nielsen 2008).

Çizelge 4.1. Nanoteknolojinin kullanım alanları (Nielsen 2008)

Otomotiv	Giyim ve Tekstil	Kozmetik
❖ Hava ve yağ filtreleri ❖ Cilalar, motor yağı ❖ Çizilmez yüzey ❖ Araba cilası ❖ Hava temizleyiciler ❖ Yakıt tüketimini iyileştirmek için katalizörler ❖ Lastikler	❖ Buruşmaz ve leke tutmaz giysiler ❖ Anti-bakteriyel ve koku önleyici giysiler ❖ Anti-bakteriyel kumaş ❖ Morötesi ışığa dayanıklı ve koruyucu giysiler ❖ Alev geciktirici kumaşlar	❖ Cilt kremleri ve nemlendiriciler ❖ Cilt temizleyicileri ❖ Güneş kremleri ❖ Makyaj malzemeleri ❖ Makyaj temizleyiciler
Elektronik	Besin ve Besin Takviyeleri	Ev
❖ Piller ❖ Elektronik görüntüleyiciler ❖ Organik ışık yayan ledler ❖ Veri hafızası ❖ Klavye, mouse, cep telefonları vb. için anti-bakteriyel ve statik elektrik önleyici kaplamalar ❖ DVD kaplanması ❖ MP3 oynatıcıları ❖ Bilgisayar işlemcileri ve çipler	❖ Enerji içecekleri ❖ Besin takviyeleri ❖ Gıda saklama kapları ❖ Anti-bakteriyel mutfak eşyaları ❖ Kesme tahtaları ❖ Plastik ambalajlar ❖ Nano-çay, kanola aktif yağı vb.	❖ Anti-bakteriyel mobilya ve minderler ❖ Anti-bakteriyel kaplamalı aletler ❖ Filtreler ❖ Hava temizleyicileri ❖ Kendi kendine temizlenen camlar ❖ Anti-bakteriyel morötesi ışığa dayanıklı boyalar ❖ Ütüler, elektrikli süpürgeler ❖ Güneş pilleri ❖ Temizlik ürünleri ❖ Dezenfektan spreyleyler ❖ Yumuşatıcılar
Kişisel Bakım ve Sağlık	Spor Ekipmanları	Oyuncaklar ve Çocuk Eşyaları
❖ İşitme cihazları ❖ Kontak lensler ❖ Vücut yıkama sıvısı ❖ Suni deri ❖ Diş macunu ❖ Şampuanlar, saç kremleri ❖ Deodorantlar ❖ Böcek kovucular ❖ Anti-bakteriyel kremler ❖ Bandaj	❖ Golf topları ve sopaları ❖ Tenis raketleri ve topları ❖ Beysbol sopaları ❖ Hokey sopaları ❖ Kızaklar ve kar kayağı ❖ Kayak cilası ❖ Bisiklet parçaları ❖ Dalgıç kıyafeti ❖ Ayakkabı tabanlıkları ❖ Anti-buğu kaplamalar	❖ Leke dirençli pelüş oyuncaklar ❖ Anti-bakteriyel bebek emzikleri, kupalar ve şişeler ❖ Oyun kutuları ❖ Anti-bakteriyel doldurulmuş oyuncaklar

4.4. Veri Tabanları Tarama Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Güncel Durum İncelenmesi

Bu bölümde, Web of Science ve Google Akademik veri tabanlarında, belirlenen anahtar kelimelerle tarama yapılarak elde edilen uluslararası bilimsel nitelikli çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesi sunulmaktadır.

4.4.1. Nanoparçacıkların sentezlenmesi, karakterize edilmesi ve nanoteknolojinin çevresel ve canlı sağlığına olan etkileri konusunda WOS (Web of Science) veri tabanı tarama sonuçlarının değerlendirilmesi

2016-2021(Mayıs) zaman aralığı (son 5 yıl 5 ay), özellikle içinde bulunduğumuz 2021 yılının ilk 5 aylık araştırmalarını da kapsamaktadır. Böylece, 2021 yılının ilk yarısını yaklaşıırken, yapılan yeni araştırmaların sonuçlarını da çalışmaya dahil etmek hedeflenmiştir.

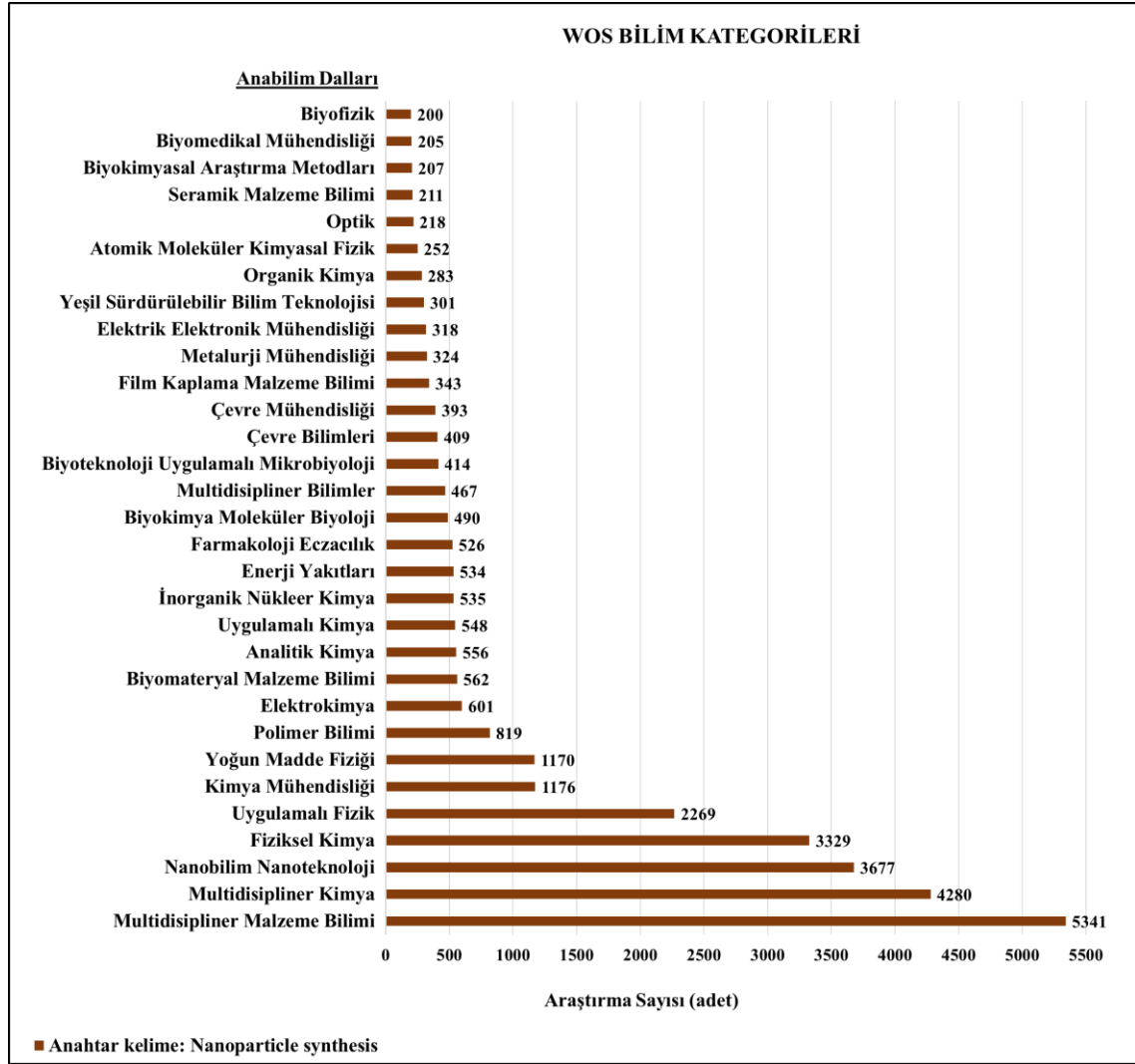
Çizelge 4.2, anahtar kelimelere göre tarama sonucunda elde edilen çalışma sayılarını göstermektedir; toplamda 38734 adet çalışma elde edilmiştir. En fazla çalışılan konunun “nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesiyle elde edildiği görülmektedir. Bunun nedeni, diğer anahtar sözcüklerin tarama içeriğinde aynı zamanda NP elde edilmesi çalışmasına da rastlanabilmesidir. Çalışmaların en az yapıldığı alan “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesiyle yapılan tarama sonucudur.

Çizelge 4.2. Anahtar kelimelere göre, 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında WOS veri tabanından elde edilen çalışma sayıları

Anahtar Kelimeler (Key words)	Çalışma Sayısı
Nanoparçacık sentezleme (Nanoparticle synthesis)	16429
Nanoparçacık karakterizasyonu (Nanoparticle characterization)	9664
Nanoteknoloji ve çevresel etkiler (Nanotechnology and environmental effects)	2907
Nanoteknoloji ve sağlık (Nanotechnology and health)	9734
Toplam	38734

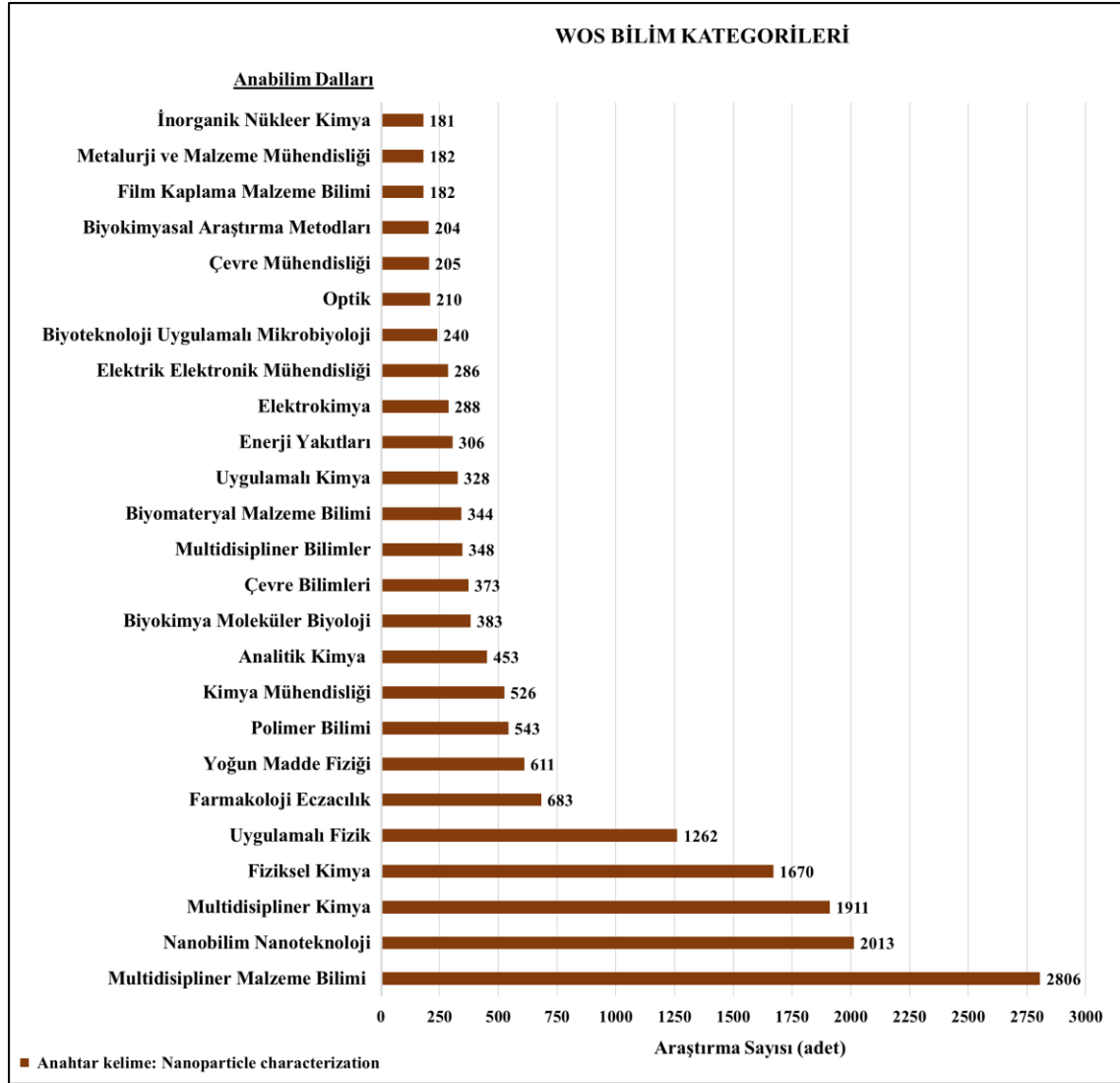
4.4.1.1. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların bilim kategorilerine göre dağılımı

Bu bölümde, anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında ve tarama sınırlılıkları ile elde edilen tarama sonuçlarının dağılımları grafiklerle sunulmaktadır. Grafiklerde yer alan sütunların üzerinde verilen çalışma sayıları toplandığında Çizelge 4.2’de verilen toplam çalışma sayılarından farklı çıkmaktadır; bunun nedeni, araştırmaların disiplinlerarası çalışmaları içermesi ya da birden çok alanda değerlendirilebilmesidir.



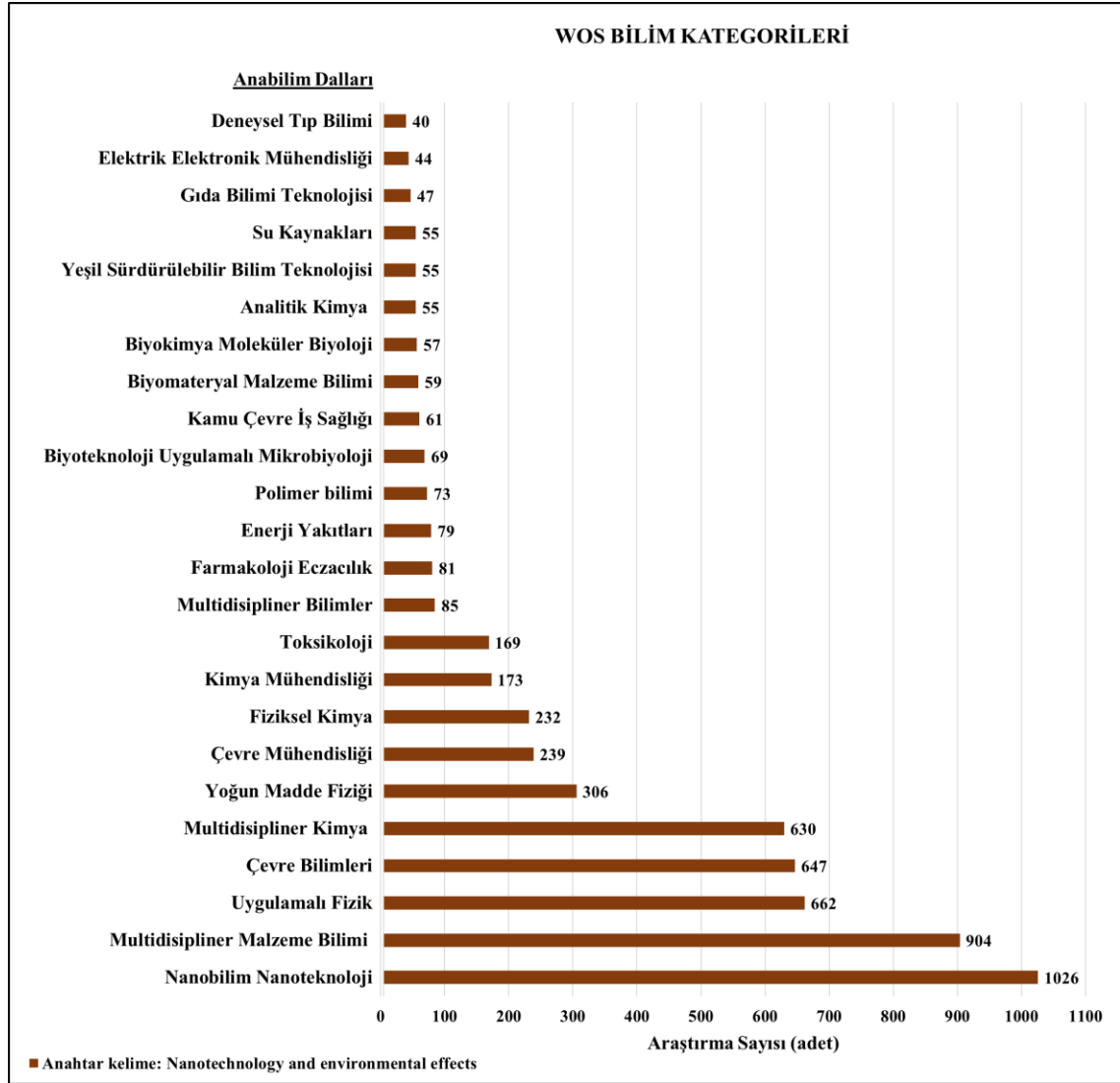
Şekil 4.7. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan çalışma sayılarının WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı

“Çalışma sayılarının, WOS veri tabanından elde edilen bilim kategorilerine göre dağılımı”nın “nanoparçacık sentezleme (nanoparticle synthesis)” anahtar kelimesi ile elde edilen sonuçları Şekil 4.7’de gösterilmektedir. Verilerden elde edilen bulgulara göre “nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan taramada 30958 adet bilimsel çalışma elde edilmiştir ve bu çalışmaların ilk sırasında 5341 adet çalışma ile multidisipliner malzeme bilimi, ikinci ve üçüncü sırada ise 4280 adet çalışma ile multidisipliner kimya ve 3677 adet çalışmayla nanobilim nanoteknoloji anabilim dalları yer almaktadır. Çalışma sayılarının çok olması nedeniyle dağılım, 31 adet anabilim dalında yapılan çalışma sayısını da içerecek şekilde uzatılmıştır. Bu dağılımda son sırada 200 adet çalışmayla biyofizik görülmektedir.



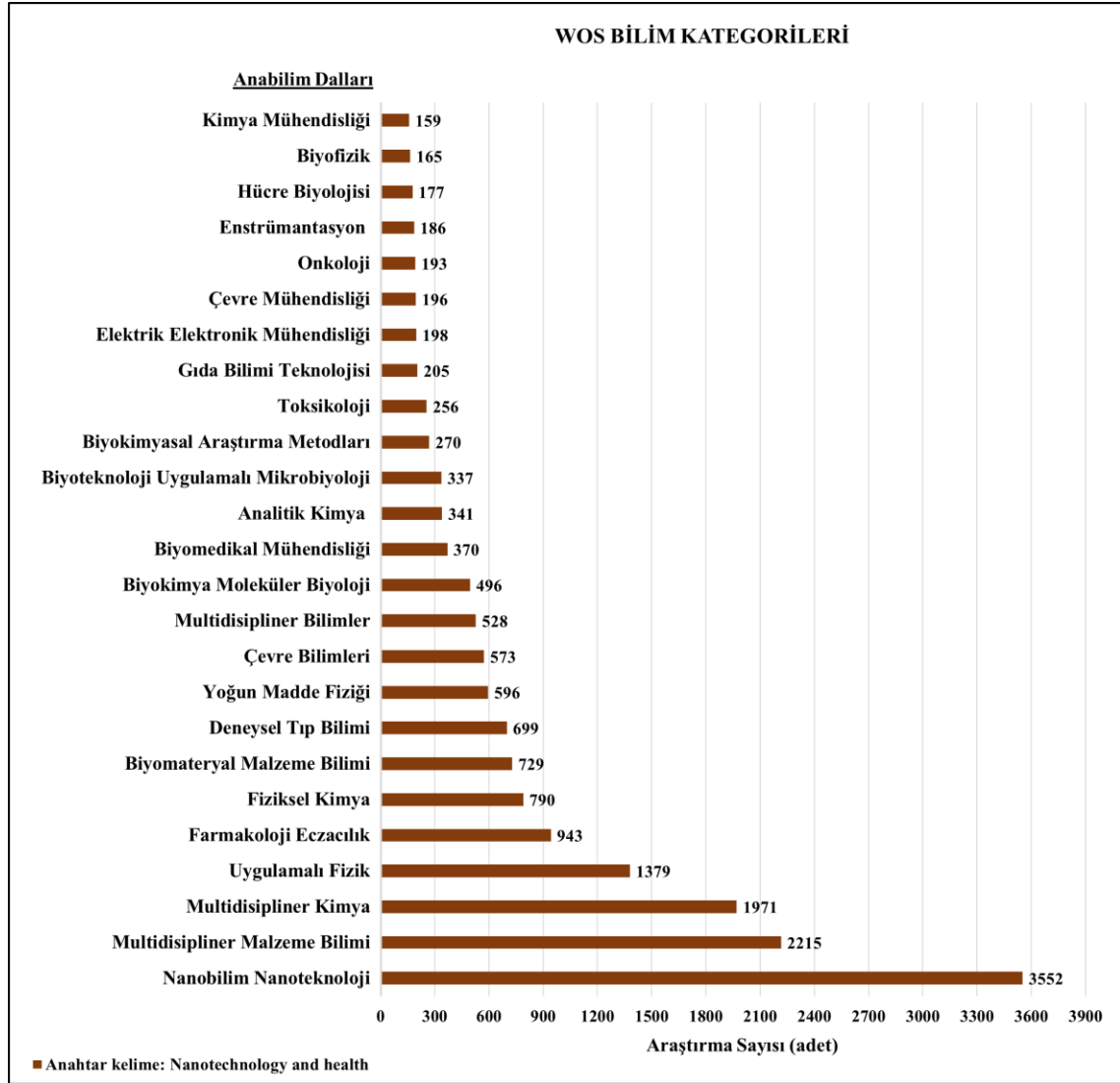
Şekil 4.8. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan çalışma sayılarının WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı

“Çalışma sayılarının, WOS veri tabanından elde edilen bilim kategorilerine göre dağılımı”nın “nanoparçacık karakterizasyonu (nanoparticle characterization)” anahtar kelimesi ile elde edilen sonuçları Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Verilerden elde edilen bulgulara göre “nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan taramada 16538 adet bilimsel nitelikli çalışma elde edilmiştir ve bu çalışmaların ilk sırasında 2806 adet çalışma ile yine multidisipliner malzeme bilimi, ikinci ve üçüncü sırada ise sırasıyla 2013 adet çalışma ile nanobilim nanoteknoloji ve 1911 adet çalışmayla multidisipliner kimya anabilim dalları yer almaktadır. 25 adet anabilim dalında yapılan çalışma sayılarının gösterildiği bu dağılımda son sırada 181 adet çalışmayla inorganik nükleer kimya görülmektedir.



Şekil 4.9. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan çalışma sayılarının WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı

“Çalışma sayılarının, WOS veri tabanından elde edilen bilim kategorilerine göre dağılımı”nın “nanoteknoloji ve çevresel etkiler (nanotechnology and environmental effects)” anahtar kelimesi ile elde edilen sonuçları Şekil 4.9’da gösterilmektedir. Verilerden elde edilen bulgulara göre “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan taramada 5848 adet bilimsel nitelikli çalışma elde edilmiştir ve bu çalışmaların ilk sırasında 1026 adet çalışma ile nanobilim nanoteknoloji, ikinci ve üçüncü sırada ise sırasıyla 904 adet çalışma ile multidisipliner malzeme bilimi ve 662 adet çalışmayla uygulamalı fizik anabilim dalları yer almaktadır. 24 adet anabilim dalında yapılan çalışma sayılarının gösterildiği bu dağılımda son sırada 40 adet çalışmayla deneysel tıp bilimi görülmektedir.



Şekil 4.10. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan çalışma sayılarının WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı

“Çalışma sayılarının, WOS veri tabanından elde edilen bilim kategorilerine göre dağılımı”nın “nanoteknoloji ve sağlık (nanotechnology and health)” anahtar kelimesi ile elde edilen sonuçları Şekil 4.10’da gösterilmektedir. Verilerden elde edilen bulgulara göre “nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan taramada 17524 adet bilimsel çalışma elde edilmiştir ve bu çalışmaların ilk sırasında 3552 adet çalışma ile nanobilim nanoteknoloji yer almaktadır. İkinci ve üçüncü sırada ise sırasıyla 2215 adet çalışma ile multidisipliner malzeme bilimi ve 1971 adet çalışmayla multidisipliner kimya anabilim dalları yer almaktadır. 25 adet anabilim dalında yapılan çalışma sayılarının gösterildiği bu dağılımda son sırada 159 adet çalışmayla kimya mühendisliği görülmektedir.

4.4.1.2. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların yıllara göre dağılımları

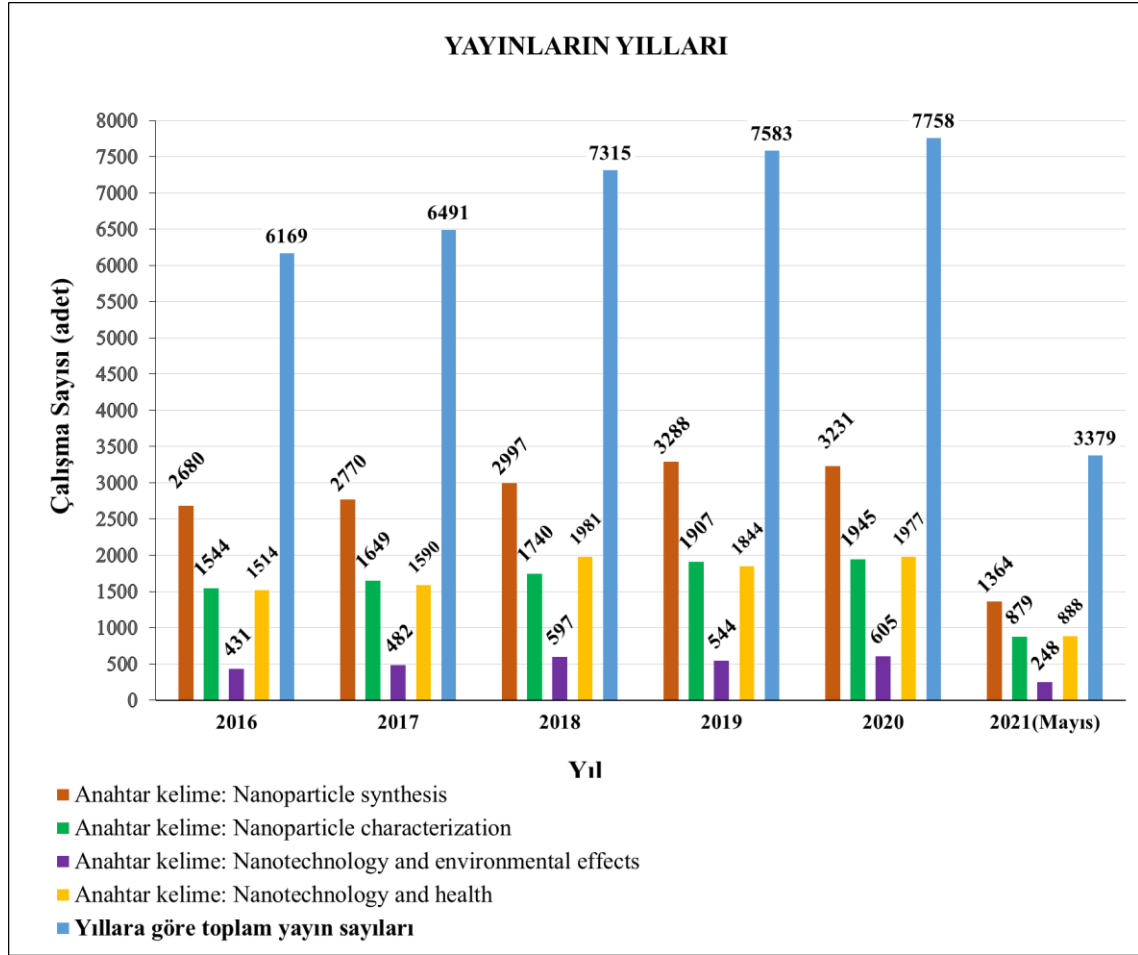
Bu bölümde, belirlenen anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında ve tarama sınırlılıkları ile elde edilen tarama sonuçlarının yıllara göre dağılımları sunulmaktadır. “Çalışma sayılarının, WOS veri tabanında taranan yıllara göre dağılımı”, belirlenen her bir anahtar kelime için Şekil 4.11 üzerinde renklendirilerek verilmektedir. Sonuçlar aşağıda irdelenmektedir:

“Nanoparçacık sentezleme”, “nanoparçacık karakterizasyonu”, “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” ve “nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimeleri ile 2016-2021(Mayıs) zaman aralığı için yapılan taramalarının, Şekil 4.11’den görüldüğü gibi, toplam sayısı 38695 adettir. Bu çalışmaların 16330 adeti “nanoparçacık sentezleme”, 9794 adeti “nanoteknoloji ve sağlık”, 9664 adeti “nanoparçacık karakterizasyonu” ve 2907 adeti “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimeleriyle elde edilmiştir. Sonuçlar, en çok araştırılan konunun NP sentezleme olduğunu göstermektedir. Bu araştırmayı, nanoteknoloji ve sağlık konusu ve buna yakın sayılabilecek araştırma sayısına sahip NP karakterizasyonu izlemektedir. En az araştırılan alan ise nanoteknoloji ve çevresel etkiler anahtar kelimesiyle yapılan taramadan elde edilmiştir.

Tarama sonucunda elde edilen araştırmaların toplam sayısı 2016 yılı için 6169 adet, 2017 yılı için 6491 adet, 2018 yılı için 7315 adet, 2019 yılı için 7583 adet ve 2020 yılı için 7758 adettir. 2016-2020 yıllarını kapsayan 5 yıllık zaman aralığında çalışmaların artan bir eğilim gösterdiği gözlenmektedir. Bu tez çalışmasında, 2021 yılının ilk 5 ayında yapılmış olan araştırmalar da taranmıştır ve toplamda 3379 adet bilimsel çalışma elde edilmiştir. Bu verilerin gösterdiği eğilim, 2021 yılının sonunda yapılmış olan çalışmaların sayısının 2020 yılında yapılandan fazla olacağı konusunda fikir vermektedir.

“Nanoparçacık sentezleme (nanoparticle synthesis)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen veriler, 2016-2020 yıllarını kapsayan zaman aralığında yapılan bilimsel nitelikli çalışma sayılarının, yıllara göre, 2016 yılından başlayarak sırasıyla 2680, 2770, 2997, 3288 ve 3231 adet olduğunu göstermektedir. Bu verilere göre çalışmalar 2016-2019 yıllarında artarak devam etmektedir fakat 2020 yılında araştırma sayısı bir önceki yıla göre biraz azalmıştır. 2021 yılının başından Mayıs ayı sonuna kadar yapılan çalışmaların sayısı ise 1364 adettir. Tüm bu verilerden elde edilen sonuçlar, en çok çalışma yapılan konunun NP sentezleme olduğunu göstermektedir.

“Nanoparçacık karakterizasyonu (nanoparticle characterization)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen veriler, 2016-2020 yıllarını kapsayan zaman aralığında yapılan bilimsel nitelikli çalışma sayılarının, yıllara göre, 2016 yılından başlayarak, sırasıyla 1544, 1649, 1740, 1907 ve 1945 adet olduğunu göstermektedir. Bu verilere göre çalışmalar 2016-2020 yıllarında artarak devam eden bir eğilim göstermektedir. 2021 yılının başından Mayıs ayı sonuna kadar yapılan araştırmaların sayısı ise 879 adettir; bu sayı 2020 yılının ilk 5 aylık periyodunda yapılan bilimsel nitelikli araştırma sayısının üzerindedir.



Şekil 4.11. “Nanoparçacık sentezleme”, “nanoparçacık karakterizasyonu”, “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” ve “nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimeleri ile yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımları

“Nanoteknoloji ve çevresel etkiler (nanotechnology and environmental effects)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen veriler, 2016-2020 yıllarını kapsayan zaman aralığında yapılan bilimsel nitelikli çalışmaların sayısının, 2016 yılından itibaren sırasıyla 431, 482, 597, 544 ve 605 adet olduğunu göstermektedir. Bu verilere göre çalışmalar 2016-2018 yıllarında artarak devam eden bir eğilim göstermesine rağmen 2019 yılında bir miktar düşmüş ve 2020 yılında yine artmıştır. 2021 yılının başından Mayıs ayı sonuna kadar yapılan araştırmaların sayısı ise 248 adettir; bu sayı 2020 yılının ilk 5 aylık periyodunda elde edilen bilimsel nitelikli araştırma sayısına yakındır.

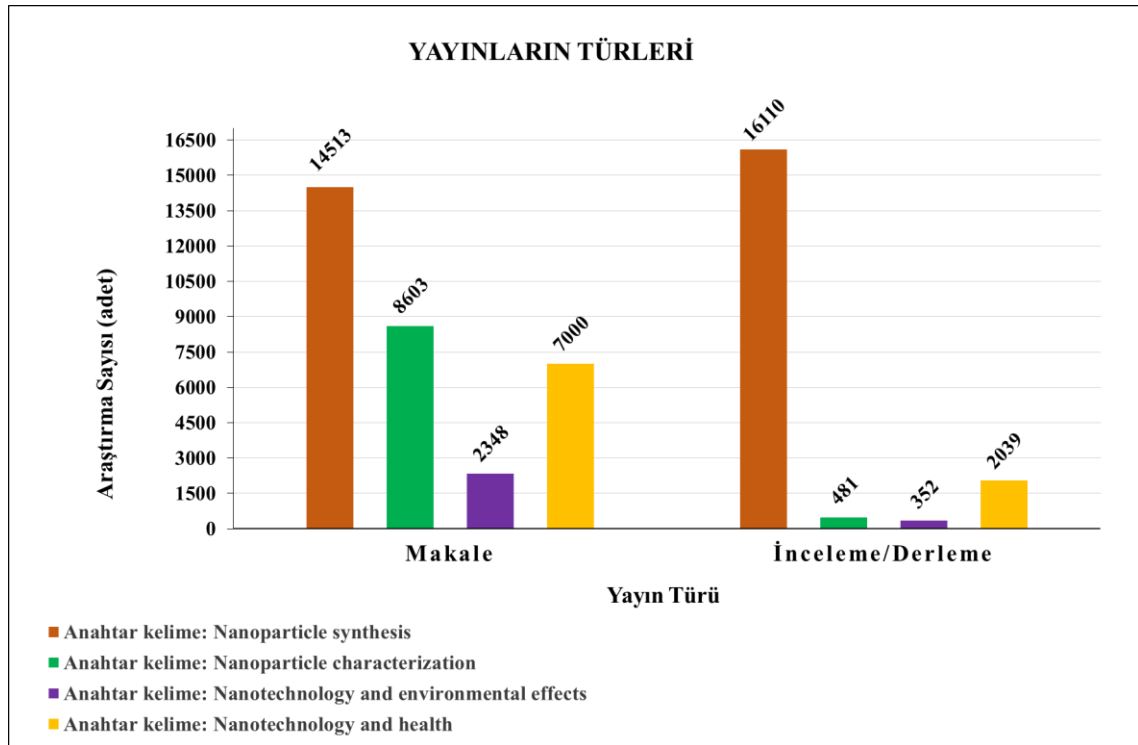
“Nanoteknoloji ve sağlık (nanotechnology and health)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen veriler, 2016-2020 yıllarını kapsayan zaman aralığında yapılan bilimsel nitelikli çalışmaların sayısının, 2016 yılından itibaren sırasıyla 1514, 1590, 1981, 1844 ve 1977 adet olduğunu göstermektedir. Bu verilere göre araştırmalar. 2016-2018 yıllarında artarak devam eden bir eğilim göstermesine rağmen 2019 yılında bir miktar düşmüş ve 2020 yılında yine artmıştır. 2021 yılının başından Mayıs ayı

sonuna kadar yapılan araştırmaların sayısı ise 888 adettir; bu sayı, 2020 yılının ilk 5 aylık periyodunda elde edilen bilimsel nitelikli araştırma sayısının üzerindedir.

4.4.1.3. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların türlerine göre dağılımları

Bu bölümde, belirlenen anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında ve tarama sınırlılıkları ile elde edilen tarama sonuçlarının araştırma türlerine göre dağılımları sunulmaktadır. Çalışma sayılarının türlere göre dağılımı, belirlenen her bir anahtar kelime için Şekil 4.12 üzerinde renklendirilerek verilmektedir.

“Nanoparçacık sentezleme”, “nanoparçacık karakterizasyonu”, “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” ve “nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimeleri ile 2016-2021(Mayıs) zaman aralığı için yapılan taramalarının, Şekil 4.12’den görüldüğü gibi, toplam sayısı 51446 adettir. Bu çalışmaların 30623 adeti “nanoparçacık sentezleme”, 9084 adeti “nanoparçacık karakterizasyonu” ve 9039 adeti “nanoteknoloji ve sağlık” 2700 adeti “nanoteknoloji ve çevresel etkiler”, anahtar kelimeleriyle elde edilmiştir. Sonuçlar, en çok araştırılan konunun NP sentezleme olduğunu göstermektedir. “Nanoparçacık karakterizasyonu” ve buna yakın sayılabilecek araştırma sayısına sahip “nanoteknoloji ve sağlık”, sırasıyla ikinci ve üçüncü sırada çalışma sayılarına sahiptir. En az çalışılan konu ise “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesiyle yapılan taramadan elde edilmiştir.



Şekil 4.12. “Nanoparçacık sentezleme”, “nanoparçacık karakterizasyonu”, “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” ve “nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimeleri ile yapılan çalışmaların türlerine göre dağılımları

2016-2021(Mayıs) zaman aralığını kapsayan tarama sonucundan elde edilen makale türünden araştırmaların toplam sayısı 32464 adet, inceleme ve derleme türünden araştırma sayısı ise 18982 adettir. Makale türünden çalışmaların toplamının, inceleme ve derleme türünde yapılan çalışmaların toplamına göre çok daha fazla olduğu görülmektedir.

“Nanoparçacık sentezleme (nanoparticle synthesis)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen bulgular, inceleme ve derleme türünde yapılan çalışmaların makale türünde yapılan çalışmalara göre fazla olduğunu göstermektedir. İnceleme ve derleme türünde 16110 adet, makale türünde 14513 adet çalışmaya rastlanmıştır.

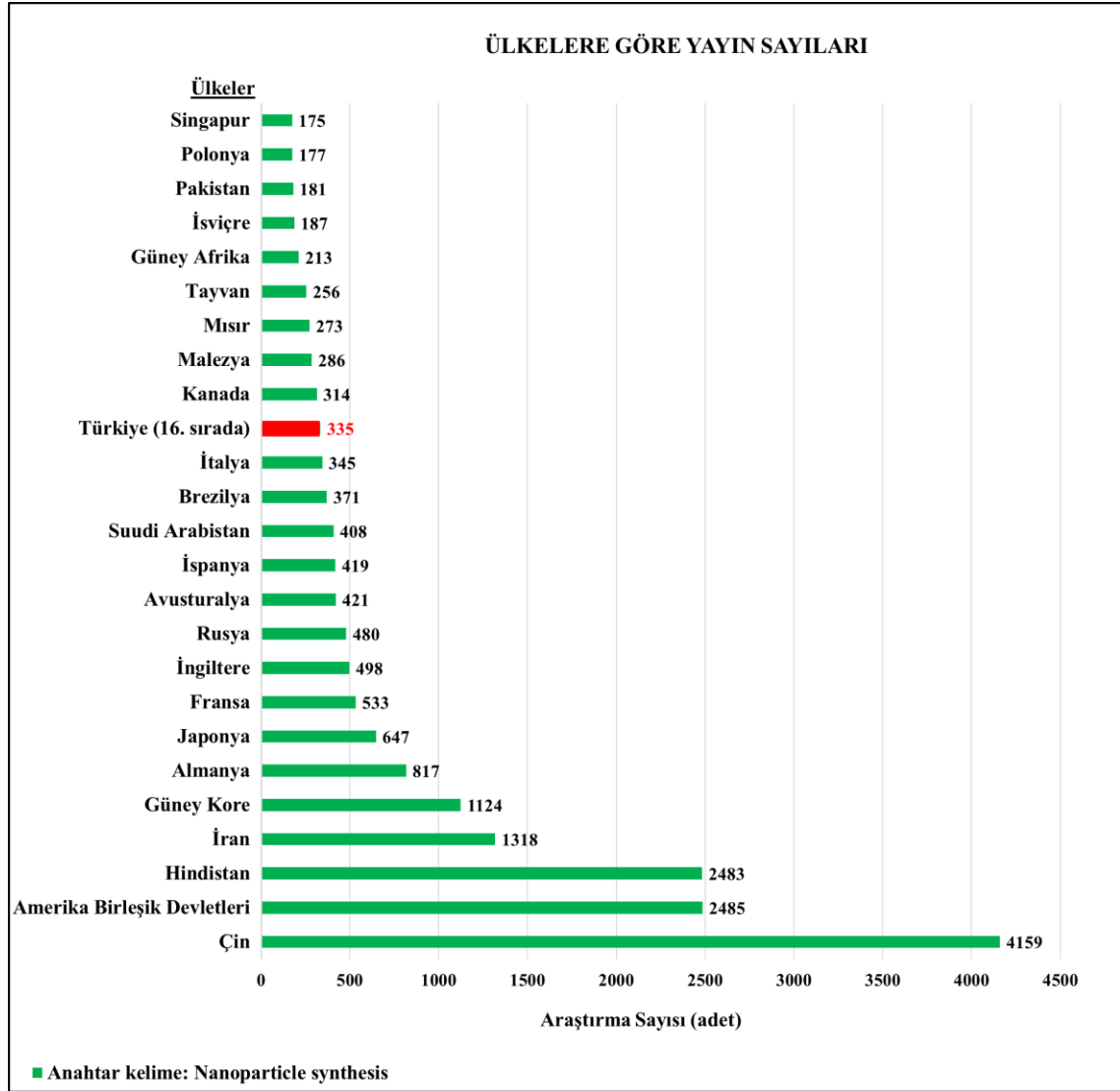
“Nanoparçacık karakterizasyonu (nanoparticle characterization)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen bulgular, makale türünde yapılan çalışmaların, inceleme ve derleme türünde yapılan çalışmalara göre oldukça fazla olduğunu göstermektedir. Makale türünde 8603 adet, inceleme ve derleme türünde 481 adet çalışmaya rastlanmıştır.

“Nanoteknoloji ve çevresel etkiler (nanotechnology and environmental effects)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen bulgular, makale türünde 2348 adet, inceleme ve derleme türünde 352 adet bilimsel nitelikli çalışma yapıldığını göstermektedir. 2016-2021(Mayıs) zaman aralığını kapsayan bu veriler diğer anahtar kelimelerle yapılanların sayısı ile kıyaslandığında, en az sayıda bilimsel nitelikli araştırmanın nanoteknoloji ve çevresel etkileri konusunda türetildiğini ifade etmektedir.

“Nanoteknoloji ve sağlık (nanotechnology and health)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen bulgular, makale türünde yapılan çalışmaların inceleme ve derleme türünde çalışmalara göre oldukça fazla olduğunu göstermektedir. Makale türünde 7000 adet, inceleme ve derleme türünde 2039 adet çalışmaya rastlanmıştır.

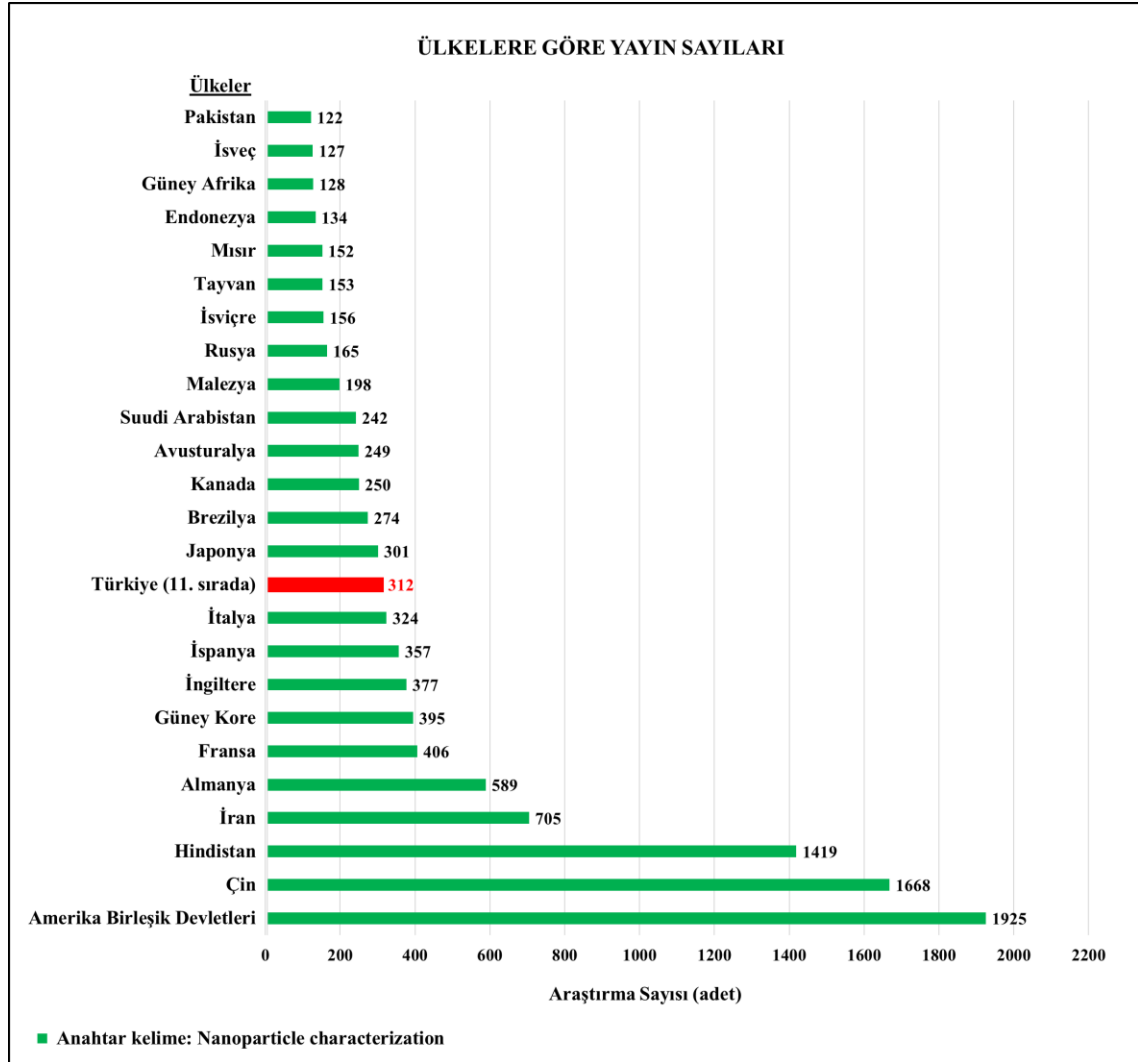
4.4.1.4. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımları

Bu bölümde, belirlenen anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında ve tarama sınırlılıkları ile elde edilen tarama sonuçlarının, araştırmaların yapıldığı ve ilk 25 sırada yer alan ülkelere göre dağılımları sunulmaktadır.



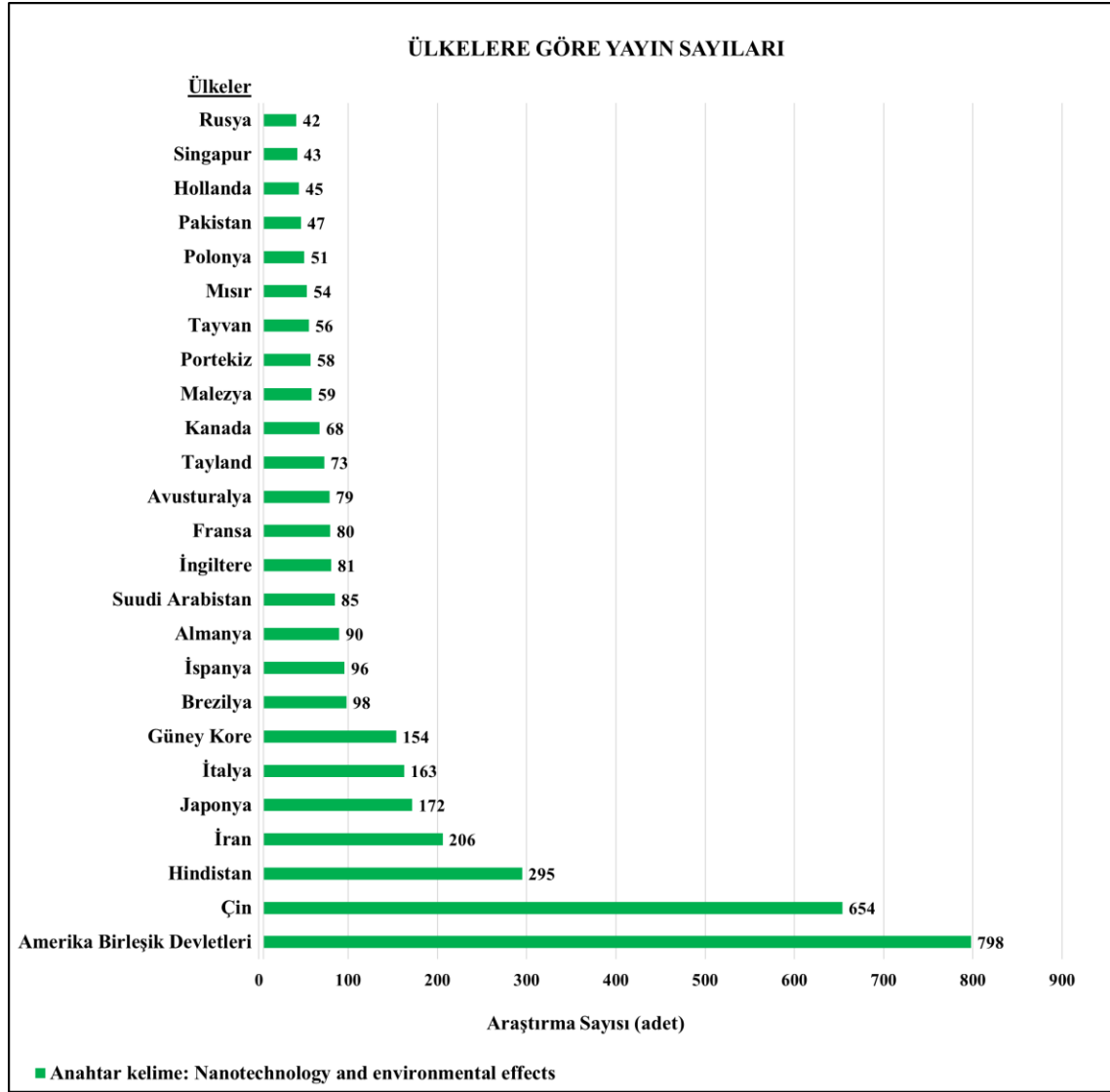
Şekil 4.13. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayımlandığı ülkelere göre dağılımı

“Nanoparçacık sentezleme (nanoparticle synthesis)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırmayı yapan ülkelerin dağılımı” Şekil 4.13’te gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 18905 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Çin 4159 adet çalışma sayısı ile ilk sırada yer almakta olup bunu 2485 adet çalışmayla Amerika Birleşik Devletleri ve 2483 adet çalışmayla Hindistan takip etmektedir. Türkiye, 335 adet çalışma sayısı ile 16. sırada yer almaktadır.



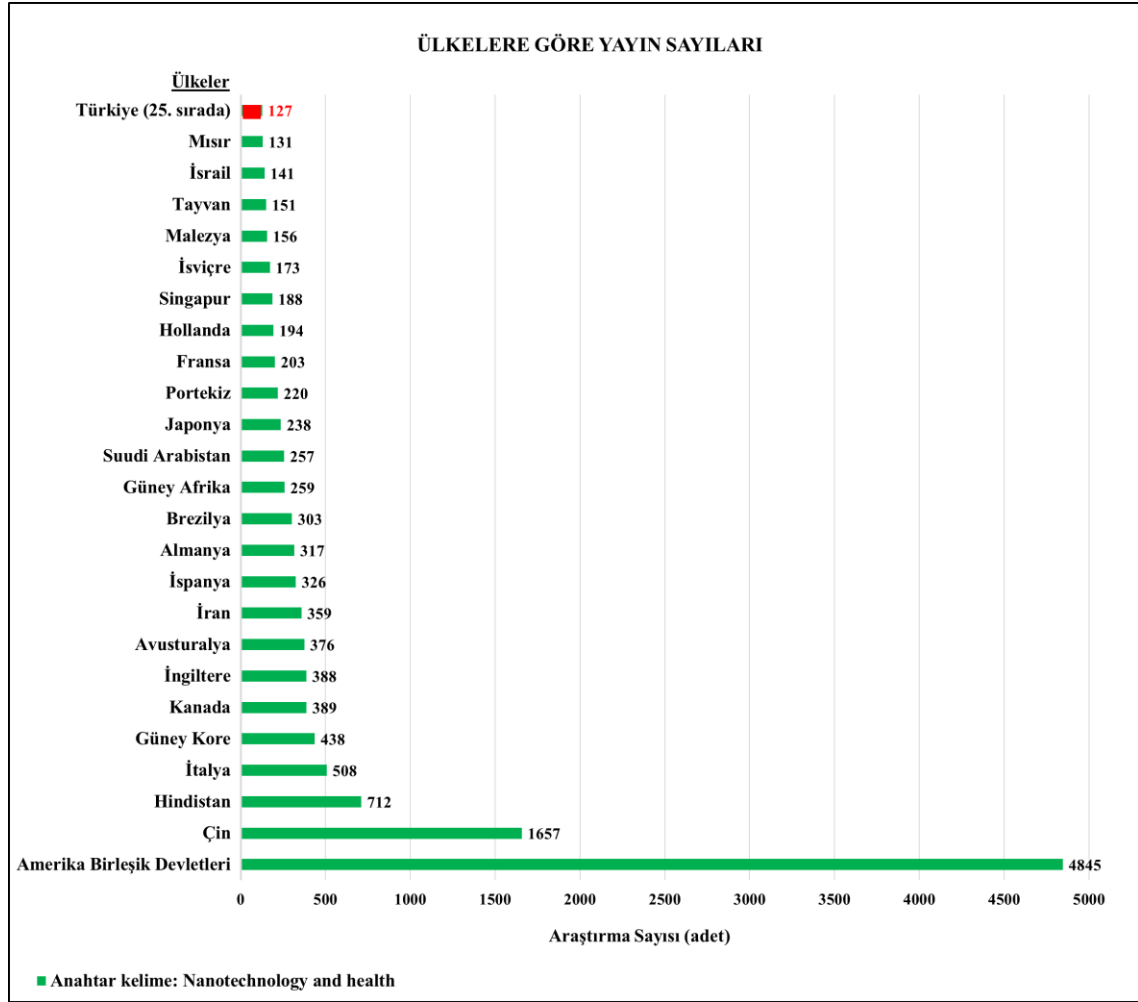
Şekil 4.14. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımı

“Nanoparçacık karakterizasyonu (nanoparticle characterization)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırmayı yapan ülkelerin dağılımı” Şekil 4.14’te gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 11006 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri 1925 adet çalışma sayısı ile ilk sırada yer almakta olup bunu 1668 adet çalışmayla Çin ve 1419 adet çalışmayla Hindistan takip etmektedir. Türkiye’nin bu araştırmalarda 312 adet çalışma sayısı ile 11. sırada yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4.15. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınlandığı ülkelere göre dağılımı

“Nanoteknoloji ve çevresel etkiler (nanotechnology and environmental effects)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırmayı yapan ülkelerin dağılımı” Şekil 4.15’te gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 3647 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri 798 adet çalışma sayısı ile ilk sırada yer almakta olup bunu 654 adet çalışmayla Çin ve 295 adet çalışmayla Hindistan takip etmektedir. Bu anahtar kelime ile ülkelere göre dağılımda Türkiye, ilk 25 sıralamasında yer almamaktadır.



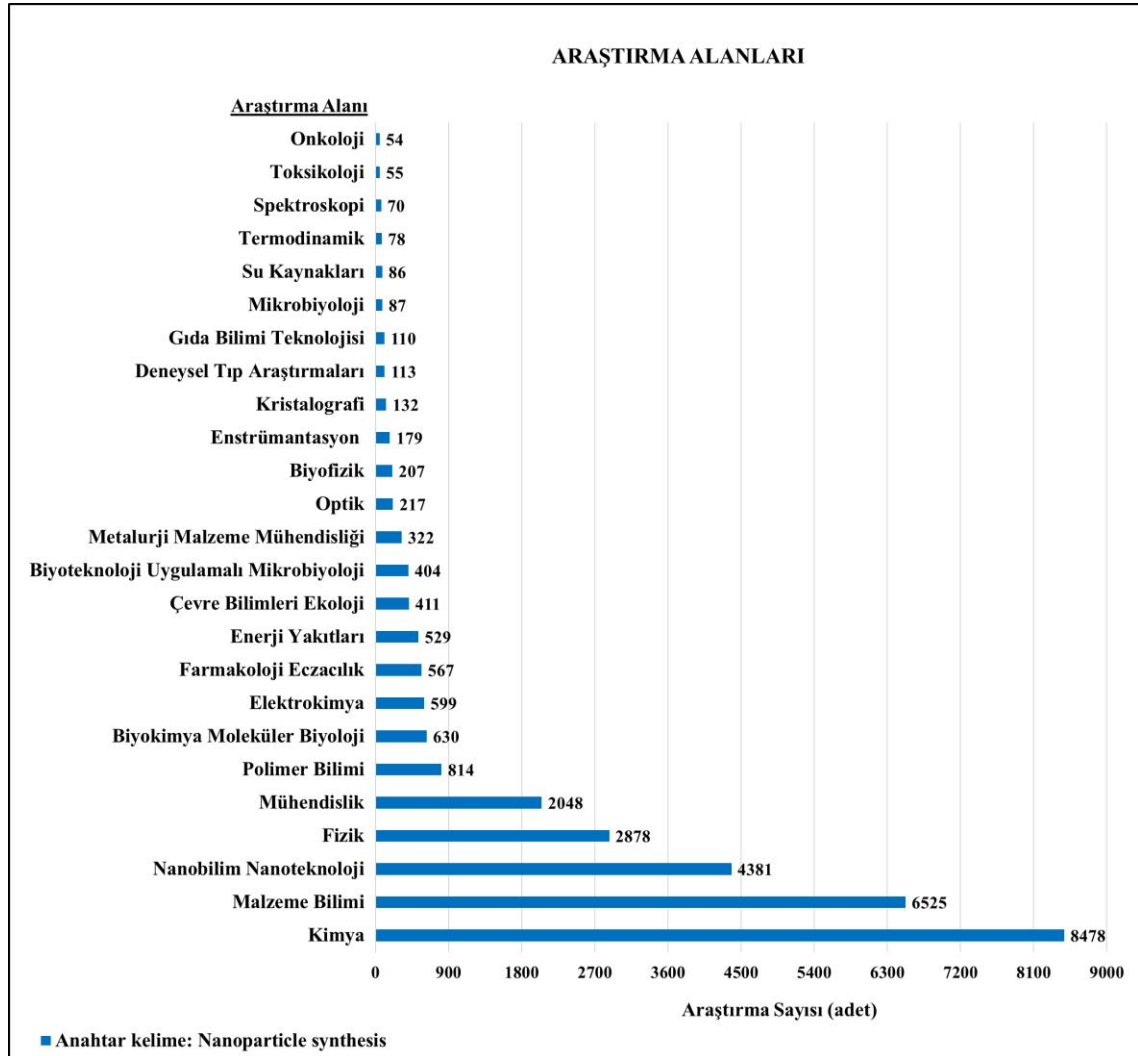
Şekil 4.16. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayımlandığı ülkelere göre dağılımı

“Nanoteknoloji ve sağlık (nanotechnology and health)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırmayı yapan ülkelerin dağılımı” Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 13056 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri 4845 adet çalışma sayısı ile ilk sırada yer almakta olup bunu 1657 adet çalışmayla Çin ve 712 adet çalışmayla Hindistan takip etmektedir. Türkiye, 127 adet çalışma sayısı ile 25. sırada yer almaktadır.

Belirlenen anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında ve tarama sınırlılıkları ile elde edilen tarama sonuçlarından elde edilen bulgular, araştırma sayısı ile ilk 25 sıralamasında yer alan ülkeler arasında ilk üç sıranın Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Hindistan’a ait olduğunu göstermektedir.

4.4.1.5. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların araştırma alanlarına göre dağılımları

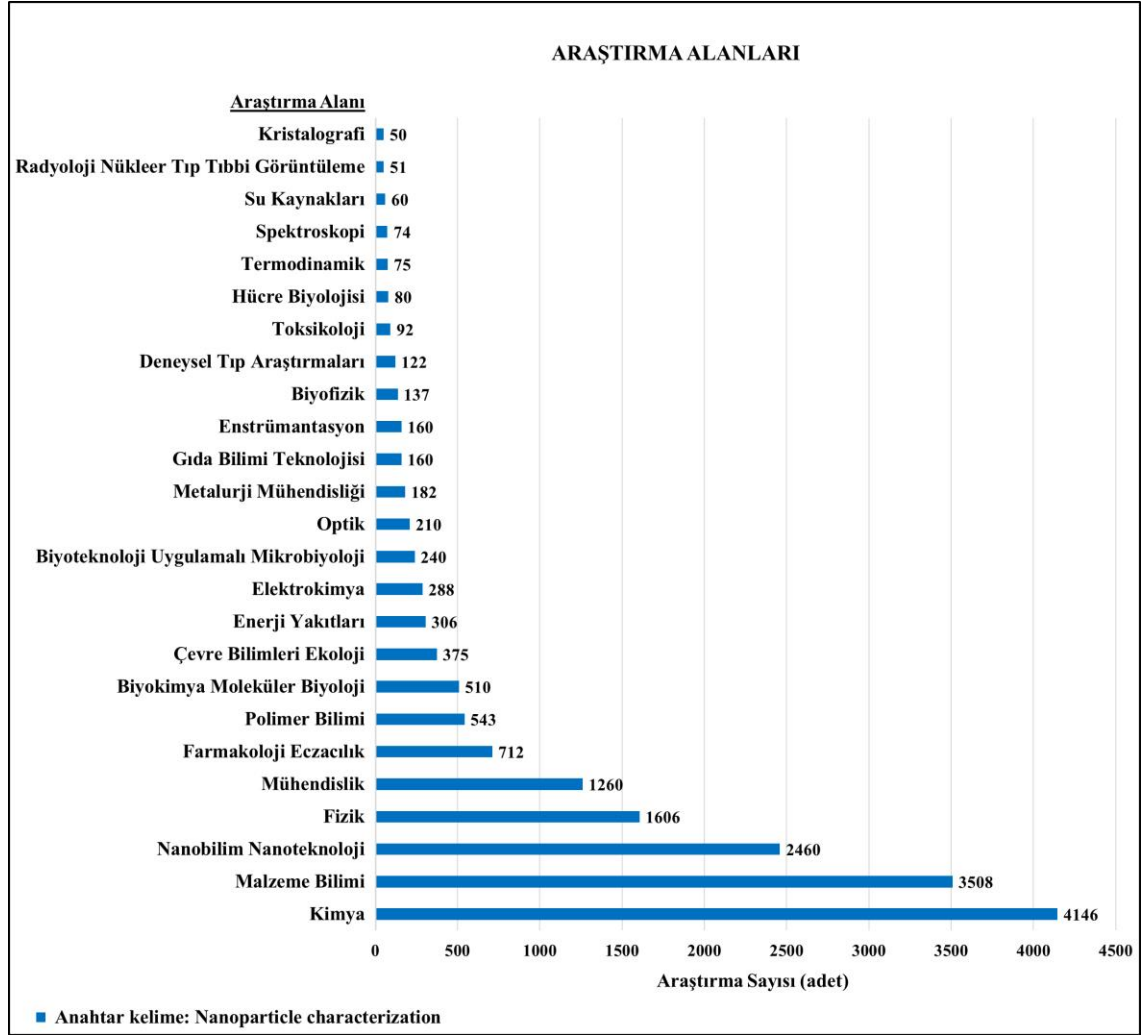
Bu bölümde, belirlenen anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında ve tarama sınırlılıkları ile elde edilen tarama sonuçlarının, çalışmaların yapıldığı ve ilk 25 sırada yer alan araştırma alanlarına göre dağılımları sunulmaktadır.



Şekil 4.17. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların araştırma alanlarına göre dağılımı

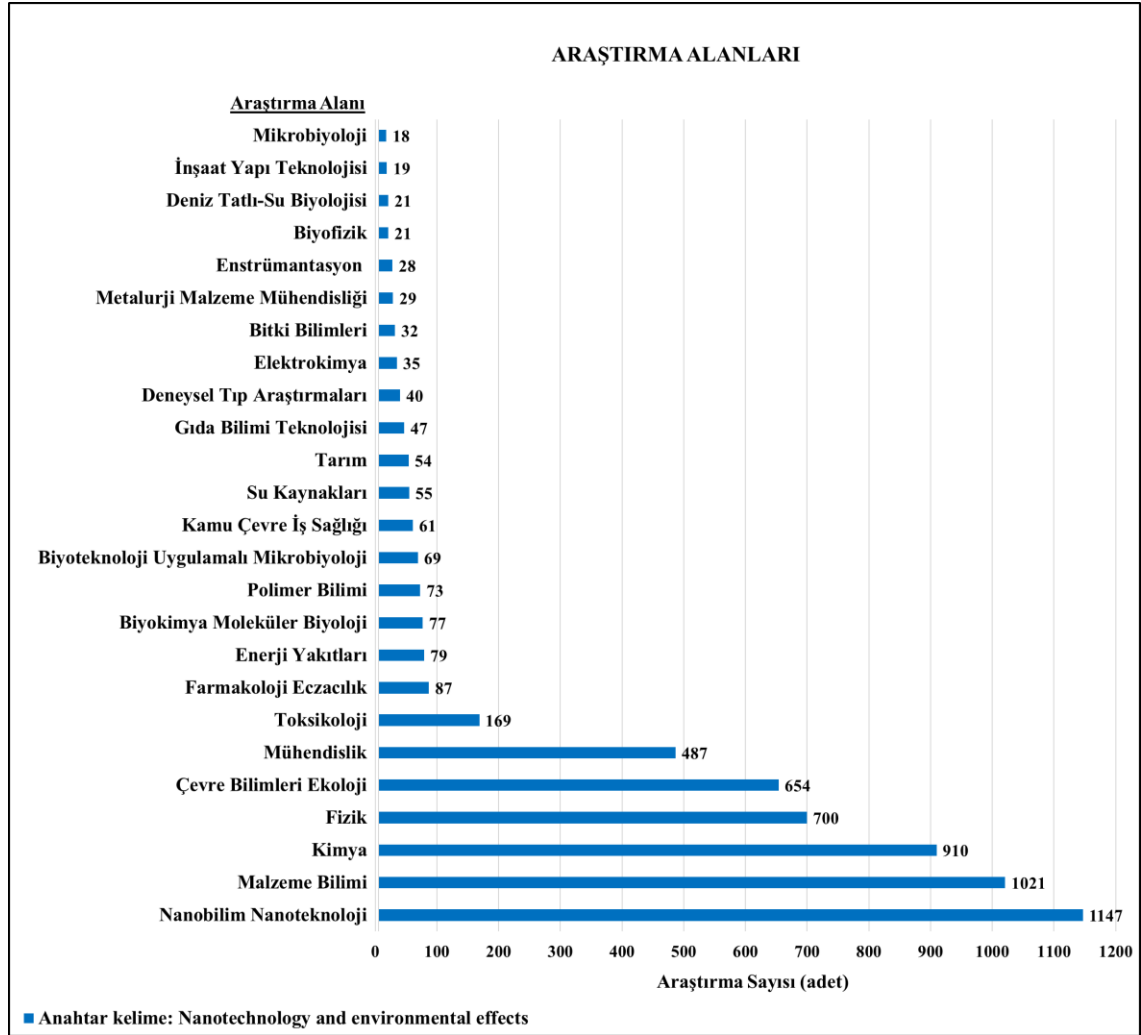
“Nanoparçacık sentezleme (nanoparticle synthesis)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırma alanlarının dağılımı” Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 29974 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Kimya, 8478 adet çalışma ile ilk sırada yer almakta olup bunu 6525 adet çalışmayla malzeme bilimi ve 4381 adet çalışmayla

nanobilim-nanoteknoloji takip etmektedir. Onkoloji, 54 adet çalışmayla 25. sırada yer almaktadır.



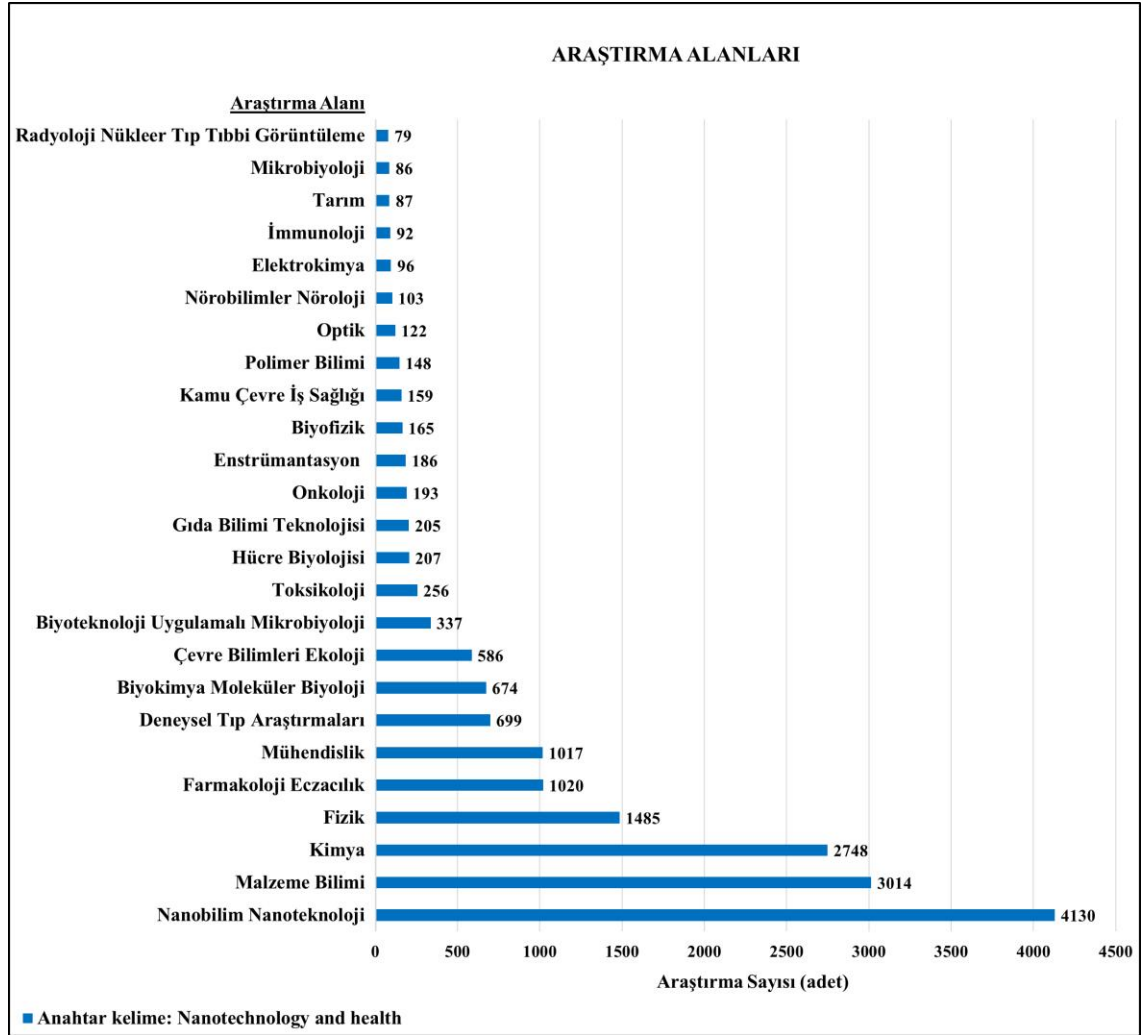
Şekil 4.18. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların araştırma alanlarına göre dağılımı

“Nanoparçacık karakterizasyonu (nanoparticle characterization)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırma alanlarının dağılımı” Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 17407 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Kimya, 4146 adet çalışma ile ilk sırada yer almakta olup bunu 3508 adet çalışmayla malzeme bilimi ve 2460 adet çalışmayla nanobilim-nanoteknoloji takip etmektedir. Kristalografi bilimi, 50 adet çalışmayla 25. sırada yer almaktadır.



Şekil 4.19. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların araştırma alanlarına dağılımı

“Nanoteknoloji ve çevresel etkiler (nanotechnology and environmental effects)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırma alanlarının dağılımı” Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 5933 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Nanobilim-nanoteknoloji, 1147 adet çalışma ile ilk sırada yer almakta olup bunu 1021 adet çalışmayla malzeme bilimi ve 910 adet çalışmayla kimya takip etmektedir. Mikrobiyoloji, 18 adet çalışmayla 25. sırada yer almaktadır.



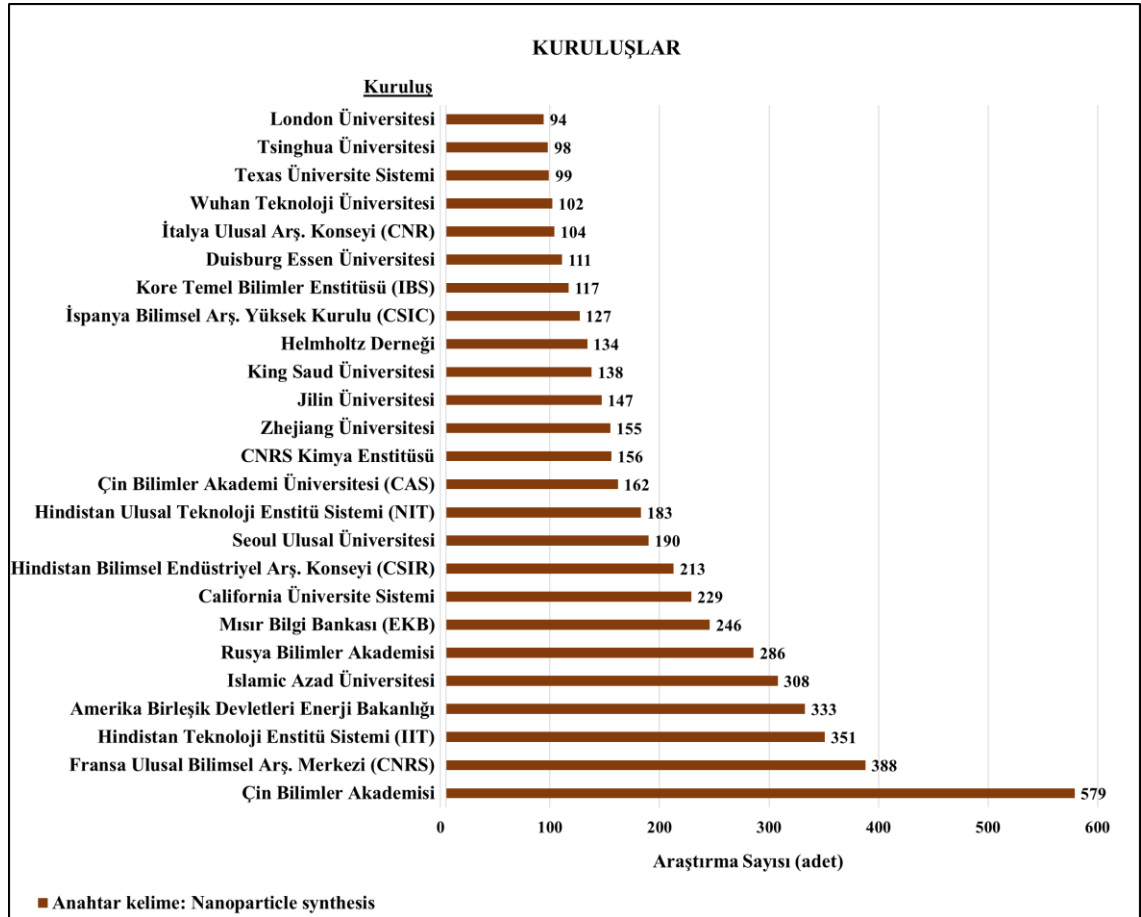
Şekil 4.20. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yıllara araştırma alanlarına dağılımı

“Nanoteknoloji ve sağlık (nanotechnology and health)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırma alanlarının dağılımı” Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 17894 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Nanobilim-nanoteknoloji, 4130 adet çalışma ile ilk sırada yer almakta olup bunu 3014 adet çalışmayla malzeme bilimi ve 2748 adet çalışmayla kimya takip etmektedir. Radyoloji nükleer tıp tıbbi görüntüleme araştırma alanı 79 adet çalışmayla 25. sırada yer almaktadır.

Belirlenen anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında ve tarama sınırlılıkları ile elde edilen tarama sonuçlarından elde edilen bulgular, araştırma sayısı ile ilk 25 sıralamasında yer alan araştırma alanlarında ilk üç sıranın “nanobilim-nanoteknoloji, kimya ve malzeme bilimi”ne ait olduğunu göstermektedir.

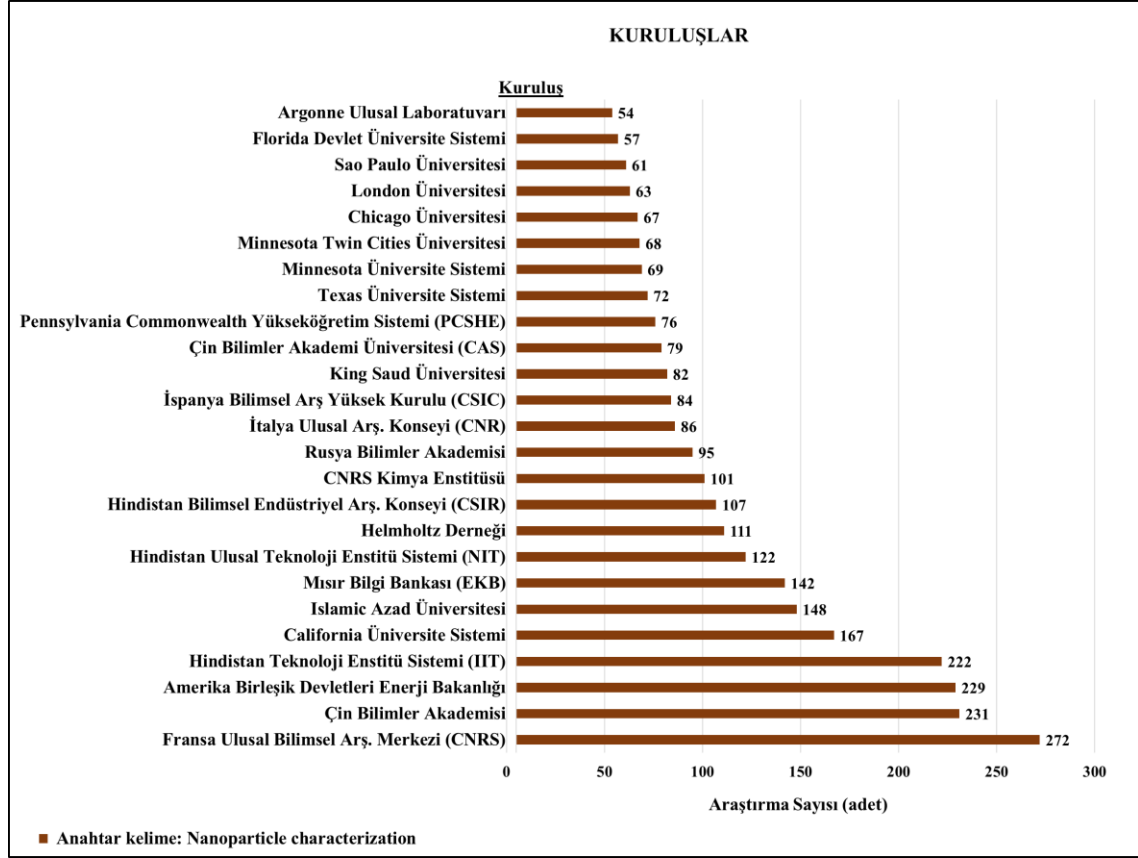
4.4.1.6. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların araştırmaların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımları

Bu bölümde, belirlenen anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında ve tarama sınırlılıkları ile elde edilen tarama sonuçlarının, çalışmaların yapıldığı ve ilk 25 sırada yer alan araştırma alanlarına göre dağılımları sunulmaktadır.



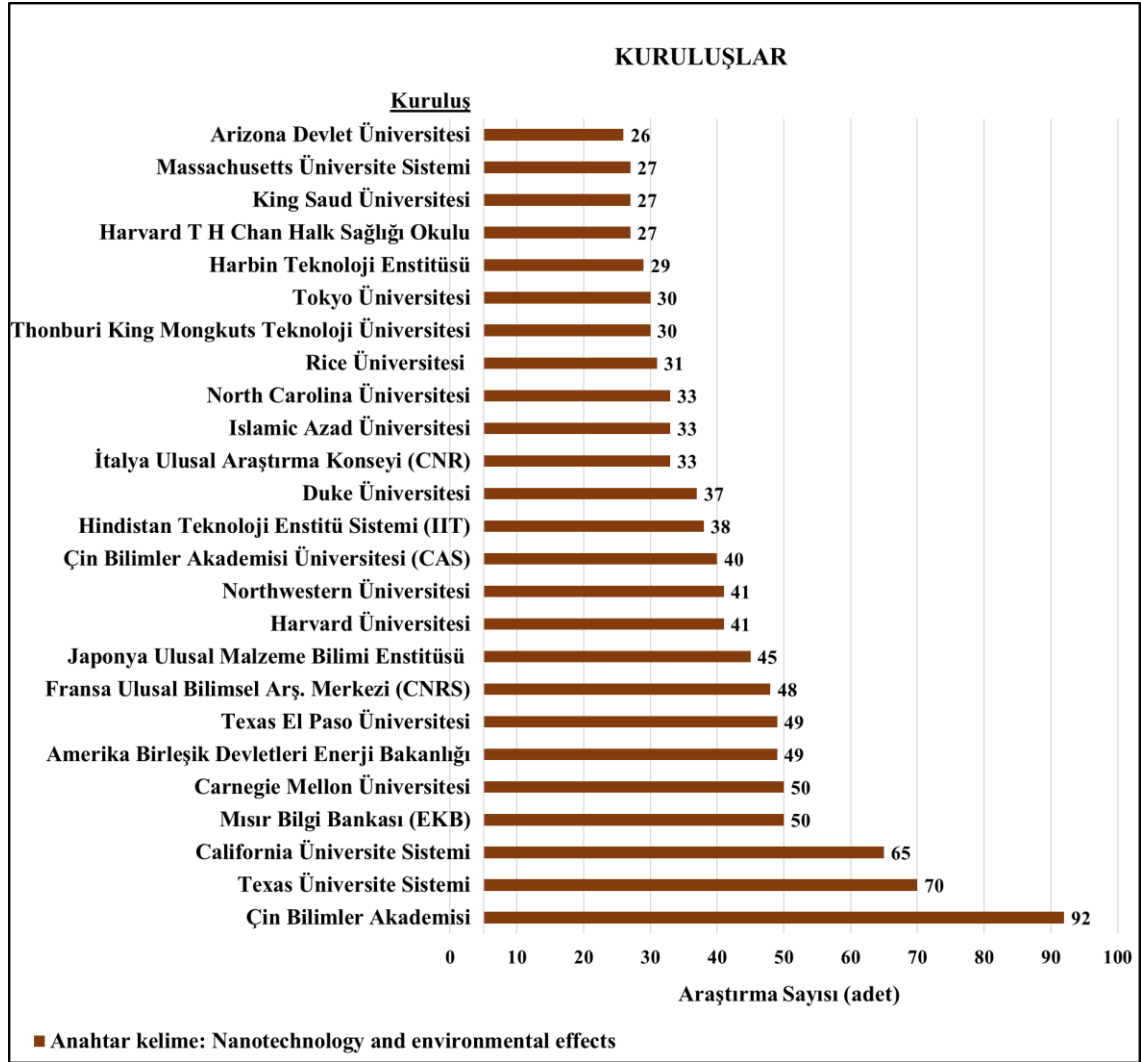
Şekil 4.21. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı

“Nanoparçacık sentezleme (nanoparticle synthesis)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırma yapan kuruluşların dağılımı” Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 5050 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Çin Bilimler Akademisi, 579 adet çalışma ile ilk sırada yer almakta olup bunu 388 adet çalışmayla Fransa Ulusal Bilimsel Araştırma Merkezi (CNRS) ve 351 adet çalışmayla Hindistan Teknoloji Enstitü Sistemi (IIT) takip etmektedir.



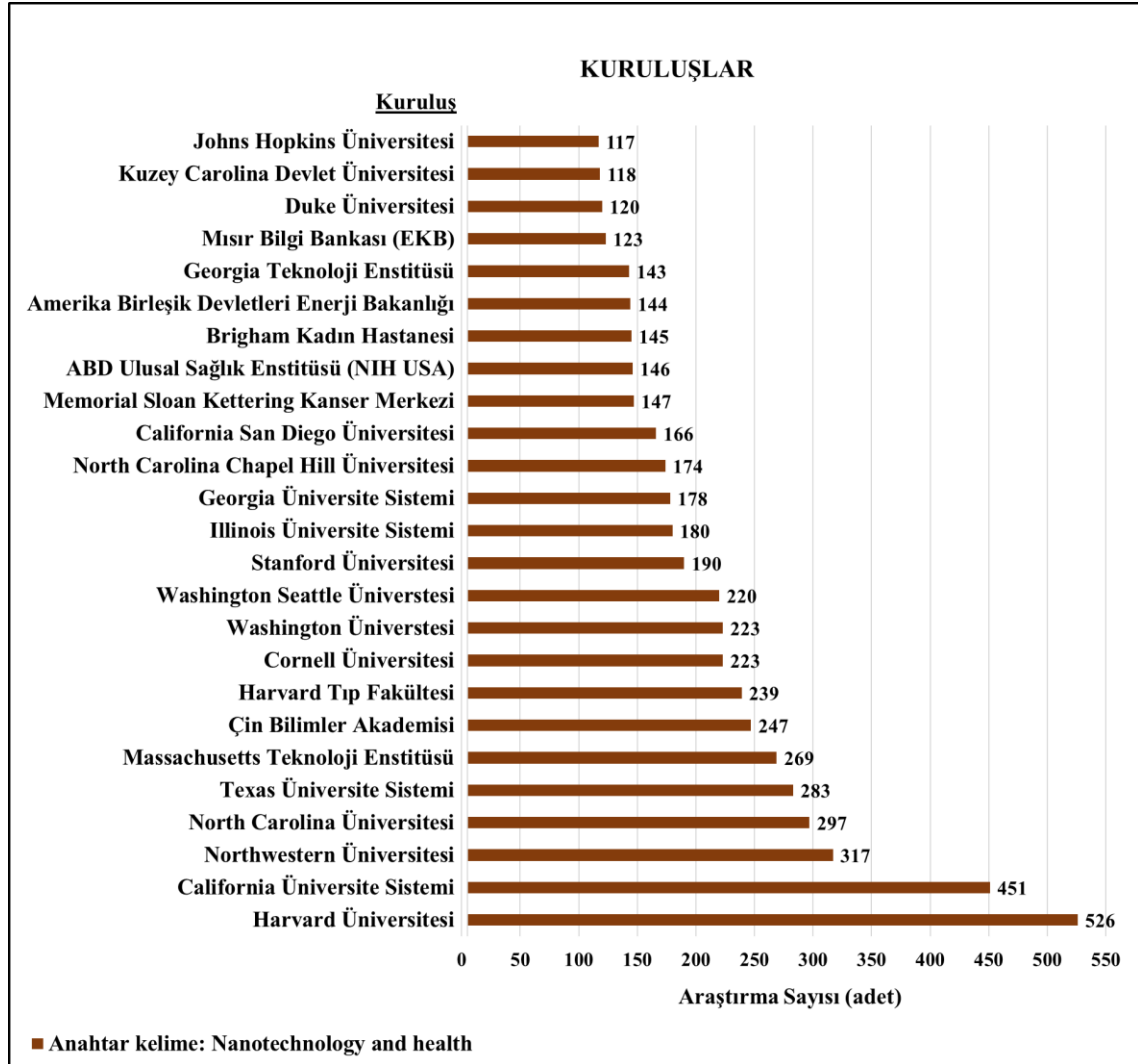
Şekil 4.22. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı

“Nanoparçacık karakterizasyonu (nanoparticle characterization)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırma yapan kuruluşların dağılımı” Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 2865 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Fransa Ulusal Bilimsel Araştırma Merkezi (CNRS), 272 adet çalışma ile ilk sırada yer almakta olup bunu 231 adet çalışmayla Çin Bilimler Akademisi ve 229 adet çalışmayla Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı takip etmektedir.



Şekil 4.23. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı

“Nanoteknoloji ve çevresel etkiler (nanotechnology and environmental effects)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırma yapan kuruluşların dağılımı” Şekil 4.23’te gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 1041 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Çin Bilimler Akademisi, 92 adet çalışma ile ilk sırada yer almakta olup bunu 70 adet çalışmayla Texas Üniversite Sistemi ve 229 adet çalışmayla Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı takip etmektedir.



Şekil 4.24. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan araştırmaların yayınların yapıldığı kuruluşlara göre dağılımı

“Nanoteknoloji ve sağlık (nanotechnology and health)” anahtar kelimesi ile yapılan tarama sonucunda elde edilen “araştırma sayısına göre araştırma yapan kuruluşların dağılımı” Şekil 4.24’te gösterilmiştir. Elde edilen bulgulara göre toplam olarak 5386 adet bilimsel nitelikli araştırmaya rastlanılmıştır. Harvard Üniversitesi, 526 adet çalışma ile ilk sırada yer almakta olup bunu 451 adet çalışmayla California Üniversite Sistemi ve 317 adet çalışmayla Northwestern Üniversitesi takip etmektedir.

4.4.1.7. WOS veri tabanından elde edilen çalışmaların Türkiye için değerlendirilmesi

Bu bölümde, belirlenen anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında ve tarama sınırlılıkları ile elde edilen tarama sonuçlarının, Türkiye ölçeğinde değerlendirmeleri sunulmaktadır.

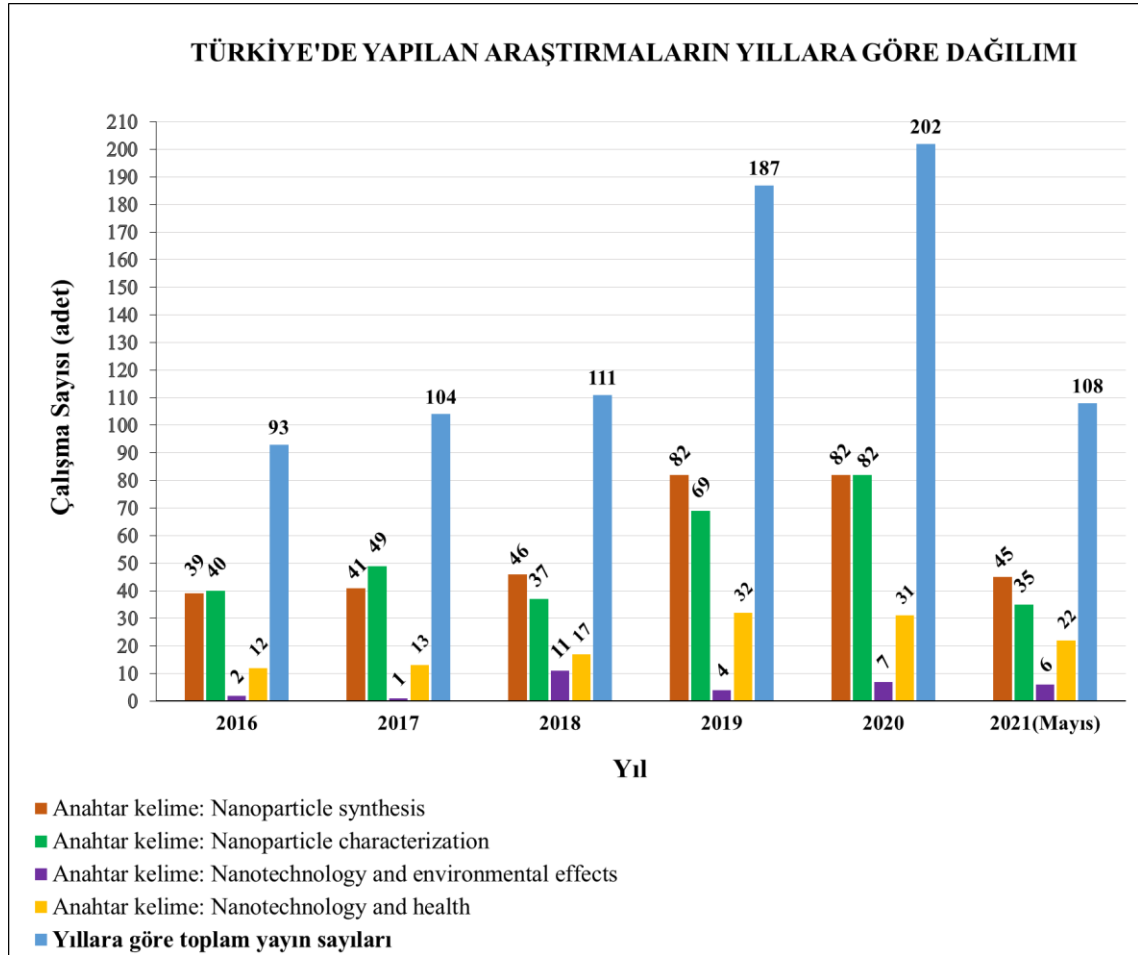
Çizelge 4.3. Türkiye ölçeğinde, belirlenen anahtar kelimeler ile 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışma sayıları

Anahtar Kelimeler	Çalışma Sayıları (adet)
Nanoparçacık sentezleme (Nanoparticle synthesis)	335
Nanoparçacık karakterizasyonu (Nanoparticle characterization)	312
Nanoteknoloji ve çevresel etkiler (Nanotechnology and environmental effects)	31
Nanoteknoloji ve sağlık (Nanotechnology and health)	127
Toplam	805

Çizelge 4.3, “nanoparçacık sentezleme”, “nanoparçacık karakterizasyonu”, “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” ve “nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimelerine göre tarama sonucunda elde edilen çalışma sayılarını göstermektedir; toplamda 805 adet bilimsel nitelikli çalışma elde edilmiştir. Türkiye’de en fazla çalışılan konunun “nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesiyle elde edildiği görülmektedir; en az sayıda araştırma ise “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesiyle elde edilmiştir.

Şekil 4.25, Türkiye’de yapılan bilimsel nitelikli çalışma sayılarının, 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında, yıllara göre dağılımını hem toplamda hem de her bir anahtar kelime için renkli sütun grafikleriyle göstermektedir. Şekil 4.25’te görülen mavi sütun 2016 yılından itibaren 2021(Mayıs) tarihine kadar yıllara göre toplamda elde edilen araştırma sayısı bulgularını göstermektedir. Buna göre toplamda, tüm anahtar kelimelerle yapılan taramaların sonucunda, Türkiye’de, 2016 yılı için 93 adet, 2017 yılı için 104 adet, 2018 yılı için 111 adet, 2019 yılı için 187 adet ve 2020 yılı için 202 adet çalışmaya rastlanmıştır. Bu verilere göre çalışmalar, 2016-2020 yıllarını kapsayan 5 yıllık zaman aralığında artan bir eğilim göstermektedir. 2021 yılı başlangıcından Mayıs ayına kadar yapılmış olan araştırmaların sayısı ise 108 adettir; bu sonuç, 2020 yılının aynı döneminde yapılan çalışmaların toplam sayısının üzerine çıkıldığını göstermekte olup 2021 yılının sonunda yapılmış olan çalışmaların sayısının 2020 yılında yapılandan fazla olacağı konusunda fikir vermektedir.

“Nanoparçacık sentezleme (nanoparticle synthesis)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen veriler, 2016-2020 yıllarını kapsayan zaman aralığında Türkiye’de yapılan bilimsel nitelikli çalışma sayılarının, yıllara göre, 2016 yılından başlayarak sırasıyla 39, 41, 46, 82 ve 82 adet olduğunu göstermektedir. Bu verilere göre çalışmalar 2016-2019 yıllarında artarak devam etmektedir; 2020 yılında araştırma sayısı bir önceki yıl ile aynıdır. 2021 yılının başından Mayıs ayı sonuna kadar yapılan çalışmaların sayısı ise 45 adettir. Dünyada diğer ülkelere göre kıyaslama yapıldığında, Şekil 2.17’de verilen dağılımda görüldüğü gibi, ülkemiz bu konuda yapılan araştırmalar sıralamasında ilk 25 içinde ve 16. sırada yer almaktadır.



Şekil 4.25. Türkiye ölçeğinde, belirlenen anahtar kelimeler ile yapılan bilimsel nitelikli çalışma sayılarının, 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında, yıllara göre dağılımı

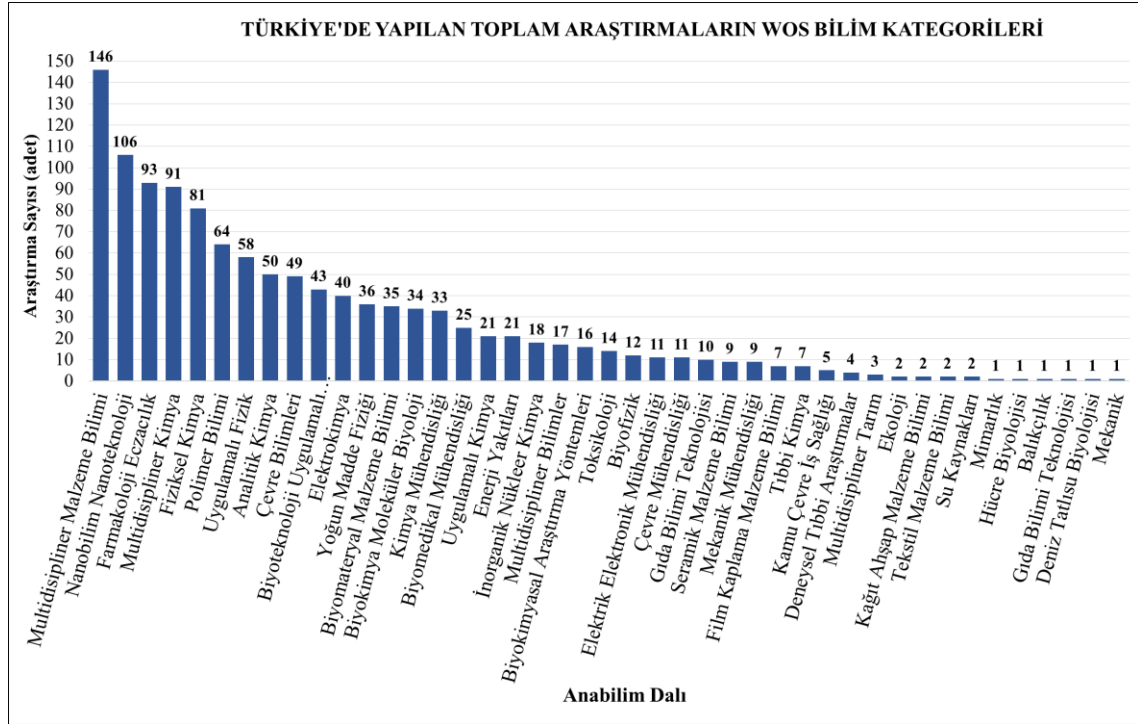
“Nanoparçacık karakterizasyonu (nanoparticle characterization)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen veriler, 2016-2020 yıllarını kapsayan zaman aralığında yapılan bilimsel nitelikli çalışma sayılarının, yıllara göre, 2016 yılından başlayarak, sırasıyla 40, 49, 37, 69 ve 82 adet olduğunu göstermektedir. Bu verilere göre bilimsel nitelikli çalışmaların sayısı yıllara göre düzensiz bir dağılım

göstermektedir. 2021 yılının başından Mayıs ayı sonuna kadar yapılan araştırmaların sayısı ise 35 adettir. Dünyada diğer ülkelere göre kıyaslama yapıldığında, Şekil 4.14'te verilen dağılımda görüldüğü gibi, ülkemiz bu konuda yapılan araştırmalar sıralamasında ilk 25 içinde ve 11. sırada yer almaktadır.

“Nanoteknoloji ve çevresel etkiler (nanotechnology and environmental effects)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen veriler, 2016-2020 yıllarını kapsayan zaman aralığında yapılan bilimsel nitelikli çalışmaların sayısının, 2016 yılından itibaren sırasıyla 2, 1, 11, 4 ve 7 adet olduğunu göstermektedir. Bu verilere göre çalışmalar düzensiz bir dağılım göstermekte ve oldukça az sayıdadır. 2021 yılının başından Mayıs ayı sonuna kadar yapılan araştırmaların sayısı ise 6 adettir; bu sonuç, 2021 yılı sonuna kadar yapılacak olan çalışma sayısının 2020 yılında yapılan çalışma sayısının üzerinde olacağı görüşünü vermektedir. Dünyada diğer ülkelere göre kıyaslama yapıldığında, Şekil 4.15'te verilen dağılımda görüldüğü gibi, ülkemiz bu konuda yapılan araştırmalar sıralamasında ilk 25 içinde yer almamaktadır; araştırmaların sayısının artması gerekliliği görülmektedir.

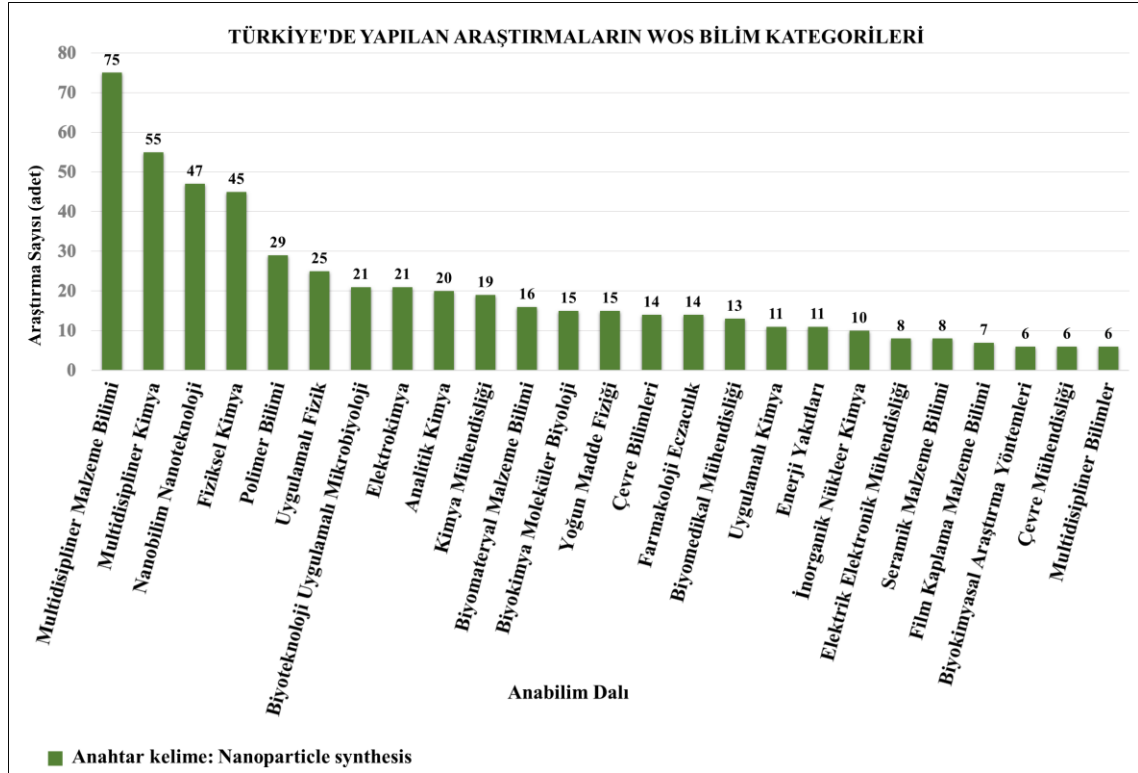
“Nanoteknoloji ve sağlık (nanotechnology and health)” anahtar kelimesi ile tarama sonucunda elde edilen veriler, 2016-2020 yıllarını kapsayan zaman aralığında yapılan bilimsel nitelikli çalışmaların sayısının, 2016 yılından itibaren sırasıyla 12, 13, 17, 32 ve 31 adet olduğunu göstermektedir. Bu verilere göre araştırmalar. 2016-2019 yıllarında artarak devam eden bir eğilim göstermesine rağmen 2020 yılında bir adet düşmüştür. 2021 yılının başından Mayıs ayı sonuna kadar yapılan araştırmaların sayısı ise 22 adettir; bu sayı, 2020 yılının ilk 5 aylık periyodunda elde edilen bilimsel nitelikli araştırma sayısının üzerindedir. Dünyada diğer ülkelere göre kıyaslama yapıldığında, Şekil 4.16'da verilen dağılımda görüldüğü gibi, ülkemiz bu konuda yapılan araştırmalar sıralamasında 25. sırada yer almaktadır.

Şekil 4.26, belirlenen anahtar kelimelere göre 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında Türkiye ölçeğinde yapılan toplam çalışmaların WOS bilim kategorilerine göre dağılımını göstermektedir. Ülkemizde çalışılan konuların hangi bilim kategorilerinde yer aldığı ve dağılımlarına dair bilgi edinebilmek amacıyla tarama sonuçlarının tamamı bu grafik üzerinde verilmeye çalışılmıştır; nanobilim ve nanoteknoloji alanında yapılan çalışmaların, WOS bilim kategorilerinde yer alan çok çeşitli kuramsal ve uygulamalı bilim dallarında yer aldığı görülmektedir. Bu dağılımda görüldüğü gibi, multidisipliner malzeme bilimi 146 adet, nanobilim nanoteknoloji 106 adet ve farmakoloji eczacılık 93 adet araştırma ile ilk üç sırada yer almaktadır.



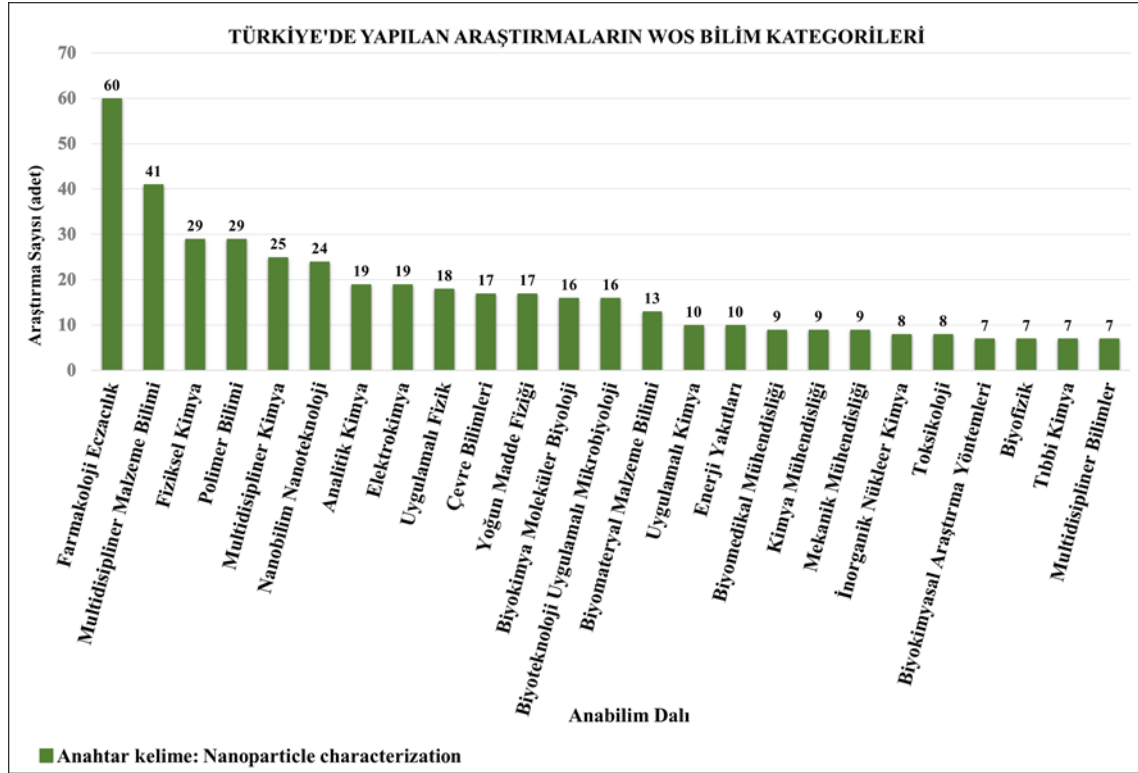
Şekil 4.26. Türkiye ölçeğinde, belirlenen anahtar kelimeler kullanılarak, 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan toplam çalışmaların anabilim dallarına göre dağılımı

Türkiye’de yapılan araştırmaların, WOS veri tabanından elde edilen bilim kategorilerine göre dağılımının “nanoparçacık sentezleme (nanoparticle synthesis)” anahtar kelimesi ile elde edilen sonuçları Şekil 4.27’de gösterilmektedir. Verilerden elde edilen bulgulara göre “nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile yapılan taramada 517 adet nitelikli bilimsel çalışma elde edilmiştir ve bu çalışmaların ilk sırasında 75 adet çalışma ile multidisipliner malzeme bilimi, ikinci ve üçüncü sırada ise 55 adet çalışma ile multidisipliner kimya ve 47 adet çalışmayla nanobilim nanoteknoloji anabilim dalları yer almaktadır.



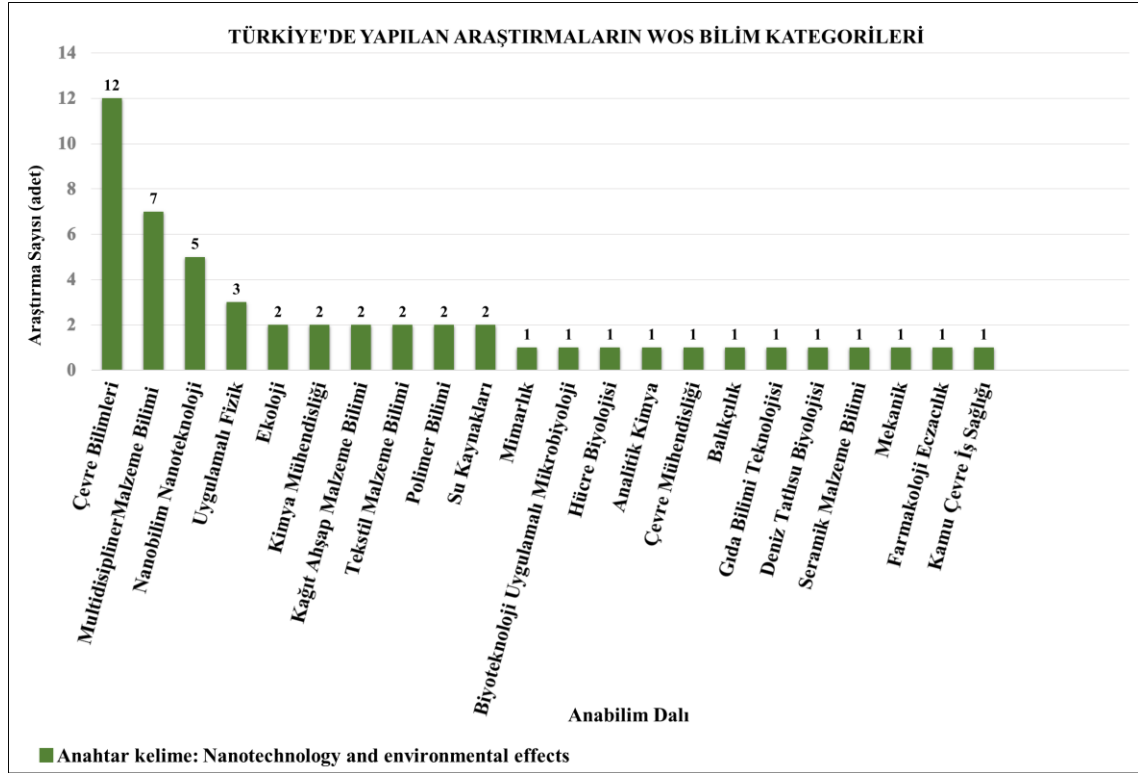
Şekil 4.27. “Nanoparçacık sentezleme” anahtar kelimesi ile Türkiye’de 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışmaların WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı

Türkiye’de yapılan araştırmaların, WOS veri tabanından elde edilen bilim kategorilerine göre dağılımının “nanoparçacık karakterizasyonu (nanoparticle characterization)” anahtar kelimesi ile elde edilen sonuçları Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Verilerden elde edilen bulgulara göre “nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile yapılan taramada 434 adet bilimsel nitelikli çalışma elde edilmiştir ve bu çalışmaların ilk sırasında 60 adet çalışma ile farmakoloji eczacılık, ikinci ve üçüncü sırada ise sırasıyla 41 adet çalışma ile multidisipliner malzeme bilimi ve 29 adet çalışmayla fiziksel kimya anabilim dalları yer almaktadır.



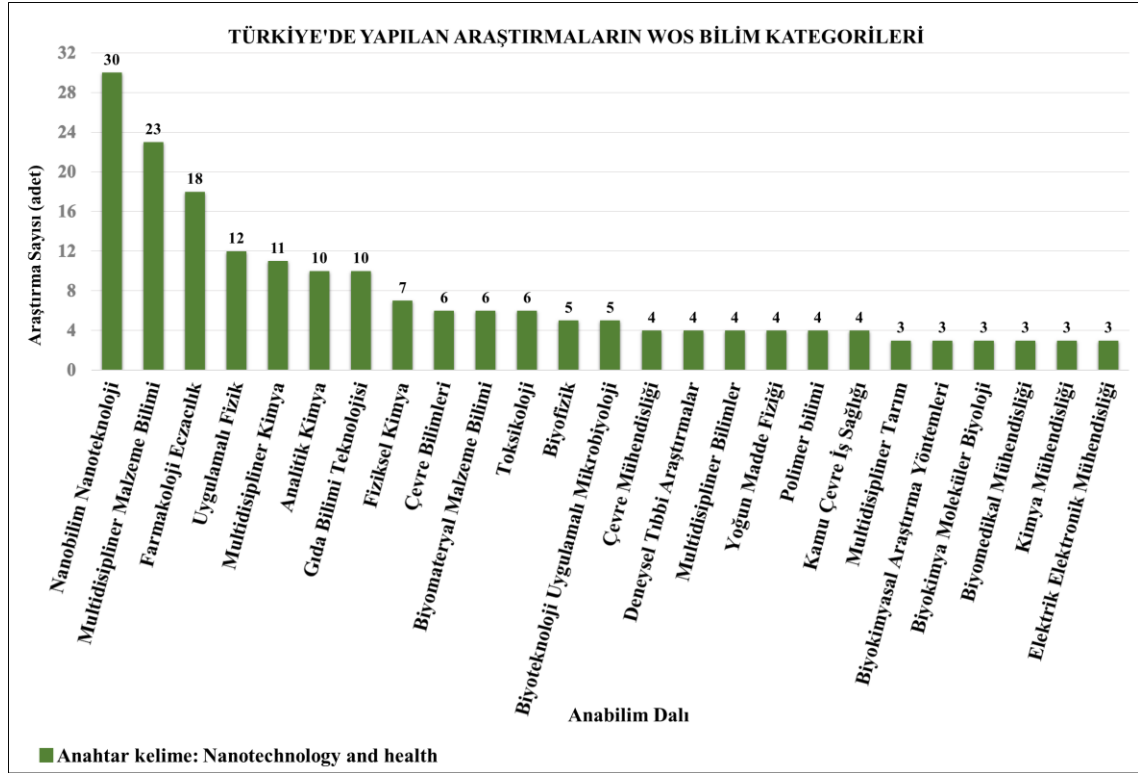
Şekil 4.28. “Nanoparçacık karakterizasyonu” anahtar kelimesi ile Türkiye’de 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışmaların WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı

Türkiye’de yapılan araştırmaların, WOS veri tabanından elde edilen bilim kategorilerine göre dağılımının “nanoteknoloji ve çevresel etkiler (nanotechnology and environmental effects)” anahtar kelimesi ile elde edilen sonuçları Şekil 4.29’da gösterilmektedir. Verilerden elde edilen bulgulara göre “nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile yapılan taramada 51 adet bilimsel nitelikli çalışma elde edilmiştir ve bu çalışmaların ilk sırasında 12 adet çalışma ile çevre bilimleri, ikinci ve üçüncü sırada ise sırasıyla 7 adet çalışma ile multidisipliner malzeme bilimi ve 5 adet çalışmayla nanobilim nanoteknoloji anabilim dalları yer almaktadır.



Şekil 4.29. “Nanoteknoloji ve çevresel etkiler” anahtar kelimesi ile Türkiye’de 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışmaların WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı

Türkiye’de yapılan araştırmaların, WOS veri tabanından elde edilen bilim kategorilerine göre dağılımının “nanoteknoloji ve sağlık (nanotechnology and health)” anahtar kelimesi ile elde edilen sonuçları Şekil 4.30’da gösterilmektedir. Verilerden elde edilen bulgulara göre “nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile yapılan taramada 191 adet bilimsel çalışma elde edilmiştir ve bu çalışmaların ilk sırasında 30 adet çalışma ile nanobilim nanoteknoloji yer almaktadır. İkinci ve üçüncü sırada ise sırasıyla 23 adet çalışma ile multidisipliner malzeme bilimi ve 18 adet çalışmayla farmakoloji eczacılık bilim dalları yer almaktadır.



Şekil 4.30. “Nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimesi ile Türkiye’de 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında yapılan çalışmaların WOS veri tabanından elde edilen anabilim dallarına göre dağılımı

4.4.2. Google scholar (Google akademik) veri tabanı tarama sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu bölümde, özellikle bu alanda çalışma yapmak isteyen veya merak eden öğrenci ve akademisyenlerin kolaylıkla ulaşabildikleri Google akademik veri tabanından, belirlenen anahtar kelimeleri yazarak “makaleler”de yaptığı tarama sonucunda, rastgele elde edilen ilk 50 adet çalışmanın içeriği, çalışma sayılarının yıllara göre dağılımı ve araştırmaların yoğunlaştığı alanlar hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.

2016-2021 yılları arasında, “nanoparçacık sentezleme, nanoparçacık karakterizasyonu, nanoteknoloji ve çevresel etkiler, nanoteknoloji ve sağlık” anahtar kelimeleri yazılarak Google akademik veri tabanı “makaleler”de rastgele seçilen ilk 50 adet bilimsel nitelikte araştırma sonuçlarından elde edilen özet bilgiler Çizelge 4.4’te sunulmaktadır. Bu çizelgede, tarama sonucunda elde edilen çalışmaların yayın yılı, araştırmacıları, yapılan çalışmanın araştırma alanı, yapılan çalışmalarda kullanılan sentezleme yöntemleri ve karakterizasyon teknikleri, çalışmada araştırılan madde ve çalışmanın kısa bir özeti yer almaktadır.

Çizelge 4.4. 2016-2021 yılları arasında “nanoparticle synthesis, characterization, nanotechnology and environmental effects, nanotechnology and health” anahtar kelimeleri kullanılarak, rastgele seçilen ilk 50 adet bilimsel nitelikli çalışmanın özet bilgileri

Yıl	Yazarlar	Araştırma Alanı	Sentez Yöntemi Karakterizasyon Tekniği	Araştırılan Madde	Araştırma İçeriği
2021	Samrot vd.	Tıp	➤ Sentez: Fiziksel yöntemler (gas-phase deposition, pulsed laser ablation, laser-induced pyrolysis, power ball milling, combustion synthesis), Kimyasal yöntemler (chemical co-precipitation, thermal decomposition, micro-emulsions, hydrothermal synthesis), Biyolojik yöntemler (green synthesis) (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Süperparamanyetik demir oksit NP'ler	➤ Süperparamanyetik demir oksit NP'leri konusunda bugüne kadar yapılan çalışmaların ayrıntılı anlatılması ➤ Süperparamanyetik demir oksit NP'lerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik sentez yöntemleri ile karakterizasyonunun detaylandırılması ➤ Süperparamanyetik demir oksit NP'lerinin ilaç sektörü, kanser tedavisi, doku mühendisliği, ekolojik sisteme olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılmasının açıklanması ve olumsuzluk ortaya çıkarmasındaki sınırlarının tartışılması
2021	Dawadi vd.	Çevre	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Ag NP'ler	➤ Ag NP'leri için kullanılan son sentetik ve karakterizasyon tekniklerinin özetlenmesi ➤ Ag NP'lerinin sağlık ve çevresel yönden çeşitli sektörlerde uygulanması ile ilgili bilgilendirme
2021	Ali vd.	Genel	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Manyetik NP'ler	➤ Manyetik NP'lerin sentez, karakterizasyon ve kompozisyonlarının araştırılması ➤ Manyetik NP'lerin potansiyel uygulamalarının örneklendirilerek tartışılması ➤ Manyetik NP'lerin mevcut zorlukları, sınırları ve gelecekteki beklentileri hakkında bir genel bakış sunulması
2021	Punia vd.	Çevre	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Çeşitli NP'ler	➤ Karbon bazlı, yarı iletken, seramik, polimerik, metal ve nanoferritler gibi manyetik vb. çok sayıda NP'lerin sentez ve karakterizasyon tekniklerinin derleme olarak sunulması ➤ Özellikle son yirmi yılda organik, metalik ve patojenik kirleticilerin sudan başarılı bir şekilde uzaklaştırılması için NP'lerin kullanılmasında kaydedilen mevcut ilerlemenin gözden geçirilmesi ➤ Kirli ve atık su arıtma alanında NP'lerin ve türevlerinin potansiyelinin vurgulanması

Çizelge 4.4'ün devamı

2021	Shi vd.	Genel	➤ Sentez: Chemical reduction, ultrasound assisted method ➤ Karakterizasyon (Genel)	Se NP'ler	➤ Çiftlenimli Polisakkarit-Selenyum NP'lerinin sentez ve karakterizasyonu için kullanılan tekniklerin tanıtılması ➤ Selenyum NP'lerinin biyolojik aktiviteleri ve polisakkaritlerin yapısal faktörlerinin sentetik nanokompozitlerin özellikleri üzerindeki etkisinin sunulması ➤ Çiftlenimli Polisakkarit-Selenyum NP'leri ile ilgili güncel bilgilerin derlenmesi ve geleceğine dair görüşlerin sunulması
2021	Dutta ve Das	Çevre	➤ Sentez: Green synthesis (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Au NP'ler	➤ Au NP'lerini sentezleme yöntemlerinin ve özellikle mikroorganizma ve bitki özütlerinin kullanıldığı yeşil sentezin sunulması ➤ Au NP'lerinin çeşitli alanlardaki uygulamalarının insan ve çevre sağlığı yönünden etkilerinin tartışılması ➤ Au NP'lerinin biyomühendislik sınırlamaları araştırmalarının sunulması
2021	Salama vd.	Ziraat	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Çeşitli NP'ler	➤ Bitkileri sulama sürecindeki gübre kaybı sorununun çözümünde nanoteknolojik yöntemlerin etkinliğinin en son araştırma bulgularının kapsamlı sunulması ➤ NP oluşumları, türleri ve bitkilerde bulaşma yöntemleri ile bunların bitkilerin fizyolojisi ve DNA'sına etkileri üzerine yapılan araştırmaların derlenmesi ➤ Bu bitkileri yiyenler üzerindeki etkilerinin sunulması
2020	Patil ve Chandrasekaran	Ziraat	➤ Sentez: Green chemistry	Biyojenik NP'ler	➤ Bitki temelli metalik NP (biyojenik NP) sentez, karakterizasyon, uygulamalarının ve zorluklarının ayrıntılı sunulması
2020	Kumar vd.	Gıda	➤ Sentez: Green synthesis (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Genel	➤ NP'lerin sentez yöntemleri ile özellikle çevreye karşı toksik olmayan yeşil sentezin sunulması ➤ NP'lerin bakterilerle etkileşimi ve antibakteriyel davranışlarının gıda sektöründe (gıda-nanosensörler, gıda-ambalaj ve gıda katkı maddeleri) uygulamalarının vurgulanması ➤ NP'lerin bakteriyel büyümeyi engelleme mekanizmasının açıklanması

Çizelge 4.4'ün devamı

2020	Shakiba vd.	Ziraat	➤ Sentez: Emulsion evaporation, nanoprecipitation or solvent displacement, ionic gelation, Double emulsion method (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Polimerik NP'ler	➤ Tarımsal ürünler ve çiftlik hayvanları için kullanılan tarımsal kimyasallarda polimerik nanotaşıyıcıların geliştirilmesi ve uygulanması hakkında çevre nanoteknoloji araştırmacılarının bilgilendirilmesi ➤ Özel polimerik nanotaşıyıcıların sentezlenmesi, karakterize edilmesi ve tarımsal uygulamalarda ayarlanması işlemi de kapsayacak şekilde inorganik metal/metaloksit NP'leri için yaygın olarak kullanılanların ötesinde gerekli olacak yöntemlerin tartışılması ➤ Polimerik nanotaşıyıcıların faydalarının, geleneksel (nano olmayan) formülasyonlara kıyasla, verimlilik ve çevresel etkileşimde payı olan fizikokimyasal özellikler ve taşınım yönünden tartışılması ➤ Nanoteknoloji çevre araştırmacılarının, polimerik nanotaşıyıcıların tarımsal gelişimini optimize etmek için malzeme bilimciler, mikrobiyologlar ve tarım bilimciler ile iş birliği yapma fırsatlarının tartışılması
2020	Carofiglio vd.	Tıp	➤ Sentez: Sol-gel, hydrothermal, combustion (yakma) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Çinko oksit (ZnO) NP'ler	➤ Hem nadir toprak hem de geçiş metal elementleri ile katkılanmış ZnO NP'lerinin sentezlenmesinin sunulması ➤ Katkılamanın biyomedikal uygulamalarının (biyolojik ortamda kolloidal ZnO NP'lerin artan biyo-uyumluluğu, kararlılığı, antimikrobiyal aktiviteleri ve kontrast görüntüleme özellikleri gibi) gösterilmesi ➤ Katkılanmış ve katkısız ZnO NP'lerin sonuçlar yönünden kıyaslanarak biyomedikal özelliklerin geliştirilmesindeki ve tasarlanmasındaki öneminin açıklanması ➤ Nanotıp uygulamaları için katkılı ZnO NP'lerin kullanımındaki başarıların sunulması
2020	Jeelani vd.	Genel	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Silika (SiO ₂) NP	➤ Silika NP'lerinin tıp, tarım ve çevresel biyo tehlikeleri azaltma gibi önemli uygulamalarının araştırma sonuçlarının derlemesinin sunulması

Çizelge 4.4'ün devamı

2020	Balaz vd.	Tıp	➤ Sentez: Bio-mechanochemical synthesis (Genel)	Ag NP'ler	➤ Ag NP'leri için mekanokimya (bilyalı öğütme) ve yeşil sentez (bitki özütü) yöntemlerini birleştiren biyo-mekanokimyasal sentez ve diğer sentez yöntemlerinin incelenmesinin sunulması ➤ Ag NP'lerin antimikrobiyal özelliklerini belirlemek için sıklıkla uygulanan yöntemlerin açıklaması
2020	Hofmann vd.	Ziraat	---	Genel	➤ Nanoteknolojinin potansiyel etkilerinin, besin kullanım verimliliğinin artırılması, haşere yönetiminin etkinliğinin iyileştirilmesi, iklim değişikliğinin etkilerinin hafifletilmesi ve tarımsal gıda üretiminin olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması gibi çeşitli sürdürülebilir tarımsal uygulamalarda araştırılması ➤ Tarımda nanoteknolojinin uygulanmasına yönelik engellerin ortadan kaldırılması ve tarım için etkili, güvenli ve kabul edilebilir nanoteknolojiler geliştirilmesi için çözümler önerilmesi
2019	Verma vd.	İlaç	➤ Sentez: Green synthesis	Bitkiler-Metal NP'ler	➤ NP geliştirmede bitkisel yaklaşımın ve nanoteknolojinin gelişmesinde bitki özütlerinin kullanım potansiyelinin tartışılması ➤ Metal ve metal oksit NP sentezlenmesinde bitki özütlerinin kullanılmasının ve yeşil sentezin açıklanması ➤ Yeşil nanoteknolojinin risk unsurları, risk değerlendirmesi, risk yönetimi ve iletişiminin tartışılması
2019	Jeyaraj vd.	Tıp	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Platin (Pt) NP'ler	➤ Platin NP'lerinin sentezi, karakterizasyonu ve biyomedikal uygulamalarının tanımlanması ➤ Platin NP'lerin insan sağlığı üzerindeki fiziksel, kimyasal, biyolojik ve toksikolojik etkilerinin değerlendirilmesi
2019	Khan vd.	Genel	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Çeşitli NP	➤ Farklı formlarda bulunan NP'lerin sentezi, özellikleri ve uygulamaları ve çevresel toksisitelerine ilişkin ayrıntılı bir genel bakış sunulması

Çizelge 4.4'ün devamı

2019	Khanna vd.	İlaç	➤ Sentez: Green synthesis ➤ Karakterizasyon: UV-Vis FTIR, DLS, XPS, XRD, SEM, TEM, AFM, HRTEM ve EDAX	Yosunlar-Metal NP'ler	➤ Geleneksel antibiyotiklerin yerini potansiyel olarak alabilecek antimikrobiyal özelliklere sahip metal NP'lerin sentezi için özellikle Chlorella spp. ve Sargassum spp. yosunlarının kapsamlı bir şekilde araştırılması sonuçlarının sunulması ➤ Yosun aracılı biyo-sentezlenen çeşitli NP'lerin spektroskopik, difraktografik ve mikroskopik teknikler kullanılarak karakterize edilmesinin sunulması ➤ Sentezlenen ve karakterize edilen NP'lerin farklı alanlardaki uygulamaları hakkında mevcut bilgilerin gözden geçirilerek sunulması
2019	He vd.	Gıda-Ziraat	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Biyo-sentezlenmiş NP	➤ Gıda kalitesini ve güvenliğini artırmak, tarımsal ürünün büyümesini ve çevresel koşulları izlemek için nanoteknolojik fırsatların araştırma sonuçlarının değerlendirilmesi ➤ Sürdürülebilir kalkınma için biyo-sentezlenmiş ve biyo-ilhamlı nanomalzemelerin potansiyel uygulamaları ile gıda ve tarım ürünlerinde nanomalzemelerin toksik temelleri ve risk değerlendirmesinin tartışılması
2019	Chhipa	Ziraat	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Ag, Zn, Fe, Ti, P, Mo ve polimer NP'ler	➤ Nanogübre ve nanopestisitlerin tarımda uygulanmasının geleneksel gübreleme ve pestisit kullanımı ile kıyaslandığında sağladığı üstünlüklerin sunulması ➤ Nanomalzeme, nanoformülasyonlar, nanokompozit, nanoemülsiyon ve nanoenkapsülasyon tabanlı tarım araçları gibi çeşitli nanoaletlerin, bitkilere kontrollü bir şekilde besin ve zararlılara toksinler sağlamak için kullanılmasının anlatılması ➤ Nanomalzemelerin gıda güvenliği ve akıllı tarım için nanosensör olarak uygulamalarının öneminin vurgulanması

Çizelge 4.4'ün devamı

2019	Ahmad vd.	Tıp	➤ Sentez: Green synthesis ➤ Karakterizasyon: UV-vis, FTIR, XRD, SEM, TEM	Ag NP'ler	➤ Farklı biyolojik kaynaklı Ag NP'lerin çevre dostu yeşil sentezi, karakterizasyonu ve biyolojik aktiviteleri alanında araştırmaların derleme sunulması
2018	Teimouri vd.	Çevre	➤ Sentez: Green synthesis	Au NP'ler	➤ Au NP'lerin yeşil sentez sürecinde, farklı botanik preparatların kontrollü boyut ve morfolojisini de kapsayacak şekilde farklı biyofiziksel özelliklere sahip olacak şekilde nasıl üretilebileceğinin sunulması ➤ Yeşil sentezle elde edilen Au NP'lerin endüstriyel atık sularda ve böcek öldürücü ajanların içeriğinde bulunan 4-nitrofenol bileşiğini ortadan kaldırma potansiyelinin, etki mekanizmalarının tartışılması
2018	Mohamad vd.	Enerji	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Fulleren- metal, seramik, polimerik NP'ler	➤ NP'ler, sentezleri, karakterizasyonları, ısısal özellikleri ve uygulamaları hakkında genel bilgilendirme sunulması ➤ NP'lerin enerji teknolojisi endüstrisi, tıp, görüntüleme ve çevre uygulamaları dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarının anlatılması
2018	Rajput vd.	Ziraat	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	CuO NP'ler	➤ CuO NP'lerin kültür bitkileri üzerindeki olası tehditlerini araştırma üzerine derleme yapılması ➤ CuO NP'lerin kültür bitkileri üzerindeki tohum çimlenmesini engellemesinin, sürgün ve kök uzunluklarını azaltmasının, fotosentez ve solunum hızını azaltmasının, morfolojik ve enzimatik değişiklikler yoluyla toksik etkilerinin ortaya konulmasının sunulması
2018	Prathna vd.	Çevre	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	---	➤ Evlerde günlük kullanılan suyun arıtılması için nanoteknolojinin uygulanması konusunda gelişmelerin sunulması
2018	Kaul vd.	Sağlık	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	---	➤ Nanoteknolojinin kozmetik ürünlerde kullanılmasının incelenmesi ➤ Kozmetik ürünlerde kullanılan NP'lerin cilde nüfuz etmesinde nanotoksik etkilerinin ve yapılan düzenlemelerin sunulması

Çizelge 4.4'ün devamı

2018	Khan vd.	Genel	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Manyetik demir oksit NP'ler	➤ Manyetik demir oksit NP'lerin sentezi ve karakterizasyonu için çeşitli tekniklerin tartışılması ➤ Manyetik demir oksit NP'lerin sağlık, çevre, tarım, enerji ve endüstriyel alanlarındaki önemli uygulamalarının tartışılması ➤ Manyetik demir oksit NP'lerin verimli kullanımı ve teknolojiadaki uygulamaları açısından gelecekteki araştırmalara yönelik önerilerin sunulması
2018	Barkat vd.	Tıp	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Ag NP'ler	➤ Ag NP'lerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik sentezlenme yaklaşımları ile karakterizasyonunun tartışılması ➤ Ag NP'lerin antimikrobiyal öneminin ve etki mekanizmalarını etkileyen fiziko-kimyasal faktörlerin anlatılması ➤ İnsan hücre ve dokularının Ag NP'lerine maruz kalmasıyla ilgili güvenlik endişesinin tartışılması
2018	Rai vd.	Enerji-Çevre-Ziraat	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	---	➤ NP sentezi için bitkilerin kullanılmasının çevre açısından güvenliği ve ekonomisinin sunulması ➤ Bitkilerden ve bunların özütlerinden elde edilen çeşitli NP'lerin sentezine bağlı olarak insan sağlığını tehdit etmeyen uygulamaların tartışılması ➤ NP'lerin uygulamaları ve NP'leri sentezlemek için bitkilerin kullanılmasının dezavantajları açısından bitki-NP etkileşimlerinin öneminin sunulması ➤ Bitki-NP etkileşim mekanizmasını kullanan nanoteknolojinin çevre, enerji ve tarımla ilgili geleceğine yönelik beklentilerinin tartışılması

Çizelge 4.4'ün devamı

2018	Elmer ve White	Ziraat	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	Metaloidler, metal oksitler, ametaller ve karbon nanomalzemeler-işlevselleştirilmiş dendrimerler, lipozomlar ve kuantum noktaları	➤ Hasta edici etkenleri ortaya kaldırmaya yönelik, bakteriler/mantar öldürücüler olarak metaloid/metal oksit NP'lerin, sağlık yönünden nanogübrelere kullanılması çalışmalarının özetlenmesi ➤ NP'lerin bitki hastalıklarının hızı teşhisinde biyosensör olarak tasarlanması ve kullanılmasının sunulması
2018	Worrall vd.	Ziraat	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	---	➤ Bitkilerdeki hastalık yönetimi için hastalıktan koruyucu olarak tek başına NP'lerin ya da böcek öldürücüler, mantar öldürücüler, istenmeyen bitki öldürücüler ve RNA-interferans moleküller için nanotaşıyıcıların araştırılması ➤ NP temelli ürünlerin tarımsal uygulama ticareti için yetersiz kalmasında etkenlerin sunulması
2017	Din ve Rehan	Genel	➤ Sentez: Green synthesis ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Cu NP'ler	➤ Bakır NP'lerin sentezi, özellikleri, stabilize edici ajanları, morfolojisini etkileyen etkenler ve uygulamaları ile ilgili literatür incelemesi
2017	Prasad vd.	Ziraat	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları ➤ İstatistik bilgilendirme	---	➤ Nanoteknolojinin tarımsal kontrolde gıda güvenliği ve iklim değişikliğinin ortaya koyduğu zorlukları belirlemede kullanılması üzerine yapılan araştırmaların sonuçlarının sunulması ➤ Sürdürülebilir tarımda nanoteknolojik gelişmelerin derlenmesinin sunulması
2017	Duhan vd.	Ziraat	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	---	➤ Hassas tarımda nanoteknolojinin potansiyel kullanımları (bitkilere NP-aracılı malzeme dağıtım, nanoçiçerler, nanokapsüllü gübrelere-pestisitlerin-herbisitlerin bitkilere kesin dozajlı, yavaş ve sürekli salınması, bitki viral hastalıklarının hızlı ve erken tespit edilmesi gibi) ve faydalarının tartışılması ➤ Geleneksel tarımın çeşitli sorunlarının çözümünde modern nanoteknoloji tabanlı araç ve tekniklerin sunulması

Çizelge 4.4'ün devamı

2017	Dasgupta vd.	Çevre	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	---	➤ Nanoteknolojide tarım ve su kalitesi yönetimi için nanomalzemelerin araştırılması ➤ Nanoölçekli taşıyıcılar, nanolignoselülozik malzemeler, kil nanotüpler, fotokataliz, dezenfektanlar, tarımsal atık su arıtımı, nanobarkod teknolojisi, bakteri boyama için kuantum noktaları ve nanobiyosensörler gibi araştırma alanlarının tanıtılması ➤ Nanolignodinamik metalik parçacıklar, fotokataliz, tuzdan arındırma, ağır metallerin uzaklaştırılması ve kablosuz nanosensörleri içeren nanoteknolojik tarım uygulamalarının sunulması
2017	Rodrigues vd.	Gıda	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	---	➤ Sürdürülebilir gıda üretimi için Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği'nden yaklaşık 50 uzmanın oluşturduğu disiplinlerarası bir çalıştayda "nanoteknolojinin umut verici fırsatları ve bilimsel zorlukları" raporuna genel bakışın sunulması ➤ Nanoteknolojinin tarımdan ve gıda tüketimine kadar bilimsel ve mühendislik zorluklarının örneklerinin sunulması
2017	Eleftheriadou vd.	Gıda	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	---	➤ Antimikrobiyal gıda-temas yüzeyleri (ambalajlar), hızlı patojen (kirletici) tespiti için nano-etkin sensörler vb. nanoteknolojik gıda uygulamaları için tasarlanmış nanomalzemelerin kullanımının insan sağlığına ve çevreye yönelik potansiyel risklerinin sunulması ve bu risklerin geliştirilme aşamasında değerlendirilmesi
2017	Mirzaei ve Darroudi	Tıp	➤ Sentez: Green-biological synthesis ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Çinko oksit (ZnO) NP'ler	➤ ZnO NP'lerin yeşil ve biyolojik sentez yöntemleri ile biyomedikal uygulama araştırmalarının özetlenmesi
2017	Singh vd.	Gıda	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	---	➤ Tüketicilere güvenli ve katkısız bir gıda sağlanmasının yanında fonksiyonel özellikleri artırılmış gıdanın tüketici tarafından kabul edilebilirliğini sağlamak üzere NP'lerin gıda endüstrisinde kullanıma potansiyelinin özetlenmesi ➤ Nano-işlenmiş gıda ürünlerine ilişkin güvenlik sorunları hakkında görüşlerin sunulması

Çizelge 4.4'ün devamı

2017	Santhoshkumar vd.	Genel	➤ Sentez: Green synthesis ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Au NP'ler	➤ Bilimsel adı, familyası, yaygın adı, bitki kısımları belirli bitkilerin özütleri ile elde edilen NP'lerin karakterize edilmesi, boyutunun ve şeklinin belirlenmesi ➤ Au NP'lerin biyosentezinden küresel, çubuk, kübik, üçgen gibi farklı şekillerde ve aynı zamanda farklı boyutlarda Au NP'ler elde edilmesi ➤ Au NP'lerin çeşitli alanlardaki çeşitli uygulamalarının ve öneminin tartışılması
2017	Panahi vd.	Tıp	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Nanolipozom	➤ Lipozomların temel fizikokimyasal özellikleri ve sentez yöntemlerinin sunulması yanında gıda nanoteknolojisinde besinlerin, enzimlerin ve gıda antimikrobiyallerinin taşıyıcı araçları olarak kullanımlarının sunulması ➤ Biyotıpta ve klinik uygulamalarda ilaç taşıyıcı ve gen aktarıcı ajanlar olarak uygulamalarının sunulması
2017	Al-Mubaddel vd.	Genel	➤ Yapılan önceki çalışmaların sonuçları	Çeşitli nanoyapılar	➤ Nanoteknolojide artan yatırımlara, nanoyapı tasarımlarının sentez ve karakterizasyonuna ve canlılarda ve çevrede toksik tehlikelerine genel bir bakışın sunulması
2016	Sharma vd.	Genel	➤ Sentez: Organic synthesis, thermal decomposition, microemulsion, hydrothermal techniques ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Demir oksit (Fe ₃ O ₄) NP'ler	➤ Manyetit NP'lerin (Fe₃O₄) korunması ve işlevsel hale getirilmesine özel önem verilerek imal edilen nanoyapılı katalizörler konusunda kaydedilen ilerlemelerin sunulması ➤ Manyetit NP tabanlı katalizörlerin çeşitli birleştirme reaksiyonlarında sentez, karakterizasyon ve uygulamalarının sunulması
2016	Siddiqi ve Husen	Tıp-İlaç	➤ Sentez: Green synthesis ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Pd-Pt NP'ler	➤ Paladyum/Platin NP'lerin bitkilerden ve mikroplardan yeşil sentezi, karakterizasyonu ve katalizör, ilaç, biyosensör, tıbbi tanı ve ilaç geliştirme alanlarındaki uygulamalarının sunulması
2016	Liu vd.	Genel	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Grafen ve Grafen oksitli Ag NP kompozitleri	➤ Grafen ve Grafen oksitli Ag NP kompozitlerinin sentez yöntemleri, özel karakteristikleri ve antibakteriyel özelliklerine ait araştırmaların derlenmesi ➤ Grafen ve Grafen oksitli Ag NP kompozitlerinin öneminin, sınırlamalarının ve gelecekteki araştırmalarının tartışılması

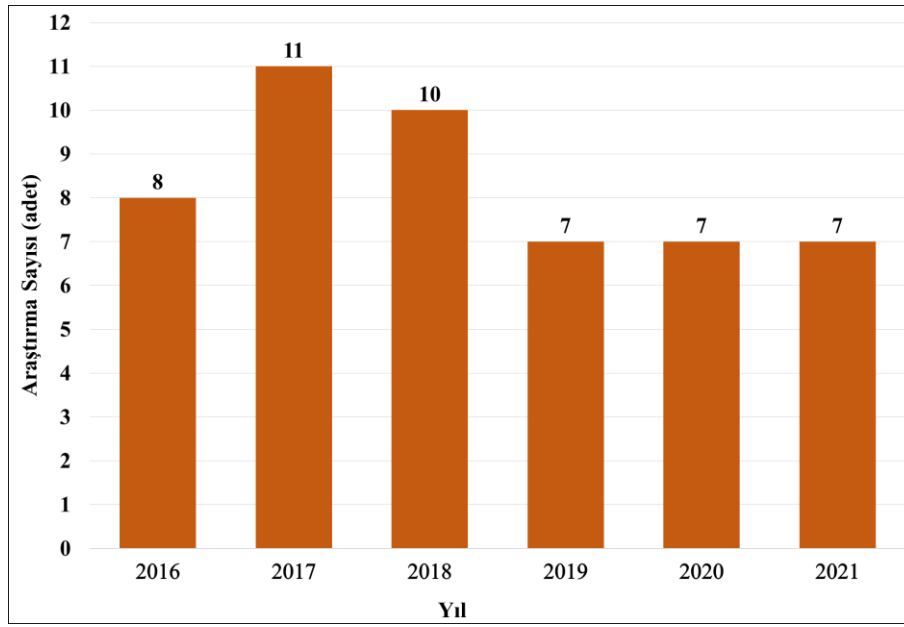
Çizelge 4.4'ün devamı

2016	Leon-Silva vd.	Genel	➤ Sentez: Green synthesis ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Ag NP'ler	➤ Ag NP'lerin ana sentez teknikleri ve özelliklerinin sunulması ➤ Ag NP'lerin insan ve çevre sağlığı üzerindeki potansiyel risklerinin 2016 yılına kadar ISI WOS makalelerinde araştırılması ve elde edilen toksikolojik derecelendirme sonuçlarının nanomalzemelerle ilgili iş sağlığı ve güvenliği konularında faydalı olabilecek bir değerlendirme ve derecelendirme sistemi olarak önerilmesi
2016	Li vd.	Çevre	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Nanoölçek sıfır değerlikli metal	➤ Canlı dokunun içinde ve dışında ağır metallerin, halojenli organik bileşiklerin, polisiklik aromatik hidrokarbonların, besinlerin, radyo elementlerin ve mikroorganizmaların işlenmesinde nanoölçek sıfır değerlikli metal uygulamalarının tartışılması ➤ Nanoölçek sıfır değerlikli metaller için eko-toksikolojik etkiler ve bunların belirlenmesi, modifikasyonu, karakterizasyonu ve uygulamaları ile ilgili araştırma beklentilerinin açıklanması
2016	Zhang vd.	Tıp	➤ Sentez: Green Chemistry Approach (Genel) ➤ Karakterizasyon: UV-Vis Spectroscopy, XRD, DLS, FTIR Spectroscopy, XPS, SEM, TEM, AFM, Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR)	Ag NP'ler	➤ Fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak Ag NP'lerin sentezinin tartışılması ➤ Ag NP'lerin özelliklerinin ve karakterizasyon yöntemlerinin tartışılması ➤ Ag NP'lerin çok işlevli biyo-uygulamalarının tartışılması ➤ Ag NP'lerin kanser tedavisinde kullanıma yaklaşımlarının ve zorluklarının tartışılması ➤ Ag NP'leri ile gelecekte yapılabilecek uygulamaların tartışılması
2016	Ali vd.	Genel	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon: (Genel)	Demir oksit NP	➤ Demir oksit NP'lerin sentezi, karakterizasyonu ve uygulamalarının tartışılması ➤ Biyomühendislik, ticari ve endüstriyel uygulamalar için demir oksit NP'lerin, boyut ve morfoloji kontrolü ile manyetik özelliklerin ayarlanmasına yönelik yöntemlerin özetlenmesi

Çizelge 4.4'ün devamı

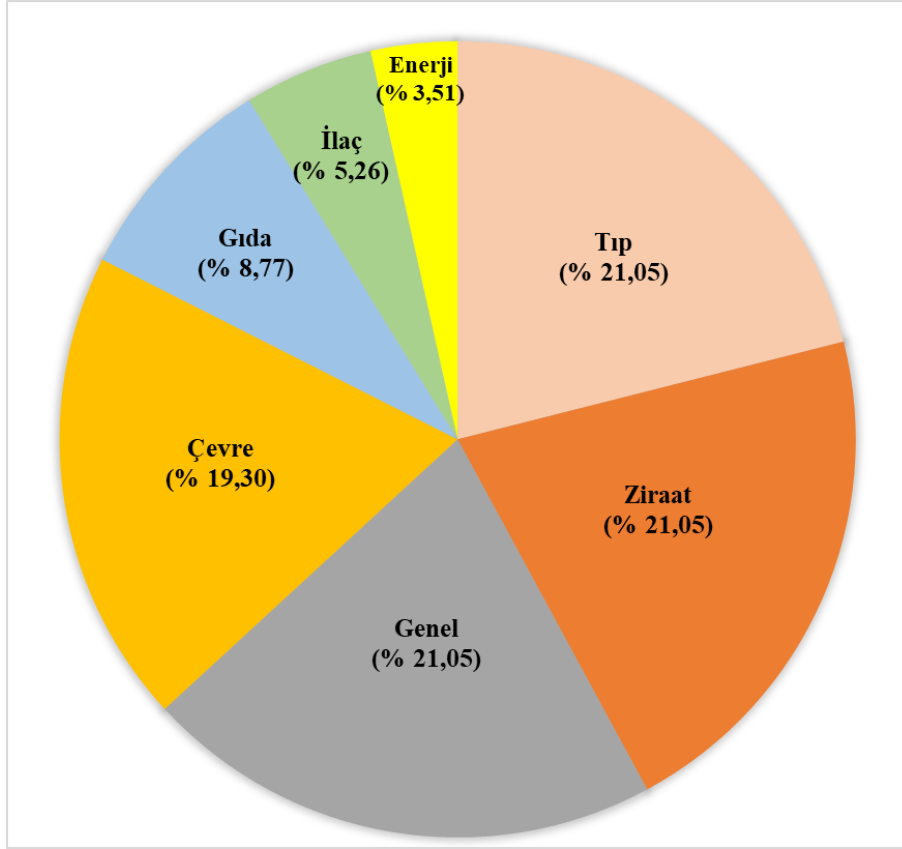
2016	Mukherjee vd.	Çevre	➤ Sentez: (Genel) ➤ Karakterizasyon (Genel)	Sıfır değerlikli demir NP (nZVI)	➤ Nanoteknolojinin beklenmeyen potansiyel riskleri ve sınırlamalarının çevre yönünden tartışılması; memelilerin sinir hücrelerine, suda yaşayan canlılara ve mikroorganizmalara olan toksik etkilerinin özetlenmesi
------	---------------	-------	---	----------------------------------	---

2016-2021 yılları arasında, belirlenen anahtar kelimelerle Google akademik veri tabanı “makaleler”de rastgele seçilen ilk 50 adet bilimsel nitelikli araştırmanın değerlendirilerek, yayınlandığı yıllara göre çalışma sayısına bağlı dağılımı Şekil 4.31’de sunulmaktadır. Değerlendirme sonucunda, 2016 yılında 8 adet, 2017 yılında 11 adet, 2018 yılında 10 adet ve 2019-2021 yıllarında ise 7’şer adet bilimsel nitelikli çalışma sayısı elde edilmiştir.

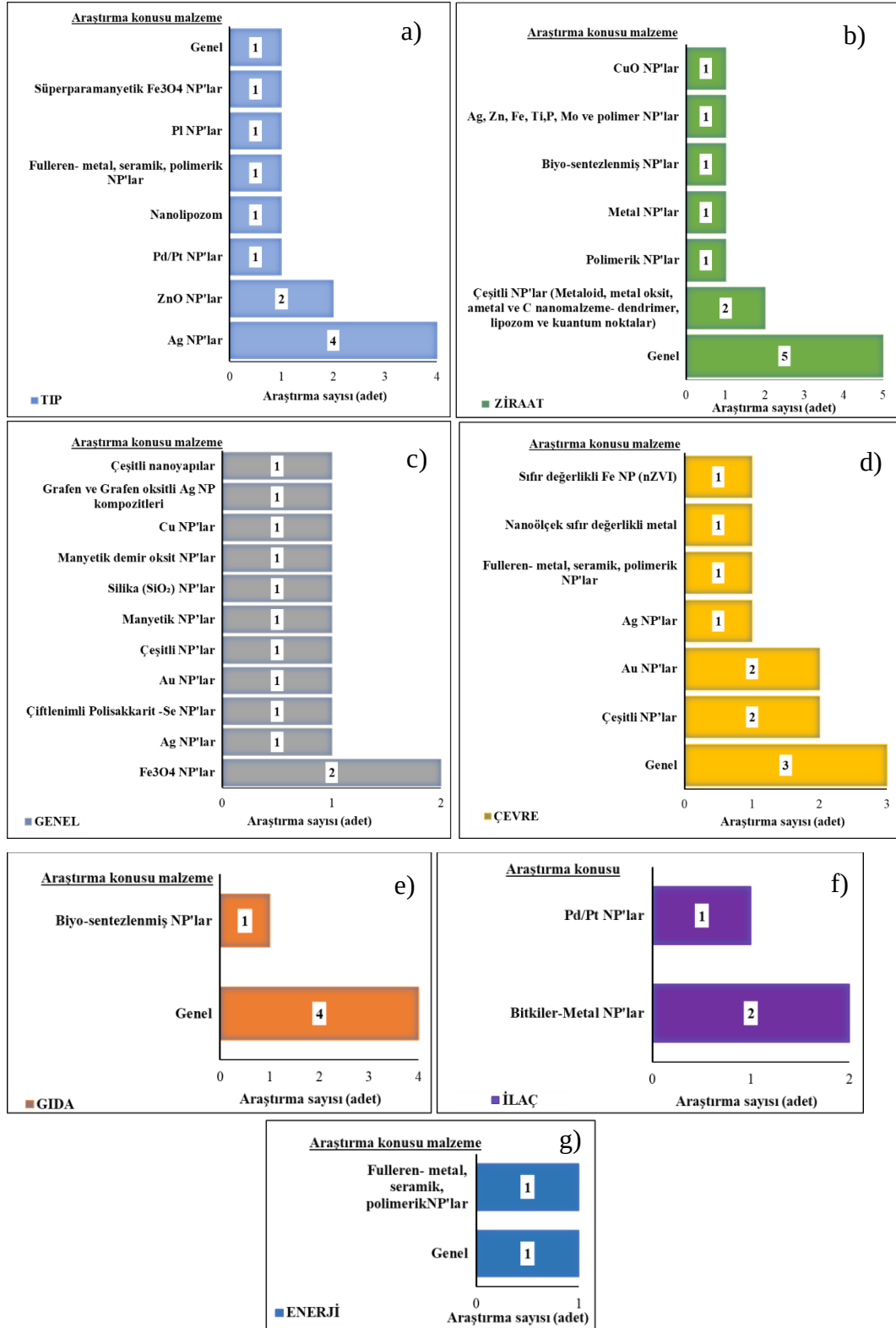


Şekil 4.31. “Nanoparticle synthesis, characterization, nanotechnology and environmental effects, nanotechnology and health” anahtar kelimeleriyle “Google akademik” taramasından rastgele seçilen araştırmaların 2016-2021 yıllara göre dağılımı

Elde edilen çalışmaların, araştırma alanlarına göre araştırma sayı yüzdeleri Şekil 4.32’de sunulmaktadır. Elde edilen verilerden, araştırılan çalışmaların %64,5 luk dilimini eşit olarak tıp, ziraat ve genel araştırma alanları paylaşmaktadır. Geri kalan %19,03’lük dilimi çevre, %8,77’lik dilimi gıda, %5,26’lık dilimi ilaç ve %3,55’lik dilimi enerji araştırma alanları oluşturmaktadır.



Şekil 4.32. “Nanoparticle synthesis, characterization, nanotechnology and environmental effects, nanotechnology and health” anahtar kelimeleriyle 2016-2021 zaman aralığında “Google scholar (Google akademik)” veri tabanı taramasından elde edilen araştırma alanlarına göre araştırma sayı yüzdelerinin dağılımı



Şekil 4.33. “Nanoparticle synthesis, characterization, nanotechnology and environmental effects, nanotechnology and health” anahtar kelimeleriyle 2016-2021 zaman aralığında “Google scholar (Google akademik)” taramasından elde edilen **a)** Tıp, **b)** Ziraat, **c)** Genel, **d)** Çevre, **e)** Gıda, **f)** İlaç, **g)** Enerji araştırma alanlarına göre araştırma konusu malzemelerin dağılımı

Şekil 4.33, taramada rastlanılan araştırma alanlarında, araştırılan malzemelerin dağılımını göstermektedir. Şekil 4.33. a)'da tıp alanında en çok çalışılan malzemelerin Ag ve ZnO gibi metal ve metal oksitler olduğu görülmektedir. Google akademik veri tabanından elde edilen veriler, Şekil 4.33. b)-g) dağılımlarında önceden araştırılmış NP'lerle ve bunların teknolojik sonuçlarıyla ilgili derleme/inceleme çalışmalarına rastlandığını göstermektedir. Rastgele yapılan 50 adet makale taramasında ülkemizde yapılmış hiçbir araştırmaya rastlanmamıştır.

5. SONUÇLAR

Disiplinlerarası bir bilim olan nanobilimin önemi, teknolojik uygulamalarıyla günlük yaşantımızda birçok yerde karşımıza çıkmakta ve nanomalzemelerde ortaya çıkan yeni ve üstün özellikler nedeniyle de önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bilimin hemen her dalını kullanması, endüstriyel ve ticari olarak hemen her sektörde uygulama ve uygulanma alanı bulması ise güncelliğinin korunmasına ve yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Uygulama alanlarının artmasıyla beraber NP'leri sentezleme yöntemleri de önem kazanmıştır. NP'leri sentezlemede Bölüm 2'de anlatıldığı gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Sentezleme yöntemleri sıcaklık, basınç, başlangıç çözeltisi gibi etkenlere bağlı olarak nanoyapıyı değiştirecek etkileri de beraberinde getirir. Bu nedenle amaca en uygun sentezleme yönteminin belirlenmesi gerekir. Bu yöntemlerin iyi bilinmesi, yeni özellikli NP'lerin sentezlenmesinde yeni yöntemlerin oluşturulması ve geliştirilmesini sağlar. Sentezlenen NP'lerin ve oluşturulan nanomateryal ve yapıların karakterize edilmesinde uygulanan tekniklerin önemi de çok büyüktür. Bu tekniklerde, karakterizasyon parametrelerinin belirlenmesi, bilimsel ve teknolojik uygulamaların doğru olarak belirlenmesini sağlar. Numunenin izlenmesi, karakterizasyon parametrelerinin daha iyi anlaşılıp takip edilmesi için cihaz ve yöntem kontrolü çok önemlidir. Eğer bu kontroller yeterli olmaz ya da uygun olmayan bir şekilde yapılırsa, maddenin yapısı bozulur ve önlenemeyecek sonuçlara neden olabilir.

Bu tez çalışmasında, akademik veri tabanlarında yapılan tarama çalışmaları yanında derlenen sonuçlardan da görüldüğü gibi, nanoteknolojide hem sentezleme hem de karakterizasyon teknikleri disiplinlerarası uygulamalarda en fazla araştırılmakta ve amaca uygun olarak artan bir eğilimle geliştirilmektedir. 2016-2021(Mayıs) zaman aralığında WOS veri tabanında yapılan tarama sonucunda ülkeler bazında yapılan yayınların sayısına bakıldığında, ülkemizin, "NP sentezleme", "NP karakterizasyon" ve "nanoteknoloji ve sağlık" araştırmalarında sırasıyla, toplamda 335 yayın sayısı ile 16., 312 yayın sayısı ile 11. ve 127 yayın sayısı ile 25. sırada yer aldığı görülmektedir. Dünya çapında ise en çok araştırma sayısı olan ülkeler Amerika Birleşik Devletleri ve Çin'dir. Ülkemizde, en fazla çalışma multidisipliner malzeme bilimi, nanobilim nanoteknoloji ve farmakoloji eczacılık bilim kategorilerinde yapılırken, dünya çapında en fazla çalışma, kimya, malzeme bilimi ve nanobilim nanoteknoloji bilim kategorilerinde görülmektedir. Ülkemizde ve dünyada nanoteknoloji ve çevresel etkileri konusunda yapılan çalışmaların sayısının azlığı özellikle dikkat çekicidir; 5 yıl 5 ay zaman süresince ülkemizde 12 araştırma sayısı ile çevre bilimleri ilk sırada yer alırken, dünya çapında 1147 araştırma sayısı ile nanobilim nanoteknoloji bilim kategorisinin ilk sıraya yerleştiği görülmektedir. Araştırma sayısının azlığının nedeni olarak özellikle çevresel etkilerin araştırılması konusunda gözlem/izleme ve değerlendirme süreçlerinin uzun sürmesi öngörülebilir. Bilimsel olmayan literatürleri de kapsadığı bilinen fakat çok kolay ulaşılabilir olduğu için sık başvurulmuş Google akademik veri tabanında yapılan taramada rastgele seçilen 50 bilimsel nitelikli makaleden elde edilen yayınların dağılımında derleme çalışmalarının daha fazla olduğu gözlenmiş ve ülkemizde yapılan hiçbir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu veri tabanında en fazla araştırma yapılan alanlar tıp, ziraat ve genel araştırmalar olarak elde edilmiş olup, araştırılan malzeme dağılımında, tıp alanında 4 araştırma sayısı ile antibakteriyel olduğu bilinen Ag NP'lere ve ziraat alanında 5 araştırma sayısı ile birçok araştırmanın sonuçlarını içeren çeşitli NP'lere rastlanmıştır. İçeriği temel ve disiplinlerarası bilimlerde özellikleri araştırılan

nanoyapılar ve nanoparçacıklar olan genel araştırma alanında ise 2 yayın sayısı ile demir oksit NP'ler en fazla araştırma konusu olan malzeme olarak elde edilmiştir.

NP'ler, özellikle uzun süreli ya da yoğun maruz kalındığında doğayı ve sağlığı da olumsuz etkileyebilmekte ve toksik olabilmektedir. Bu tez çalışmasında araştırılan literatürde, NP'lerin çevreyle sürekli etkileşim içerisinde oldukları için tüm canlıları olumlu ve olumsuz sonuçlarıyla etkilediği bildirilmektedir. Toksik etkilerin ne kadar zamanda ve ne yoğunlukta gözlemlenebilir olduğu ya da etkilerinin ortaya çıktığı sonucuyla ilgili birçok çalışma ve araştırma yapılmış olsa da insanlar ve doğa üzerinde ne kadar etkili olduğu konusunda yeterince çalışma bulunmamaktadır. NP'lerin üretildikleri, uygulandıkları ve özellikle canlı ve doğadaki kullanımlarının yaygın olduğu yerlerdeki olumlu ve olumsuz sonuçlarının iyi tespit edilmesi gereklidir. Gerekli inceleme ve tespitler yapıldığı sürece, özellikle tıp, ilaç, tarım ve gıda gibi uygulama alanlarında, ortaya çıkabilecek olumsuz etkileri önleyebilecek, alternatif olabilecek ya da ortadan kaldıracabilecek araştırmaların gelişimi ivmelenebilecektir. Doğal çevrenin olumsuz etkilenebileceği, özellikle teknolojik ve endüstriyel nanoatıklarının oluşturacağı risklere karşı çalışmalar artırılmalı, olumsuz etkileri özellikle vurgulanmalı ve öngörülen gerekli önlemler alınmalıdır. Çağımızda hızla gelişmekte olan nanoteknolojinin günlük yaşamda kendisine çok fazla yer bulması NP'lerle temas etme olasılığını da arttırmaktadır. NP'lerin bu temaslar sonucunda deri, solunum, yeme ve içme yoluyla canlı organizmaya girdiği yapılan çalışmalardan görülmektedir. Günümüzde NP'ler, canlı organizma içinde yerleştiği organ ve etkileşim mekanizmasına bağlı olarak tedavi ya da fayda amaçlı kullanılmaktadır; bunun yanında sağlığı bozucu/tehdit edici olasılıkları beraberinde getirdiğini gösteren ve öngören çalışmalar da literatüre girmiştir. Ayrıca NP'ler doğadaki mikroorganizmalarla etkileşerek de çevreye zarar verebilmektedirler. Toksik etkileri az olan ve doğaya dost nanomateryallerin tercih edilmesi bu nedenle oldukça önem kazanmaktadır; özellikle NP'lerin sentezlenmesinde kimyasalları kullanmak yerine yeşil sentezde olduğu gibi çeşitli doğadan ajanları kullanmak bir çözüm olarak çalışmalarda araştırılmakta ve böylece daha az çevresel toksik atık oluşumu ümit edilmektedir. Atıkların çok iyi korunması, saçılmaması, birikmemesi ve yenilenebilir özellikte olması için çevreci ve ekonomik sistemlerin geliştirilmesinin önemi, nanoteknolojik risk ve araştırma raporlarında önemle vurgulanmaktadır. Amaç, canlı sağlığı ve devamlılığı için gelecek nesillere temiz dünya ve temiz kaynaklar bırakmak, ekolojik dengeyi bozmayacak, yenilenebilir ve sürdürülebilir nanoteknoloji ve uygulamalarını geliştirmektir.

6. KAYNAKLAR

- Abraham, J., Jose, B., Jose, A. and Thomas, S. 2020. Characterization of green nanoparticles from plants. In: Thajuddin, N. and Mathew, S. (Eds), *Phytonanotechnology-Challenges and Prospects-Micro and Nano Technologies*, Elsevier, pp. 21-39.
- Adnan, A. 2010. Application of Nanotechnology in Medicine. *Biotech Articles*. <https://www.biotecharticles.com/Others-Article/Applications-of-Biotechnology-in-Medicine-134.html> [Son erişim tarihi: 30.09.2021].
- Ahmad, S., Munir, S., Zeb, N., Ullah, A., Khan, B., Ali, J., Bilal, M, Omer, M., Alamzeb, M., Salman, S. M. and Ali, S. 2019. Green nanotechnology: A review on green synthesis of silver nanoparticles-An ecofriendly approach. *International journal of nanomedicine*, 14, 5087.
- Akarsu, B. and Akarsu B. 2019. Bilimsel Araştırma Tasarımı: Nicel, Nitel ve Karma Araştırma Yaklaşımları. Cinius Yayınları, İstanbul, pp. 1-31.
- Akguner, Z. P. 2021. Kök Hücre Yüklü İpek Fibroin-Temelli Nanohibrit Kemik Doku İskelelerinin Geliştirilmesi. İstinye Üniversitesi, Kök Hücre ve Doku Mühendisliği Anabilim Dalı, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul, 125 s.
- Akkan, Ç. K. 2009. Diyot Lazer ile Etkileşen Biyolojik Hücrelerin İncelenmesi için Lazer Taramalı Konfokal Mikroskop Dizaynı. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Fizik Anabilim Dalı, Kocaeli, 71 s.
- Al-Mubaddel, F. S., Haider, S., Al-Masry, W. A., Al-Zeghayer, Y., Imran, M., Haider, A. and Ullah, Z. 2017. Engineered nanostructures: A review of their synthesis, characterization and toxic hazard considerations. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S376-S388.
- Ali, A., Hira Zafar, M. Z., ul Haq, I., Phull, A. R., Ali, J. S. and Hussain, A. 2016. Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles. *Nanotechnology, Science and Applications*, 9, 49-67.
- Ali, A., Shah, T., Ullah, R., Zhou, P., Guo, M., Ovais, M., Tan, Z. and Rui, Y. 2021. Review on recent progress in magnetic nanoparticles: Synthesis, characterization, and diverse applications. *Frontiers in Chemistry*, 9, 629054.
- Andreotti F, Mucha, A. P., Caetano, C., Rodrigues, P., Gomes, C. R. and Almeida, C. M. R. 2015. Interactions between salt marsh plants and Cu nanoparticles—effects on metal uptake and phytoremediation processes. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 120, 303-309.
- Anonim1:<https://www.beyincerrahisi.tc/beynimizi-koruyan-onemli-bir-guc-antioksidanlar/> [Son Erişim Tarihi: 12.09.2021].
- Anonymous 1: ISO TR13121 Nanotechnologies-Nanomaterial Risk Evaluation, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:13121:ed-1:v1:en> [Son Erişim Tarihi: 12.09.2021].
- Arıç, E. 2010. Nanoyapıda Çinko Oksit Partiküllerinin Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 53 s.

- Arthur, J. R. 2002. Molecular Beam Epitaxy, *Surface Science*, 500.1-3, 189–217.
- Aslan, İ. 2017. Nanomalzemelerin Risklerinin Değerlendirilmesi. *European Chemical Agency*. <https://docplayer.biz.tr/141308139-Hastane-enfeksiyonlarına-karsi-nano-boyutta-savunma.html> [Son Erişim Tarihi: 14.08.2021].
- Aşık, B. 2012. Ultrasonik sprey proliz (USP) yöntemi ile Nano Yapılı Kurşun Oksit Üretimi ve Karakterizasyonu.Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı , İstanbul,103 s.
- Ateş M. 2018. Nanoparçacıkların Ölçme ve İnceleme Teknikleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11 (1), 63-69.
- Ateş, H., Bahçeci, E. 2015. Nano malzemeler için üretim yöntemleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(2), 483-499.
- Bakkalbasi, N., Bauer, K., Glover, J. and Wang, L. 2006. Three options for citation tracking: Google Scholar, Scopus and Web of Science. *Biomedical digital libraries*, 3(1), 1-8.
- Balaz, M., Bedlovicova, Z., Kovacova, M., Salayova, A. and Balazova, L. 2020. Green and Bio-Mechanochemical Approach to Silver Nanoparticles Synthesis, Characterization and Antibacterial Potential. *Nanostructures for Antimicrobial and Antibiofilm Applications*, 145-183.
- Baran, A. 2021. Gümüş nano malzemelerin çevre dostu, hızlı sentezi ve biomedikal uygulamaları. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(2), 329-336.
- Barkat, M. A., Beg, S., Naim, M. J., Pottoo, F. H., Singh, S. P. and Ahmad, F. J. 2018. Current Progress in Synthesis, Characterization and Applications of Silver Nanoparticles: Precepts and Prospects. *Recent patents on anti-infective drug discovery*, 13(1), 53-69.
- Baykara, T. 2016. Nanoteknolojiler Dünyasına Doğru, 1. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 456 s.
- Bayram, C. 2013. Ortopedik İmplantların Nanoteknolojik Yaklaşımlarla Fonksiyonelleştirilmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı, Ankara,105 s.
- Beykaya, M. and Çağlar, A. 2016. Bitkisel Özütlere Kullanılarak Gümüş-Nanopartikül (AgNP) Sentezlenmesi ve Antimikrobiyal Etkinlikleri Üzerine Bir Araştırma. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 631-641.
- Bhushan, B. 2017. Introduction to Nanotechnology. In: Springer Handbook of Nanotechnology, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1-19.
- Bimova, P., Barbierikova, Z., Grecikova, A., Sípos, R., Skulcova, A. B., Krivjanska, A. and Mackulak, T. 2021. Environmental Risk of Nanomaterials and Nanoparticles and EPR Technique as an Effective Tool to Study Them—A Review. *Environmental Science And Pollution Research*, 1-18.
- Binnig G. and Rohrer H. 1987. Scanning Tunneling Microscopy-From Birth to Adolescence. *Reviews of modern physics*, 59(3), 615.

- Binnig, G., Quate, C. F. and Gerber, C. 1986. Atomic force microscope. *Physical review letters*, 56(9), 930.
- Bromma, K., Cicon, L., Beckham, W., Chithrani, D. B. 2020. Gold nanoparticle mediated radiation response among key cell components of the tumour microenvironment for the advancement of cancer nanotechnology. *Scientific reports*, 10(1), 1-14.
- Brunauer, S., Emmett, P. H. and Teller, E. 1938. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American chemical society*, 60 (2): 309–319.
- Cai, X., Liu, X., Jiang, J., Gao, M., Wang, W., Zheng, H., Li, R. 2020. Molecular mechanisms, characterization methods, and utilities of nanoparticle biotransformation in nanosafety assessments. *Small*, 16(36), 1907663.
- Carofiglio, M., Barui, S., Cauda, V. and Laurenti, M. 2020. Doped zinc oxide nanoparticles: Synthesis, characterization and potential use in nanomedicine. *Applied Sciences*, 10(15), 5194.
- Chen, Y., Liu, N., Cao, Y., Lin, X., Xu, L., Zhang, W., Wei and Feng, Y. F., 2016. Fabrication of Silica Nanospheres Coated Membranes: towards the Effective Separation of Oil-in-Water Emulsion in Extremely Acidic and Concentrated Salty Environments. *Scientific reports*, 6(1), 1-8.
- Chhipa, H. 2019. Applications of nanotechnology in agriculture. *Methods in Microbiology*, 46, 115-142.
- Çatçat Kayım, D. 2014. Atomik Kuvvet Mikroskobu ile Biyomoleküllerin Doğal Ortamlarda Tayini ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı, Ankara, 134 s.
- Dasgupta, N., Ranjan, S. and Ramalingam, C. 2017. Applications of Nanotechnology in Agriculture and Water Quality Management. *Environmental Chemistry Letters*, 15(4), 591-605.
- Dawadi, S., Katuwal, S., Gupta, A., Lamichhane, U., Thapa, R., Jaisi, S., Lamichhane, G., Bhattarai, D. V. and Parajuli, N. 2021. Current research on silver nanoparticles: Synthesis, characterization, and applications. *Journal of Nanomaterials*, 2021, 1-23.
- DeCastro, C. L. and Mitchell, B. S. 2002. Nanoparticles from Mechanical Attrition. In: Baraton, M. I. (Ed.), *Synthesis, Functionalization and Surface Treatment of Nanoparticles*, American Scientific Publishers, pp. 1-15.
- Demirkıran, A. 2019. Nanoteknolojinin Temeli Nano Partiküllerin İnsanlar Üzerindeki Potansiyel Riskleri. *UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2): 1-17.
- Din, M. I. and Rehan, R. 2017. Synthesis, Characterization, and Applications of Copper Nanoparticles. *Analytical Letters*, 50(1), 50-62.
- Doğan, A. ve Çelebi, H. 2011. Gıda Ambalajları ve Nanoteknoloji. *Standard Ekonomik ve Teknik Dergi*, Yıl: 50, Sayı: 588, Mayıs 2011, 83-85.

- Donaldson, K., Poland, C. A. and Schins, R. P. 2010. Possible genotoxic mechanisms of nanoparticles: criteria for improved test strategies. *Nanotoxicology*, 4(4):414-420.
- Duffin, R., Mills, N. L. and Donaldson, K. 2007. Nanoparticles-a thoracic toxicology perspective, *Yonsei Medical Journal*. 48(4), 561-572.
- Duhan, J. S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K. and Duhan, S. 2017. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*, 15, 11-23.
- Dutta, D. and Das, B. M. 2021. Scope of green nanotechnology towards amalgamation of green chemistry for cleaner environment: a review on synthesis and applications of green nanoparticles. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100418.
- Ealias, A. M. and Saravanakumar, M. P. 2017. A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 14th ICSET, IOP Publishing, 263(3), 032019.
- Egger, M. D. and Petran, M. 1967. New reflected-light microscope for viewing unstained brain and ganglion cells. *Science*, 157(3786), 305-307.
- Elechiguerra, J. L., Burt, J. L., Morones, J. R., Camacho-Bragado, A., Gao, X., Lara, H. H. and Yacaman, M. J. 2005. Interaction of silver nanoparticles with HIV-1. *Journal of nanobiotechnology*, 3 (1), 1-10.
- Eleftheriadou, M., Pyrgiotakis, G. and Demokritou, P. 2017. Nanotechnology to the rescue: using nano-enabled approaches in microbiological food safety and quality. *Current opinion in biotechnology*, 44, 87-93.
- Elmer, W. and White, J. C. 2018. The future of nanotechnology in plant pathology. *Annual review of phytopathology*, 56, 111-133.
- Erkoç, Ş. 2007. Nanobilim ve nanoteknoloji. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, 208 s.
- Ersöz, M., Sulak, M., Bersani, M., Işıtan, A., Balaban, A., Yakar, Z., Ünlü, C. G., Onar, V. 2016. Nanoteknoloji 2: Karakterizasyon ve Uygulamalar. Proje no: 2016-1-TR01-KA2030034520.
- Evcin, A. 2020. Nanomalzemelerin Karakterizasyonu. <http://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2020/11/6-Nanomalzemelerin-karakterizasyonu.pdf> [Son Erişim Tarihi: 14.08.2021].
- Fan, Z., Zhang, L., Baumann, D., Mei, L., Yao, Y., Duan, X., Duan, X. 2019. In situ transmission electron microscopy for energy materials and devices. *Advanced Materials*, 31(33), 1900608.
- Feynman, R. P., Robbins, J. and Dyson, F. J. 1999. The pleasure of finding things out: The best short works of Richard P. Feynman. Cambridge, MA, Helix/Perseus, 290 p.
- Findik, F. 2021. Nanomaterials and their applications. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 9 (3), 62-75.

- Geys, J., Nemmar, A., Verbeken, E., Smolders, E., Ratoi, M., Hoylaerts, M. F., Nemery, B. and Hoet, P. H. M. 2008. Acute toxicity and prothrombotic effects of quantum dots: impact of surface charge, *Environmental health perspectives*, 116(12), 1607-1613.
- Godale C. H. and Sharon, M. 2019. Contemporary History of Nanotechnology. In: Sharon, M. (Ed.), *History of Nanotechnology: From Prehistoric to Modern Times*. John Wiley and Sons, pp. 213-270.
- Godfrey, I. J., Dent, A. J., Parkin, I. P., Maenosono, S. and Sankar, G. 2017. Structure of gold-silver nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C*, 121(3), 1957-1963
- Gurav, A., Kodas, T., Pluym, T. and Xiong, Y. 1993. Aerosol Processing of Materials, *Aerosol science and technology*, 19(4), 411-452.
- Gürmen, S., Ebin, B., ve İTÜ., M. 2008. Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri 1. *Metalurji Dergisi*, 150, 31-38.
- Hanaor, D. A., Ghadiri, M., Chrzanowski, W. and Gan, Y. 2014. Scalable surface area characterization by electrokinetic analysis of complex anion adsorption. *Langmuir*, 30(50), 15143-15152.
- He, X., Deng, H. and Hwang, H. M. 2019. The current application of nanotechnology in food and agriculture. *Journal of food and drug analysis*, 27(1), 1-21.
- Hofmann, T., Lowry, G. V., Ghoshal, S., Tufenkji, N., Brambilla, D., Dutcher, J. R., Gilbertson, L. M., Giraldo, J. P., Kinsella, J. M., Landry, M. P., Lovell, W., Naccache, R., Paret, M., Pedersen, J. A., Unrine, J. M., White, J. C. and Wilkinson, K. J. 2020. Technology readiness and overcoming barriers to sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture. *Nature Food*, 1(7), 416-425.
- Hulla, J., Sahu, S. and Hayes, A. 2015. Nanotechnology: history and future. *Human and Experimental Toxicology*, 34 (12): 1318-1321.
- İnce, B. 2021. Metilen Mavisi için Yüksek Verimli Bir Fe₃O₄/MWCNT Nanokatalizinin Sonokatalitik Analizinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep, 50 s.
- Jeelani, P. G., Mulay, P., Venkat, R. and Ramalingam, C. 2020. Multifaceted application of silica nanoparticles. A review. *Silicon*, 12(6), 1337-1354.
- Jeyaraj, M., Gurunathan, S., Qasim, M., Kang, M. H. and Kim, J. H. 2019. A comprehensive review on the synthesis, characterization, and biomedical application of platinum nanoparticles. *Nanomaterials*, 9(12), 1719.
- Kamacı, Y. 2019. Etkili Yanma Yöntemiyle Metal Oksit Nanopartiküllerin Sentezi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 65 s.
- Kaplan, B. Y. 2021. Polimer Elektrolit Membranlı (PEM) Yakıt Pilleri için İndirgenmiş Grafen Oksit-Karbon Nanofiber Hibrit Destekli Platin Elektrokatalizörlerinin Geliştirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(2), 365-378.

- Karaçam, R. 2020. Bi₂S₃@Fe₃O₄ Nano Kompozitlerin Üretilmesi, Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programı, Kırklareli, 83 s.
- Karasozen, B., Bayram, O. and Zan, B. U. 2011. Comparison of the WOS and Scopus Database. *Turk Kutuphaneciligi*, 25(2), 238-260.
- Kaul, S., Gulati, N., Verma, D., Mukherjee, S. and Nagaich, U. 2018. Role of nanotechnology in cosmeceuticals: a review of recent advances. *Journal of pharmaceutics*, 2018, 1-19.
- Kayacan, O. 2008. Akıllı Giysi Dizaynı Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 232 s.
- Khan, I., Khalil, A., Khanday, F., Shemsi, A. M., Qurashi, A. and Siddiqui, K. S. 2018. Synthesis, characterization and applications of magnetic iron oxide nanostructures. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(1), 43-61.
- Khan, I., Saeed, K., Khan, I. 2019. Nanoparticles: Properties, Applications and Toxicities. *Arabian Journal Of Chemistry*, 12(7), 908-931.
- Khanna, P., Kaur, A. and Goyal, D. 2019. Algae-based metallic nanoparticles: Synthesis, characterization and applications. *Journal of microbiological methods*, 163, 105656.
- Kılıç, G. B. ve Karahan, A. G. 2010. Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy and its usage in identification of lactic acid bacteria. *GIDA-Journal of Food*, 35(6), 445-452.
- Kiio, T. M., Park, S. 2020. Nano-scientific application of atomic force microscopy in pathology: from molecules to tissues. *International journal of medical sciences*, 17(7), 844.
- Kiio, T., Weiss, C., Carriere, M., Fusco, L., Capua, I., Regla-Nava, J. A., Pasquali, M., Delogu, L. G. 2020. Toward nanotechnology-enabled approaches against the COVID-19 pandemic. *ACS nano*, 14(6), 6383-6406.
- Kim, N. K. and Kim, S. G., 2004. Nickel particles prepared from nickel nitrate with and without urea by spray pyrolysis, *Powder Technology*, 145, 155-162.
- Kumar, P., Mahajan, P., Kaur, R. and Gautam, S. 2020. Nanotechnology and its challenges in the food sector: A review. *Materials Today Chemistry*, 17, 100332.
- Kunt, G. 2019. Tarım Makineleri Tasarımı ve İmalatında Katmanlı İmalat Teknolojilerinin Kullanılabilirliği ve Adaptasyonu Üzerine Bir Araştırma: Plastik Malzeme Esaslı Bazı Bağlantı Elemanlarında Hızlı Prototipleme Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya, 178 s.
- Leon-Silva, S., Fernandez-Luqueno, F. and Lopez-Valdez, F. 2016. Silver nanoparticles (AgNP) in the environment: a review of potential risks on human and environmental health. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(9), 1-20.

- Li, J., Johnson, G., Zhang, S., Su, D. 2019. In Situ Transmission Electron Microscopy For Energy Applications. *Joule*, 3(1), 4-8.
- Li, L., Hu, J., Shi, X., Fan, M., Luo, J. and Wei, X. 2016. Nanoscale zero-valent metals: a review of synthesis, characterization, and applications to environmental remediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(18), 17880-17900.
- Liu, H., Zhong, L., Yun, K. and Samal, M. 2016. Synthesis, characterization, and antibacterial properties of silver nanoparticles-graphene and graphene oxide composites. *Biotechnology and bioprocess engineering*, 21(1), 1-18.
- Loos, M. 2015. Nanoscience and nanotechnology. In: Carbon Nanotube Reinforced Composites: CNT Polymer Science and Technology, William Andrew Publishing, Oxford, pp. 1-36.
- Luo, H., Xiang, Y., Zhao, Y., Li, Y., Pan, X. 2020. Nanoscale infrared, thermal and mechanical properties of aged microplastics revealed by an atomic force microscopy coupled with infrared spectroscopy (AFM-IR) technique. *Science of The Total Environment*, 744, 140944.
- Luther, W. 2006. International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology. [http://pf-mh.uvt.rnu.tn/455/2/International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology.pdf](http://pf-mh.uvt.rnu.tn/455/2/International%20Strategy%20and%20Foresight%20Report%20on%20Nanoscience%20and%20Nanotechnology.pdf) [Son erişim tarihi:08.07.2021].
- Malakar, A., Kanel, S. R., Ray, C., Snow, D. D., Nadagouda, M. N. 2020. Nanomaterials in the environment, human exposure pathway, and health effects: A review. *Science of the Total Environment*, 143470.
- Mansoori, G. A. and Soelaiman, T. F. 2005. Nanotechnology-an introduction for the standards community. *Journal of ASTM International*, 2(6), 1-22.
- Markus, W. 2007. Nanoparticles Process Technology. http://www.uniduisburg-essen.de/ivg/nano/synthesis_nppt.shtml [Son erişim tarihi 29. 12. 2020].
- Mcclements, J. and Mcclements, D. J. 2016. standardization of nanoparticle characterization: methods for testing properties, stability, and functionality of edible nanoparticles. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(8), 1334-1362.
- Menceloğlu, Y. Z. ve Kırca, M. B. 2008. Nanoteknoloji ve Türkiye, TÜSİAD, Yayın No – T/2008-11/474.
- Messing, G., Zhang, S. and Jayanthi, G., 1993. Ceramic Powder Synthesis by Spray Pyrolysis, *Journal of American Ceramic Society*, 76, 2707 – 2726.
- Miernicki, M., Hofmann, T., Eisenberger, I., von der Kammer, F. and Praetorius, A. 2019. Legal and practical challenges in classifying nanomaterials according to regulatory definitions. *Nature Nanotechnology*, 14(3), 208-216.
- Mirzaei, H. and Darroudi, M. 2017. Zinc oxide nanoparticles: Biological synthesis and biomedical applications. *Ceramics International*, 43(1), 907-914.
- Mohamad, A. T., Kaur, J., Sidik, N. A. C. and Rahman, S. 2018. Nanoparticles: A review on their synthesis, characterization and physicochemical properties for

- energy technology industry. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 46(1), 1-10.
- Mondal, S. 2020. Potential of nanotechnology for rural applications. *Arabian Journal for Science And Engineering*, 45(7), 5011-5042.
- Mongillo, J. F. 2007. What is Nanotechnology. In: *Nanotechnology 101, ABC-CLIO*, pp. 1-28.
- Moore, M. N. 2006. Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment. *Environmental International*, 32(8), 967-976.
- Mukherjee, R., Kumar, R., Sinha, A., Lama, Y. and Saha, A. K. 2016. A review on synthesis, characterization, and applications of nano zero valent iron (nZVI) for environmental remediation. *Critical reviews in environmental science and technology*, 46(5), 443-466.
- Mwafy, E. A., Hasanin, M. S. and Mostafa, A. M. 2019. Cadmium oxide/TEMPO-oxidized cellulose nanocomposites produced by pulsed laser ablation in liquid environment: synthesis, characterization, and antimicrobial activity. *Optics & Laser Technology*, 120, 105744.
- Nasrollahzadeh, M. and Sajadi, S. M. 2019. Risks of Nanotechnology to Human Life. In: *Interface Science and Technology*, Vol. 28, Elsevier, pp. 323-336.
- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Sajjadi, M., Issaabadi, Z. 2019. An Introduction to Nanotechnology. In: *Interface Science and Technology*, Vol. 28, Elsevier, pp. 1-27.
- Nielsen, E. 2008. Report to the Consumer Council of Canada. *Nanotechnology and its impact on consumers*, Consumers Council of Canada, 104 p.
- Nikalje, A.P. 2015. Nanotechnology and its applications in medicine. *Medicinal Chemistry* 5(2), 81-89.
- Nimesh, S. 2013. Gene Therapy: potential application of nanotechnology, Elsevier, 353 p.
- Noruzi, M. 2015. Biosynthesis of gold nanoparticles using plant extracts. *Bioprocess and biosystems engineering*, 38(1), 1-14.
- Özbudak, A. S. 2021. Bor nitrür-karbon nanotüp yapılarının sentezi, karakterizasyonu ve hidrojen depolamada kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir, 69 s.
- Özgüz, V. H. 2019. Sağlıkta Nanoteknolojinin Önemi. *Sağlık düşüncesi ve Tıp Kültürü Dergisi*, 50,20-23.
- Özkaleli M., Erdem, A. 2016. Nanoatıklar ve Çevre: Atık Yönetiminde Yeni Bir Yaklaşım, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(3),183-188.
- Öztürk, B. Y. 2019. Intracellular and extracellular green synthesis of silver nanoparticles using *Desmodium sp.*: their antibacterial and antifungal effects. *Caryol. Int. J. Cytol. Cytosystem. Cytogenet*, 72, 29-43.

- Panahi, Y., Farshbaf, M., Mohammadhosseini, M., Mirahadi, M., Khalilov, R., Saghi, S. and Akbarzadeh, A. 2017. Recent advances on liposomal nanoparticles: synthesis, characterization and biomedical applications. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 45(4), 788-799.
- Pande, K., Hutchison, C. D. M., Groenhof, G., Aquila, A., Robinson, J. S., Tenboer, J., Shibom Basu, S., Boutet, S., DePonte, D. P., Liang, M., White, T. A., Zatsepin, N. A., Yefanov, O., Morozov, D., Oberthuer, D., Gati, C., Subramanian, G., James, D., Zhao, Y., Koralek, J., Brayshaw, J., Kupitz, C., Conrad, C., Roy-Chowdhury, S., Coe, J. D., Metz, M., Xavier, P. L., Grant, T. D., Koglin, J. E., Ketawala, G., Fromme, R., Srajer, V., Henning, R., Spence, J. C. H., Ourmazd, A., Schwander, P., Weierstall, U., Frank, M., Fromme, P., Barty, A., Chapman, H. N., Moffat, K., Jasper J. van Thor, J. J. and Schmidt, M. 2016. Femtosecond structural dynamics drives the trans/cis isomerization in photoactive yellow protein. *Science*, 352(6286), 725-729.
- Patil, S. and Chandrasekaran, R. 2020. Biogenic nanoparticles: A comprehensive perspective in synthesis, characterization, application and its challenges. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 18(1), 1-23.
- Pfuhler, S., Elespuru, R., Aardema, M. J., Doak, S. H., Donner, E. M., Honma, M., Kirsch-Volders, M., Landsiedel, R., Manjanatha, M., Singer, T., and James H. Kim, J. H. 2013. Genotoxicity of nanomaterials: refining strategies and tests for hazard identification. *Environmental and molecular mutagenesis*, 54 (4): 229-239.
- Pico, Y., Alfarhan, A. and Barcelo, D. 2019. Nano-and microplastic analysis: Focus on their occurrence in freshwater ecosystems and remediation technologies. *TrAc Trends in Analytical Chemistry*, 113, 409-425.
- Prasad, R., Bhattacharyya, A. and Nguyen, Q. D. 2017. Nanotechnology in sustainable agriculture: recent developments, challenges, and perspectives. *Frontiers in microbiology*, 8, 1014.
- Prathna, T. C., Sharma, S. K. and Kennedy, M. 2018. Nanoparticles in household level water treatment: an overview. *Separation and Purification Technology*, 199, 260-270.
- Punia, P., Bharti, M. K., Chalia, S., Dhar, R., Ravelo, B., Thakur, P. and Thakur, A. 2021. Recent advances in synthesis, characterization, and applications of nanoparticles for contaminated water treatment-a review. *Ceramics International*, 47(2), 1526-1550.
- Rai, P. K., Kumar, V., Lee, S., Raza, N., Kim, K. H., Ok, Y. S. and Tsang, D. C. 2018. Nanoparticle-plant interaction: Implications in energy, environment, and agriculture. *Environment international*, 119, 1-19.
- Rajput, V. D., Minkina, T., Suskova, S., Mandzhieva, S., Tsitsuashvili, V., Chaplgin, V. and Fedorenko, A. 2018. Effects of copper nanoparticles (CuO NPs) on crop plants: a mini review. *BioNanoScience*, 8(1), 36-42.
- Ravichandran, R. 2010. Nanotechnology Applications in Food and Food Processing: Innovative Green Approaches, Opportunities and Uncertainties for Global

- Market, *International Journal of Green Nanotechnology: Physics and Chemistry*, 1(2), P72-P96.
- Roco, M. C., Williams, R. S. and Alivisatos, P. 1999. *Nanotechnology research directions: IWGN workshop report. Vision for nanotechnology R&D in the next decade*. National Science and Technology Council Arlington VA., WTEC, Loyola College in Maryland, 260 p.
- Roco, M. C. 2004. Nanoscale science and engineering: unifying and transforming tools. *AIChE Journal*, 50(5), 890-897.
- Rodrigues, S. M., Demokritou, P., Dokoozlian, N., Hendren, C. O., Karn, B., Mauter, M. S., Sadik, O. A., Safarpour, M., Unrine, J. M., Viers, J., Welle, P., White, J. C., Wiesner, M. R. and Lowry, G. V. 2017. Nanotechnology for sustainable food production: promising opportunities and scientific challenges. *Environmental Science: Nano*, 4(4), 767-781.
- Ronavari, A., Igaz, N., Adamecz, D. I., Szerencses, B., Molnar, C., Konya, Z., Pfeiffer, I. and Kiricsi, M. 2021. Green silver and gold nanoparticles: Biological synthesis approaches and potentials for biomedical applications. *Molecules*, 26(4), 844.
- Rouzaud, J. N. and Clinard, C. 2002. Quantitative high-resolution transmission electron microscopy: a promising tool for carbon materials characterization. *Fuel Processing Technology*, 77, 229-235.
- Salama, D. M., Abd El-Aziz, M. E., Rizk, F. A. and Abd Elwahed, M. S. A. 2021. Applications of nanotechnology on vegetable crops. *Chemosphere*, 266, 129026.
- Saleem, H. and Zaidi, S. J. 2020. Sustainable use of nanomaterials in textiles and their environmental impact. *Materials*, 13(22), 5134.
- Samrot, A. V., Sahithya, C. S., Selvarani, J., Purayil, S. K. and Ponnaiah, P. 2021. A review on synthesis, characterization and potential biological applications of superparamagnetic iron oxide nanoparticles. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100042.
- Santhoshkumar, J., Rajeshkumar, S. and Kumar, S. V. 2017. Phyto-assisted synthesis, characterization and applications of gold nanoparticles—A review. *Biochemistry and biophysics reports*, 11, 46-57.
- Sarı, Z. B. 2021. Lazer Taramalı Konfokal Mikroskopun Prensipleri ve Tıpta Kullanım Alanları. *Akdeniz Tıp Dergisi*, 7(3), 457-462.
- Sarıbuğa, S. 2014. Manyetik Nanopartiküllerin Analitik İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Kimya Programı, İstanbul, 97 s.
- Sarıgül, H., Özçeşmeci, M., Sorar, İ. 2021. Sol-Jel Yöntemiyle Hazırlanan Kobalt Ftalosiyanın Katkılı TiO₂ Filmlerin Optik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 8(1), 299-308.
- Saygılı, Y., Yüzbaşıoğlu, D., Ünal, F. 2021. Metal Oksit Nanopartiküllerin Genotoksik Etkileri. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33(3), 429-443.

- Schaefer, H. E. 2010. Nanoscience: the science of the small in physics, engineering, chemistry, biology and medicine. Springer, 772 p.
- Schwartz, L. H. and Cohen, J. B. 1987. Crystal Symmetry and the Diffraction Pattern. In: Diffraction from Materials. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 238-280.
- Shakiba, S., Astete, C. E., Paudel, S., Sabliov, C. M., Rodrigues, D. F. and Louie, S. M. 2020. Emerging investigator series: polymeric nanocarriers for agricultural applications: synthesis, characterization, and environmental and biological interactions. *Environmental Science: Nano*, 7(1), 37-67.
- Shankar, P. D., Shobana, S., Karuppusamy, I., Pugazhendhi, A., Ramkumar, V. S., Arvindnarayan, S. and Kumar, G. 2016. A review on the biosynthesis of metallic nanoparticles (gold and silver) using bio-components of microalgae: Formation mechanism and applications. *Enzyme and Microbial Technology*, 95, 28-44.
- Sharma, R. K., Dutta, S., Sharma, S., Zboril, R., Varma, R. S. and Gawande, M. B. 2016. Fe₃O₄ (iron oxide)-supported nanocatalysts: synthesis, characterization and applications in coupling reactions. *Green Chemistry*, 18(11), 3184-3209.
- Sheny, D. S., Mathew, J. and Philip, D. 2011. Phytosynthesis of Au, Ag and Au–Ag bimetallic nanoparticles using aqueous extract and dried leaf of *Anacardium occidentale*. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 79(1), 254-262.
- Shi, X. D., Tian, Y. Q., Wu, J. L. and Wang, S. Y. 2021. Synthesis, characterization, and biological activity of selenium nanoparticles conjugated with polysaccharides. *Critical reviews in food science and nutrition*, 61(13), 2225-2236.
- Shibata, N., Saitoh, T., Tadokoro, Y. and Okawa, Y. 2009. The cell wall galactomannan antigen from *Malassezia furfur* and *Malassezia pachydermatis* contains β -1, 6-linked linear galactofuranosyl residues and its detection has diagnostic potential. *Microbiology*, 155(10), 3420-3429.
- Siddiqi, K. S. and Husen, A. 2016. Green synthesis, characterization and uses of palladium/platinum nanoparticles. *Nanoscale research letters*, 11(1), 1-13.
- Sim, S., and Wong, N. K. 2021. Nanotechnology and its use in imaging and drug delivery. *Biomedical reports*, 14(5), 1-9.
- Singh, A., and Prasad, S. M. 2017. Nanotechnology and its role in agro-ecosystem: a strategic perspective. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(10), 2277-2300.
- Singh, T., Shukla, S., Kumar, P., Wahla, V., Bajpai, V. K. and Rather, I. A. 2017. Application of nanotechnology in food science: perception and overview. *Frontiers in microbiology*, 8, 1501.
- Skoog, D. A., Holler, F. J. and Nieman, T. A. 1997. Principles of Instrumental Analysis. 5th Edition, Brooks Cole, 849 p.
- Sullivan, G. L., Delgado-Gallardo, J., Watson, T. M. and Sarp, S. 2021. An investigation into the leaching of micro and nano particles and chemical pollutants from disposable face masks-linked to the COVID-19 pandemic. *Water Research*, 196, 117033.

- Syed, S., Zubair, A., Frieri, M. 2013. Immune response to nanomaterials: Implications for Medicine and Literature Review. *Current Allergy Asthm Report*. 13 (1): 50-57.
- Svendsen, C., Walker, L. A., Matzke, M., Lahive, E., Harrison, S., Crossley, A., Spurgeon, D. J. 2020. Key principles and operational practices for improved nanotechnology environmental exposure assessment. *Nature Nanotechnology*, 15(9), 731-742.
- Taşkonak, B. 2021. Hiperisin Yüklü Kitosan Nanopartiküllerin A549 Akciğer Kanseri Hücrelerinde Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara, 84 s.
- Teimouri, M., Khosravi-Nejad, F., Attar, F., Saboury, A. A., Kostova, I., Benelli, G. and Falahati, M. 2018. Gold nanoparticles fabrication by plant extracts: synthesis, characterization, degradation of 4-nitrophenol from industrial wastewater, and insecticidal activity—a review. *Journal of Cleaner Production*, 184, 740-753.
- Thangadurai, D., Sangeetha, J., Prasad, R. 2020. *Nanotechnology for food, agriculture, and environment*. Springer International Publishing, 393 p.
- Titus, D., Samuel, E. J. J. and Roopan, S. M. 2019. Nanoparticle Characterization Techniques. In: Shukla, A. K. and Iravani, S. (Eds.). *Green Synthesis, Characterization And Applications of Nanoparticles*, Elsevier, pp. 303-319.
- Toparlı, Ç. 2013. FeNiCo Alaşım Nano Partiküllerinin Ultrasonik Sprey Piroliz ve Hidrojen Redüksiyonu (usp-hr) Tekniği ile Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, İstanbul, 93 s.
- Tsai, S. C., Song, Y. L. Tsai, C. S., Yang, C. C., Chiu, W. Y. and Lin, H. M., 2004. Ultrasonic spray pyrolysis for nanoparticles synthesis, *Journal of materials science*, 39(11), 3647-3657.
- Tsekhmistrenko, O. S., Bityutskyy, V. S., Tsekhmistrenko, S. I., Kharchishin, V. M., Melnichenko, O. M., Rozputnyy, O. I., Malina, V. V., Prysiazhniuk, N. M., Melnichenko, Y. O., Vered, P. I., Shulko, O. P. and Onyshchenko, L. S. 2020. Nanotechnologies and environment: A review of pros and cons. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(3), 162-172.
- Tüylek Z. 2018. Nanoteknolojinin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Riskleri. *Kilis 7 Aralık Fen ve Mühendislik Dergisi*. 2 (2), 1-12.
- Ucar, A., Koçak, Y. ve Dorum, A. 2010. Çimento Sektöründe Zeta Potansiyel. *e-Journal of New World Sciences Academy, Technological Applied Sciences*, 2A0058, 5 (3), 308-318.
- Ünşar, E. K. ve Perendeci, N. A. 2016. Nanopartiküllerin Çevresel Akıbetleri ve Anaerobik Parçalanma Prosesine Etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 503-512.
- Vandana, N. L. N., and Sen, P. 2005. Micro-and nanostructure evolution with exploding wires. *MRS Online Proceedings Library (OPL)* 903, z05-32.

- Verma, A., Gautam, S. P., Bansal, K. K., Prabhakar, N. and Rosenholm, J. M. 2019. Green nanotechnology: advancement in phytoformulation research. *Medicines*, 6(1), 39.
- von Ardenne, M. 1985. On the history of scanning electron microscopy, of the electron microprobe, and of early contributions to transmission electron microscopy. *The Beginnings of Electron Microscopy*, 1-21.
- Wack, S., Lunca Popa, P., Adjeroud, N., Guillot, J., Pistillo, B. R. and Leturcq, R. 2019. Large-scale deposition and growth mechanism of silver nanoparticles by plasma-enhanced atomic layer deposition. *The Journal of Physical Chemistry C*, 123 (44), 27196-27206.
- Wang, C. and Astruc, D. 2018. Recent developments of metallic nanoparticle-graphene nanocatalysts. *Progress in Materials Science*, 94, 306-383.
- Wang, Z. H., Choi, C. J. Kim, B. K., Kim J. C. and Zhang Z. D., 2003. Characterization of Fe-Co alloyed nanoparticles synthesized by chemical vapor condensation, *Materials Letters*, 57, 3560-3564.
- Wolfgang, L. 2007. Bottom-up Methods for Making Nanotechnology Products. <http://www.azonano.com/details.asp?ArticleID=1079>. [Son erişim tarihi 29.12. 2020].
- Worrall, E. A., Hamid, A., Mody, K. T., Mitter, N. and Pappu, H. R. 2018. Nanotechnology for plant disease management. *Agronomy*, 8(12), 285.
- Xie, S., Ren, J. 2019. High-Speed AFM Imaging via Iterative Learning-Based Model Predictive Control. *Mechatronics*, 57, 86-94.
- Yayla, D. 2021. Nano-Gümüş Destekli Hidrotermal Karbon Nanokompozitlerin Morfoloji Kontrollü Sentezi ve Katalitik Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, 78 s.
- Yazıcı, E. 2009. Ultrasonik Sprey Piroлиз Tekniğiyle Küresel Gümüş Nano-Partiküllerinin Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 106 s.
- Yılmaz, F. 2021. Partiküller, Hava Kirliliği ve Sağlık. *Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi*, 167 (Temmuz-Ağustos 2021), 20-22.
- Yılmaz, F. M., Yıldırım, E., Karakuş, M. 2019. Doğal Renk Maddesi Katkılı Sert Şekerleme Üretimi: Farklı Karbonhidrat Formülasyonlarının Renk, Camsı Geçiş, Higroskopite, Karbonhidrat Kompozisyonu ve Duyusal Özellikler Üzerine Etkileri. *Gıda-The Journal of Food*, 44 (2), 357-368.
- Zaki, A. 2007. Processing and Synthesis Techniques for the Preparation of Nanomaterials. <http://www.azonano.com/details.asp?ArticleID=1710> [Son erişim tarihi 29.12. 2020].
- Zhang, X. F., Liu, Z. G., Shen, W. and Gurunathan, S. 2016. Silver nanoparticles: synthesis, characterization, properties, applications, and therapeutic approaches. *International journal of molecular sciences*, 17(9), 1534.

- Zhao, J., Lin, M., Wang, Z., Cao, X., Xing, B. 2021. Engineered nanomaterials in the environment: Are they safe? *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(14), 1443-1478.
- Zou, J., Sanelle, P., Pettigrew, K. A. and Kauzlarich, S. M. 2006. Size and spectroscopy of silicon nanoparticles prepared via reduction of SiCl₄. *Journal of Cluster Science*, 17(4), 565-578.

ÖZGEÇMİŞ

Meral ALKAN

meral.yildiz07@outlook.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2018-2021	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Antalya
Lisans 2014-2018	Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi, Fizik Öğretmenliği Bölümü, Erzurum.