

İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Nanomateriyal Risk Değerlendirmesi

Nanomaterial Risk Assesment Review in the Scope of Occupational Health and Safety

İbrahim EYİ

ÖZET

Mühendislik ürünü olan Nanomatereyaller(Nm)'in sağlığa yönelik tehlikeleri konusunda artan bir endişe bulunmaktadır. Bu durum risk grubu altında olan çalışanların Nm'lere maruziyetinin oluşabileceği alanlar ile ilgili mevcut tehlikelerin, risk faktörlerinin tanımlanması, risk değerlendirme methotlarının geliştirilmesi konularında çalışmalara gereksinim olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Nanomateryal proseslerle ilgili belirlenmiş bazı standartlar ve sektörel bazda gelişmeler olsada sistematik çerçeve tam anlamıyla oluşmamıştır. Gelişen teknoloji ile kendisine her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulan nanomateryallerin gelecekte insan sağlığına ne gibi zararlar verebileceği araştırılması gereken diğer bir konudur. Bu çalışmada iş sağlığı ve güvenliğinde kapsamında nanomateryallerin özellikleri, risk faktörleri ile nanomateryallerde risk yönetiminde izlenecek risk analiz methodları konusunda perspektif sunabilmek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nanoteknoloji, Nanomateryal, Nanopartikül, İş Sağlığı ve Güvenliği, Risk Yönetimi, Risk Değerlendirmesi, Risk Analizi

ABSTRACT

Nanomaterials is engineered materials and there is a growing concern of harmful effects for human health. These concerns have been directed to identify threats, determine risk factors, improve risk assessment methods for occupational health and safety in areas where worker exposure exists. Although there are improvements in sectoral base for nanomaterials and its processes, there isn't complete regulation or systematic framework containing all risks. It is also not clear how nanomaterials will affect worker's health in the future. The purpose of this study is to define consize information about risk factors, risk assessments, analysis methods and give a perspective of nanomaterials in context of occupational health and safety.

Keywords: Nanotechnology, Nanomaterial, Nanoparticle, Occupational Health and Safety, Risk Management, Risk Assessment, Risk Analysis

I. GİRİŞ

Nano Yunanca anlamına gelen bir kelimedenden türetilmiş olan bir ön ektir. ABD Milli Nanoteknoloji Kurumu nanoölçekli materyalleri; boyutları 1-100 nanometre (nm) aralığında olan, mühendislik yöntemleri ile boyutlarına has özelliklerde üretilmiş malzemeler olarak tanımlamaktadır [1,2]. Nanomateryaller nano-boyutlarıyla karakterize edilmekle beraber özellikleri aynı materyalin daha büyük parçacıklı halinden büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar nanomateryalleri tıp, çevre ve enerji gibi alanlarda yeni ve gelişmiş uygulamalar için uygun hale getirmektedir [3]. Nanomateryal malzemeler bu özellikleri ile belirli bir amaç olmadan doğal yollarla oluşan ve aynı ölçüğe sahip olabilen ultra-ince partiküllü malzemeler ile farklılık göstermektedir. Ultra-ince terimi İş ve Çevre Sağlığı alanında çap olarak 100 nm'den daha küçük uçucu partikülleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Ultra-ince partiküller kasıtlı olarak üretilmemekte ancak kaynak, eritme, yakıt yanması, ateş vb gibi yanma ve buharlaşma proseslerinin birer ürünleri olarak ortaya çıkmaktadır [1].

Mühendislik Nanomateryalleri (MNm) alanındaki

teknolojinin gelişimi, bu teknolojinin sağlık ve çevreye olan etkileri ile ilgili bazı endişeleride beraberinde getirmektedir [1,4]. Mühendislik Nanomateryallerinin (MNm) inflamasyon, astım alevlenmesi, genotoksisite ve solunum yolu kanserleri gibi ultra-ince partiküllerin insan sağlığında neden olduğu tehditlere benzer zararlara neden olabileceği de söylenmektedir.

II. MÜHENDİSLİK NANOMATERYALLERİNİN GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

Genellikle karbon yada metal/metal oksit bileşimleridir. Karbon bazlı MNm'leri tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nanotüpleri, grafen (hegzagonal yapıda tek tabakalı karbon yapı), küresel fullerenler (üç-koordinatlı karbon atomlarını içeren 20-80 karbon atomlarından oluşan kapalı kafes yapıları), C60 (Buckyballs, buckminsterfullerene) ve simetrik olan dendrimenleri içermektedir. MNm'lerin üretim sürecunda elde edilen kimyasal özellikleri nanomateryallere çeşitli kullanım özellikleri (Tablo 1) ve avantajları kazandırmaktadır [23].

Boyut farklılıkları açısından tek duvarlı karbon nanotüpler ve çok duvarlı karbon nanotüpler 1-2 ve 2-50 nm

Tablo 1: Nanomateryallerin kimyasal özelliklerine göre kullanımı [23]

Nanomateryal Türü	Örnekleri	Kimyasal Özellikleri	Uygulama
Karbon NM'leri	Fullerenler, Buckyball,(C ₆₀ , C ₂₀ , C ₇₀), karbonnanotüpler, nanoelmaslar, nanoteller	Stabil, sınırlı reaktivite, yüksek antioksidan	Biyomedikal, süperkondensatörler, sensörler, fotovoltaik
Metal oksitler	TiO ₂ , ZnO, CeO ₂	Yüksek reaktivite, fotovoltaik özellikler	Fotokatalist, pigmentler, ilaç iletimi, teşhis, UV koruyucu, dizel yakıt katkısı
Zero-valent Malzeme	nZVI, EZVI, BNPs	Yüksek yüzey aktivitesi	Kirleticilerin (nitrat gibi) azaltılmasında kullanım
Quantum Dot'lar	CdSe, CdTe ve ZnSe	Paket yarıiletkenlik	Medikal teşhis, fotovoltaik, telekomünikasyon, sensörler
Dendrimenler	Hiper polimerler, dendrigaft polimerler ve dendron	Multifonksiyonel polimerler	İlaç iletimi, kimyasal sensörler, medifiye elektrotlar, DNA taşıyıcılar
Kompozit Nm'ler	Sentetik polimerle ve reçinelerle, Nanokillerle ve diğer Nm'ler ile birleşmiş	Multifonksiyonel komponentler, katalitik özellikler	Mekanik ve alev geciktirici özellikler, ilaç iletimi
Gümüş Nm'ler	Kolloid Gümüş, gümüş teller, nano-gümüş toz ve polimerik gümüş	Yüksek yüzey reaktivitesi, antimikrobiyal özellikler	Medical uygulamalar, su saflaştırması, antimikrobiyaller

boyutlarında ve nispeten $> 1\mu m$ den daha büyük olabilmektedir. C60 yaklaşık $-1 nm$ çapındadır. Metal ve Metal oksit MNm'lerin en yaygın olanları; değişik bileşiklerde cadmiyum, galyum arsenür, altın, nikel, platin, gümüş, alüminyum oksit (alümina), seryum dioksit (ceria), silikon dioksit (silika), titanium dioksit (TiO₂, titanyum) ve çinko oksittir.

MNm'leri, enzimler gibi ana hücre mekanizmaları ve bileşenleri ile aynı boyut aralıklarına sahiptirler. Bu özellikleri nanomateryallerin vücutta enzimler gibi biyokimyasal tepkimeye girebilmeleri potansiyelini ortaya çıkarmaktadır [1,5]. Bu durum MNm'lerinin örneğin akciğerlerde birikim yaparak, akciğerlerden diğer sistemik bölgelere geçiş şiddetli inflamatuvar yanıt oluşturma potansiyellerini akla getirmektedir [1]. Bu özellikleri de nanomateryalleri insan ve çalışan sağlığı bakımından dikkatle izlenmesi ve değerlendirilmesi gereken bir kategoriye sokmaktadır.

Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Nanomateryallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri üretimde avantaj sağlayıcı bir ürün olmalarını sağlamaktadır. Bu özellikler aynı zamanda nanomateryallerin davranış biçimlerinin belirlenerek, çalışan sağlığına olan etkisinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken bir konudur. Gerek proseslerin devamının sağlanması, gerekse çalışan güvenliğinin izlenebilmesinde kullanılan Nanopartiküllerin ölçülmesi ve test edilmesi gereken karakteristik özellikleri ile ilgili OECD ve ISO seviyesinde tartışmalar devam etmektedir [6].

İş sağlığı ve güvenliği açısından Nanopartikül ile ilgili değerlendirilmesi gereken ana parametreler şunlardır:

Fiziksel

- Boyut, şekil, spesifik yüzey alanı, en boy oranı
- Aglomerasyon / agregasyon hali
- Boyut dağılımı

- Yüzey morfolojisi/topoğrafisi

- Kristallenme ve hata yapıları

- Çözünürlük

Kimyasal

- Yapısal formül / Moleküler yapı

- Nanomateryal kompozisyonu (safılık derecesi, bilinen safsızlıklar)

- Faz Ayrımı

- Yüzey kimyası (kompozisyon, yük, gerilim, reaktif alanlar, fiziksel yapı, fotokatalitik özellikler, zeta potansiyeli)

- Hidrofilisite/lipofilisite

Nanomateryaller, çalışma ortamında havada asılı (ultra-ince partiküller, nanopartiküller, aerosoller), sıvıda asılı (koloid) ve katılarla birleşmiş nanotozlar olarak bulunabilirler. Biyolojik güvenlik değerlendirmesi için MNm'lerin uygun bir ortamda dağıtılması gerekmektedir. Bu ortam ve nanomateryaller arasındaki etkileşim süspansiyonun davranışını da derin bir şekilde etkileyecektir [7].

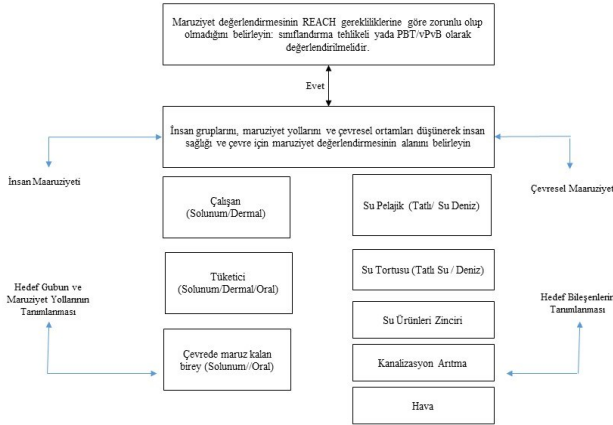
III. MARUZİYET

Nanomateryallere maruziyet başta çalışanların maruziyeti olmak üzere kullanıcıların maruziyeti, atık yoluyla maruziyet, ortam maruziyeti ve çevresel maruziyet şeklinde gerçekleşir. Maruziyet değerlendirmesi nanomateryalin sentezlenmesinden atılmasına kadar tüm üretim ve kullanım döngüsünü kapsamaktadır. Maruziyet değerlendirmesinde spesifik ürünler için nanopartikül maruziyetinin oluşup oluşmayacağını belirlemek potansiyel riskleri değerlendirmek için kritik olan ilk aşamadır [9].

İdeal olarak maruziyet değerlendirmesi her bir hedef grup için maruziyet seviyelerinin kantitatif ölçümü üzerine olmalıdır. Ancak pratikte güvenilir maruziyet verileri oldukça yetersizdir ve ortam ile sınırlı kalmıştır. Bu nedenle

çoğu durumda maruziyet seviyelerinin değerlendirilmesinde maruziyet tahmin modelleri baz alınmaktadır (Örneğin: Şekil 1. REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals–Avrupa Birliği Kimyasallar Kayıt Değerlendirme ve Yetkilendirme) maruziyet değerlendirme yaklaşımı [10].

Şekil 1: REACH Maruziyet Değerlendirmesi Yaklaşımı [10]



PBT : Kalıcı biyobirikimli ve toksik
vPvB : Çok kalıcı veya çok biyobirikimli

Nanomateriyallere Maruziyet dermal, solunum, oral, sindirim yada enjeksiyon gibi farklı yollarla gerçekleşmektedir. Bu nedenle iş sağlığı ve güvenliğinde operatif kurulum içerisinde en muhtemel maruziyet yolu düşünülmeli ve bununla ilgili maruziyet belirleyicileri test ve ölçüm parametreleri seçilmelidir [8].

REACH (EC) No 1907/2006 yönetmeliğine göre kimyasal güvenlik değerlendirmesi yapılmasının amacı, herbir üretim döngüsünde nanopartiküllerin güvenli kullanımının

sağlanmasıdır. Kimyasal Güvenlik Değerlendirmesi maruziyet oluşum senaryosu, maruziyetin tahmin edilmesini ve risk karakterizasyonunu içermektedir. Konsept olarak maruziyet değerlendirmesinde baz alınan özellikler nanomateriyal dozunun yada konsantrasyonun ölçümü işlemidir. Maruziyet ölçümü ve değerlendirilmesi potansiyel (eko) toksikolojik etkilerin oluşabilmesinde önemli bir parametre olmasından dolayı risk analizinde önemli bir aşamadır [10]. Nanopartikül (NP) üretim proseslerinde ortaya çıkabilecek Maruziyet Riskleri Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Test ve Ölçüm

Çalışanların maruz kaldıkları toz ve materyallerin sürekli test ve ölçümü üretim döngüsünün her aşamasında önemli bir etkidir. Akut yada kronik maruziyet sonucunda çevresel ortamlarda test maddelerinin potansiyel etkilerini belirlemek için OECD test yönetmeliklerinde tanımlanmış olan basit ekotoksikolojik yönetmeliklerin nanomateriyaller için yeterli ve uygun olduğu düşünülmektedir. Ancak OECD nanomateriyallerin testi için bu yönetmeliklerin spesifik olarak tasarlanmadığını da kabul etmektedir ve ölçübilimi, numune hazırlama, test maddelerinin iletimi, maruziyet miktarları, doz metrikler ve ölçümlerin nanomateriyallerin test edilmesi için yeterli olmadığı düşünülmektedir.

Test ve Ölçüm methotları (Tablo 3) için gerekli olan ve dikkate alınması gereken potansiyel spesifik özellikler şun-

Tablo 2: Nanopartikül Üretim Prosesleri Esnasında Potansiyel Maruziyet [23]

Proses Sentezi	Partikül Formasyonu	Potansiyel Solunum Riski	Potansiyel Dermal ve Sindirim Riski
Gaz Fazı	Havada	-Reaktörden direk sızıntı ve -Ürün kurtarma	Aeresol partikül kirliliği Ürün işleme Ekipman temizliği/bakım
Buhar Birikimi	Substrat Alt Tabaka	-Reaktörden ürün kurtarma ve Prosesleme paketleme	Çalışma ortamında kuru toz kirliliği Ürün işleme Ekipman temizliği/bakım
Koloidal	Sıvı Süspansiyon	-Kurutma, prosesleme ve ürün dökümü	Çalışma ortamında dökülme/kirlilik Ürün işleme, Ekipman temizliği/bakım
Aşınma	Sıvı Süspansiyon	-Kuruma, prosesleme ve ürün dökümü	Çalışma ortamında dökülme/kirlilik Ürün işleme, Ekipman temizliği/bakım

Tablo 3: Nanomateryal Maruziyetin Değerlendirilmesinde Kullanılan Ölçüm Methodları ve Araçları [23].

Metrik	Method	Method Bilgisi
Kütle	Boyut seçimli özel örnekleyici	Nm boyut aralığında boyut fraksiyonlu bir cihaz halen yoktur. Büyüden gravimetrik yada off-line kimyasal analiz gereklidir. Kütle aynı zamanda boyut dağılımı ile tahmin edilebilir.
	Boyut seçimli statik örnekleyici	100nm (10 nm'ye kadar) bir kesim noktası sunan cihazlar Cascade Impactor cihazlarıdır.
	Konik element salınımlı Mikrobalans (TEOM)	TEOM gibi hassas gerçek-zamanlı izleyiciler nanoaerosol kütle konantrasyonunu boyut seçici bir giriş ile on-line ölçmek için kullanışlı olabilir.
	Taramalı Mobilite Parçacık Boyutlandırıcı (SMPS)	Boyutları 3 nm – 800 nm arası partiküllerin elektriksel mobilitesi üzerine baz alınmış Gerçek-zamanlı boyut-seçici tespit
	Elektrikli Düşük Basınç Darbe Ölçer (ELPI)	Partikül yüklerine göre ve ataletine göre Gerçek-zamanlı boyut-seçimli tespit. Veriler konsantrasyon açısından yorumlanabilir.
	Nanomater Aerosol Sampler	Alınmış örneğin yüzey analizinde kullanılmasına yardımcı olur
Miktar	Optik Partikül Sayıcı (OPC)	300 nm'den daha küçük partiküller tespit edilemez.
	Yoğunluk Partikül Sayıcı (CPC)	100 nm'ye kadar gerçek-zamanlı konsantrasyon miktarı
	SMPS	3-800 nm çapında mobiliteye göre gerçek-zamanlı boyut seçimli tespit
	ELPI	Partikül yüklerine göre ve ataletine göre Gerçek-zamanlı boyut-seçimli tespit. Veriler konsantrasyon açısından yorumlanabilir.
Yüzey Alanı	Epiphaniometer	Yüzey alanlarına göre radyoaktif etiketleme
	Difüzyon yükleyici	Yüzeyin pozitif iyonlarına tutunmaya göre 100 nm'den daha küçük partiküllere hassas. Örnek hazırlama gerekir
	SMPS	3-800 nm çapında mobiliteye göre gerçek-zamanlı boyut seçimli tespit
	ELPI	Partikül yüklerine göre ve ataletine göre Gerçek-zamanlı boyut-seçimli tespit. Veriler konsantrasyon açısından yorumlanabilir.
	BET (Brunauer, Emmett ve Teller Methodu)	Partikül yüzeyinde gaz (N ₂) adsorpsiyonuna göre tahmin.
Görüntü Analizi	Taramalı Elektron mikroskobu(SEM), Geçirimli Elektron mikroskobu(TEM)	Nanopartiküllerin belirlenen alanlarının analizi. Numuneler özel örnekleyici yada boyut seçimli static örnekleyici ile toplanabilir.

lardır [8]:

IV. RİSK YÖNETİMİ

A. Risk Sınıflandırma Sistemleri

Değerlendirme metodolojilerindeki ilerlemelere rağmen, tüm nanomateryaller için belirleyici özelliklerin geniş kapsamlı bir karakterizasyonu halen tam anlamıyla yapılamamıştır. Bu nedenle bazı araştırmacılar nanomateryaller için risk sınıflandırmasını yada birincil risk derecelendirmesini önermişlerdir. Yapılan bazı çalışmalarda quantum dotlar, fullerenler, tek duvarlı karbon nanotüpler ve karbon siyahının derecelendirilmesi için fizikokimyasal ve toksisite verileri baz alınırken [3, 11], bazı çalışmalarda sınıflandır-

<u>Fizikokimyasal özellikler</u>	<u>Toksikolojik</u>	<u>Ekotoksikolojik noktalar</u>
Partikül şekli	Hücre alımı	Havalandırma oranı
Yüzey alanı ve enerjisi	Hücre canlılığı	Soluma patolojileri
Dağılım hali	Oksidatif stress	Mukus salgısı
Aglomerasyon hali	İnflamasyon	Beyin patolojisi
Yüzey yükü ve kimyası	Fibroz	Hayvan davranışları
Redoks potansiyeli	İmmünotoksisite	Oksidatif stress biyo-ışaretleyicileri
Hücre rezaktif oksijen türleri	Kardiyovasküler toksisite	

ma sistemi için ise toksisite ve kararlılık üzerinde durulmuş ve nano-toksisiteyi belirlediğinden dolayı kararlılığın birinci sırada karakterize edilmesi gerektiği tavsiye edilmiştir [3,12]. Bazı çalışmalarda da Nanomateryaller için toksisite ve fizikokimyasal özellikleri ölçen bir dizi performans ölçüsü belirlenmiştir. Parametreleri ise aglomerasyon (topaklanma), agregasyon (yığılma), reaktivite, yük, kritik fonksiyon grupları, boyut, biyoelverişlilik, biyobirikim ve toksik potansiyel olmuştur [3, 13].

B. Nano Toksikoloji

Nanotoksikoloji ekosistemlerde ve yaşayan sistemlerde mühendislik nanomateryallerinin biyolojik etkileri üzerine yapılan çalışmalardan ve klasik toksikolojiden ortaya çıkmıştır. Klasik toksikoloji ölçümlerinin nanomateryallere de uygulanabileceği ancak modifiye edilmesi gerektiği üzerine ortak bir kanı vardır [3].

Çeşitli nanomateryel formlarda yapılmış çalışmalarda (C60, tek-çok duvarlı karbon nanotüpler) toksikolojinin doz-miktar ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Ancak mevcut nanopartiküllerin toksisitesi sadece kütle ile değil fiziksel, kimyasal özelliklerle de ilişkilidir. Örneğin düşük çözünürlüklü ve düşük toksisiteli partiküllerde yüzey alanı inflamasyon açısından toksisiteyi daha belirleyici olmaktadır [8].

C. Risk Değerlendirmesi

Nanospesifik bir risk değerlendirmesi klasik kimyasallar için bulunan mevcut standart stratejilerin ötesine geçmektedir. SCENIHR ve EFSA gibi AB komiteleri mevcut risk değerlendirme prosedürlerini onaylamış (Şekil 2) ve bu metodların nanomateryallere uygulanabileceğini ancak spesifik alanların gelişime ihtiyaç duyduğu sonucuna varmıştır [3, 14, 15]. SCENIHR standart risk değerlendirme prosedürünün gelişimi için yaşam döngüsü metodolojisi [3, 16] yada ön sınıflandırma sistemleri gibi ilave teknik araçları da

önermektedir [3, 17].

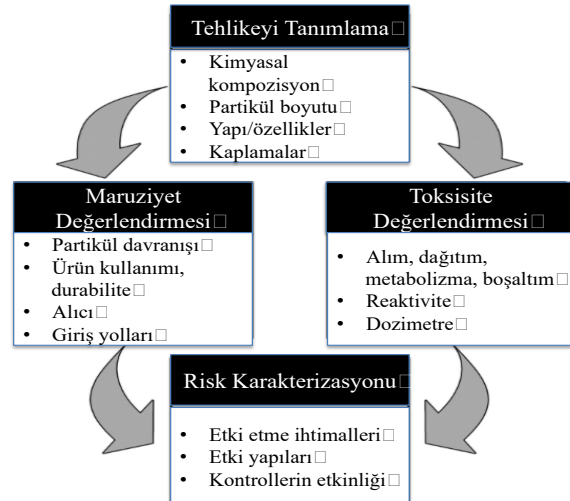
Kimyasal bir risk değerlendirmesi için belirleyici unsurlar kimyasalın miktarı, kararlılık yada biyobirikim gibi özellikler ve akut, kronik toksisite, hassasiyet, genotoksisite, üretkenlik toksisitesi yada kanser üretkenliği gibi etkilere. Fizikokimyasal özellikler, toksikolojik ve ekotoksikolojik bilgi ise gerekli verileri oluşturmaktadır [3].

Avrupa Kimyasallar Ajansı (ECHA)'na göre bir Kimyasal Güvenlik Değerlendirmesi yapabilmek için ana gereksinimler ise şunlardır:

- Hangi şekil, boyut ve fiziksel halde olursa olsun maddenin fizikokimyasal, toksikolojik ve ekotoksikolojik özellikleri baz alınmış komple bir Tehlike Değerlendirmesinin yapılması,
- Makul kullanım koşulları altında maruziyet seviyelerinin belirlenmesi,
- Maruziyet seviyelerini karşılaştırarak riskin kategorize edilmesidir.

Geleneksel kimyasallar için mevcut olan risk değerlendirme yöntemlerinin MNm'lerine de uygulanabileceği değerlendirme yapılmıştır. Ancak MNm'lerine uygulamada spesifik yaklaşımlar gerektirecektir (kullanım birimi

Şekil 2: Risk Değerlendirme Yapısı [9].



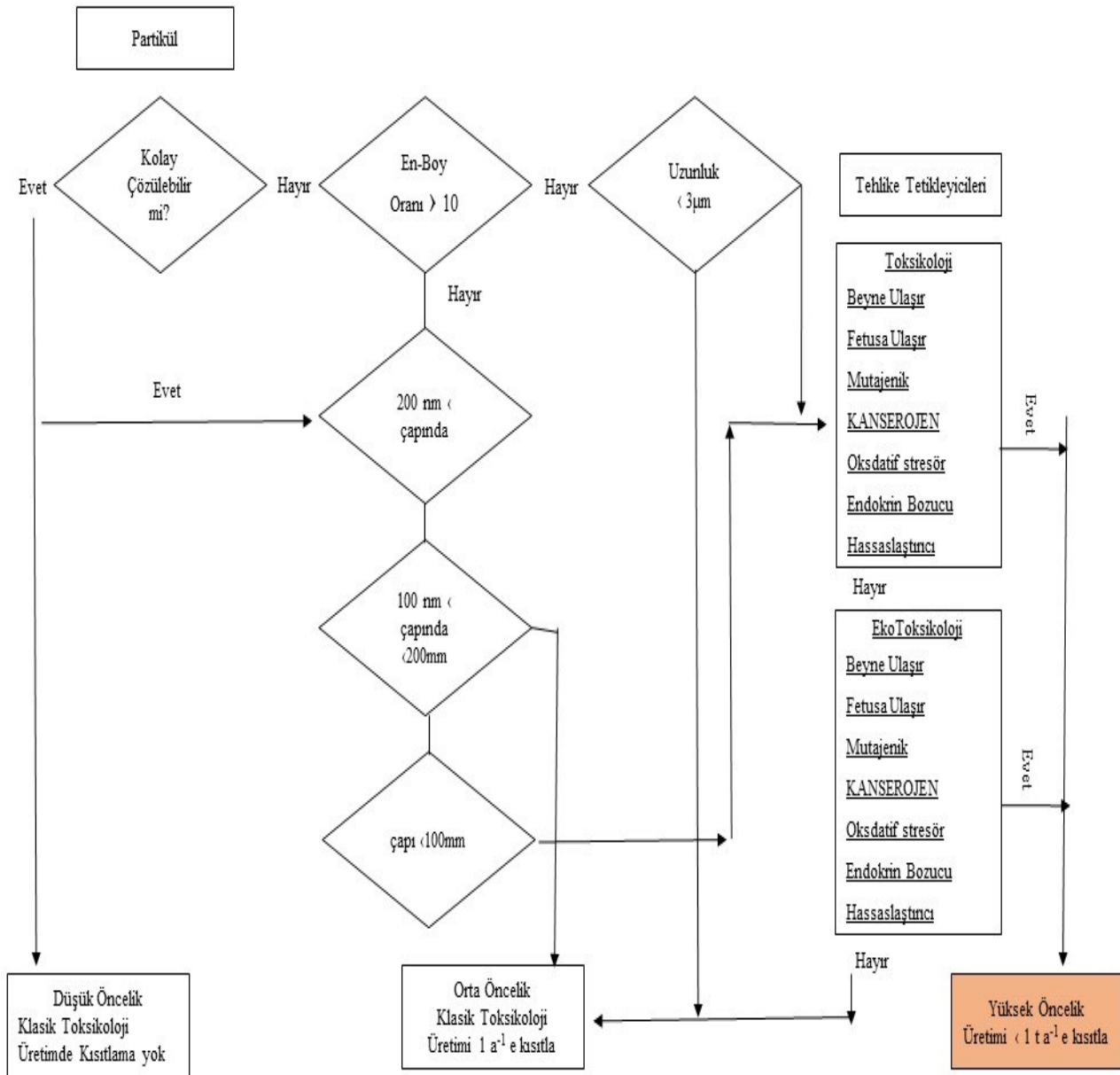
[metric], maruziyet değerlendirme metodolojisi, vb). Şimdiye kadar kullanılmış ve uygunluğu kabul gören risk değerlendirme metodolojileri bulunsada (Tablo 4) MNm'leri ile ilgili standartlaşmış bir risk değerlendirme metodolojisi tam anlamıyla bulunmamaktadır. Nanoölçekli maddelerle ve ultra-ince partiküller ile yapılan çalışmalar nanomateriyallerin risk değerlendirmesi yapısı (Şekil 2.) için

başlıca gereksinimleri ortaya koymaktadır.

Tehlikenin Tanımlanması

Tehlikenin tanımlanması partiküllerin çeşitli karakteristiklerine bağlıdır. Yeni yapıların tehlikeleri daha önceden küçük boyutlarda çalışılmış aynı maddelerin (TiO₂, ZnO gibi metal oksitler) tehlikelerinden daha az tahmin edilebilir durumdadır. Yüzey kaplaması yada bir matris içerisin-

Şekil 3: Nanopartiküller için Tehlike Algoritması [8]



Not: Karar Esnasında bilinmeyen değerler Evet olarak alınmalıdır.

de materyalin enkapsülasyonu nanopartiküllerin biyolojik mobilitesini ve reaktivitesini etkilemektedir [9, 18]. Nanopartiküller ile ilgili karşılaştırmalı bir tehlike değerlendirme Howard & de Jong (2004) tarafından önerilmiştir ve bir tetikleyici algoritma geliştirmiştir (Şekil 3). Maruziyet değerlendirme yapılmamış ve maddeler tehlikesine göre değerlendirilmiştir [19]. Bu algoritmada nanopartiküller, çözünürlük, boyut, en-boy oranı gibi özelliklerine göre bir tehlike değerlendirme yapısı çıkarılmıştır.

D. Risk Değerlendirmesi

Nanoteknolojik Risk değerlendirmesinin şimdiye kadar Risk Yönetimi Konseptinin belirlenmesi (Örn: IRGC Risk Governance Framework), Risk Yönetim Sistemleri belirlenmesi ve Risk Analiz Metotları (Örn: Control Banding Nanotool) geliştirilmesi kaydetmiş olduğu sistematik yaklaşımlardır.

1. Risk Derecelendirmesi

Risk derecelendirmesi basit olması nedeniyle en yaygın risk değerlendirme yollarından biridir. Kimyasal risk değerlendirmesinin aksine uzman yorumuna dayanmaktadır. Tahminler kalitatif (nitel). Burgman (2005) beş aşamalı bir yaklaşım önermiştir [20, 22].

- Uzman yorumlarına dayalı risk derecelendirmesi üzerine karar verilmektedir.
- İkinci aşamada olaylar tanımlanmaktadır.
- Tanımlanan her bir olay değerlendirilmektedir.
- Değerlendirilen riskler kabul edilebilir seviyeler ile karşılaştırılmaktadır.
- Son aşama ise seçilen risklerin yönetimi aşamasıdır.

Olayların değerlendirildiği üçüncü aşamada iki tehlike parametresi bulunmaktadır. İlki istenmeyen olayın (1-5 arası puanlamalı) oluşma ihtimalidir. İkinci parametre ise (1-5 arası puanlamalı) olayın sonucudur. Kullanımı yaygın bir yöntem olan Risk matrisi ile nihai değerlendirme sonucuna ulaşılmaktadır.

2. Kimyasal Derecelendirme ve Skorlama

Kantitatif bir risk değerlendirmesi değildir ancak risk değerlendirmesine yardımcı olarak kullanılabilir. Maddeler arasında önceliklendirmeye olanak sağlar. Risk derecelendirme methodu gibi uzman yorumuna dayanmaktadır. Dört aşamalıdır;

- İlk aşama hedefin tanımlanması ve aşamalandırılmasıdır.
- İkinci aşama ise parametrelerin değerlendirileceği indikatörün seçimidir. Bu aşamada aynı zamanda hangi verilere ihtiyaç olacağı belirlenmektedir (toksikite, kararlılık, üretim, kullanım, vb).
- Üçüncü aşama ise ikinci aşamadaki tehlike parametreleri baz alınarak derecelendirme ve skorlamadır. Kimyasal derecelendirme ve skorlama çok çeşitli tipte olabilir ama en yaygını eğer-olursa tipidir. (Örneğin eğer toksisite 1 mg/lI geçerse o zaman toksik sayılır.)
- Son aşama ise karar vermek için sonuç ve sunum aşamasıdır.

3. Kontrol Bandı (Control Banding - CB)

Kontrol Bandı tehlikeli kimyasallara mesleki maruziyeti kontrol etmek için eczacılık endüstrisine yönelik tasarlanmıştır ve diğer endüstrilerde de yaygın olarak kullanılmaktadır [20, 21]. Risk derecelendirmesi, kimyasal derecelendirmeye benzerdir ve kalitatif (nitel) bir metottur. Mesleki sağlık risklerine odaklanmıştır ve çevresel riskleri içermez. Farklı risk ve tehlike kalıplarında bir maddenin belirli bir tehlike bandında kategorize edilmesidir. Ayrıca uçuculuk ve tozluğun gibi maruziyet-ilişkili özelliklere göre maruziyet-ilişkili bantlara göre ve kullanımdaki miktar maruziyet bantlarına kategorize edilebilir. Tehlike ve maruziyet olarak iki puan skalası bulunmaktadır (risk derecelendir-

Tablo 4: Nanoteknolojide kullanılan yaygın Risk Analiz Metotları [20, 24]

S.Nu.	Risk Analiz/Değerlendirme metotları	Control Banding
1	ANSES, Development of a Specific Tool for nanomaterials	CB
2	CB Nanotool 2.0 –Control Banding	CB
3	Nanotoolkit-Working Safely with Engineered Nanomaterials in Academic Research Settings	
4	Nanotechnology Risk Assessment Model- ISPEL	CB
5	Early warning signs	
6	Genaidy method	
7	Groso method	CB
8	Guidance working safely with nanomaterials and nanoproducts- The Guidance	CB
9	Hierarchical Aggregation	
10	LICARA nanoSCAN	
11	Nano-Evaluris	
12	NanoHAZ	
13	NANOREG	
14	NanoRiskCat	CB
15	NanoSafer	CB
16	Occupational Hazard Band for Nano	CB
17	Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials-(PM)	CB
18	Relative Risk Analysis	
19	Risk Trigger Scores	
20	Stoffenmanager Nano- STM-Nano	CB
21	TEARR	
22	WCD model	
23	ISO/TR 131121, Nanotechnologies-Nanomaterials Risk evaluation	
24	Work health and Safety assessment tool for handling engineered nanomaterials	CB
25	Risk identification framework	
26	ASTM E2535-07 Standart Guide for Handling Unbound Engineered Nanoscale Particles in Occupational Setting	
27	Risk Based Classification System of nanomaterials	
28	Management of nanomaterials safety in research environment –EPFL	CB
29	Assured Nano	
30	Safe Handling and use of carbon nanotubes	
31	General Risk Management Systems- Chemical Control Kit (CCK)	
32	Nanosafety Guidelines- TU-Delft guidelines	

CB: Kontrol bandı yöntemi baz alınan metotlar

mesine benzer olarak şiddet ve ihtimal olarak ta isimlendirilebilir). En yaygın kullanılan bant methodu ise UK Sağlık ve Güvenlik idaresi tarafından geliştirilen The Control of Substances Hazardous to Health Essentials(COSHH)'tır [20].

Birçok kontrol bandı kalitatif (nitel) risk değerlendirmesi (risk tehlike/şiddet ve maruziyet/ihtimal) üzerine baz alınmıştır ve bilimsel belirsizlik nedeniyle kantitatif olmasına gerek bulunmamaktadır. Web ortamında tehlikeyi ve maruziyeti farklı şekillerde ve parametrelerde ilişkilendiren kontrol bandı araçları da bulunmaktadır [8].

Risk Analizinin bir çok methodu bulunmaktadır. Nanomateriyaller için Risk Analizi yeni proseslere, üretilen ürünlere, sağlık risklerine göre yönetsel olarak gelişmeye devam etmekte, şekillenmektedir. Nanoteknoloji alanlarında en yaygın kullanılan Risk Analiz metotları Tablo 4.'te gösterilmiştir.

Kullanılan risk analizlerinde farklı şekillerde sonuçlara ulaşılmaktadır. Ancak Kontrol Bandı metotlarında sonuçlara Tehlike&/Maruziyet yada Şiddet&/İhtimal puanlamaları yapılarak tipik Risk Matrisleri ile ulaşılmaktadır. Örnek olarak Nano Safer da kullanılan bir Risk Matrisi Şekil 4.'te verilmiştir [25].

Şekil 4: NanoSafer Risk Matrisi Örneği; Maruziyet ve Toksikite (4 kontrol bantlı) [25]

Toxicity Exposure	0.76-1.00	0.51-0.75	0.25-0.50	0.00-0.25
>1.00	RL5	RL5	RL5	RL5
0.51-1.00	RL5	RL5	RL4	RL4
0.26-0.50	RL5	RL4	RL4	RL3
0.11-0.25	RL4	RL4	RL3	RL2
< 0.11	RL4	RL3	RL2	RL1

8 saatlik Mesleki Maruziyet. RL1: En düşük Risk, RL5: En Yüksek Risk

Bazı Nanoyapılar için kullanılmış Risk Değerlendirme Metotları Tablo 5.'te gösterilmiştir.

Tablo 5: Literatürdeki Nanoteknolojik Objeler türüne göre kullanılan Bazı Risk Değerlendirme Metotları [20]

Metod	Değerlendirme Objesi
ANSES,	Nanomateriyaller
CB Nanotool 2.0	Nanopartiküler
Early warning signs	Nanomateriyaller
Genaidy method	Karbon nanofiber üretimi
Groso method	Nanolabaratuarlar
The Guidance	Nanomateriyaller ve Nanoürünler
Hierarchical Aggregation	Nanomateriyaller
LICARA nanoSCAN	Nanoürünler
Nano-Evaluris	Nanotozlar
NanoHAZ	Nanomateriyaller
NANoREG	Nanomateriyaller
NanoRiskCat	Nanoürünler
NanoSafer	Nanomateriyaller
Occupational Hazard Band for Nano	Uçucu Partiküller
Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials-PM	Nanopartiküler ve Nanorodlar
Relative Risk Analysis	Nanomateriyal üretim prosesi
Risk Trigger Scores	Nanoürünler
Stoffenmanager Nano- STM-Nano	Nanopartiküler
TEARR	Nanomateriyaller (içeren herhangi bir madde)
WCD model	Nanomateriyaller ve Kimyasallar

Yapılmış çalışmalarda farklı Kontrol Bandı metotları ile ilgili literatürde yapılan karşılaştırmalar Tablo 6. ve Tablo 7.'te gösterilmiştir.

E. Risk Kontrol Önlemleri

Sağlık etkileri ve maruziyet limitleri ile ilgili nanomateriyaller üzerinde yapılan çalışmalar devam etmektedir. Bu nedenle risk kontrol hiyerarşisindeki basamaklarının kombinasyonu ile iş sağlığı ve güvenliği açısından çalışanlara korunma sağlanmalıdır.

Mevcut tehlikeler elimine edilemiyorsa yada daha az tehlikeli bir materyal ile değiştirilemiyorsa (MNM'lerin spesifik özellikleri için oldukça zor) uygun mühendislik

kontrolleri uygulanmalıdır. Proses esnasında bazı MNM'ler agglomeralar oluşturabilmekte ve çalışma ortamından ayrılması güçleşmektedir. Bu durumlarda materyal örnekleme, ekipman temizliği ve bakımı esnasında koruyucu önlemler alınmalıdır. Havalandırmasız bir ortamda işlemin kapalı hale getirilmesi MNM'lerin penetrasyon özelliği nedeniyle emisyonunu kontrol etmede yeterli olmayabilir [23].

Yüksek etkiye sahip partikül hava filtreleri (en az 0-3 mikrometre çapında mono-dağılmış partiküllerin % 99.97'sini tutabilen HEPA filtreleri) ile havalandırması sağlanan kapalı alanlarda (havasız ortam kabini, laboratuvar, proses odası) çalışılmalıdır. Proses tam kapalı ortamda yapılamıyorsa üretim esnasında kirliliğin salınımını yakalayabilecek lokal emmeli havalandırma sağlanmalıdır. Hijyen

Tablo 6: Farklı kontrol bantlarının karakterizasyonları ve karşılaştırmaları [8]

Kontrol Bandı Methodu Kısa Adı	TEHLİKE BANDI			MARUZİYET BANDI							MATRİKS	
	Ayırma Sistemi			Etkinlik Kaynağı/Aktivite Türü							Bant / Seviye Miktarı	
	İkili	Puan	N: Bant Sayısı	Sentez	Tozla İlgisi	Kullanıma Hazır Ürünlere Uygulanım	Abrasyon	Emisyon Potansiyeli	Maruziyet Potansiyeli	N:Bant Sayısı	Kontrol Bandı	Risk Seviyesi
Precautionary Matrix	-	+	1	(+)	(+)	(+)	(+)	+	-	1	2	-
CB Nanotool	-	+	4	+	+	-	-	+	-	4	4	-
ANSES[ISO-(proactive)]	+		5	(+)	+	+	+	+	-	4	5	-
Stoffenmanager Nano [ISO-(retroactive)]	+	-	5	+	+	+	+	-	+	4	-	3
NanoSafer	+	+	4	-	+	-	-	-	+	5		5
Guidance	+	-	3	+	+	+	+	+	-	3	3	-
NanoRiskChat	+	-	3			+	+			3	-	-

(Precautionary Matrix'in ayrı bir tehlike ve maruziyet bandı yoktur.)
+ kullanılan, - kullanılmayan, (+) açıkça belirtilmeden (dolaylı)

uygulamalarını (El yıkama bölgeleri gibi) teşvik eden eğitimler verilmelidir. Duş ve kıyafet değişim alanları gibi Nm'lerin taşıyıcılığını önleyecek tesisler belirlenmelidir. Nm döküntüler için tam bir yönetmelik mevcut değildir ancak eczacılık ve ilaç endüstrisinde kullanılan uygulamalar Nm'lere uygulanabilir. Çalışan maruziyetini en aza indirecek dekontaminasyon alanları ve Nm döküntülerin temizlenmesi için prosedürler belirlenmelidir. Örneğin;

- Herbir vardiyada en az bir kez temizlik yapılması sağlanmalı, kuru süpürme (silme) yasaklanmalı, HEPA filtreli vakum temizleyiciler ve ıslak silme türü kullanılmalıdır [28].
- Temizleme işleminin çalışana teması önlenmelidir.
- Nm'ler ile işlem yapılan yerlerde yiyecek, içecek tüketimi ve saklanması önlenmelidir [23].

Kimyasallar için kullanılan MSDS formları ise tüm

nanomateryaller ve nanomateryal içeren karışımlar için hazırlanmalı ve boyut, boyut dağılımı, agregasyon, aglomerasyon hali, morfoloji, kristal yapı, yüzey alanı, tozluçluk ve dağılım gibi kritik fiziko-kimyasal karakteristikleri içeren önleyici bir yaklaşım içermelidir. NOISH 2007 ile 2011 yılları arasında hazırlanmış elli adet MSDS formlarının içeriklerini değerlendirmiş ve yetersiz olduklarını belirtmiştir [29]. Solunum ve deri maruziyeti en başta gelen maruziyet olduğundan, uygun eldivenler, koruyucu elbise ve respiratörler personele sağlanmalıdır.

Nanomateryale maruz kalan çalışan, tıbbi taramadan geçirilmeli ve izlenmelidir. OSHA standartlarına (Cadmium, Solunum Koruma, vb) göre tıbbi izleme gereksinimleri gözden geçirilmelidir [28]. OSHA'nın nanoteknolojik güvenlik ve sağlık konuları sayfası bazı OSHA standartlarının nanomateryallere maruz kalan işçilere uygulanabileceğinin altını çizmektedir. Occupational Safety and

Tablo 7: Farklı Kontrol Bandı methodlarının dikkate aldığı nano-karakteristik özellikler [26, 27]

TEHLİKE (YADA ŞİDDET) BANDI FAKTÖRLERİ							
Tehlike Faktörü	ANSES	CB Nanotool	EPFL	Guidance	ISPESL	PM	STM-Nano
Toxicity (Nano yada Büyük halde)	✓	✓		✓	✓		✓
Çözünürlük	✓	✓		✓		✓	✓
Fiber form (Partikül şekli)		✓	✓	✓			✓
Reaktivite	✓	✓				✓	
Boyut		✓			✓		✓
Yanma yada patlama		✓			✓		
MARUZİYET (YADA İHTİMAL) BANDI							
Miktar		✓	✓			✓	✓
Süre/Sıklık faktörü		✓			✓	✓	✓
Materyal hali (katı, sıvı vb)	✓		✓				✓
Nanoobjelerin ortama salınımı (Toz vb)	✓	✓		✓		✓	✓
Agregasyon/Aglomerasyon			✓		✓		
Matriks içine katıştırılmış				✓		✓	✓
Çalışan miktarı		✓			✓		
Risk Kontrol/Organizasyon					✓		✓
Kapsama (Containment)			✓	✓			
Prosesin/İşin Türü	✓		✓				✓

Health Act'ın 5(a)(1) bölümünde genel görev maddesi (The General Duty Clause)'de aynı zamanda çalışanların nanomateriyallere maruz kaldığı durumlarda uygulanabilir [28].

V. SONUÇ

Nanomateriyallere iş sağlığı açısından maruziyet yeni bir durum olmakla beraber İSG açısından öneminin giderek artacağı değerlendirilmektedir. Nanoteknolojik prosesler nedeniyle ortaya çıkan nanopartiküller ve nanomateriyallerin iş sağlığı ve güvenliği açısından hali hazırda veri ve bilgi eksikliğinden dolayı geri dönülmez sonuçlar doğurması için ihtiyatlı ve tedbirli olunması gerekmektedir.

Nanomateriyallere maruz kalan çalışanlar için ciddi sayılabilecek sağlık riskleri bulunmaktadır. Bilimsel çalışmalar göstermektedir ki nanopartiküller aynı kompozisyondaki ve daha büyük partiküller'den biyolojik olarak daha reaktifler ve bu nedenle özellikle solunumla maruziyet büyük bir sağlık riski oluşturmaktadır. Benzer kimyasal kompozisyonda ve daha büyük boyuttaki partiküller için mesleki maruziyet limitleri (OSHA Permissible Exposure Limits, NOISH recommended Exposure Limits, ACGIH Threshold Limit Values) olmasına rağmen MNm'leri için mevzuatla bir kurallar bütünlüğü içerisinde spesifik maruziyet limitleri tam anlamıyla belirlenmemiştir.

Bu bağlamda mevcut yapılmış ve gelecekte yapılacak epidemiyolojik çalışmalar, vivo/vitro ve toksikolojik çalış-

malar, maruz kalan bireylerin sağlığı ve oluşabilecek meslek hastalıkları açısından ışık tutacaktır. Ultra-ince partiküllerin (örneğin asbestoz) insan sağlığına verdiği zararlar yıllar sonra anlaşılmış ancak bu noktadan itibaren verdiği zararlar geri çevrilememiştir. Ultra-ince partiküllerin boyut açısından ve verebileceği zararlar açısından İş Sağlığı ve Güvenliğinde edindiği aşamalara ele alındığında MNm'ler için çalışanları ve maruziyet gruplarını korumak için tutarlı bir risk yönetimi gerekmektedir ve mevcut kimyasallar için uygulanan klasik risk yönetimi metotları yeterli sayılsa bile henüz tam kapsamlı bir metot bulunmadığı da dikkate alınmalıdır.

Nanomateryaller için başlangıçtan son ürüne ve tüketiciye ulaşana kadar tüm üretim döngüsü içerisinde iş sağlığı ve güvenliği açısından kurallar ve standartlar bütünlüğüne ihtiyaç bulunmaktadır. İş Sağlığı ve Güvenliği kültüründe Nanoteknoloji kendine sürekli yeni yerler edinecek ve yeni gelişmeler olacaktır. Ülkemizde İş sağlığı ve Güvenliği sistemi tam anlamıyla oturmamış ve kendi yerini bulma süreci gerek kanun ve yönetmelikler düzeyinde, gerekse de kültür edinme seviyesinde devam etmektedir. Gelişimi dünya çapında devam eden Nanoteknolojik İş Sağlığı ve Güvenliği ülkemiz içinde oldukça yeni bir çalışma alanıdır. Bu nedenle bu alanda çalışan işletme ve kuruluşlar tarafından nanoteknolojik uygulamalar, araştırmalar, risk yönetim metotları ve risk analiz metotları güncel bir şekilde takip edilmeli, teknolojik gelişmeler için gerekli İş Sağlığı ve Güvenliği yapılanmaları tasarlanmalı, çalışanlarda ve işverenlerde gerekli bilinci oluşturmak için kurumsal olarak sistematik bir anlayış kazanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yokel, R. A., & MacPhail, R. C. (2011). Engineered nanomaterials: exposures, hazards, and risk prevention. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 6:7
- [2] National Nanotechnology Initiative. (2011). Strategic Plan. National Science and Technology Council, Committee of Technology, Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology. p.3 [https://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/2011_strategic_plan.pdf]
- [3] Jahnel, J., Fleischer, T., & Seitz, S. B. (2013). Risk assessment of nanomaterials and nanoproducs—adaptation of traditional approaches. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 429, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.Organic Consumers Association: Groups demand EPA stop sale of 200+ potentially dangerous nano-silver products.1195. [http://www.organicconsumers.org/articles/article_11955.cfm]
- [4] Group files legalccction for EPA to stop sale of 200 +Nanosilver products, assessment, N. H. nano. 2008 p.6 [https://www.nanowerk.com/nanorisk/pdf/nanoRISK_vol3_iss3.pdf]
- [5] Kagan, V. E., Shi, J., Feng, W., Shvedova, A. A., & Fadeel, B. (2010). Fantastic voyage and opportunities of engineered nanomaterials: What are the potential risks of occupational exposures? *Journal of occupational and environmental medicine*, 52(9), 943-946.
- [6] OECD. List of manufactured nanomaterials and list of endpoints for phase one of the OECD testing programme. OECD Environment, Health and Safety Publications Series on the safety of manufactured nanomaterials No 6. Document ENV/JM/MONO (2008)13. Organization for Economic Coordination and Development. Paris, France; 2008a
- [7] SCoEaNIHR, E. S. (2009). Risk Assessment of Products of Nanotechnologies. *European Commission, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENHR): Brussels, Belgium*. [http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_023.pdf]
- [8] Hansen, S. F., Howard, C. V., Martuzzi, M., & Depledge, M. (2013). Nanotechnology and human health: Scientific evidence and risk governance: Report of the WHO expert meeting 10–11 December 2012, Bonn, Germany. [http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/233154/e96927.pdf?ua=1]
- [9] Tsuji, J. S., Maynard, A. D., Howard, P. C., James, J. T., Lam, C. W., Warheit, D. B., & Santamaria, A. B. (2005). Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, part IV: risk assessment of nanoparticles. *Toxicological sciences*, 89(1), 42-50.
- [10] Development of a web based REACH Toolkit to support the chemical safety assessment of nanomate-

- rials, Guidance on available methods for risk assessment of nanomaterials, Technical Guidances series - 2015
- [11] Zuin, S., Micheletti, C., Critto, A., Pojana, G., Johnston, H., Stone, V., ... & Marcomini, A. (2011). Weight of evidence approach for the relative hazard ranking of nanomaterials. *Nanotoxicology*, 5(3), 445-458.
- [12] Olson, M. S., & Gurian, P. L. (2012). Risk assessment strategies as nanomaterials transition into commercial applications. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(4), 786.
- [13] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. (2012). Opinion on the Memorandum on the use of the scientific literature for human health risk assessment purposes – weighing of evidence and expression of uncertainty.
- [14] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. (2007). Opinion on the appropriateness of the Risk Assessment Methodology in accordance with the technical guidance documents for new and existing substances for assessing the risks of nanomaterials. [http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihp/docs/scenihp_o_010.pdf]
- [15] EFSA Scientific Committee. (2011). Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnologies in the food and feed chain. *EFSA Journal*, 9(5), 2140.
- [16] Grieger, K. D., Laurent, A., Miseljic, M., Christensen, F., Baun, A., & Olsen, S. I. (2012). Analysis of current research addressing complementary use of life-cycle assessment and risk assessment for engineered nanomaterials: Have lessons been learned from previous experience with chemicals? *Journal of Nanoparticle Research*, 14(7), 958.
- [17] Tervonen, T., Linkov, I., Figueira, J. R., Steevens, J., Chappell, M., & Merad, M. (2009). Risk-based classification system of nanomaterials. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(4), 757-766.
- [18] Warheit, D. B., Webb, T. R., & Reed, K. L. (2003, March). Pulmonary toxicity studies with TiO₂ particles containing various commercial coatings. *Toxicologist*. Volume 72, Issue 1, Pages 298A
- [19] Unit, R. A. (2004). Nanotechnologies: a preliminary risk analysis on the basis of a Workshop Organized in Brussels on 1-2 March 2004 by the Health and Consumer Protection Directorate General of the European Commission. [http://ec.europa.eu/health/ph_risk/documents/ev_20040301_en.pdf]
- [20] Arvidsson, R., Furberg, A., & Molander, S. (2016). *Review of Screening Risk Assessment Methods for Nanomaterials*. Chalmers University of Technology.
- [21] Geraci, C. L., Lentz, T., & Niemeier, R. (2009). Qualitative risk characterization and management of occupational hazards: control banding (CB); a literature review and critical analysis.
- [22] Burgman, M. (2005). *Risks and decisions for conservation and environmental management*. Cambridge University Press.
- [23] Exposure to Engineered Nanomaterials and Occupational Health and Safety Effects, October 2011 INAIL, Department of Occupational Medicine
- [24] Vervoort, M. B. H. J. (2012). *Risk assessment of occupational used nanomaterials: A comparison of risk assessment methods in order to determine the risk of occupational used nanomaterials in a research environment* (Doctoral dissertation, 8 esis. Netherland School of Public and Occupational Health).
- [25] Jensen, K. A., Saber, A. T., Kristensen, H. V., Liguori, B., Jensen, A. Ø., Koponen, I. K., & Wallin, H. (2014). NanoSafer vs. 1.1 Nanomaterial risk assessment using first order modeling. In *Topical Scientific Workshop on Regulatory Challenges in Risk Assessment of Nanomaterials*.
- [26] Fleury, D., Fayet, G., Vignes, A., Henry, F., & Frejafon, E. (2013, May). Nanomaterials risk assessment in the process industries: evaluation and application of current control banding methods. In *14. International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industry* (Vol. 31, pp. 949-954). AIDIC. Milano.
- [27] Silva, F., Sousa, S. P. B., Arezes, P., Swuste, P., Ribeiro, M. C. S., & Baptista, J. S. (2015). Qualitative risk assessment during polymer mortar test specimens preparation-methods comparison. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 617, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.
- [28] Occupational Safety and Health Administration. (2013). OSHA Fact Sheet: Working Safely with Nanomaterials. *Occupational Safety and Health Administration*. [https://www.osha.gov/Publications/OSHA_FS-3634.pdf]
- [29] Eastlake, A., Hodson, L., Geraci, C., & Crawford, C. (2012). A critical evaluation of material safety data sheets (MSDSs) for engineered nanomaterials. *Journal of Chemical Health and Safety*, 19(5), 1-8.