

Erkut Yılmaz, Gülsu Şener, Erdoğan Özgür, Adil Denizli

Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü

Nanoteknoloji Çağının Getirdikleri: İhmal Edebilmek İçin Fazla Küçük!

Nano boyuta (metrenin milyarda biri) inildiğinde aynı yapıda olmasına rağmen malzemelerin kazandığı yeni özellikler bilim ve teknolojiye yeni kapılar açmış, beklenmedik kullanım alanlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Üretilen nanomalzemeler ile gelen devrim niteliğinde yenilikler büyük bir hızla gelişen nanoteknoloji çağını başlatmıştır. Günümüzde milimetrenin (saç telinin 10 binde biri) 10 binde biri kadar ufak boyutlarda parçacıklara sahip malzemelerle hazırlanan ürünler ya da bu malzemelerle kaplanmış cihazlar günlük hayatımızın birçok farklı alanında kullanılmaktadır. Peki biz bunların ne kadarının farkındayız?

Neden Nanoboyutta İşler Farklıdır ?

Nanomalzeme tanımı genel olarak 1-100 nm aralığını kapsamakta ve kuantum etkileri yüzünden bu boyutlara inildiğinde malzemeler yeni ve eşsiz özellikler kazanmaktadırlar. Parçacıklar nano boyutta olduklarında, çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri parçacık boyutunun bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Ayrıca yığın yapıya ilave edildiklerinde malzemenin mekanik (dayanıklılık, esneklik gibi), manyetik ve elektriksel özelliklerini dramatik bir şekilde değiştirdiklerinden daha önce ancak hayal edilebilen yeni kullanım alanları gündeme gelmektedir. Örneğin külçe şeklindeki altın başka maddelerle tepkimeye girmek istemezken, nano boyuttaki altında bu durumun tam tersi gözlenmektedir. Normalde ışığı ve elektriği geçirmeyen maddeler nano boyutta tam tersi özellikler sergilemekte, sert olmayan maddeler nano boyutta elmadan bile sert bir davranış göstermektedirler.

Makro boyuttaki bir malzemenin özelliklerinden bu malzemenin nano boyuttaki halinin özelliklerinin tahmin edilmesi mümkün değildir. Boyut etkisi de denen bu olgunun nedenlerinden biri aynı malzemenin, aynı kütledeki, iki yığından küçük parçalardan oluşan yığının yüzey alanının çok daha büyük olmasıdır. Aşağıdaki çizelgede bir kenarının uzunluğu 1 metre olan bir küpün kenar çeşitli kenar uzunluklarına sahip küplere bölünmesi sonucu elde edilen yığının toplam yüzey alanları ve toplam hacimleri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere hacim aynı kalsa da boyut küçüldükçe yüzey alanı artmaktadır.

Richard Feynman'ın 1976'da öngördüğü gibi nano boyuta inildiğinde aynı yapıda olmasına rağmen malzemelerin kazandığı yeni özellikler bilim ve teknolojiye yeni kapılar açmış, beklenmedik kullanım alanlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Üretilen nanomalzemeler ile gelen devrim niteliğinde yenilikler, büyük bir hızla gelişen nanoteknoloji çağını başlatmıştır. Günümüzde milimetrenin 10 binde biri kadar ufak boyutlarda parçacıklara sahip malzemelerle hazırlanan ürünler ya da bu malzemelerle kaplanmış cihazlar günlük hayatımızın birçok farklı alanında kullanılmaktadır.

Nanoteknoloji ürünü boyaların kullanıldığı binalar, yağmur yağdığı anda kendiliğinden temizlenebilmekte, otomobiller çizilmelik özelliği kazanmakta, kumaşlar yağ ve su geçirmez olmakta, kirlenmezlik özelliği kazanmaktadır. İlaçlar hastalıklı bölgeye hedeflenerek tedavi etkinliği artırılmakta yan etkileri azaltılmaktadır.

Küpün bir kenarının uzunluğu	Küp sayısı	Toplam yüzey alanı	Toplam hacim
1 m	1	$1 \times 6 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2$	$1 \times 1 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3$
10 cm	$10^3 = \text{Bin}$	$10^3 \times 60 \text{ cm}^2 = 60 \text{ m}^2$	$10^3 \times 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ m}^3$
1 cm	$10^6 = 1 \text{ Milyon}$	$10^6 \times 6 \text{ cm}^2 = 600 \text{ m}^2$	$10^6 \times 1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ m}^3$
1 mm	$10^9 = 1 \text{ Milyar}$	$10^9 \times 6 \text{ mm}^2 = 6000 \text{ m}^2$	$10^9 \times 1 \text{ mm}^3 = 1 \text{ m}^3$
1 nm	$10^{27} = 1 \text{ Oktilyon}$	$10^{27} \times 6 \text{ nm}^2 = 6000 \text{ Km}^2$	$10^{27} \times 1 \text{ nm}^3 = 1 \text{ m}^3$



Şekil 1. Nedeni bilinmeden de olsa insanların nano boyutlu malzemeleri hayatına sokması oldukça eskilere dayanmaktadır. Yaklaşık iki bin yıldır nano boyutlu malzemelerin eşsiz etkisi çeşitli şekillerde kullanılmıştır. Buna en güzel örneklerden biri efsanevi Trakya kralı Lykorgas'ın şarap tanrısı Dionysus'un takipçilerinden olan Ambrosia'yı öldürmeye çalışırken, Ambrosia'nın asma haline dönüşerek kralı boğarak öldürmesinin betimlendiği camdan yapılmış olan 1600 yıllık Roma eseridir. Cam kupanın üretimi sırasında içine karıştırılmış olan altın-gümüş alaşımı parçacıklar sayesinde kupa ışığa karşı tutulduğunda kırmızı, ışık üzerinden yansıdığına ise yeşil görünmektedir.

Sentezi

Nanomalzemelerin sentezinde genel olarak iki yaklaşım söz konusudur.

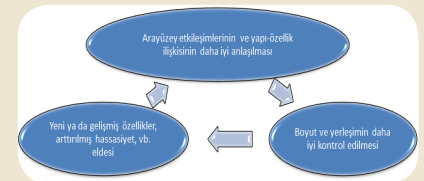
Aşağıdan Yukarı Yaklaşım da denilen daha küçük bileşenleri daha karmaşık birleşimlere dönüştürme teknikleridir.

- Kimyasal sentez, inorganik ve organik sentez ile tasarlamayı amaçlar.
- DNA nanoteknolojisi DNA'dan ve diğer nükleik asitlerden nanoboyutlu yapılar üretmeyi hedefler. DNA origami gibi ...
- Daldırma uçlu nano yazıcı tekniği ile Atomik kuvvet mikroskobu, istenilen bir modelde yüzey üzerinde nano-ölçekli yazma kafası olarak kullanılabilir.

Yukarıdan Aşağı Yaklaşım daha büyük yapıları kullanarak daha küçük yapılar oluşturmaya çalışır.

- Mikroişlemci üretimi için geleneksel katı hal silikon yöntemleri,
- Katı hal teknikleri, ile nanoelektromekanik sistemlerin (NEMS) üretimi,
- Odaklanmış iyon demetleri ile heykeltıraşların yaptığı gibi yığın yapılar nanoboyutta şekillendirilebilir.
- Gazlar fazındaki maddeler nanoboyutlu yapılar üretmek için çeşitli yüzeyler üzerine biriktirilebilir.

Nanoyapılar sentezlenirken yeni özelliklere ulaşmak için aşağıda verilen döngü önemlidir.



Buradan da görülebileceği üzere nanoyapıların sentezlenmesinde kullanılan bilgi, teknikler ve elde edilen özellikler bu alandaki gelişmelerde birbirini etkiler niteliktedir.

Nanoteknolojik Ürünler ve Kullanım Alanları

2005 yılında iki uluslararası merkezin ortak girişimi ile nanoteknolojinin sosyal, politik ve halk sağlığı üzerine etkilerini incelemek üzere kurulan Gelişmekte olan

Nanoteknolojiler Platformunun raporlarına göre 2005 ile 2010 yılları arasında kapsayan dönemde piyasaya sürülen nanoteknolojinin kullanıldığı tüketici ürünü çeşidi 26 kat artarak 1317'e ulaşmıştır. Aynı raporda sunulan beklentilere göre ürün çeşidi 2015 yılında 3000'lere ulaşmıştır. Bir başka veriye göre gümüş ve altın kullanılan nanomalzemeler diğer tüm malzemelerin toplamının neredeyse 3 katı kadardır.

Bir araştırma ve danışmanlık şirketi olan ABD kökenli Lux Şirketi 2007 yılında 147 milyar dolar olan nanoteknoloji temelli ürünler için küresel pazar 2015 yılında 31 trilyon dolara çıktığını ve bu alanda 2 milyon işçinin çalıştığını rapor etmiştir. 2006 ve 2011 yılları arasında nanoteknoloji kullanılarak üretilen tüketici ürünleri incelendiğinde sağlık ve gıda ürünleri kategorisindeki ürün sayısı otomotiv, ev ve bahçe ürünleri elektronik ve bilgisayar gibi 6 farklı kategorideki ürün çeşitliliğinin toplamının 1.5 katını aşmaktadır. Sağlık kategorisindeki ürünlerin yarısından fazlasını kişisel bakım ve kozmetik ürünleri oluşturmaktadır. Bu rapordan da görüldüğü üzere nanoteknoloji ürünleri çoktan hayatımızın her aşamasına ulaşmıştır.

Günümüzdeki Kullanım Alanları

Tıp alanında:

- Vücut yapılarının görüntülenmesinde kontrast ajanı ya da etiketleyici olarak,
- Kontrollü ilaç salımı gibi uygulamalarla kanser gibi tedavisi zor hastalıklarda tedavi edici ajan olarak,
- Erken teşhis amaçlı olarak daha hassas analitik cihazların üretiminde,
- Fizik tedavi uygulamalarında,
- Doku mühendisliği uygulamalarında, doku iskelesi olarak,
- Dişçilik uygulamalarında.

Çevre uygulamaları:

- Filtre sistemlerinde.

Enerji uygulamaları:

- Enerji tüketimini düşürmekte,
- Makinaların enerji verimliliğini arttırmada.

Bilgi iletişim teknolojileri:

- Veri depolama kapasitelerinin artırılmasında,
- Yeni nesil yarı iletkenlerin üretilmesinde,
- Yeni nesil optoelektronik sistemlerin

üretilmesinde,

- Görüntüleme sistemlerinin üretiminde,
- Kuantum bilgisayarların geliştirilmesinde.

Ağır endüstrilerde:

- Havacılık ve uzay sanayisinde,
- Katalizör kullanımının gerektiği alanlarda,
- Yangından koruma, su geçirmezlik dayanıklılığın artırılmasını sağlayan yeni nesil inşaat ve yapı malzemelerinin (çelik, cam, boya, kaplamalar) üretilmesinde,
- Otomobil endüstrisinde.

Tarım ve Gıda Ürünleri alanında:

- Tarımsal ürünlerin üretiminden işlenmesinde paketlenmesinde, taşınmasında ve depolanmasında yani her aşamada kullanılmakta,
- Gıda ürünleri için akıllı paket sistemlerinin üretilmesi,
- Nano kapsüller aracılığı ile gıda katkı maddelerinin vitaminlerin fitokimyasalların sindirim sisteminin istenilen yerlerine kadar taşınmasının sağlanması,
- Nano kapsüller aracılığı ile lezzet hissinin artırılması.

Optik alanında:

- Ultra ince polimerik filmler ile yansımaz, UV korumalı güneş gözlüklerinin üretilmesi,
- Çizilmeye karşı dayanıklı yüzeylerin eldesi,
- Optik sistemlerin kesinliğinin artırılması.

Tekstil alanında:

- Su geçirmezlik sağlamada,
- Lekelenmenin önlenmesinde,
- Dayanıklılık eldesinde,
- Kumaşlara yeni akıllı özelliklerin ilavesinde.

Kozmetik ürünlerinde:

- Güneşten koruma kremlerinde kararlılığının artırılmasında,
- Kozmetik ürünlerine yeni etkiler kazandırmada.

Spor alanında:

- Sporcuların giydiği kıyafetlerin ve çeşitli spor malzemelere anti bakteriyel özellikler, hafiflik ve dayanıklılık kazandırmada kullanılmaktadırlar.

Sakıncalar

Günümüzde normal ürünlere kıyasla eşsiz özellikler sunması nedeniyle üretiminde nanoteknolojinin kullanıldığı pek çok

ürün piyasaya sürülmüş durumdadır ancak pek çok nanomalzemenin güvenli olup olmadığı ile ilgili kesinleşmiş veriler bulunmamaktadır. Bunun en önemli sebeplerinden biri nanomalzemelerin yapısının ve biyolojik/çevresel ortamlardaki etkileşimlerinin oldukça karmaşık olmasıdır. Son dönemde yapılan bazı araştırmalar nanomalzemelerin çevre ve insan sağlığı konusundaki güvenilirliği konusunda endişeleri arttırmıştır. Ayak kokusunu azaltmak için çoraplarda kullanılan bakteriyostatik gümüş nanopartiküllerin yıkamayla çevreye salınması sonucunda atık arıtma tesislerinde ya da çiftliklerdeki organik yapıları parçalayan yararlı bakterileri yok edebileceği tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalarda nanopartiküllerin, beyni kandaki toksik maddelerden koruyan ve oldukça etkin çalışan kan-beyin bariyerini dahi geçebildiği gösterilmiş, toz halindeki nanopartiküllerin solunduğunda akciğer hasarına neden olduğu hayvan denemeleriyle gösterilmiştir. Ayrıca nanopartiküllerin hücre yapısına kolaylıkla girebildiği çalışmalar vardır. Yüksek yüzey alanına sahip olmaları nedeniyle daha fazla sayıda serbest radikal üretime yol açabileceği, ve karşılaştıkları bazı makromoleküllerin yüzeylerine tutarak enzim ve diğer proteinlerin etkilerini değiştirebileceği, hücre mitokondrisi ve çekirdeği içine girerek hücre ölümüne yol açabileceği ve metabolize olamadan hücre içine taşınarak organlarda birikebileceği gibi şüpheleri güçlendirmiştir. Bu ve benzeri araştırmalara rağmen nanopartiküllerin kullanımı giderek artmakta her geçen gün yeni bir ürün günlük hayatta kullanıma sunulmaktadır. Çeşitli yollarla insan ve canlı vücuduna giren, çevre suları gibi doğal ortamlara karışan nanopartiküllerin uzun dönem etkileri ile verilerin eksikliği sebebi ile nanopartiküllerin kullanımı ile ilgili düzenlemeler genel olarak yetersiz kalmaktadır.

ABD merkezli Woodrow Uluslararası Akademisyenler Merkezi'nin raporuna göre dünya genelinde üretilen nanomalzemelerin yaklaşık yarısını üreten

ABD'de tüketici ürünlerinin güvenilirliğini denetleyen Tüketici Ürünleri Güvenlik Komisyonu'nda (CPSC) çalışan 400'den az personelin 15.000 çeşit farklı ürünü denetlediğinden söz edilerek yetersizliği vurgulanmıştır. Ayrıca Amerikan Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) incelemelerinin ayrıntılı olmadığı belirtilmiştir. Amerika'nın 2006 yılında nanoteknoloji araştırmaları için 1,5 milyar dolar ayırırken olası çevre ve sağlık risklerinin araştırılması için 38 milyon dolar ayırması risklerinden ziyade kazançlara yapılan yatırımın daha büyük olduğunu göstermektedir. Nanoteknoloji ürünü malzemelerin üretiminde dünya ikincisi olan Avrupa Birliği'nde de konuya daha temkinli yaklaşılmaktadır. İngiliz Kraliyet Bilimler Akademisi nanomalzemelerin ayrı bir başlık altında değerlendirilmesini önermiş, Avrupa komisyonu konunun incelenmesine karar vermiştir. Ayrıca nanomalzemelerin uzun dönemde çevre ve sağlık üzerindeki etkilerinin incelenmesi için farklı kanallar aracılığı ile önemli miktarda kaynak ayırmıştır. Ancak genele bakıldığında nanoteknolojik ürünler yeterli denetimden geçmeden ve uzun dönemde sağlık ve çevre üzerine etkileri yeterince incelenmeden piyasaya sürülmektedir.

Riskler

Nanoteknoloji birçok avantajının yanı sıra insan sağlığı ve çevre için birçok riski de beraberinde getirmektedir. Nanopartiküllerin geniş yüzey alanları toksik kimyasal kirleticilerin bağlanabilecekleri ve taşınabilecekleri yüzeyler sağlamaktadır. Nanopartiküllerin vücutta ve hücrelerin içerisine girebilme yetenekleri toksik maddelerin vücutta yayılmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak hücre ve doku harabiyeti, savunma mekanizmasında bozukluklar oluşmaktadır. Nano boyuttaki maddelerin solunmasının da insanlarda ve memeli hayvanlarda akciğer hastalıklarına neden olduğu bilinmektedir.

Pek çok nanomalzemenin güvenli olup olmadığı ile ilgili kesinleşmiş veriler bulunmamakla beraber yeni araştırmalar endişeleri arttırmıştır. Yapılan araştırmalarda nanopartiküllerin beyni

kandaki toksik maddelerden koruyan kan-beyin bariyerini geçebildiği gösterilmiştir. Toz halindeki nanopartiküllerin solunduğunda akciğerlere hasar verdiği hayvan denemeleriyle rapor edilmiştir. Ayrıca nanopartiküllerin büyük yüzey alanına sahip olması nedeniyle daha fazla sayıda serbest radikal üretimine yol açabilir. Artan serbest radikal üretiminin neden olduğu stres koşulları karşısında vücutta savunma sisteminin uyanmasına bağlı bağışıklık cevabının süregelen sorunlara ve hastalıklara yol açması mümkündür. Geniş yüzey alanı nedeniyle nano parçacıkların karşılaştıkları bazı makromoleküllerin yüzeylerine tutunarak enzim ve diğer proteinlerin etkilerini değiştirebilmesi söz konusudur. Normalde hücre yapısına girmesi mümkün olmayan partiküllerin nano boyuta inildiğinde hücre mitokondrisi ve çekirdeği içine girerek hücre ölümüne yol açması mümkündür. Ayrıca bir başka sorun da nanopartiküllerin vücutta metabolize olamayıp çeşitli organlarda birikmesi sonucu ortaya çıkabilecek sorunlardır. Bu ve benzeri araştırmalara rağmen nanopartiküllerin kullanımı ile ilgili düzenlemeler genel olarak yetersiz kalmaktadır. Nanomalzemelerin sağlıkla ilgili risklerin tahmin edilebilmesi için öncelikle etkilenme yolları, kaç partikülün emildiği gibi bilgilerin bilimsel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Eldeki bilgiler ise hala nanoteknolojinin sağlığı nasıl etkileyeceği konusuna açıklık getirecek düzeye ulaşmış durumda değildir.

Nanomalzemelerin çeşitli çevre sorunlarına yol açması da mümkündür. Güvenlikle ilgili riskler konusunda ise halen pek az şey bilinmekle birlikte nanomalzemelerin yüksek etkileşim ve iletkenlik özellikleri nedeniyle yangın ve patlamalara yol açabileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca nanopartiküllerin su kaynaklarını kirlenmeye, suya, toprağa ve havaya karışması halinde tarım ürünlerine zarar verme gibi riskler barındırdığı tahmin edilmektedir. Tüketici sağlığının korunması için nanopartiküllerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki toksik etkilerinin araştırılması, analiz ve test yöntemlerinin belirlenmesi, gerekli yasal düzenlemelerin ve yönetmeliklerin oluşturulması

gerekmektedir. Bu bağlamda Amerikan Ulusal Araştırma Kurulu nanoteknoloji ürünlerini kontrol altına alabilmek için yıllık 124 milyon dolarlık ilave bir araştırma fonu oluşturmak zorunda kaldıklarını açıklamıştır.

Canlılara Giriş Yolları

Nanopartiküllerin taşıdığı bu riskler su veya suda yaşayan canlılarla insanlara ulaşabilmektedir. Nanoteknolojiyle çalışan laboratuvarların ve fabrikaların atıkları çoğunlukla sulara, sular aracılığıyla toprağa, oradan da yiyeceklerimize taşınmaktadır. Bu sebeple nanoteknoloji ürünü kullanılsa bile bu partiküllerin üretimi sırasında doğaya saçılan nanopartiküller ya solunarak ya da yiyecek, içecek ve giyecekler yoluyla gelip vücudumuza ulaşabilmektedir.

Nanoteknoloji gıda ambalajında birçok avantaj getirmektedir. Nanopartikül içeren ambalaj malzemelerinden gıdalara doğru olabilecek taşınmalar hakkında bilgi henüz mevcut değildir.

Gümüş nanopartiküllerin bakteriler ve mantarlar gibi zararlı organizmaların hücre içi solunumlarını ve metabolizmalarını yavaşlatarak gelişimini engellediği bilinmektedir. Nano boyutlu gümüşle kaplanmış yüzeyler bakteri ve mantarlara karşı etkili olduğundan pek çok sektörde geniş kullanım alanı bulmuştur. Bu özelliğine bağlı olarak mikrop tutmayan ya da anti bakteriyel ve koku giderici özellikte soğutucu, klima, çamaşır makinesi, buzdolabı gibi beyaz eşyaların yüzeylerinde, yataklarda veya tekstil ürünlerde ve deodorantlarda kullanılıyor.

Nanopartiküller kozmetik ürünlerde ve tedavi amaçlı olarak doğrudan vücutta alınmaktadır. Genel olarak şeffaf, kolay emilen kozmetikler, nanoteknoloji ürünlerini kullanmaktadır. Nanopartiküllerle hazırlanan kozmetik ürünlerle şeffaf özellik ve derinin daha derin katmanlarına nüfuz etmesi sağlanabildiğinden özellikle yaşlanmayı geciktirici kremlerin ve güneş kremlerinin etken maddeleri için taşıyıcı olarak kullanılmaktadırlar.

Yeşil Kimyanın İlkeleri	Nanomalzeme Üretim Yöntemlerinin Tasarımı	Yeşil Nanobilim Uygulamaları
1 Atıkların Önlenmesi	Güvenli nanomalzemelerin tasarımı	Nanopartikül boyutunun, yüzey alanının ve yüzeyel işlevselliğin biyolojik etkilerinin belirlenmesi; istenilen özelliklere sahip daha güvenilir, etkin malzemelerin tasarımı için bu bilgilerin kullanımı; nanopartiküllerin bileşimindeki toksik malzemelerin kullanılmaması
2 Atık Ekonomisi		
3 Daha az zararlı kimyasalların sentezi	Çevresel etkiyi azaltmak için tasarım	Nanomalzemelerin bozunumunun ve çevredeki akıbetinin incelenmesi; zararsız altbirimlere ya da ürünlere dönüşecek malzemelerin tasarımı. Nanopartikül içeriğinde zararlı elementlerin kullanımından kaçınılması; zararsız, biyolojik temelli nanopartiküllerin kullanımı
4 Daha güvenli kimyasal tasarımı		
5 Daha güvenli çözücü ve tepkime ortamı	Atık azaltmak için tasarım	Safılaştırma aşamalarındaki çözücü kullanımının azaltılması; yeni safılaştırma yöntemlerinin geliştirilmesi, çözücü kullanımını azaltan nanofiltrasyon gibi; malzeme verimliliğinin artırılması için aşağıdan yukarıya yaklaşımlarından faydalanılması
6 Enerji verimliliği		
7 Yenilenebilir hammadde	Süreç güvenliği için tasarım	Daha zararsız reaktif ve çözücülerden faydalanarak ileri düzeyde sentezlerin tasarlanması ve geliştirilmesi; yenilenebilir kaynaklardan türeyen daha zararsız hammaddelerden yararlanılması ve mümkünse çok toksik reaktifler ile yer değiştirilmesi
8 Yan ürünlerin azaltılması		
9 Katalizörler	Malzeme verimliliği için tasarım	Yeni yoğun yapay stratejilerin geliştirilmesi; aşağıdan yukarı yaklaşımıyla geliştirilen ürünlere yönelik hammaddelerin iyileştirilmesi, tepkime seçiciliğinin artırılması için farklı tepkime ortamı ve katalizörlerin kullanımı; karmaşık nanopartikül sentez sürecinin kontrolüne yönelik gerçek zamanlı izleme yöntemlerinin geliştirilmesi
10 Bertaraf tasarımı		
11 Eş zamanlı görüntüleme ve süreç denetimi	Enerji verimliliği için tasarım	Yüksek sıcaklıklar yerine uygun sıcaklıklarda yürütülen etkili yapay süreçlerin izlenmesi; uygun sıcaklıkta aşağıdan yukarıya yaklaşımından ve kovalent olmayan yöntemlerin kullanılması, tepkime kimyasının iyileştirilmesi için eş zamanlı görüntülemenin kullanımı ve enerji sarfiyatının azaltılması
12 Daha güvenilir kimya		

Son dönemde Nature Nanotechnology'de yayınlanan makalede, yiyecek ve vitamin haplarıyla sentetik olarak elde edilmiş milyarlarca nanopartikül sindirim sistemine girmektedir. Bu partiküllerin sağlık üzerine negatif bir etkisi olmadığı sanılıyor. Örnek olarak, sıklıkla kullanılan ve FDA tarafından zararsız ilan edilen polistiren nanopartiküller aslında ciddi sağlık problemlerine sebep oluyor. Yiyecekleri sakladığımız polistiren içeren kaplardan yiyeceklere karışan nanopartiküller bağırsak hücrelerine gittiğinde kısa sürede bağırsaktaki hücrelerin demir emilim yeteneğini köreltiyor. Uzun süreli etkide ise hücrelerin yapılarını tamamen geri dönüşümsüz şekilde değiştiriyor. Böylece kişilerde demir eksikliğine bağlı sağlık problemleri baş gösteriyor.

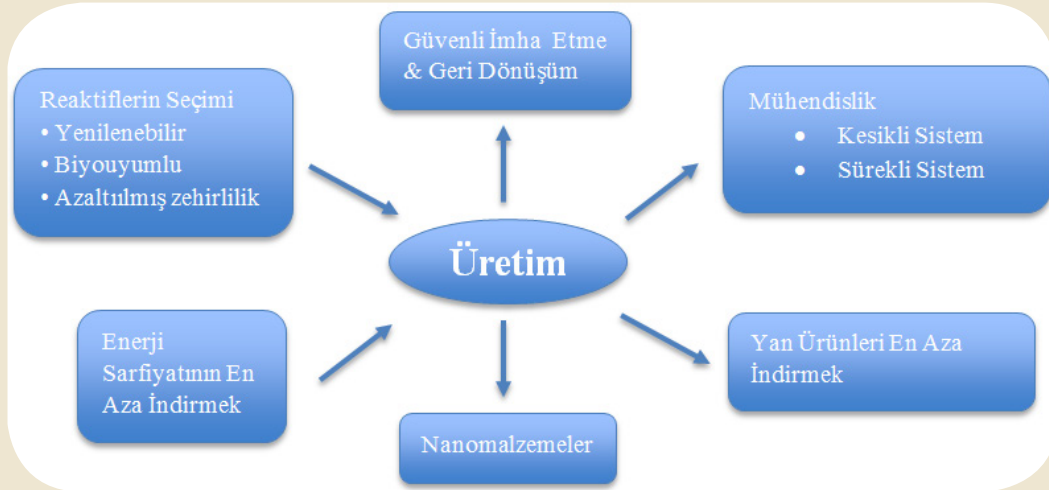
Gelecek

Daha az ile daha fazlasını yapabilmek nanobilim ve nanoteknolojinin büyük vaatlerinden biridir. Genel olarak daha az malzeme kullanarak, doğal kaynakların üzerindeki tüketim yükü azalacaktır. Daha küçük, daha verimli cihazları çalıştırmak için daha az enerji kullanılması, daha az yakıt gerektirecek ve daha az kirlitecektir. Yeşil sentez sayesinde atıklar azaltılacak ve potansiyel zararlı yan ürünlerin üretim yolları engellenebilecektir. Bunlar aşağıdan yukarıya başlayan bir alanın potansiyel yararları arasındadır.

Yeşil nanobilim, daha yeşil nanomalzemeler için tasarım kuralları oluşturmayı ve uygulamayı; bileşimi, yapısı ve saflığı tanımlanmış nanomalzemelerin üretimi için verimli stratejilerin

geliştirilmesini amaçlayan yaklaşımdır. Yeşil nanobilim, nanomalzemelerin tasarımı, üretimi ve kullanımı için yeşil kimyanın bilenen 12 kuralını benimsemiştir. Yeşil nanobilim de yeşil kimya gibi ürün tasarımı ve üretimiyle ortaya çıkabilecek insan sağlığına ve çevreye yönelik zararların azaltılması veya ortadan kaldırılması için çabalamaktadır. Yeşil kimyanın nanobilime uygulanan 12 temel kuralı Çizelge 1'de tanımlanmıştır.

Kesinlikle, nanoyapıların öncelikle sınıflandırılması ve sonra güvenlik prosedürlerine göre kullanılmasını öngören bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir. Nanoteknoloji olgunlaştıkça bu teknolojiyle üretilen malzemelerin insan sağlığına ve çevreye zararlı olup olmadığı ya da yeni tehlikelerin



Şekil 2. Nanomalzemelerin Hazırlanmasında Yeşil kimyanın Gereksinimleri.

ve atık kollarının oluşup oluşmayacağı aklılara gelmektedir. Nanobilimin parlak bir geleceğinin olması için insanların akıllarındaki soru işaretlerinin giderilmesi gerekmektedir.

Cathrine Murphy'nin dediği gibi; "Nanoteknoloji devrimi, şirketlerin yeni ürünleri tasarımı esnasında yeşil nanoteknolojiyi benimsemeleriyle bir fırsat olacaktır. İlginç bir şekilde yeşil kimyanın öğretileri 1990 ların ortalarından beri nanomalzeme üretimindeki gelişmelerle birlikte yayılmaktadır. Nanopartikül uygulama gruplarının son hedef olarak sürdürülebilir enerji kaynaklarını ve çevresel iyileştirmeyi keşfetmesiyle, nanomalzeme sentez grupları daha yeşil, daha sürdürülebilir üretim yöntemlerini geliştirmektedir.

"Sürdürülebilirliğin, nanomalzeme üretimi ve uygulaması için tasarım kriterlerinin bir parçası olduğunu söylebiliriz, özellikle de yeni nesil bilim adamlarının zaten bu mantıkla eğitim gördükleri düşünülürse".

Kaynaklar

- [1]EU's REACH Law, http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/reach_intro.htm.
- [2]U.S. Environmental Protection Agency Nanotechnology Page, <http://www.epa.gov/ncer/nano>.
- [3]University of Waterloo, Nanotechnology in Targeted Cancer Therapy, <http://www.youtube.com/watch?v=RBjWwlnq3cA>, 2010.
- [4]Abraham, S.A., Researchers Develop Buckyballs to Fight Allergy. Virginia Commonwealth University Communications

and Public Relations, 2010.

- [5]Hillie, T., Hlophé, M., Nanotechnology and the Challenge of Clean Water, *Nature Nanotechnol.*, 2(11) 663-664, 2007.
- [6]Waldner, J.B., *Nanocomputers and Swarm Intelligence*, London, 2007.
- [7]American Elements Announces P-Mite Line of Platinum Nanoparticles for Catalyst Applications, 2007.
- [8]Rosen, J.E., Yoffe, S., et.al., Nanotechnology and Diagnostic Imaging: New Advances in Contrast Agent Technology, *J. Nanomed. Nanotechnol.*, 2011.
- [9]Gu, F., Langer, R., Farokhzad, O.C., Formulation and Preparation of Functionalized Nanoparticles for in vivo Targeted Drug Delivery, *Methods in Molecular Biology*, 544, 589-598, 2009.
- [10]Zhang, L., Gu, F.X., Chan, J.M., Wang, A.Z., Langer, R.S., Farokhzad, O.C., Nanoparticles in Medicine: Therapeutic Applications and Developments, *Clin. Pharmacol. Therapeutics*, 83(5) 761-769, 2008.
- [11]Katz, L.M., Nanotechnology and Applications in Cosmetics: General Overview *Cosmetic Nanotechnology*, 12, 193-200, 2007.
- [12]Qian, L., Application of Nanotechnology for High Performance Textiles, *J. Textile Apparel, Technol. Manag.*, 4(1) 2004.
- [13]Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties Possible, The Royal Academy of Engineering, Nanoscience and nanotechnologies, 2004, <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>.
- [14]Jabez, J., Shannon, B.H., Marin Pichler, R.J., Nanotechnology with Atom Optics Science and Technology, *Adv. Mater.*, 5, 575-580, 2004.
- [15]Sozer, N., Kokini, J.L., Nanotechnology and Its Applications in the Food Sector, *Trends in Biotechnol.*, 27(2) 82-89, 2009.
- [16]Lee, J.Y., An, K.H., Heo, J.K., Lee, Y.H., Fabrication of Supercapacitor Electrodes Using Fluorinated Single-Walled Carbon Nanotubes *J. Phys. Chem. B.*, 107, 8812-8815, 2003.
- [17]Kaounides, L., Yu, H., Harper, T., Nanotechnology Innovation and Applications in Textiles Industry: Current

Markets and Future Growth Trends *Materials Technology: Adv. Perform. Mater.*, 22(4) 209-237, 2007.

- [18]Karn, B., Kuiken, T., Otto, M., Nanotechnology and in Situ Remediation: A Review of the Benefits and Potential Risks. *Environ Health Perspect.*, 117, 1823-1831, 2009.
- [19]Schultz, W.B., Barclay, L., A Hard Pill to Swallow: Barriers to Effective FDA Regulation of Nanotechnology-Based Dietary Supplements, 2009.
- [20]Feynman, R., There's Plenty of Room at the Bottom. www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html Platinum Nanoparticles Bring Spontaneous Ignition, 2005.
- [21]Electrocatalytic oxidation of methanol[^] Hillie, Thembela and Mbhuti according to sunil this method of catalysis will surely improve the performances of the old catalysis methods Hlophé, Nanotechnology and the challenge of clean water. *Nature.com/naturenanotechnology*, 2007.
- [22]Mann, S., Nanotechnology and Construction. *NanoForum.org European Nanotechnology Gateway*, 2009.
- [23]Suresh, N., Digvir, J., Nanotechnology for Food and Bioprocessing Industries. 5th CIGR International Technical Symposium on Food Processing, Monitoring Technology in Bioprocesses and Food Quality Management, Postdam, Germany, 2009.
- [24]Canola Active Oil http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/canola_active_oil/ Nano-foods: The Next Consumer Scare? http://www.islamonline.net/servlet/Satellite?c=Article_C&pagename=Zone-English-HealthScience%2FHSELayout&cid=1216208224637^
- [25]Antimicrobial Nanotechnology Used by NFL Teams and Promoted to Professional Football Athletic Trainers, Azonano, 2007.
- [26]Easton Integrates Nanotechnology into Baseball Bats, *Nanopedia*, 2006.