

Nanoteknolojinin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerindeki Riskleri

Zülfü TÜYLEK*

*İnönü Üniversitesi Elektronik ve Otomasyon Bölümü Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Yeşilyurt/ Malatya
e-posta: zulfu.tuylek@inonu.edu.tr Tel: 0505 605 11 71

Özet

Nanoteknoloji bilim ve teknolojide popüler bir marka haline geldi. Bu popüler teknoloji, bilimde, teknolojide, tıpta ve diğer alanlarda yeniliklerin ana kaynağı değil aynı zamanda 21. Yüzyılda endüstrinin en önemli rekabet alanlarından biri olacak. Dolayısıyla, ülkelerin gelecek nesillerini yetiştirecek olan bilim dallarının nanoteknoloji hakkındaki ilgi, tutum ve bilgi seviyelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Günümüzde nanoteknolojik gelişmeler, ortamdaki nanopartiküllerin konsantrasyonunun hızla artmasına sebep olmuştur. Nanopartiküllerin insan sağlığı ve ekolojik sistem üzerindeki etkileri hakkında yeterli bilgi yoktur. Nanoteknolojinin gelişimi, doğada meydana gelen olayların moleküler düzeyde incelenmesi için bilim dünyasına avantajlar sağlamaktadır. Nanoteknoloji uygulamaları geniş bir alana sahiptir. Canlı organizmalar üzerindeki etkileri merak edilmektedir. Bilim adamları nanopartiküllerin ekolojik sistem üzerindeki etkilerini incelemektedir. İnsan vücuduna giren nanopartiküller, hücrelerin ölmesine, fonksiyonların durmasına, genlerinin mutasyona uğramasına ve zehirlenme etkisinin ortaya çıkmasına neden olur. Nanoteknoloji alanındaki gelişmeler sürdükçe endüstriyel alanda yeni ufuklar açılmaya devam edecektir.

Giriş

O Ülkeler, yarınlarda var olabilmek ve dünya ülkeleri ile yarışa devam edebilmek için gelişen yeni teknolojik faaliyetlere gerekli önemi vermek zorundadır. Bu yaklaşım içerisinde hareket eden toplumlar kendi ülkelerine ve diğer uygarlıklara fayda sağlayacak araştırma ve geliştirme faaliyetlerini yerine getirecek çalışmalara önem verirler. Yapılan bu çalışmalar sonucu ise yeni bilim dalları ortaya çıkar. Günümüzde ortaya çıkan yeni bilim dallarından bir tanesi de nanoteknolojidir. Nanoteknoloji alanında yapılan gelişmeler incelendiğinde, bilimsel araştırmalar açısından yeni bir bilim dalı olduğu görülür. Teknolojik ürünler incelendiğinde nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalar sonucu elde edilen nanomateryallerin raflarda yerini aldığı görülmektedir. Geliştirilen bu nanomateryal uygulamaları sayesinde tüketiciye yönelik pek çok ürün hayatımıza girmiş bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak nanoteknolojik ürünler günümüzde farklı uygulama alanlarında kullanılmaya başlanmıştır [1].

Teknolojik gelişmeler sonucu elde edilen nanoürünlerin ulusal ve uluslararası boyuttaki katkısı oldukça fazladır. Nanoürünlerin gelişim aşamalarının ulusal ya da uluslararası işbirliği sayesinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu gelişmeler üniversite – sanayi işbirliğinde geline noktanın da bir ölçütü olarak karşımıza çıkmaktadır. Uluslararası alanda yapılan işbirliğinin teknolojik, ekonomik, kültürel ve sosyal alanda elde edilen gelişmelere yön verdiğini görmekteyiz. Bilimin mutfağı olarak adlandırılan yeni teknolojik ilerlemeler sayesinde farklı özelliklere sahip nanomateryallerin üretimini tetikleyen gelişmeler karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde nanoteknoloji alanındaki çalışmalar göz kamaştırıcı boyutlara ulaşmıştır. Örneğin, yüksek yüzey-hacim oranına sahip farklı özellikler kazanmış nanomateryaller elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu önemi her geçen gün artan nanoteknoloji, katalizörler, ilaç sanayi, tarım, optik materyaller, sensörler, savunma sanayi, uzay çalışmaları, implantlar, tekstil, enerji depolama-aktarım gibi pek çok alanda faaliyet göstermeye başlamıştır [2].

Nanoteknoloji, var olan yapıların atom ve moleküler seviyede işlenmesi, ayrılması, birleştirilmesi, özelliğini kaybetmesi ya da yeni özellikler kazanması şeklinde ortaya çıkan bir teknolojidir [3]. Nanoteknoloji alanındaki uygulamalar incelendiğinde üretim, sağlık, çevre, enerji, savunma, tekstil, ilaç, tarım gibi birçok alanda etkisi görülmektedir. Örneğin sağlık alanındaki gelişmeler incelendiğinde hastalıkların önlenmesi, teşhis ve tedavi amaçlı yapılan çalışmaların yeni bilim dallarının doğmasına neden olduğu görülür. Günümüzde teknolojinin hızlı bir şekilde gelişim ve değişim göstermesinde araştırma - geliştirme merkezlerinin önemi büyüktür.

Teknolojinin gelişimi ve devamlılığı beraberinde bilinen ya da bilinmeyen birçok riski de beraberinde getirmektedir. Nanoteknoloji alanında gerçekleşen uygulamalar sonucu oluşan riskler diğer bilim dallarında ortaya çıkan risklerden farklıdır. Bu uygulamaların en başında, yeni gelişen bir teknoloji olması nedeniyle yan etkilerinin tam olarak bilinmiyor olmasıdır. Günümüzde üretilen çoğu nanomalzemenin ekolojik sistem ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin tam olarak hangi boyutlarda olduğu bilinmemektedir [4].

Canlılar nanopartikül yapılarla ağız, solunum ve deri yoluyla kısa süreli olarak temas edebilirler. Uzun süreli temasların gerçekleşebilmesi için ise nanopartiküllerin toprak yüzeyinde bulunması, suda çözünmesi ya da parçalanması gerekmektedir [5]. Bu nedenle nanoteknoloji alanında çalışan bilim adamları faaliyetlerin gerçekleştirirken nanopartiküllere maruz kalmamak için çeşitli koruyucu tedbirler alırlar. Çünkü nanoteknoloji halen sürprizlerle dolu bir teknolojidir. Tam olarak yan etkilerini kestirmek mümkün değildir. Bu nedenle en doğru yaklaşım önleyici tedbirler almaktır.

1. NANOTEKNOLOJİ

Cüce anlamına gelen nano, teknik açıdan bir ölçü birimi olarak tanımlanır. Tanımlanan bu nanoölçeğin, Uluslararası Birimler Sistemindeki karşılığı nanometre olarak ifade edilir. Bu tanımlar bir araya getirildiğinde ise bir nanometrenin (nm) metrenin milyarda birine karşılık geldiği görülür. Bilimsel olarak ise ölçülen büyüklüğün milyarda biri olarak ifade edilir [6]. Nanoteknolojide metrenin milyarda biri olan nanoboyutlar kullanılmaktadır. Atom veya moleküller tek tek alınır ve hassas bir şekilde birleştirilir. Bu birleştirme işlemi nanoboyutlarda yapılır. Elde edilen nanoürünler, 1-100 nanometre boyutlardaki yapıların işlevsel olarak tasarlanıp imal edilmesi şeklinde ortaya çıkar. Diğer bir ifadeyle atom ve moleküllerin dizilişleri üzerinde yapılan değişiklikler sayesinde maddelerin nanoboyuta indirgenmesi sonucu farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazanması sağlanır. Bilim adamlarının var olanı bulma ya da geliştirme çabaları, atom ve molekül yapıları üzerinde teknolojik çalışmalar yapmalarına neden olmuştur. Bu amaçla önce doğadaki mevcut olan yapıların atomik dizilişleri göz önünde bulundurulur. Nanoteknolojik çalışmalar, doğadaki atomik dizilim ilkesini taklit etme üzerine kurulmuştur. Doğada bulunan yapıların kendisinde zaten nano yapılar mevcuttur. Nanoteknolojide elde edilen yapılar, doğanın kısmen ya da mümkün olduğu ölçüde tamamen taklit edilmesi sayesinde gerçekleşir [7].

2. NANOMALZEME

Tabiatın varoluşundan bu yana canlılar tarafından kullanılan birçok doğal nanomalzeme vardır. Bunların en başında gelen ve doğada sıkça rastlanan kil mineralidir. Nanoyapıya sahip kil minerali doğada bol miktarda bulunduğu çeşitli üretim süreçlerinde tercih edilir. İki boyutlu nanoölçekte kristal örgüye sahip olan, nanokristal yapıdaki doğal minerallerdir. Yüksek yüzey alanı ve katyonik değişim kapasitesi vardır. Kil mineralinin bu özelliği sayesinde petrol, ağır metal ve organik bileşiklerin sudan uzaklaştırılması imkânı doğar. Günümüzde kil mineraline, geliştirilen teknolojik ve çevresel uygulamalarda sıkça rastlanmaktadır. Kil doğal nanomalzemesi yapısı itibariyle parçalı bir yapıya sahiptir. Bu yapısal özelliği sayesinde yüzeylerde çekme ve emme işlevlerini yerine getirme imkânına sahip olur. Kil mineralinde bulunan bu özellik sayesinde, canlı vücuduna girmiş olan toksik (zararlı) maddelerin etkisi azaltılır ya da tamamen ortadan kaldırılır. İnsanoğlu yüz yıllardan beri kil doğal nanomalzemesini hastalıkların iyileştirilmesinde tedavi edici bir tıbbi ürün olarak kullanmıştır. Hayvanlar âlemi gözlemlendiğinde ise kil doğal mineralini yedikleri ya da içerisinde yuvarlandıkları görülmüştür. Hayvanların, sergiledikleri bu davranış sonucu şifa aradıkları ortaya çıkmıştır. Ayrıca bağırsak problemlerinde, yaraların kapanmasında, ishal ve ağrıların giderilmesinde, ülser, sivilce ve hemoroit gibi daha birçok hastalıkların tedavisinde kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde kil doğal mineralinin faydaları hala tam olarak tespit edilmiş değildir. Bunun yanında kil doğal nanomalzemesi incelendiğinde canlı sağlığı açısından en küçük bir tehdit oluşturan bir bulguya rastlanmamıştır.

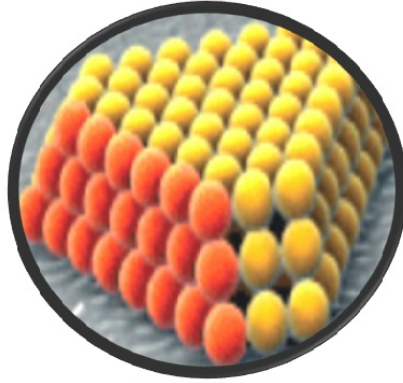
Canlı vücudundaki yapılar incelendiğinde birçok nanoboyutlar karşımıza çıkmaktadır. Örneğin insan vücudundaki hücrelerin zar kalınlıkları nanometre boyutlarındadır. Ayrıca DNA ve RNA yapılarının çapları, ribozomların çapı, mitokondri gibi daha birçok organizmanın nanoboyutta oldukları görülmektedir [7].

İleri teknolojiler sayesinde elde edilen yapay (suni) nanoyapıların hiçbiri doğal nanoyapılar kadar verimli çalışma performansına sahip değildir. Doğal nanoyapılar içerisindeki üretim, onarım, ayrıştırma ve taşıma gibi olaylar verimli bir şekilde uyum içerisinde gerçekleşir. Ancak laboratuvar ortamında fiziksel ve kimyasal yolla elde edilen yapay (suni) nanoyapılarda bu verimli çalışma tam olarak sağlanamaz. Nanoyapılardaki bu uyumsuzlukların yanında canlılar üzerindeki yan etkilerine de rastlanmaktadır. Nanoyapıların küçük hacimli olmasından kaynaklanan

etkiler, fonksiyonlarını yerine getirme aşamasında karşımıza çıkar. Küçük boyutlu olmaları bazı kullanım ve üretim zorluklarını beraberinde getirmektedir. Fiziksel ve kimyasal yollar kullanılarak elde edilen bu nanoyapılarda sıcaklık artışı, mukavemette azalma ve sürtünme gibi arzu edilmeyen problemler ortaya çıkmaktadır. Günümüzde, hayatımızın her anı ve her alanına giren, hızla yaygınlaşan uygulamalarla karşılaşırız. Bu uygulamalardaki hedefler daha hafif, dayanıklı ve ekonomik yeni ürünleri kolay bir şekilde elde etmektir. Yapılan uygulamalar incelendiğinde tıp alanındaki gelişmelerin en hayati uygulamalar içerisinde olduğu görülmektedir. Nanoteknoloji alanındaki tıp uygulamaları sayesinde çaresi henüz bulunamamış birçok hastalığın teşhisinin ya da tedavisinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Yapılan yeni araştırmalar sonucu umut verici gelişmeler elde edilmektedir. Bu araştırmalar sayesinde elde edilen gelişmeler arttığında birçok hastalığın teşhis ve tedavisi mümkün olacaktır. Buda hastalıklar karşısında uygulanan tedavi yöntemlerinin üstünlüklerini önemli ölçüde artıracaktır.

3. NANOPARTİKÜL

Nanoteknoloji alanındaki teknolojik çalışmalar sayesinde mevcut yapıların küçültülmesi ve daha verimli yapılara ulaşılması sağlanır. Kullanılan bu yüksek verime sahip teknolojiler sayesinde iyi yapılmış, dayanıklı, temiz, güvenli ve akıllı ürünler elde edilir. Nanoboyutlu malzeme olarak adlandırılan bu yeni yapılar nanokristaller, nanopartiküller, nanotüpler, nanoteller, nanoçubuklar gibi farklı sınıflara ayrılırlar. Farklı isimlerle adlandırılan bu yapıların tümüne nanopartikül adı verilir. Nanopartikülleri basit olarak karbon bazlı (fullerenes, çok duvarlı karbon nanotüpler vb.) metal bazlı (altın kolloidler, nanokabuklar, nanoçubuklar, süperparamagnetik demiroksit nanopartiküller vb.) ve yarı iletken bazlı (kuantum noktaları vb.) şeklinde de sınıflandırmak mümkün.



Şekil 1. Nanoboyutlu partiküller

Nanopartiküller sahip oldukları farklı özelliklerden dolayı geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Bu materyallerin fonksiyonları ve kullanım alanları nanopartikülün boyutuna ve bileşimine bağlı olarak farklılık gösterir [8]. Bu nedenle nanopartiküllerin elde edilmeleri sırasında genellikle polimerik yapılar kullanılır. Polimerler, etkileşim sırasında kendine has özellikler sergilediğinden nanopartiküllere üretim esnasında farklı özellikler kazandırır. Ayrıca polimer tabanlı üretilen nanopartiküllerde zehirlenme özelliği oldukça düşüktür. Bu özellik bile polimer yapıların nanopartikül üretim esnasında tercih edilmeleri için yeterli olmaktadır. Polimer yapılar büyük miktarlarda üretim yapılmasına imkân sağlar ve dokularda meydana getirdiği etki ve etken madde kullanımı gibi farklı görevleri kolay bir şekilde yerine getirir. Etkileşim esnasında başka bir maddeyi çözünme özelliği bulunmadığından birlikte kullanıldığı maddelerin yapısını etkileme özelliği de bulunmaz. Bu özelliklerin yanında belli boyutlarda farklı özellikler ve görevler üstlenir. Bu da üretilen nanopartiküllere çarpıcı etkiler kazandırır. Bu etkileşim sonucu elde edilen nanopartiküllerin yüzey alanı / hacim oranı çok yüksek olur. Bu da günlük hayatta kullandığımız malzemelerden ayırt edilmesine yönelik özellik olarak karşımıza çıkar.

Sağlık alanında kullanılan nanopartiküller, daha duyarlı analizler sağlamak amacıyla biyomedikal tabanlı proteomik ve genomik teknolojilerde, manyetik rezonans, ultrason, floresan, nükleer ve bilgisayarlı tomografi gibi radyolojik alanlarda moleküler görüntüleme amacıyla, ilaç geliştirme sistemleri, hedefe yönelik tedavi, aşı

geliştirilmesi gibi hedefler için kullanılır. Bu yaygın ve faydalı kullanım yeteneklerinin yanı sıra molekül özellikleri nedeniyle solunum sistemi, kan, merkezi sinir sistemi, mide-bağırsak sistemi ve cilt üzerindeki olası toksik etkileri de bilimsel incelemelere konu olmuştur [5].

4. NANOPARTİKÜLLERDE SALINIM

Günümüzde üretimi gerçekleştirilen birçok nanopartikülün endüstriyel alanda kullanılması sonucu yeni ürünler tüketicilerin kullanımına sunulmuştur. Element yada farklı yapılar bir araya getirildiğinde yapay (sentetik) olarak bileşik cisimler oluşmaktadır. Elde edilen bu bileşik cisimler nanoboyutlarda gerçekleştiğinde nanopartiküller elde edilmektedir. Yapılan bu çalışmalar sonucu özellikle tıp ve biyoteknoloji alanında kullanılmak üzere nanoboyutlarda kimyasal olarak üretilen yeni malzemeler elde edilmektedir. Basit yapılu maddelerden karmaşık olan bileşikler oluşturmak için ileri teknolojiler kullanılarak üretim yapılabileceği gibi doğal ortamlarda temin etmekte mümkündür. Kısaca nanopartiküllerin, doğal yollarla ya da (yapay) sentetik yollarla elde edilebilmeleri mümkün olmaktadır. İster doğal yollarla isterse (yapay) sentetik yollarla elde edilmiş olsun sonuç olarak buldukları ortama salınım yaparlar. Bu salınım yollarından bazıları Tablo 1'deki gibidir [9].

Tablo 1. Nanopartiküllerin doğaya salınım yolları

Doğal olarak gerçekleşen	Rastlantı sonucu gerçekleşen	Planlı olarak gerçekleşen
<ul style="list-style-type: none">- Orman yangınları- Sıvıların buharlaşması- Volkanik patlamalar- Çölden gelen tozlar- Toprak erozyonu	<ul style="list-style-type: none">- Taşıt egzoz dumanları- Fosil yakıtlı kazanlarda gerçekleşen salınım- Endüstriyel işlemler sırasında gerçekleşen salınım	<ul style="list-style-type: none">- Kullanılan bilimsel yöntemler- Yer altı sularında ağır metallerin giderilmesi- İlaçlama yapılması- Biyomedikal görüntüleme teknikleri- Kozmetik ürünler

Güçlü toz fırtınalarını iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar karasal toz fırtınaları ve dünya dışı toz fırtınalarıdır. Karasal toz fırtınaları, çevreye yayılan doğal nanopartiküllerin ana kaynağını oluşturur. Atmosfere, toz fırtınaları sayesinde salınan nano ölçekteki nanopartiküllerin yaklaşık %50'ye varan kısmı, çöl fırtınaları sayesinde gerçekleşir [10]. Dünyanın dışında bulunan mars (kıızıl gezegen) ve ay gibi gezegenlerde meydana gelen nanopartiküller manyetik yapıya sahip olduklarından, astronotlara ve çeşitli donanımlara zarar verirler. Nanopartiküllerin manyetik özelliklerinin bulunmasından dolayı astronot kıyafeti ve donanımlar gibi elektrostatik yüklü yüzeylere kolayca tutunabilirler. Nanopartiküllerdeki manyetik yapı, hareket eden herhangi bir elektrik yüküne etki eden kuvveti oluşturduğundan ekolojik sistemde bulunan yapılardaki dengenin olumsuz yönde etkilenmesine neden olabilir. Toz fırtınaları, astım ve kronik akciğer hastalığı gibi hastalıkların yanı sıra, akciğer yüzeyinde ve akciğer dokusunda yangı ve iltihaplanma oluşumuna neden olabilir.

Doğada meydana gelen volkanik aktiviteler ve patlamalar nano ölçekli partiküllerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Buda ekolojik sistem açısından risk oluşturabilir. Aslında asıl tehlike volkanın ve aktivitesinin getireceği riskler hakkında yeterli bilgiye sahip olunmamasıdır. Çünkü bu risklerin bilinmesi demek verebileceği zararın azaltılması için gerekli önlemlerin alınması demektir. Bir volkanik patlama sonucu, yaklaşık olarak 30 milyon ton kül açığa çıkmaktadır [11]. Nanopartiküllerin volkanik aktivite ve patlamalar sonucu açığa çıkan küllere tutunmaları sayesinde virüs, bakteri, mantarlar ve kimyasal kirletici maddeler, toz fırtınaları yardımıyla bir kıtadan diğerine taşınabilir. Bu taşınma işlemi sırasında açığa çıkan yüksek ultraviyole ışık altında hayatta kalabilirler. Tek bir volkanik aktivitenin gerçekleşmesi sonucu canlılar için oldukça toksik olduğu bilinen ağır metaller (Kurşun, Civa, Krom, Kadmiyum) ekolojik sisteme salınabilir. Volkanik aktivite sonucunda oluşan nanopartiküller, kısa süreli etki olarak, kendilerini solunum organlarında, gözde ve deride gösterirken, uzun süreli etki olarak, aralarında lenf sistemi orijinli hastalıklar, fil hastalığı (Lenfödem) ve Kaposi sarkomu gibi çeşitli hastalıklara neden olabilir. Bu gibi istenmeyen durumlar insanların yaşam kalitesini ve sosyal hayatını olumsuz yönde etkiler.

Nanoteknoloji alanında nanopartiküllerin kullanılması sonucu elde edilen kozmetik ürünler yeni bir uygulama değildir. Yapılan araştırmalarda binlerce yıl öncesinde siyah kurum ve bazı mineral tozların kozmetik amaçlı olarak kullanıldığı görülmüştür [12]. Günümüzde nanopartiküllerin, güneş koruma kremi, yaşlanma karşıtı antiaging kremler, nemlendiriciler, farlar, rimeller ve mineral makyaj ürünler gibi birçok uygulamaları mevcuttur. Bu

nanoteknolojik ürünlerin boyutları cilt gözeneklerinden daha küçük olması nedeniyle deriye derinlemesine nüfuz edebilirler. Bu özellik sayesinde nanoteknolojik ürünler tüketiciler tarafından tercih edilmektedir. Şüphesiz, kozmetik sektörünün bu materyallerden sağladığı birçok avantaj vardır. Boyutlarından dolayı cilt katmanının derinlerine inmeleri ve bazı besin bileşenlerini bu noktalara taşıyarak, cildin beslenmesini ve rejenere olmasını sağlamaları, nanopartiküllerin antioksidan özellik göstererek, cildin genç görünmesine yardımcı olmaları, spesifik boyutları ve optik özellikleri dolayısıyla, kırışıklıkları gizlemesi bu avantajlardan sadece bir kaçıdır. Hasarlı, yaralı, akne ve egzamaya sahip hassas ciltlerde nanopartikül emilimin artabileceği, dolaşım sistemine ulaşabileceği ve istenmeyen komplikasyonlara neden olacağı belirtiliyor. Güneş kremi içindeki lipozomlar yabancı madde olarak algılanabilir. Bu durum vücut bağışıklık sistemini harekete geçirerek alerjik reaksiyon göstermesine neden olabilir. Kozmetik sektörde kullanılan nanopartiküllerin toksisiteleri hakkında çok fazla bilgi yoktur. Ayrıca, bu sektörde en çok tercih edilen ZnO metalinin, nano boyutta toksik özelliğinin olduğu bilinmektedir [13]. Bazı mikro ve nano kişisel bakım ve makyaj ürünleri ve kullanıldığı yerler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Bazı mikro ve nano kozmetik ürünler

Materyaller	Kullanıldığı yerler
- Mikronize benzoil peroksit	- Akne ve sivilceli cilt problemlerinde
- Mikronize titanium dioksit	- Makyaj malzemeleri
- Mikronize çinko oksit	- Makyaj malzemeleri
- Mikronize lipozomlar	- Yüz nemlendirici kremler - Göz çevresi kremleri - Yaşlanma karşıtı kremler
- Mikronlaştırılmış pigmentler ve malzemeler	- Makyaj ve cilt bakım ürünleri
- Mikronlaştırılmış mısır unu	- Nemlendiriciler, pudralar
- Vitamin A, E, C'nin nanosomları	- Nemlendiriciler - Yaşlanma karşıtı kremler
- Gümüş, Nano gümüş, Mikronize gümüş Altın, Nano altın, Mikronize altın	- Yüz nemlendirici ve bakım ürünleri - Deodorantlar - Yüz bakım ürünleri - Yaşlanma karşıtı ürünler
- Nano çinko oksit	- Makyaj malzemeleri
- Nanopartiküller	- Yüz bakımı ve makyaj ürünleri - Saç bakım ürünleri

Orman yangınları ve bunun sonucu olarak toprağın yanması, yaşadığımız dünyanın oluştuğu zamandan beri süregelen ve artık dünyanın doğal bir parçası haline gelen bir olaydır. Büyük orman yangınları, kül ve duman ortaya çıkartarak yüzlerce kilometrelik alanlara yayılabilir ve nano seviyede materyallerin olduğu nanopartiküllerin oluşmasına neden olabilirler. Orman yangınları sadece doğal çevreye zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda o bölgede yaşayan canlıları da tehdit eder [14].

Su döngüsünün doğal bir sonucu olarak, dünya üzerinde bulunan denizler ve okyanuslar buharlaşmaya başladığında, su buharı ile birlikte, yüksek miktarda deniz tuzu da atmosfere karışır [15]. Kalsiyum karbonat (CaCO₃) yapıda olan deniz tuzu yaklaşık olarak 100 nm boyut gibi bir değere sahiptir. Nano ölçekteki CaCO₃ ile yapılan testler sonucunda, bu materyalde herhangi bir toksik etki meydana geldiği görülmemiştir. Solunum yolu hastalıkları bulunan hastalar üzerinde yapılan araştırmalarda, bu nanopartiküllerin faydalarının olduğunu görmüştür [16].

İnsan eliyle oluşan nanopartiküllerin hemen hepsi doğal ortamda bulunmayabilir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın yaptığı araştırma sonucunda, evsel atıklardan yayılan hava kirliliğinin, çevresel hava kirliliğinden on kat daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Yemek yapmak, sigara içmek, ütü yapmak ve hatta temizlik yapmak bile evsel nanopartikül oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Evsel nanopartikülleri oluşturan başlıca kaynaklar ısıtıcı, sigara, mum ve ütülenmiş pamuksu giysiler olarak karşımıza çıkmaktadır [17].

Yerleşimin hızla arttığı bölgelerde, artan nüfusa yer açmak için eski yapıların yıkılıp, yerlerini yeni binaların yapılması normal olarak karşılanır. Yeterince büyük olan bir binanın yıkılması sırasında, ekolojik sisteme 10 µ'dan

daha küçük partiküllerin saçıldığı gözlenmiştir. İçerisinde asbest, kurşun, cam ve diğer toksik partikülleri (ağır metallerin çoğunlukta olduğu metaller) bulunduran bu yıkıntılar, çevresinde bulunan komşu yerleşim bölgelerine rahatlıkla ulaşabilir [18]. Günümüzde nanoteknoloji alanındaki gelişmeler ile birlikte, nanopartiküllerin bu tür ürünlerde kullanım oranları da artmıştır. Buda her geçen gün ekolojik sisteme salınan nanopartikül sayısında artış anlamına gelmektedir. Salınım sayısındaki artış ortaya çıkan risklerinde artacağı anlamına gelmektedir.

Tablo 3. Ekolojik çevrenin nanopartiküllere maruz kalma yolları [19]

Materyal	Örnekler	Salınım ve maruz kalma
- Makyaj malzemesi	- ZnO2 güneş kremlerinde	- Doğrudan cilde uygulanır ve geç yıkanır. Konteyner imhası
- Yüzey parlatma	- Seryum oksit (CeO2) katkı maddeleri	- Çiziklerin giderilmesi, yüzeylerin parlatılması
- Boya ve kaplamalar	- Antibakteriyel gümüş nanopartiküller, kaplamalar ve hidrofobik nanokoreaplar	- Aşınma ve yıkama Ag gibi parçacıkları ve bileşenleri serbest bırakır
- Giyim	- Antibakteriyel gümüş nanopartiküller, kaplamalar ve hidrofobik nanokoreaplar	- Cilt emilimi, aşınma ve yıkama Ag gibi parçacık ve bileşenleri serbest bırakır
- Elektronik	- Ticari elektroniklerde gelecekte kullanılmak üzere karbon nanotüpleri önerilir	- Atılması emisyonu neden olabilir
- Dekoratif malzemeler	- Farklı tarzda motifler ve ürünler	- Kullanımı ve aşınması emisyonu neden olabilir
- Mutfak malzemesi	- Paslanmaz çelikteki altın rengi malzemeler (Tencere, tava, demlik,...)	- Atılması emisyonu neden olabilir
- Yanma işlemleri	- Ultra ince parçacıklar	- Egzoz emisyonu
- Toprak yenilenmesi	- Nanopartiküller, toprak yenilenmesi için düşünülmektedir	- Yüksek lokal emisyon ve kullanılan yerde maruz kalma
- Nanopartikül üretimi	- Üretim genellikle kullanılmayan ürünlerle üretilir	- Üretim uygun şekilde planlanmazsa nanopartiküller atık su ve egzoz gazlarında lokal olarak yayılabilir

5. NANOTEKNOLOJİDEKİ GÖRÜNMEYEN TEHLİKELER

Günümüzde nanoteknoloji sayesinde milyonlarca ürün planlanıyor, üretiliyor ve çok kısa bir süre sonra da market raflarında satışa sunuluyor. Alıcı olarak bizlerde, madem satışına izin verildi, teknolojinin son buluşu, herkes onu konuşuyor, vardır bir sebebi deyip satın alıyoruz. Sonra aradan bir süre geçince aldığımız ürünün yan etkileri hakkında olumsuz haberler duymaya başlıyoruz. Nedense nanoteknoloji ismi insanları etkisi altına almaktadır. Belki anlamı bilinmiyor ama olsun. Öyle ya, iyi bir şey olmasa devlet büyükleri, bilim adamları, sanayiciler hep onu konuşmaz. Nanoteknoloji ürünü de bilimsel gelişmelerin en son noktasını insanlara sunuyor. Bu nedenle böyle düşünmemiz çok doğal. Ancak şunu unutmamak gerekir, aslında her yeni teknolojinin tam olarak oturması ve güvenilirlik testini geçmesi için üzerinde yıllarca çalışılması ve araştırmalar yapılması gerekmektedir. Nanoteknolojide, ateş olsa cirmi kadar yer yakar deyimi geçerli değildir. Çünkü partiküller nano ölçekte daha saldırgan bir yapıya sahip olduklarından kontrol edilmeleri zorlaşır. Nanoboyutlarda çok hareketli olan bu nanopartiküllerin en önemli özelliği, hücreler açısından toksik etki gösterebilme yetisidir. Üretilen bazı nanoteknoloji ürünleri korkusuzca elimize verilirken henüz tamamlanması gereken test süreci göz ardı edilmektedir. İşin korkutucu boyutu bununla da kalmıyor. Nanoteknoloji laboratuvar atıkları çoğunlukla sulara, sonra sular aracılığıyla toprağa, oradan da yiyeceklerimize taşınmaktadır. Para verip direkt nanoteknoloji ürünü satın almasanız bile yapımı sırasında doğaya saçılan nanopartiküller ya solunarak ya da yiyecek ve içecek yoluyla gelip vücudumuza girmektedir.

İnsanoğlunun asbest (amyant) ile yaşadığı acı tecrübeyi "nanopartiküller geleceğin asbesti olabilir mi?" sorusunu da bilim dünyasında daha fazla sorgular hale getirmiştir. Yirminci yüzyılın başından yaygın olarak kullanılan asbestin insan vücudundaki toksik etkileri ancak yüzyılın sonuna doğru kanıtlanmıştır. Ancak bundan sonra tüm dünyada yasaklanmaya başlanmıştır. Bu noktada asbeste benzer özellikler gösteren bazı nanopartiküllerin bulunduğu bilinmektedir. Günümüzde bu tür yapıların risklerinin olup olmadığı bilim adamları tarafından araştırılmaktadır [20].

Dünya genelinde yeni gelişen ve hızla gelişmeye devam eden teknolojilerde bilinmeyen birçok riskler bulunur. Bu risklerin çoğu hakkında yeterli bilgiye sahibi değiliz. Bunun en büyük nedeni bu alanda yetişmiş uzman eleman eksikliğidir. Uzman eleman eksikliği kaçınılmaz olarak bu alanda bilgi eksikliğini de beraberinde getirmektedir. Bu alanda yaşanan bilgi eksikliği ise büyük belirsizlikler yaşanmasına neden olmaktadır. Nanoteknolojide böyle bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Nanoteknoloji alanında yapılan çalışmalar ilerledikçe yetişmiş eleman açığının azalacağı bir gerçektir. İçinde yaşadığımız dünyada nanoteknoloji alanında çalışan bilim adamları bu boşluğa dikkat çekerek çevre ve insan sağlığı açısından riskler taşıyabileceği uyarısında bulunmaktadır. Bu nedenle nanomalzemelerin kontrollü olarak kullanımı ve üretiminin yapılmasına yönelik araştırmalar yapılması gerekmektedir. Günümüzde nanoteknolojik yaklaşım ve beklentilere yönelik bir dizi çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen sağlıklı sonuçlara ulaşılması sayesinde yeni imkânların ve uygulamaların insanları heyecanlandıracağı ve daha fazla ilgisini çekeceği aşikârdır. Günümüzde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen nanoürünlerin birçoğu kullanılmaktadır. Her ne kadar nanoürünler nanopazarlarda yerini almış olsalar bile çevreye olan toksik etkileri hakkında elde edilen bilgiler oldukça sınırlı kalmaktadır. Nanopartiküllerin insan vücuduna girişleri solunum, beslenme ve deri yoluyla gerçekleşir. Vücuda alınan nanopartiküller kolayca kana geçmektedir. Nanopartiküllerin kana geçmesi sonucu insan vücudundaki birçok organı etkileme olasılığı bulunmaktadır [5]. Nanopartiküllerin solunması sonucu etkilenen hedef bölge genellikle akciğerlerdir. Nanomalzemelerin vücutta tahriş, yaralanma veya enfeksiyona karşı tepkilere neden olduğu kanıtlanmıştır. Bununla beraber tepkilerin ciddiyetini belirleyen faktörler tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Aynı zamanda tekrarlanan maruziyetlerde birçok vaka için uzun dönem sağlık sonuçları bilinmemektedir.

Nanopartiküllerin insan vücudunda en önemli giriş ve hedef organı akciğerlerdir. Buhar veya gaz haline gelmiş nanopartiküller solunumla akciğerlere alındığında dış zar göğüs duvarına (pariteal pleura) kadar ulaşır. Kısa boyutlu ya da helezon yapıdaki makrofajlar tarafından çevrelenerek yok edilir. Ancak yüksek boy-en oranına sahip nanotüpler asbest lifleri gibi iç organın deriye ağızlaştırılması işlemi (stoma) şeklinde gerçekleşerek çevresinde birikir. Fagositoz ve pinositoz yapan hücreler, bu lifsi yapıları nedeniyle nanotüpleri fagosite edemez ve ortama mezotel hücreleri tarafından pro inflamatuvar, genotoksik (DNA ve genlere toksik etki göstererek mutasyona ve kansere neden olan kimyasal maddeler ve radyoaktif elemanlar), mitojenik aracı maddeler (mediator) salınır [21].

Buhar veya gaz haline gelmiş nanopartiküllerin toksik etkisinin gerek solunum sistemi, gerekse diğer sistemler üzerinden akciğerlere ulaşmasıyla başlayan etkinin pulmoner ve sistemik inflamasyon olduğu ileri sürülmüştür. Bu görüşe göre iltihaplanma sonucu oluşan pulmoner endotel disfonksiyonu, trombosit aktivasyonu, trombotik faktörlerin uyarılması, aterosklerotik plak lezyonu ve yırtılma, vasküler (damarsal) endotelial disfonksiyon, akciğer ve karaciğer reflekslerin uyarılması, kalp hızında ve ritminde bozulma ve hatta ani kalp durmasıyla sonuçlanabilecek önemli modifikasyonların olabileceği bildirilmiştir [22, 23].

Hava kirliliğinin sağlık üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve yorumlanması sonucu, yüksek oranda nanopartikül içeren havayı soluyan insanlarda kalp - damar hastalığına yakalanma riskinin yüksek olduğunu ortaya konmuştur. Buna karşılık iş ortamında nanopartiküllere maruz kalan işçilerin bu bulgularla ilişkisi tam olarak ortaya konamamıştır. Solunumun yanında mesleki maruziyetin bir sonucu olarak nanopartiküllerin deri ve sindirim sistemiyle ilişkisi söz konusudur. Kozmetik ürünlerde kullanılan nanopartiküller dışında, cildi etkileyen nanomalzemeler hakkındaki araştırmalarda oldukça kısıtlıdır. Nanopartiküllerin cilde teması sonrası oluşan etkilerin temas bölgesinde olması beklenir. Nanomalzemelerin cilt tarafından emilim potansiyeli hakkında yapılan çalışma, gerçekleşecek herhangi bir cilt emiliminin çok düşük miktarlarda olacağını ortaya koymuştur. Elimizde sindirim sistemine giren nanopartikülün akıbetiyle ilgili genel sonuçlar ortaya koyabilecek detaylı bir bilgi yoktur. Nanopartiküllerin yan etkisi tam olarak bilinmediğinden çeşitli hastalıklar ortaya çıkabilir düşüncesiyle hareket edilmektedir. Bu nedenle nanoteknoloji alanındaki uygulamalar arttıkça, nanopartiküllerin ekolojik sistem üzerindeki olumlu ve olumsuz etkilerinin olabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu sayede daha uyumlu nanomalzemelerin hayatımıza girmesi sağlanmış olur. Nanopartikül kullanım alanlarının ve uygulamalarının artması, çevre ile etkileşimlerinin önemli oranda artmasına neden olmaktadır. Nanopartiküllerdeki yüksek yüzey-hacim oranı, elektronik yapı, ara yüzey tepkiseliliği gibi farklı fizikokimyasal özellikler son derece farklı çevresel davranışlara ve etkilere sebep olabilir [9]. Ayrıca nanopartiküllerin ekolojik sistemdeki çeşitli bileşenlerle direkt

etkileşimleri, üzerinde taşıdıkları kirletici maddelerin ekolojik sistemdeki akıbetlerini ve taşınmalarını etkileyeceği düşünülmektedir. Bu sebeple, çevreyle etkileşim içinde olan nanopartiküllerin olası negatif etkileri önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir [1].

Ortamda bulunan kirletici maddelerin uzaklaştırılması ekolojik sistemlerin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Kirletici özelliğe sahip olan maddelerin ortamdaki uzaklaştırılmasında fiziksel ve kimyasal pek çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler içerisinde bioremediasyon göze çarpmaktadır Diğer yöntemlere alternatif olarak geliştirilen bioremediasyon yöntemi (mikroorganizmaların kullandığı, uzun süreli arıtım süreçleri) diğer yöntemlere göre daha ucuz ve çevre dostu olduğundan tercih edilmektedir. Kirletici özelliğe sahip maddelerin biyolojik olarak uzaklaştırılması, taşınması anlamına gelen bioremediasyon yönteminde bitkiler sıklıkla kullanılmaktadır. Nanopartiküllerin taşınması için kullanılan bioremediasyon yönteminde önemli bir bileşen olan bitkiler, emilim ve biyolojik birikim (zehirli maddelerin zararlı yoğunluğa ulaşması) özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir [24, 25].

Nanoteknolojik araştırma ve uygulamalar için yapılan yatırımlar günden güne artmaktadır. Bu durum ise nanopartiküllerin doğadaki konsantrasyon artışına sebep olmaktadır. Bu elementlerde bir tanesi de platinyumdur. Günümüzde platinyum (Pt) nanopartikülünün endüstriyel uygulamalarına sıkça rastlanmaktadır. Özellikle biyomedikal ve tıp alanında sunduğu imkânlar etkileyici boyutta olmaktadır. Bunun yanında taşıdığı riskleride göz ardı etmemek gerekmektedir. Nanoteknolojide yaşanan hızlı gelişmeler diğer teknolojik alanlarda olduğu gibi insan ve ekolojik sistem için büyük yararları olduğu kadar önemli zararları olabileceği unutulmamalıdır [4, 26].

Kullandığımız nanomalzemelerin vücut tarafından yabancı tehdit olarak görülmemesi ya da kimyasal ve biyolojik etkileşimin zararlı etkilerinin olmaması veya sınırlı olması gerekmektedir. Nanoteknoloji alanındaki riskleri ortaya çıkarmak amacıyla yapılan araştırmalarda, canlıların biyolojik yapıları ve aktiviteleri üzerindeki etkileri henüz detaylı olarak açığa çıkarılamamıştır. Yapılan araştırmalar sonucu, biyolojik etkileri tam olarak bilinmeyen nanomateryal sayısında artış olduğu ve kullanımının hızla arttığı görülmüştür. Bu ürünlerin pek çoğunun kanserojen ya da canlı hücre üzerinde kalıcı etki ortaya koyabileceği göz ardı edilmemelidir. Canlı hücreleri ve genetiği üzerinde nanopartiküllerin nasıl bir etki oluşturduğu incelenmesi gereken geniş kapsamlı bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü her geçen gün canlıların daha fazla nanopartiküle maruz kaldıkları görülmektedir. Sonuç olarak canlı üzerindeki olası etkilerinden olan hücrelerin ölmesine, fonksiyonlarının durmasına, genlerinin mutasyona uğramasına ya da zehirleyici etkilerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Başta kanser olmak üzere farklı hastalıkların, pek çok üreme ve gelişim bozukluklarının kontrol altına alınması için çalışmaların yapılması gerekmektedir. Nanopartiküllerin ekolojik sisteme yayılma aşamalarının farklılık göstermesinin yanında canlı yapısındaki proteinlerin özelliklerini değiştirme riskleri de bulunmaktadır. Risklerin ortaya çıkması sonucu canlı vücudunda (kızarıklık, iltihaplanma,..) meydana gelen değişiklikler, hücrelere ve dokulara zarar verebilen etkilerin ortaya çıkmasına neden olur. Ayrıca canlı organizmalarında birikme ihtimalleri de bulunmaktadır. Bu da sonraki yıllarda bir takım riskleri beraberinde getirecektir. Bu nedenle gerekli olan testlere ilave olarak farklı testlerinde geliştirilerek uygulamaya konulması gerekmektedir. Böylece nanopartiküllerin canlılar üzerindeki etkileri derinlemesine incelenir ve riskler karşısında önlem alınması daha kolay olur. Günümüzde elde edilen nanoteknolojik ürünlerin etkilerinin araştırılması oldukça önem arz etmektedir. Çünkü nanoteknoloji geleceğin teknolojisi olarak görülmektedir. Ülkeler yeni gelişmeler elde edebilmek ve yarışta geri kalmamak için büyük bütçeler ayırarak yatırımlar yapmaktadır.

Metal nanopartikül yapılar kolaylıkla sentezlenebilirler. Kimyasal olarak değişiklik yapılabildiğinden tüketim ürünlerinde, endüstriyel ürünlerde, makina sanayinde, askeri alanda ve özellikle tıpta geniş uygulamaları bulunmaktadır. Kristal yapıları ve çok güçlü metalik bağları nedeniyle üstün mekanik özellikler sergileyen metal nanopartiküller ve alaşımlar, iskelet-kas sistemine en iyi uyum sağlayan malzemeler arasında yer alır [27]. Kullanılan biyomalzemelerin başında çelik gelmektedir. 1900'li yılların başında önemli ölçüde kullanılan çelik, oksidasyon özelliği nedeniyle daha sonraları yerini paslanmaz çelik, kobalt, krom ve kobalt-krom alaşımlarına bırakmıştır. Aslında canlı vücudunda kullanılacak olan biyomalzemeler bazı testlerden geçtikten sonra kullanım alanına girmektedir. Fakat yapılan testlere rağmen biyomalzemelerin vücutta alerjik, immün (bağışıklık), inflamatuvar (iltihap), mutajenik ve karsinojenik etkileri zaman içerisinde ortaya çıkabilmektedir [28]. Bu nedenle, nanopartiküllerin dokulara karşı alerjik reaksiyon özellikleri, biyolojik uyumluluğu ve genetik açıdan toksisitesi mutlaka araştırılarak kullanıma sunulmalıdır. Sağlık alanında kullanılan metal nanopartiküllerin insan üzerindeki hücre zehirlenmesi ve yapılan genetik toksisite testlerin sayısı giderek artmaktadır. Metalleri de kapsayan çeşitli nanopartiküller, insanlar için yapılan bazı testlerde kemoterapi ve genotoksik potansiyele sahip oldukları görülmüştür. Yapılan çalışmaların çoğunda nanopartikül konsantrasyon artışına paralel olarak DNA hasarında artış saptanmıştır [29].

Metal nanopartiküller küçük boyutlu olmalarından dolayı doğrudan hücreye ve çekirdeğe girebilir, hücrede serbest radikal oluşuma yol açabilir ve DNA'ya bağlanarak genetik hasara neden olabilir. Hamile farelerde deri altına nano titanyum dioksit uygulanmış ve yavruya geçtiği görülmüştür. Yavruların izlenmesi sonucu, beyin hasarı ve erkek yavrularda üreme sorunları olduğunu görülmüştür. 48 saat nanopartiküle maruz bırakılan balıklarda ise beyin hasarının olduğu görülmüştür. Eğer bu yapılar hücreler tarafından alınabiliyor ise bakteri yoluyla besin zincirine girebilir. Örneğin balıklarda cıva, sebze de pestisitler ve etteki hormonlar sağlık açısından tehdit oluşturabilir. Günümüzde popüler olan karbon nanotüpün (çelikten 20 kat daha güçlü ve daha hafif), asbest fiberine benzerliği söz konusudur. Karbon nanotüpler havaya salındığında karbon temelli oldukları için, vücuttaki savunma mekanizması bunu tanıyamaz ve algılanması zorlaşır. [30, 31].

Nanopartiküller sistemik dolaşım ve hava yolu epitelinde sonlanan duyu sinirleri üzerinden ya da koku siniri yardımıyla, ganglion ve santral sinir sistemi yapılarına ulaşabilir. Araştırmalar sonucu nanopartiküllerin santral sinir sistemi üzerinde zararlı etkilerinin olduğu görülmüştür. Güneş kremlerinde kullanılan titanyum dioksit nanopartiküllerin farelerde kullanılması sonucu beyin hasarına neden olduğu görülmüştür [32].

Nanopartiküllerin protrombotik etkilerinin araştırıldığı daha güncel bir çalışmada ise damar içi uygulanan yüksek doz kuantum noktalarının, farelerin akciğer, karaciğer ve kan hücrelerinin yüzeylerinde biriktiği, pıhtılaşma sürecinde aktivasyona yol açtığı ve pulmoner vasküler tromboza neden olduğu görülmüştür. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar nanopartiküllere maruz kalmanın insanlarda arteriyel ve/veya venöz tromboembolizm (VTE) olaylarını artırabileceği şüphesini doğurmaktadır [33]. Nanopartikül toksisitesi oksidatif stres, iltihaplanma ve dolayısıyla proteinler, membranlar ve DNA'ya zarar verebilir. Buhar veya gaz haline gelmiş nanopartiküllerin solunması ya da yutulması sonucu kan dolaşımına geçebilir. Bazı nanomalzemeler kullanım şekline bağlı olarak deriye nüfuz edebilir. Kırık cilt, akne, egzama, tıraş yaraları ya da şiddetli güneş yanığı gibi durumlar nanomalzemelerin daha kolay cilde almasına neden olabilir. Kan dolaşım sistemine geçen nanopartiküller vücudun farklı bölgelerine taşınabilir ve beyin, kalp, karaciğer, böbrekler, dalak, kemik iliği ve sinir sistemi gibi birçok organ ve doku tarafından alınır. İçerisinde metal nanopartiküllerin bulunduğu yapılar üzerinde yapılan 21 adet genetik toksisite testi içerisinde 16 tanesinin risk oluşturduğu gözlenmiştir [34]. Çeşitli hücrelerin kontrol şartları altında yetiştirilmesi sürecinde bazı nanopartiküllerin genetik toksisite testlerinin mikronükleus (MN) testi ile gösterildiği çalışma sonucunda, alimünyum oksit, kobalt, kobalt-krom, demir oksit, gümüş ve titanyum dioksitin DNA hasarına yol açtığı tespit edilmiştir. Çeşitli hücre zehirlenmesi ve genetik toksisite testleri ile farklı hücre kültürlerinde etkileri incelenen gümüş, altın, krom, kobalt, bakır oksit, çinko oksit, alimünyum oksit ve titanyum dioksit nanopartiküllerinin kemoterapi ve genotoksik potansiyellerinin bulunduğu belirtilmiştir. Genellikle metal nanopartiküllerin genetik toksisite testleri ile ilgili özellikle memelilerde in vivo genetik toksisite testleri çalışmaları oldukça sınırlı kalmaktadır. Nanopartiküllerin fizikokimyasal özellikleri ile toksik etkileri arasında bağlantı kurabilmek için nanopartiküllerin canlı sistemlerde ve hücrelerdeki tutulumunun ve birikiminin çok iyi bilinmesi gerekir [27]. Bu nedenle farklı tür canlılar üzerinde farklı doz ve maruziyet sürelerini kapsayan in vivo çalışmaların yapılması da oldukça önemlidir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Doğada kendiliğinden oluşabilen nanopartiküllerin sanayiye kullanılması sonucu çevredeki konsantrasyonları artmıştır. Bu alan yeni ürünler geliştirme arzusu nedeniyle sürekli bir değişim içerisinde bulunmaktadır. Laboratuvar ortamlarında yapılan çalışmalar sonucu farklı nanopartiküller elde edilmektedir. Nanoteknolojideki gelişmelere paralel olarak önem kazanan nanopartiküllerin, ekolojik sistem üzerinde oluşturduğu etkiler ve riskler tam olarak bilinmemektedir. Nanopartiküllerin ortamlarda tespit edilme çalışmalarının yanı sıra, çevre ve canlılar üzerindeki toksik etkilerinin de belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Yeni geliştirilen nanopartiküllerde birçok farklı etkiler ortaya çıkabilmektedir. Farklı yapılar sergilemeleri nedeniyle nanopartiküller çevreye olumlu ya da olumsuz etkiler bırakabilir. Nanoteknoloji alanındaki gelişmeler devam ettikçe bu etkileşim daha ileri seviyelere çıkacaktır. Günümüzde bu etkilerin önceden tespit edilip gerekli önlemlerin alınması zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu etkileri ortaya çıkarmak için farklı bilim dallarında araştırmalar ve çeşitli testler yapılmaktadır. Nanopartiküllerin ekolojik sistem üzerindeki etkileri tam olarak bilinmediğinden bu alandaki boşluğu doldurmak için yoğun çalışmaların yapılması zorunluluğu vardır. Her geçen gün nanoüretim sayıları arttığından yeni yeni nanomalzemeler raflarda yerini almaktadır. Nanomalzemelerin çoğalması demek ekolojik sistemin nanopartiküllere daha fazla maruz kalması anlamına gelmektedir.

Nanopartiküllerin canlılar üzerindeki toksik etkilerinin bulunduğunu in vivo (doğal ortam) ve in vitro (yapay ortam) araştırmalar göstermiştir. Konsantrasyonları hızlı bir şekilde artan, pozitif ya da negatif etkileri hakkında çok

az bilginin bulunduğu nanopartiküllerin ortamlardaki tespiti büyük önem taşımakta olup, bu alandaki çalışmaların artırılması gerekmektedir. Çok az sayıda mevcut olan çalışmanın yetersizliği vurgulanarak bu konuyla ilgili yeni çalışmaların gerekliliği üzerinde durulmalıdır. Böylece kamuoyunun dikkati çekilerek doğabilecek olumsuzlukların önüne geçilmelidir. Gelecekte nanoteknolojinin daha yaygın kullanılabilir hale gelmesi, insanların nanopartiküllerle daha fazla teması anlamına gelecektir. Bu nedenle insanoğlunun “asbestle gördüğü korkulu rüya”nın tekrarlanmaması için nanopartiküllerin, başta solunum sistemi olmak üzere insan sağlığı üzerine ve çevreye muhtemel olumsuz etkilerinin daha fazla araştırılması gerekmektedir.

Referanslar

- [1] Hanks N.A, Caruso J.A, Zhang P. (2015). *Journal of Environmental Management*, 164: 41-45.
- [2] Haverkamp R.G, Marshall. A.T. (2009). *Journal of Nanoparticle Research*, 11 (6): 1453-1463.
- [3] Erkoç Ş. (2007). *Nanobilim ve Nanoteknoloji*. ODTÜ Yayıncılık. 107.
- [4] Seaton A, Donaldson K. (2005). *Nanoscience, nanotoxicology, and the need to think small*. 365: 923-927.
- [5] Medina C, Santos-Martinez MJ, Radomski A, Corrigan OI, Radomski MW. (2007). *Nanoparticles: pharmacological and toxicological significance*. *Br J Pharmacol* 150: 552-560.
- [6] Berker N. (2009). *Bilim ve teknoloji haberleri, Bilim ve Teknik Dergisi*. 11.
- [7] Gök H. (2007). *Fiziksel tıp ve rehabilitasyon uzmanlarının nanoteknolojiden beklentileri, Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*. 53(2):13 – 20.
- [8] Haverkamp R.G, Marshall A.T, Van D. (2007). *Journal of Nanoparticle Research*. 9(4): 697-700.
- [9] Ma X. C. (2010). *Wang. Environmental Engineering Science*. 27 (11): 989-992.
- [10] Shi H, Magaye R, Castranova V, Zhao J. (2013). *Titanium Dioxide Nanoparticles: A Review of Current Toxicological Data*. *Particle and Fibre Toxicology*. 10(15).
- [11] Taylor L.A, Schmitt H.H, Carrier W.D, Nakagawa M. (2005). *The Lunardust Problem: From Liability to Asset*. *First Space Exploration Conference: Continuing the Voyage of Discovery*, 30 January-1 February Orlando, Florida, USA.
- [12] Buzea C, Blandino I.I.P, Robbie K. (2007). *Nanomaterials and Nanoparticles: Sources and Toxicity*. *Biointerphases*. 2(4): 17-71.
- [13] Soto K.F, Carrasco A, Powell T.G, Garza K.M, Murr L.E. (2005). *Comparative In Vitro Cytotoxicity Assessment of Some Manufactured Nanoparticulate Materials*

Characterized by Transmission Electron Microscopy. *Journal of Nanoparticle Research*. 7, 145-169.

[14] Sapkota A, Symons J.M, Kleissl J, Wang L, Parlange M.B, Ondov J, Breyse P.N, Diette G.B, Eggleston P.A, Buckley T.J. (2005). Impact of the 2002 Canadian Forest Fires on Particulate Matter Air Quality in Baltimore City. *Environmental Science & Technology*. 39: 24–32.

[15] Buseck P.R, Pósfai M. (1999). Airborne Minerals and Related Aerosol Particles: Effects on Climate and the Environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 96(7): 3372-3379.

[16] Ballard S.T, Parker J.C, Hamm C.R. (2006). Restoration of Mucociliary Transport in the Fluid-Depleted Trachea by Surface-Active Instillates. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*. (34): 500-504.

[17] Afshari A, Matson U, Ekberg L.E. (2005). Characterization of Indoor Sources of Fine and Ultrafine Particles: A Study Conducted in a Full-Scale Chamber. *Indoor Air*. 15: 141-150.

[18] Stefani D, Wardman D, Lambert T. (2005). The Implosion of the Calgary General Hospital: Ambient Air Quality Issues. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 55: 52-59.

[19] https://en.wikibooks.org/wiki/Nanotechnology/Health_effects_of_nanoparticles#Nanotoxicology:_Health_effects_of_nanotechnology (20.02.2018).

[20] Tse LA, Yu IT, Goggins W, Clements M, Wang XR, Au JS, Yu KS. (2010). Environ Health Perspect. Are current or future mesothelioma epidemics in Hong Kong the tragic legacy of uncontrolled use of asbestos in the past? *Environ Health Perspect*. 118: 382-388.

[21] Donaldson K, Murphy FA, Duffin R, Poland CA. (2010). Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma. *Particle and Fibre Toxicology*. 7: 5.

[22] BeruBe K, Balharry D, Sexton K, Koshy L, Jones T. (2007). Combustion-derived nanoparticles: mechanisms of pulmonary toxicity. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*. 34: 1044-1094.

[23] Duffin R, Mills NL, Donaldson K. (2007). Nanoparticles-a thoracic toxicology perspective. *Yonsei Med J*. 48: 561-633.

[24] Monica R.C. Cremonini R. (2009). *Caryologia*. 62(2): 161-165.

- [25] Andreotti F, A.P. Mucha, C. Caetano P. Rodrigues C. Rocha Gomes C.M.R. (2015). Almeida. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 120: 303-309.
- [26] Asztemborska M, Steborowski R, Kowalska J, Bystrzejewska-Piotrowska G. (2015). *Water, Air&Soil Pollution*. 226: (4).
- [27] Xie H, Mason MM, Wise Sr, JP. (2011). Genotoxicity of metal nanoparticles. *Rev Environ Health*. 26 (4): 251-319.
- [28] Pfuhler S, Elespuru R, Aardema MJ, Doak SH, Donner EM, Honma M, et al. (2013). Genotoxicity of nanomaterials: refining strategies and tests for hazard identification. *Environ Mol Mutagen*. 54 (4): 229-268.
- [29] Revell PA. (2006). The biological effects of nanoparticles. *Nanotechnol Percept*. 2: 283–381.
- [30] Syed S, Zubair A, Frieri M. (2013). Immune response to nanomaterials: implications for medicine and literature review. *Curr Allergy Asthm Rep*. 13 (1): 50-57.
- [31] Donaldson K, Poland CA, Schins RPF. (2010). Possible genotoxic mechanisms of nanoparticles: criteria for improved test strategies. *Nanotoxicol*. 4(4): 414-434.
- [32] Long TC, Saleh N, Tilton RD, Lowry GV, Veronesi B. (2006). Non-photoactivated titanium dioxide nanoparticles produce reactive oxygen species in immortalized mouse microglia. *Environ Sci Technol*. 40: 4346-4398.
- [33] Geys J, Nemmar A, Verbeken E, Smolders E, Ratoi M, Hoylaerts M, et al. (2008). Acute toxicity and prothrombotic effects of quantum dots: impact of surface charge. *Environ Health Perspect*. 116: 1607-13.
- [34] Gonzalez L, Sanderson BJS, Kirsch-Volders M. (2011). Adaptations of the in vitro MN assay for the genotoxicity assessment of nanomaterials. *Mutagenesis*. 26(1): 185–276.