



**T.C.  
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

# **NANOMALZEME ÜRETİMİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Hülya ÜNVER**

**(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)**

**ANKARA-2016**

**T.C.  
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI  
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

# **NANOMALZEME ÜRETİMİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Hülya ÜNVER**

**(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)**

**Tez Danışmanı**

**Betül ÇAVDAR KILINÇ**

**ANKARA-2016**

**T.C.**  
**Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı**  
**İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü**

**O N A Y**

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcısı **Hülya Ünver**'in, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı **Betül ÇAVDAR KILINÇ** danışmanlığında başlığı “**Nanomalzeme Üretiminde İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Değerlendirilmesi**” olarak teslim edilen bu tezin savunma sınavı 21/09/2016 tarihinde yapılarak aşağıdaki jüri üyeleri tarafından “**İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi**” olarak kabul edilmiştir.

**Dr. Serhat AYRIM**  
Müsteşar Yardımcısı

**JÜRİ BAŞKANI**

**Tarkan ALPAY**  
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür V.

ÜYE

**Yrd. Doç. Dr. Ercüment N. DİZDAR**  
Öğretim Üyesi

ÜYE

**İsmail GERİM**  
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd.

ÜYE

**Doç. Dr. Pınar BIÇAKÇIOĞLU**  
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdür Yrd. V.

ÜYE

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

**Tarkan ALPAY**  
İSGGM Genel Müdürü V.

## TEŞEKKÜR

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü bünyesinde üç yılı aşkın çalışma hayatım boyunca, tez çalışmamın hazırlık sürecinde değerli katkılarından dolayı Müsteşar Yardımcımız Sayın Dr. Serhat AYRIM'a, Genel Müdürümüz Sayın Tarkan ALPAY'a, eski Genel Müdürümüz Sayın Kasım ÖZER'e, Genel Müdür Yardımcılarımız Sayın İsmail GERİM'e, Sayın Sedat YENİDÜNYA'ya, Sayın Doç. Dr. Pınar BIÇAKÇIOĞLU'na ve eski Genel Müdür Yardımcımız Sayın Dr. Havva Nurdan Rana GÜVEN'e ve tez danışmanım İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı Sayın Betül ÇAVDAR KILINÇ'a, kıymetli destekleriyle yanımda olan İSG Uzman Yardımcısı arkadaşlarım Eren SAVAŞ'a, ve Kadriye ÇINAR'a çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen bütün mesai arkadaşlarıma ve bu süreçte hep yanımda olan, eşim Meriç ÜNVER'e ve kardeşim Aygül GÜREL'e en derin duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

# ÖZET

**Hülya ÜNVER**

**Nanomalzeme Üretiminde İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Değerlendirilmesi**  
**Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü**  
**İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi**  
**Ankara, 2016**

Nanoteknoloji, malzemelerin nano boyutta işlenerek yeni ve faydalı özellikler kazanmasını sağlamak amacıyla üretilmesi ve kullanılmasıdır. Tüm dünyada gelişen bu sektöre ilgi her geçen gün büyüyerek artmakta olup sahip olduğu üstün özellikler sayesinde birçok sektörde yaygın olarak kullanılmakta dolayısıyla bu malzemelere maruz kalan çalışan sayısı da artmaktadır. İnsan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri yeni yeni ortaya çıkan ve asbest benzeri özellik gösterdiği kanıtlanan bu malzemelerin kullanımı, taşınması ve en önemlisi üretimi esnasında alınması gereken önlemler büyük önem taşımaktadır. Potansiyel çok tehlikeli olan bu malzemeler için Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Teşkilatı (OECD) tarafından yayınlanan güvenliğinden emin olunması gereken 11 tane nanomalzeme çeşidi bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında Türkiye’de seri üretime yeni geçilen ve araştırma geliştirme çalışmaları yoğun bir şekilde devam eden bu malzemelerden kullanımının yaygınlığı ve OECD yayınları göz önünde bulundurularak karbon nanotüp, grafen, gümüş nanoyapılar, bakır nanoyapılar ve nano boyutta bulunan titanyum dioksit malzemeleri seçilmiştir. Toksikoloji ve maruziyet bilgi eksiliğinde oldukça kullanışlı olan Kontrol Bandı (KB) risk değerlendirme yöntemi belirlenen bu malzemeler için kullanılmıştır. Dört farklı laboratuvar ve iki farklı firmada sekiz farklı risk değerlendirmesi çalışması yapılmıştır. Risk değerlendirmeleri grafen için iki, gümüş nanoyapılar için ise üç farklı ortamda diğer malzemeler için birer çalışma ortamında gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucu risk seviyeleri, karbon nanotüp ve titanyum nanoyapılar için en yüksek seviye olan dördüncü düzeyde (RS 4), grafen, gümüş ve bakır nanoyapılar için üçüncü düzeyde (RS 3) yine gümüş nanoyapılar için ikinci düzeyde (RS 2) elde edilmiştir. Risk değerlendirmeleri sonucu alınması gereken kontrol önlemleri ve sektöre yönelik genel öneriler çalışma kapsamında sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Nanoteknoloji, Nanomalzeme, Kontrol Bandı, Risk Değerlendirmesi

# **ABSTRACT**

**Hülya ÜNVER**

**Occupational Health and Safety Risk Assessment in Nanomaterial Production  
Ministry of the Labor and Social Security, Directorate General of Occupational Health  
and Safety**

**Thesis for Occupational Health and Safety Expertise**

**Ankara, 2016**

Nanotechnology is the processing of the materials at the nano scale in order to produce and use them with their unique and rewarding properties. Because of their superior features nanomaterials are used various sectors and attention to this sector gradually increases all around the world. Therefore, number of workers exposed to nanomaterials is increasing. It is crucial to take safety measures when those materials are being used, transported and especially produced since the negative effects of nanomaterials on human health are recently found and it is proven that characteristics of those materials are similar to asbestos. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) indicated that 11 nano materials are need to be sure about their safety. In this study carbon nanotube, graphene, silver, copper and titanium dioxide nanostructures which are commonly used worldwide are selected for this study taking OECD publications into consideration and also because, in Turkey, batch production of these materials are started and research and development studies are continuing intensively. Control Banding risk assessment method, which is useful in the lack of information of toxicology and exposure, was performed for these materials. Eight risk assessments were performed in four different laboratories and two different workplaces. Risk assessments were performed in two different work environments for graphene, for silver nanoparticles and one for each of the other materials. The results of the assessments are showing that carbon nanotube and titanium dioxide nanomaterials are in the fourth degree which is highest, graphene, silver and copper ones are in the third degree, and silver nanoparticles, again, in the second degree. Control measures to be taken according to assessment results and general suggestions were presented to the industry in the extent of this study.

**Keywords:** Nanotechnology, Nanomaterial, Control Banding, Risk Assesment.

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| TEŞEKKÜR .....                                                                          | i    |
| ÖZET .....                                                                              | ii   |
| ABSTRACT .....                                                                          | iii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                       | iv   |
| GRAFİKLER LİSTESİ .....                                                                 | vii  |
| RESİMLER LİSTESİ .....                                                                  | viii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                                                  | ix   |
| TABLolar LİSTESİ .....                                                                  | x    |
| SİMGE VE KISALTMALAR .....                                                              | xi   |
| 1. GİRİŞ .....                                                                          | 1    |
| 2. GENEL BİLGİLER .....                                                                 | 3    |
| 2.1. NANOTEKNOLOJİ .....                                                                | 3    |
| 2.1.1. Nanoteknolojinin Gelişimi .....                                                  | 4    |
| 2.1.2. Nanoteknolojinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Durumu .....                          | 5    |
| 2.2. NANOMALZEME ÇEŞİTLERİ .....                                                        | 8    |
| 2.2.1. Boyut Bakımından Nanomalzeme Çeşitleri .....                                     | 8    |
| 2.2.2. Morfoloji Bakımından Nanomalzeme Çeşitleri .....                                 | 8    |
| 2.2.3. Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri Bakımından Nanomalzeme Çeşitleri .....          | 9    |
| 2.2.4. Üretim Yöntemi Bakımından Nanomalzeme Çeşitleri .....                            | 9    |
| 2.3. NANOTEKNOLOJİ İLE ÇALIŞILAN SEKTÖRLER .....                                        | 9    |
| 2.4. NANOTEKNOLOJİ ALANINDA YAYGIN KULLANILAN MALZEMELER ....                           | 11   |
| 2.5. NANOMALZEMELERİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ .....                           | 12   |
| 2.5.1. Nanomalzeme Maruziyet Yolları .....                                              | 12   |
| 2.6. NANOMALZEME RİSKLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ ..... | 14   |
| 2.6.1. Nanomalzeme Risk Değerlendirme Metotları .....                                   | 14   |

|        |                                                                                                                |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.2. | Kontrol Bandı Metodu.....                                                                                      | 16 |
| 2.6.3. | Nanomalzeme Maruziyet Kontrol Önlemleri .....                                                                  | 18 |
| 3.     | GEREÇ VE YÖNTEMLER.....                                                                                        | 23 |
| 3.1.   | ARAŞTIRMANIN AŞAMALARI.....                                                                                    | 23 |
| 3.2.   | ARAŞTIRMANIN AMACI.....                                                                                        | 23 |
| 3.3.   | KONTROL BANDI NANO RİSK DEĞERLENDİRME ARACI.....                                                               | 24 |
| 3.3.1. | Şiddet Faktörleri .....                                                                                        | 25 |
| 3.3.2. | Olasılık Faktörleri .....                                                                                      | 29 |
| 3.4.   | İŞLETME BİLGİLERİ.....                                                                                         | 35 |
| 3.4.1. | Laboratuvar 1.....                                                                                             | 36 |
| 3.4.2. | Laboratuvar 2.....                                                                                             | 37 |
| 3.4.3. | Laboratuvar 3.....                                                                                             | 39 |
| 3.4.4. | Laboratuvar 4.....                                                                                             | 42 |
| 3.4.5. | Firma 1.....                                                                                                   | 43 |
| 3.4.6. | Firma 2.....                                                                                                   | 44 |
| 4.     | BULGULAR.....                                                                                                  | 45 |
| 4.1.   | İŞLETMELERDE GERÇEKLEŞİRİLEN RİSK DEĞERLENDİRMELERİ<br>SONUCU ELDE EDİLEN RİSK SEVİYELERİ .....                | 49 |
| 4.1.1. | Karbon Nanotüp Üretimi Yapılan Laboratuvarı Elde Edilen Risk<br>Değerlendirmesi .....                          | 50 |
| 4.1.2. | Grafen Üretimi Yapılan İşletmelerde Elde Edilen Risk Değerlendirmeleri.....                                    | 50 |
| 4.1.3. | Gümüş ve Bakır Nanoyapılarının Üretimine Gerçekleştiği İşletmelerde Elde<br>Edilen Risk Değerlendirmeleri..... | 51 |
| 4.1.4. | Titanyum Dioksit Nanoyapıların Oluşturduğu İşletmelerde Elde Edilen Risk<br>Değerlendirmeleri .....            | 51 |
| 4.2.   | RİSK DEĞERLENDİRMESİ UYGULANAN TÜM MALZEMELERİN<br>KIYASLANMASI.....                                           | 52 |
| 4.3.   | BULGULARIN İSTATİSTİKİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ.....                                                           | 56 |
| 5.     | TARTIŞMA .....                                                                                                 | 59 |
| 6.     | SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                                        | 65 |
| 6.1.   | SONUÇLAR.....                                                                                                  | 65 |

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2. ÖNERİLER.....                                                                                         | 66 |
| KAYNAKLAR.....                                                                                             | 67 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                              | 73 |
| YAYINLAR .....                                                                                             | 74 |
| EKLER .....                                                                                                | 75 |
| EK I: Eklenen Yeni Şiddet Parametreleri İle Şiddet Ve Olasılık Seviyelerine Bağlı Risk Seviyesi (RS) ..... | 76 |
| EK II: Nanomalzeme Güvenlik Bilgi Formu.....                                                               | 77 |
| Ek III. Nanomalzeme Bilgi Formu .....                                                                      | 78 |
| EK IV: Nanomalzeme Üretiminde Kontrol Bandı Risk Değerlendirmesi Uygulama Rehberi. ....                    | 81 |

## GRAFİKLER LİSTESİ

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafik 2.1. Ülkelerin Nanoteknolojiye Olan Yatırımları .                                                               | 6  |
| Grafik 2.2. Nanoteknoloji İçin Yapılan Yatırım Grafiği .                                                               | 6  |
| Grafik 4.1. Risk Değerlendirmesi Yapılan Tüm Malzemelere Ait Şiddet Skor Grafiği .....                                 | 54 |
| Grafik 4.2. Risk Değerlendirmesi Yapılan Tüm Malzemelere Ait Olasılık Skor Grafiği.....                                | 55 |
| Grafik 4.3. Risk Değerlendirmesi Yapılan Tüm Malzemelere Ait Şiddet, Olasılık Skor<br>Grafiği ve Risk Seviyeleri ..... | 55 |

## RESİMLER LİSTESİ

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Resim 3.1. Grafen Üretiminin Yapıldığı Çeker Ocak, .....                                                                                           | 37 |
| Resim 3.2. Gümüş Nanoyapıların Üretiminde Kullanılan Malzemelerin İstenilen Oranda Alınması Prosesin Gerçekleştiği Çeker Ocağın Kullanılması ..... | 38 |
| Resim 3.3. Gümüş Nanotel Üretimi İçin Kullanılan Kimyasalların Hazırlanması .....                                                                  | 39 |
| Resim 3.4. Hazırlanan Solüsyonun Yağ Banyosuna Yerleştirilmesi .....                                                                               | 40 |
| Resim 3.5. Nanoyapıları İçeren Solüsyonlar, Gümüş Nanotel, Gümüş Nanoparçacık, Cam Yüzeyine Kaplanmış Kurutulmuş Nanoyapılar .....                 | 40 |
| Resim 3.6. Vakum Odası .....                                                                                                                       | 41 |
| Resim 3.7. Yağ Banyosu, Bakır Nanoyapıları İçeren Solüsyon .....                                                                                   | 41 |
| Resim 3.8. 25 Kg lık Toz Kasalarının Sisteme Aktarılması , İnsan Gücü İle Yapılan Toz Eleme İşlemi .....                                           | 42 |
| Resim 3.9. Kurutma Fırını , Kuşlama Cihazı .....                                                                                                   | 42 |
| Resim 3.10. Sistemin Elektrik Süpürgesi ve Nemli Bez ile Temizlenmesi .....                                                                        | 43 |
| Resim 3.11. Ana Malzeme Olan Grafitin Tartılması .....                                                                                             | 43 |
| Resim 3.12. Elde Edilen Garfenin Süzgeç Kâğıdından Ayrılması .....                                                                                 | 44 |
| Resim 3.13. AR-GE Laboratuvarları .....                                                                                                            | 44 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Nano ve Mikro Boyutta Doğada Bulunan Yapılar .....                         | 3  |
| Şekil 2.2.Bakır Alt Taş Yüzeyine 35 Tane Ksenon Atomu Kullanılarak Yazılan IBM Logosu | 4  |
| Şekil 2.3. 1990- 2004 Yılları Arası Keşfedilen Önemli Nanoyapılar. ....               | 5  |
| Şekil 2.4.Nanomalzeme Çeşitleri .....                                                 | 8  |
| Şekil 2.5.Fare Hücresi Boyutunun Nanoboyut ile Kıyaslanması .....                     | 13 |
| Şekil 2.6.Nanomalzeme Maruziyet Yollarının İnsan Vücudu Üzerindeki Şematik Gösterimi  | 13 |
| Şekil 2.7.Nanomalzeme Risk Yönetimi Programı.....                                     | 19 |
| Şekil 2.8.Nanomalzemeler İçin Kontrol Önlemleri.....                                  | 20 |
| Şekil 3.1. Çalışmanın Aşamalarını Gösteren İş Akış Seması.....                        | 23 |
| Şekil 3.2. Silikon plaka.....                                                         | 36 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 3.1. Şiddet Ve Olasılık Seviyelerine Bağlı Risk Seviyesi .....                                                                           | 31 |
| Tablo 3.2. Olasılık Faktörleri ve Puanlandırılması.....                                                                                        | 32 |
| Tablo 3.3. Şiddet Faktörleri ve Puanlandırılması .....                                                                                         | 34 |
| Tablo 3.4. Çalışma Kapsamında Ziyaret Edilen İşletmeler ve Ürettikleri Malzemeler .....                                                        | 35 |
| Tablo 4.1. Çalışma Kapsamında Üretimi Yapılan NM lere Ait KB Nano Risk Değerlendirme Aracı Uygulaması .....                                    | 46 |
| Tablo 4.2. Risk Değerlendirmesi Sonuçları.....                                                                                                 | 49 |
| Tablo 4.3. Karbon Nanotüp Üretimi Yapılan Ortamda Elde Edilen Risk Parametreleri Ve Risk Seviyesi.....                                         | 50 |
| Tablo 4.4. Grafen Üretimi Yapılan Ortamlarda Elde Edilen Risk Parametreleri Ve Risk Seviyeleri.....                                            | 50 |
| Tablo 4.5. Gümüş Ve Bakır Nanoyapıların Üretimine Yapıldığı Ortamlarda Elde Edilen Risk Parametreleri Ve Risk Seviyeleri .....                 | 51 |
| Tablo 4.6. Titanyum Dioksit Nanoyapıların Oluştığı Yapılan Ortamlarda Elde Edilen Risk Parametreleri Ve Risk Seviyesi .....                    | 51 |
| Tablo 4.7. KNT Grafen, Gümüş, Bakır Ve TiO <sub>2</sub> Nanoyapılar İçin KB Nano Risk Değerlendirme Aracı Parametrelerinin Puanlandırması..... | 53 |
| Tablo 4.8. Grafen ve Gümüş Üretimi Yapılan Ortamlarda Elde Edilen Şiddet Skorları İçin Bağımsız İki Örnek T Testi .....                        | 56 |
| Tablo 4.9. Grafen ve Gümüş Üretimi Yapılan Ortamlarda Elde Edilen Olasılık Skorları İçin Bağımsız İki Örnek T Testi .....                      | 57 |

## SİMGE VE KISALTMALAR

|                |                                                                                                                                                 |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>AFM</b>     | Atomic Force Microscopy (Atomsal Kuvvet Mikroskobu)                                                                                             |
| <b>ANSES</b>   | Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Fransa Gıda, Çevre, İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı) |
| <b>APS</b>     | American Physical Society (Amerikan Fizik Derneğini)                                                                                            |
| <b>ARGE</b>    | Araştırma ve Geliştirme                                                                                                                         |
| <b>ÇDKNT</b>   | Çok duvarlı karbon nanotüp                                                                                                                      |
| <b>EU-OSHA</b> | European Agency for Safety and Health at Work (Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı),                                                          |
| <b>HEPA</b>    | High Performance Air Particulate (Yüksek Performanslı Hava Filtresi)                                                                            |
| <b>HSE</b>     | Health and Safety Executive (İngiltere İş Sağlığı ve Güvenliği Kuruluşu)                                                                        |
| <b>IFA</b>     | Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (Almanya İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü)                            |
| <b>IPT</b>     | Institutional Project Team ( Enstitü Proje Takımı)                                                                                              |
| <b>ISO</b>     | International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)                                                            |
| <b>KB</b>      | Kontrol Bandı                                                                                                                                   |
| <b>KKD</b>     | Kişisel Koruyucu Donanım                                                                                                                        |
| <b>KNT</b>     | Karbon nanotüp                                                                                                                                  |
| <b>LLNL</b>    | Lawrence Livermore National Laboratory (Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı)                                                                 |
| <b>NIOSH</b>   | The National Institute for Occupational Safety and Health (Amerikan Milli Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü)                                 |
| <b>NM</b>      | Nanomalzeme                                                                                                                                     |
| <b>nm</b>      | Nanometre                                                                                                                                       |
| <b>np</b>      | Nanoparçacık                                                                                                                                    |
| <b>nt</b>      | Nanotel                                                                                                                                         |
| <b>OECD</b>    | Organization of Economic Cooperation And Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Teşkilatı)                                                 |
| <b>OEL</b>     | Occupational Exposure Limit (Maruziyet Sınır Değeri)                                                                                            |
| <b>OHS</b>     | Occupational Health and Safety ( İş Sağlığı ve Güvenliği)                                                                                       |
| <b>STM</b>     | Scanning Tunneling Microscope (Taramalı Tünelleme Mikroskobu)                                                                                   |

|                        |                                                 |
|------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>TDKNT</b>           | Tek duvarlı karbon nanotüp                      |
| <b>TiO<sub>2</sub></b> | Titanyum dioksit                                |
| <b>WHO</b>             | World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü) |

# 1. GİRİŞ

Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (EU-OSHA) gelişen potansiyel tehlikeler ile ilgili alanlarında uzmanlar tarafından öngörülerde bulunmuş ve gelişmekte olan bu potansiyel tehlikelerin başında nanoparçacıkları ve çok küçük parçacıkları en tehlikeli olanları olarak belirlemiştir [1].

Nanomalzemeler birçok yeni özelliği ile endüstriye yeni olanaklar sağlasa da bu avantajları ile birlikte yeni riskleri ve bilinmeyenleri de beraberinde getirmektedir. Hızla gelişen sektör bu alanda çalışan sayısının da her geçen gün artmasına sebep olmakta ve ilk etapta onunla temas halinde olan çalışan açısından önemli tehlikelere sebep olabilmektedir [2].

Geçmişte benzer durumlarla karşılaşmış, yeni çıkan ürünlerin iyi özelliklerinden dolayı firmaların ARGE bütçeleri artırılmış ancak 10 ya da 20 yıl sonra kullanılan ürünlerin yan etkileri ortaya çıkmıştır. Örneğin 1929'dan önce, şimdi zehirli olduğu bilinen gazlardan amonyak, metil klorür ve sülfür dioksit, soğutucularda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ancak zamanla sızıntılardan kaynaklı ölümcül kazalar yaşanmıştır [3]. Benzer şekilde 1928'de zehirli olmayan kimyasalların yeni bir üyesi olarak kloroflorokarbon keşfedilmiş ve yine soğutucularda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ancak birkaç on yıl sonra bu kimyasalında ozon tabakasında ciddi tahribatlara neden olduğu anlaşılmıştır [4].

Nanomalzeme üretimi veya araştırılması aşamasında çalışanlar bu malzemelere soluma, sindirim ve deri yolu ile maruz kalmaktadırlar. İnsan sağlığı üzerindeki etkileri kesinlik kazanmamış olan bu malzemeler için yapılan bilimsel çalışmalar biyolojik olarak aktif olabildiğini ve boyutlarından dolayı kolay bir şekilde insan vücuduna girebildiğini göstermektedir. Elde edilen en önemli etkisi akciğerlerde sebep olduğu ortaya çıkan doku hasarından dolayı fibröz ve tümör oluşumudur. Kana karıştığında diğer organlara da yayılımı kolay olup birçok hayati organa zarar verme potansiyeline sahiptir [2].

Bu çalışmanın ana hedefi laboratuvar ve iş yerlerinde üretimi yapılan veya yan ürün olarak ortaya çıkan nanomalzemelere özgü bir risk değerlendirmesi çalışması yapmaktır. Bu kapsamda Türkiye'de daha çok üniversite ve araştırma laboratuvarlarında gelişen ve endüstriyel anlamda yeni gelişmekte olan bu sektöre yönelik nanomalzeme üretimi yapılan

işletmelerde kullanılması uygun görölen Kontrol Bandı (KB) risk değerlendirmesi çalışması yapılmıştır. Yapılan risk değerlendirmeleri sonucu elde edilen en dūřuk seviye dahi en az bir havalandırma sisteminin olması gerektiğini gōstermektedir. Elde edilen risk değerlendirmeleri sonucunda sektōre yōnelik tehlikelere dikkat ekip alınması gereken tedbirler ve öneriler sunulmuştur.

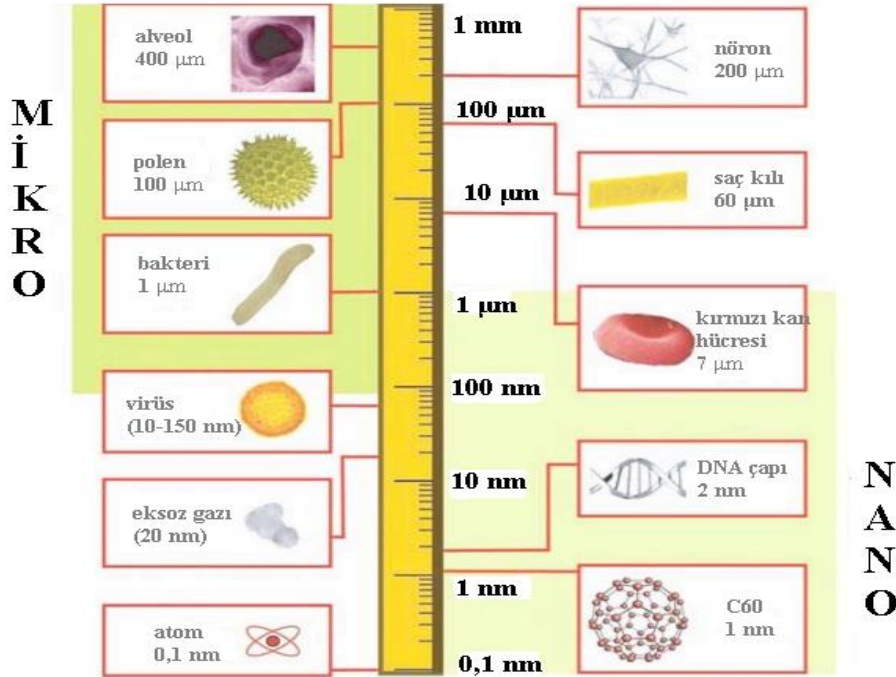
Bu tez çalışması kapsamında nanoteknolojiye ait genel tanımlar ve bilgiler ile insan sağlığı üzerindeki etkileri, “Genel Bilgiler” bōlümünde tanıtılmıştır. Bu bōlümde ayrıca nanomalzemelerin çeşitlerinden ve yaygın kullanıldığı çalışma alanlarından bahsedilip iř sağlığı ve gūvenlięi alanlarındaki etkilerine değinilip kullanılan risk değerlendirme metotları anlatılmıştır. “Gereç ve Yōntemler” bōlümünde, çalışmanın amacı ve aşamalarından bahsedip çalışmaların gerçekleştirildiği laboratuvarlar ve iř yerleri tanıtılmıştır. Bu bōlümde ayrıca uygulanan Kontrol Bandı risk değerlendirme yōntemi detaylıca anlatılmıştır. Yapılan risk değerlendirmesi sonuçları “Bulgular” bōlümünde tablolar halinde ayrıntıları ile verilmiştir. “Tartışma” bōlümü dāhilinde elde edilen sonuçlar birbiri içerisinde ve literatürde yapılan benzer çalışmalarla kıyaslanmıştır. Son olarak bu çalışma ile elde edilen nihai veriler ve tavsiyeler “Sonuç ve Öneriler” bōlümünde belirtilmiş, bu alandaki İSG riskleri, işyerlerinin mevcut durumları ortaya konulmuş ve sektōrde yapılacak yeni çalışmalara rehberlik etmek amaçlanmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. NANOTEKNOLOJİ

Nanoteknoloji, maddelerin atomik boyuttaki yapılarından yola çıkarak yeni ve faydalı özellikler kazanmasını sağlamak amacıyla üretilmesidir. Malzemenin en az bir boyutunun 1 ile 100 nm arasında olması durumunda o malzemeye nanomalzeme adı verilmektedir [5]. Bir nm metrenin milyarda biridir. Tüm dünyada gelişen bu sektöre ilgi her geçen gün daha da büyüyerek artmakta olup sahip olduğu özellikler sayesinde birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Enerji, tıp, iletişim, temizlik, kozmetik başta olmak üzere endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır [6].

Nanoteknolojiyi bu kadar ilginç kılan unsur, malzemelerin bu boyutta makro dünyadan farklı davranmalarıdır. Makro boyuttan nano boyuta geçerken güç/ ağırlık oranı, iletkenlik, optik ve manyetik özellikleri kayda değer biçimde değişmektedir [7]. Yaşadığımız alanda karşımıza sık sık çıkan malzemeler (Şekil 2.1) ve bunların makro boyutta bulunan yapıları mühendislik yöntemlerle kontrol edilip tasarlandığında birçok yeni ve eşsiz özelliği ile karşımıza çıkmaktadır.

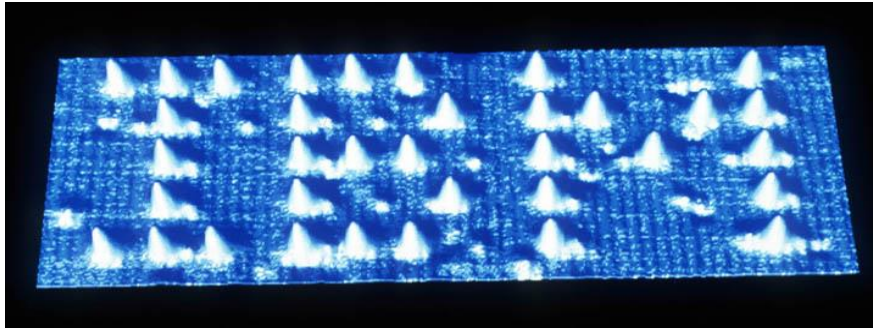


Şekil 2.1. Nano ve Mikro Boyutta Doğada Bulunan Yapılar [8].

### 2.1.1. Nanoteknolojinin Gelişimi

Nanoteknoloji kavramı ilk kez 1959 yılında Nobel ödüllü ünlü fizikçi Richard Feynman'ın Amerikan Fizik Derneğinin (APS) yıllık toplantısında yaptığı “Aşağıda tahmin edildiğinden daha çok yer var” adlı konuşmasıyla atom ve moleküllerin kontrol edilebileceğini ve bunu yapabilmek için yeni cihazlara ihtiyaç duyulduğundan bahsetmesiyle başlamıştır.

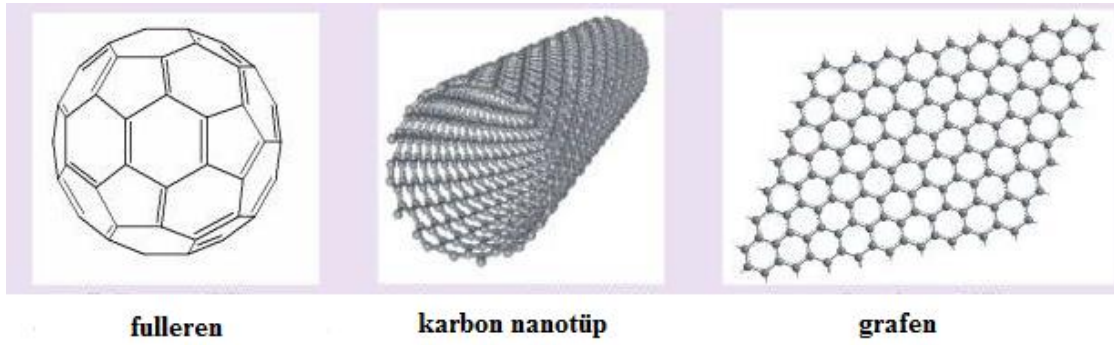
Nanoteknoloji terimi ise 1974 yılında Tokyo Üniversitesinden Norio Taniguchi tarafından bulunmuş ve 1981 yılında IBM tarafından yeni bir mikroskop türü “Taramalı Tünelleme Mikroskobu” (STM) geliştirilmiştir. Bu önemli ilerlemede pay sahibi olan araştırmacılar bu buluşları ile 1986’ da Nobel Fizik ödülünü almışlardır. 1986 yılında 35 bağımsız atom kullanılarak “IBM” harfleri yazılmıştır (Şekil 2.2). Aynı zamanlarda STM mikroskobunun bir türevi olan “Atomsal Kuvvet Mikroskobu” (AFM) da geliştirilmiştir. Feynman'ın bahsetmiş olduğu cihazların (taramalı elektron mikroskobu, atomsal kuvvet mikroskobu, taramalı tünelleme mikroskobu vb.) 1980’lerde geliştirilmesi ve eşzamanlı olarak gelişen bilgisayar kapasiteleri ile nano boyutta ölçüm ve modelleme yapılması mümkün olmuştur [9].



**Şekil 2.2.Bakır Alt Taş Yüzeyine 35 Tane Ksenon Atomu Kullanılarak Yazılan IBM Logosu [10].**

1990’ların başında Rice Üniversitesinde Richard Smalley öncülüğündeki araştırmacılar 60 karbon atomunun simetrik biçimde sıralanmasıyla elde edilen futbol topu şeklindeki “fullerene” (Şekil 2.3) molekülleri geliştirilmiştir. Elde edilen molekül 1 nanometre büyüklüğünde, çelikten daha güçlü, plastikten daha hafif, elektrik ve ısı geçirgen bir yapıya sahipti. Bu araştırmacılar 1996 yılında bu buluşları ile Nobel Kimya ödülünü almışlardır. 1991 yılında da Japon NEC firması araştırmacılarından biri olan Sumio Iijima, karbon nano tüpleri (KNT) (Şekil 2.3) keşfetmiştir. Karbon nano tüpler, fullerene molekülünün esnetilmiş

bir şekli olup benzer şekilde önemli özelliklere sahip, çelikten 100 kat daha güçlü ve ağırlığı çeliğin ağırlığının 6'da 1'i kadardır [11]. 2004 yılında Andre Geim ve Konstantin Novoselev grafeni keşfetmişlerdir (Şekil 2.3). 2006 yılında Erik Winfree ve Paul WK Rothmund iki boyutlu DNA yapısı oluşturmuş ve bu yapıya DNA origami adı verilmiştir. İnsan sağlığı üzerinde bilinmeyenlere sahip bu teknolojiye için birçok sektörde ARGE çalışmaları dünya çapında devam etmekte olup bu alandaki etkilerine dair çalışmalar da hız kazanmıştır [12].

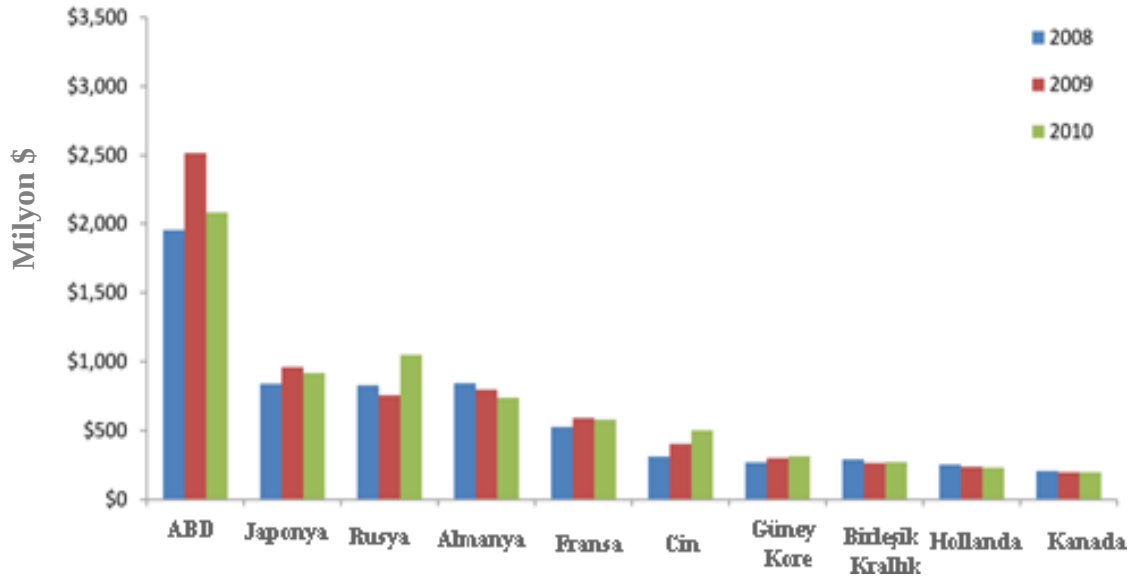


**Şekil 2.3. 1990- 2004 Yılları Arası Keşfedilen Önemli Nanoyapılar.**

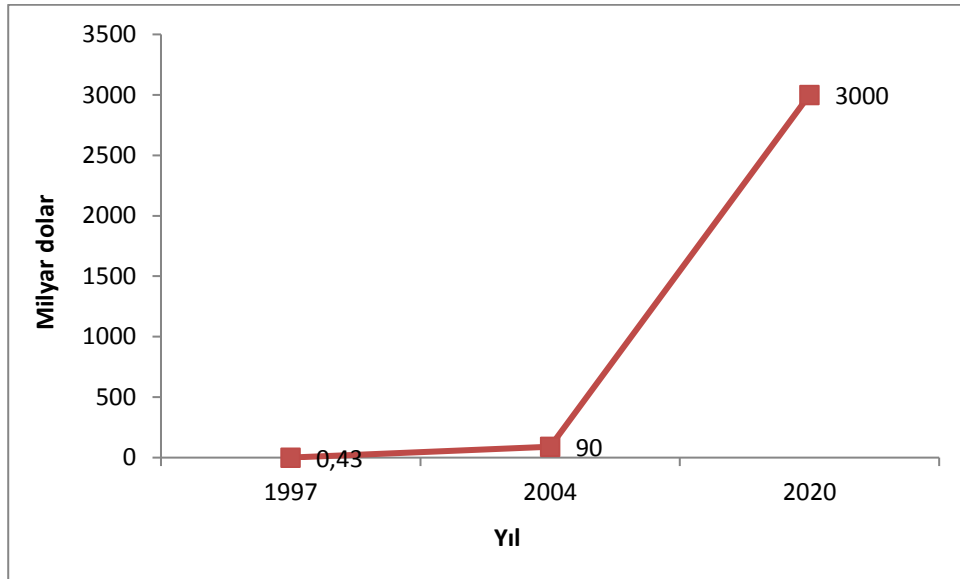
### **2.1.2. Nanoteknolojinin Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu**

Nanoteknoloji yüksek bir potansiyele sahip olup gelecekte çok büyük bir market olma yolundadır. Sahip olduğu bu potansiyelden ötürü birçok devlet bu alanda çalışan girişimcilere çok büyük destekler vermektedir. 2011 yılında yapılan bir araştırmaya göre uluslararası pazarda Grafik 2.1'de görüldüğü gibi Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Rusya ve Japonya başta olmak üzere Hollanda, Kanada, Fransa, İsrail, Çin ve Güney Kore ve Birleşik Krallık yaptıkları yatırımlarla hızlı bir ilerleme çabasıdadır [13,14] .

Dünya genelinde 1997 yılında nanoteknolojiye yapılan yatırım 430 milyon dolar iken 2004 yılında 90 milyar dolara yükselmiş ve 2020 yılı itibari ile nanoteknolojinin yıllık 3 trilyon dolarlık yatırım ile küresel bir endüstri olması öngörülmektedir (Grafik 2.2) [15].



**Grafik 2.1. Ülkelerin Nanoteknolojiye Olan Yatırımları [16].**



**Grafik 2.2. Nanoteknoloji İçin Yapılan Yatırım Grafiği [15].**

2011 yılında yapılan çalışmada dünya çapında 24 ülke tarafından tüketici ürünü olarak üretilen nanomalzemelerin sayısının 212 den 1317'ye yükseldiği (% 521) belirtilmiştir [17]. En yaygın kullanılan malzemelerde gümüş ilk sırada bulunurken onu karbon temelli yapılar ve titanyum dioksit takip etmektedir. 2015 yılı itibari ile dünya çapında üretim yapan mesleklerin % 10'u nanomalzeme ile ilişkili olacağı ve 2000 den fazla ürün üretileceği tahmin edilmektedir [18]. Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere (46)

nanomalzemelerin iş sağlığı ve güvenliği üzerindeki etkilerini araştıran toplam 98 tane proje yürütülmüştür [19]. Uluslararası Standardizasyon Örgütü (ISO), Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Teşkilatı (OECD), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) gibi yapılar tarafından nanoteknolojinin getirebileceği etkileri öngörmek adına çalışmalar yapılmakta olup, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri ülkeleri bu anlamada yasal düzenlemeler yürütmektedir. Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) bu alanda elliye aşkın adet standart yayınlamıştır [20]. OECD oluşturduğu yapı sayısız çalışma yapmaktadır. Özellikle Amerikan (NIOSH) , İngiliz (HSE) ve Alman (IFA) İSG enstitüleri bu alanda lider konumdadır.

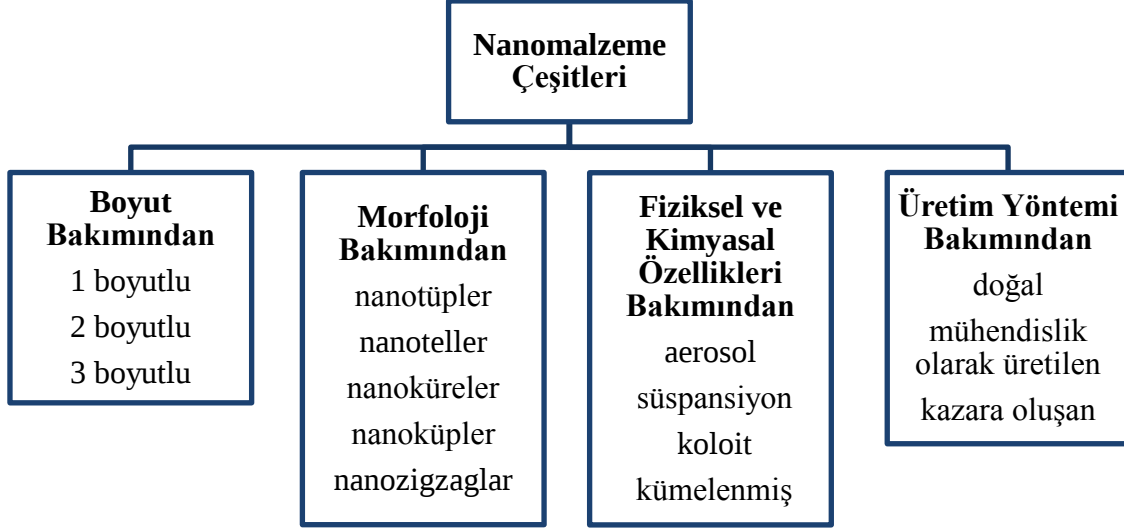
Türkiye’de genel olarak üniversite ve enstitü bazında üretimi yapılan NM’lerin ARGE faaliyetleri devam etmekte olup sektöre yönelik seri üretime yeni yeni geçişler başlamıştır. Bu alanda çalışma yapan araştırma merkezlerinden başlıcaları şunlardır:

- ✓ Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi,
- ✓ Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı,
- ✓ Bilkent Nanoteknoloji Araştırma Merkezi
- ✓ Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
- ✓ Koç Üniversitesi Yüzey Teknolojileri Araştırma Merkezi
- ✓ Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Nanoteknoloji Araştırma Merkezi
- ✓ Hacettepe Üniversitesi Nanoteknoloji ve Nanotıp Ana Bilim Dalı
- ✓ İstanbul Teknik Üniversitesi Nanobilim ve Nanoteknoloji İleri Araştırmalar Enstitüsü
- ✓ TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü
- ✓ Marmara Üniversitesi Nanoteknoloji ve Biyomalzemeler Araştırma Merkezi

TÜBİTAK Vizyon 2023 projesi kapsamında Nanoteknoloji alanında Nanoteknoloji Strateji Grubu kurulmuştur. Bu alanda yapılan çalışmalar sonucunda hedeflerin başında ARGE çalışmaları devam eden ürünleri 2023 yılı itibarı ile uluslararası düzeyde seri üretime hazır hale getirmek bulunmaktadır [21].

## 2.2. NANOMALZEME ÇEŞİTLERİ

Nanomalzemeler boyutlarına, morfolojilerine, bileşimlerine, homojenliklerine ve üretim yöntemlerine göre (Şekil 2.4) gruplandırılmaktadır [8,12].



Şekil 2.4.Nanomalzeme Çeşitleri

### 2.2.1. Boyut Bakımından Nanomalzeme Çeşitleri

Boyut bakımından nanoyapılar kendi arasında 3'e ayrılır [8] :

- ✓ 1 Boyutlu nanoyapılar genelde ince film olarak adlandırılan bu yapılar bilgisayar çiplerinde, anti yansıtıcı kaplamalar ve güneş gözlüklerinde kullanılan teknolojiler.
- ✓ 2 Boyutlu nanoyapılar ayırma ve filtreleme teknolojilerinde kullanılan nanoteller ve nanotüplerdir.
- ✓ 3 Boyutlu nanoyapılara atomik yapıdaki delikli yapılar, koloitler ve kuantum yapılar örnek olarak verilebilir.

### 2.2.2. Morfoloji Bakımından Nanomalzeme Çeşitleri

Morfoloji açısından yapılar, şekil bakımından düz, yuvarlak, tüp, tel, küp, küre gibi değerlendirilirken bu noktada boy en oranı da önemli olmaktadır. Yüksek boy en oranı, düz yapılarda yüksekken, yuvarlak ve oval şekillerde daha düşük olup malzemenin toksisitesi üzerinde de büyük öneme sahiptir.

### **2.2.3. Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri Bakımından Nanomalzeme Çeşitleri**

Kimyasal ve elektro manyetik özellikleri bakımından nano parçacıklar aerosol, süspansiyon, koloit ve kümelenmiş (yığın) şeklinde bulunabilmektedir. Nanoyapıların sağlık ve çevreye olan etkilerinde yığın şeklinde bulunma özellikleri en az boyut ve yüzey reaktifliği kadar önemlidir.

### **2.2.4. Üretim Yöntemi Bakımından Nanomalzeme Çeşitleri**

Nanoyapılar genel olarak mühendislik ürünü olarak gözlemlense de üç formda bulunmaktadır [8].

- ✓ Doğal olarak (deniz spreyi, mineral bileşimleri, volkanik küller, virüsler),
- ✓ Mühendislik ürünü olarak (metal nanoyapılar, quantum noktacıklar, nonotüpler, boya ve kozmetik malzemeler, nanokapsüller),
- ✓ İstenmeyen yan ürün oluşarak (sigara dumanı, dizel yakıt egzozları, kum püskürme, endüstriyel yan ürünler)

## **2.3. NANOTEKNOLOJİ İLE ÇALIŞILAN SEKTÖRLER**

Nanoteknolojinin yaygın kullanıldığı sektörler aşağıda sıralandığı gibidir ve sektörlerde kullanılan malzemelere dair örneklere de devamında yer verilmiştir [22,23]:

- ✓ Kozmetik
- ✓ Hava ve uzay araçları
- ✓ Otomotiv
- ✓ Bilgi teknolojileri ve elektronik
- ✓ Medikal ve ilaç
- ✓ Tıp
- ✓ Gıda
- ✓ Enerji
- ✓ Temizlik
- ✓ İnşaat

Kozmetik endüstrisi, saç ve vücut bakımı başta olmak üzere yaygın kullanıldığı alanların başında gelmektedir. Bu anlamda nanomalzemelerin insan hayatına ilk olarak insan vücudu ile doğrudan temas eden bir yöntemle girmesi de oldukça dikkat çekicidir. Özellikle güneş kremlerinde  $TiO_2$  (titanyum dioksit) nanoparçacıklar ultraviyole ışınları emiliminin engellenmesini sağladığı için kullanılmaktadır.

Hava ve uzay araçlarında, otomotiv sektöründe de sahip oldukları ultra hafif, aynı zamanda güçlü yapılarından dolayı nanomalzemeler kullanılmaktadır. Hava araçlarında yakıt performansının artmasına yardımcı olurken yarış arabaları için hızın artırmasına yardımcı olur. Genel olarak sağlamlığı kanıtlanmış olan nanotüplerin plastik yapıların içerisine yerleştirilmesi ile istenilen performanslar elde edilmeye çalışılmaktadır. Hafif ve yüksek derecede yalıtkan olan malzemelerde hava ve uzay araçları karşılaştıkları ekstra sıcak ve soğuktan korumaktadır.

Karayolu taşıtlarının bir kısmında diğer sektörlere kıyasla daha uzun zamandır çizilme karşıtı boyalar ve foto katalitik nanoyapılar sayesinde kendi kendini temizleyen araç farları kullanılmaktadır.

Medikal ve ilaç sektöründe de kullanımı giderek yaygınlaşan bu malzemeler özellikle vücut implant alanında kullanılmaktadır. Tıp alanında da kanserli hücrelerin tedavisinde hedef hücreye özel üretilen nanoyapıların kanserli hücreye ulaşımı ve ilaç salınımı çalışmaları da en çok çalışılan alanların başında gelmektedir. Hastanelerin zemin döşemelerinde anti bakteriyel özelliklerinden ötürü nanoyapı içeren kaplama malzemeleri kullanılmaktadır.

Bilgi teknolojileri ve elektronik malzemelerde özellikle bilgisayar performanslarının gelişmesi açısından daha küçük bileşenlerin elde edilmesiyle her geçen gün daha da ilerlemektedir. Bankamatiklerden kahve makinasına kadar gömülü sistem adı altında bulunan sistemler için de sistemlerin küçülmesine sağladıkları katkıdan dolayı önem arz etmektedir. Gıda alanında yiyeceklerin korunmasında kullanılan paketlerin veya streçlerin özellikle nem ve oksijen geçirgenliğini azaltarak bozulmalarını engellemek ve tüketim sürelerini uzatılması hedeflenmiştir [24].

## 2.4. NANOTEKNOLOJİ ALANINDA YAYGIN KULLANILAN MALZEMELER

Nanomalzemeler kullanıldıkları alana göre üç ana gruba ayrılır, karbon temelli yapılar (elementel karbon, karbonlu bileşikler) , metal nanoparçacıklar (metaller, metal oksitler) ve seramikler [7]. Karbon temelli olanlar en çok kullanılan yapılar olup bunların başında karbon nanotüpler, grafen ve fuleren bulunmaktayken metal temelli nanoyapıların sektörde yaygın kullanılan türleri gümüş ve altın nanoparçacıklar, titanyum dioksit nanoyapılardır. OECD bünyesinde kurulan “Üretilen Nanomalzemeler Çalışma Grubu”, Kasım 2007’de “Üretilen Nanomalzemeler İçin Test Programı” yayınlamış olup bu program, üretimi yapılan çeşitli NM’lerin insan ve çevre sağlığı ve güvenliği açısından birtakım testlere dair inceleme ve araştırma yürütmektedir. Üretilen bu malzemeler için ilk olarak geniş bir liste belirlemiş ancak sonra test programı için 11 tane yaygın kullanılan NM’yi belirlemişlerdir [25] :

- 1) Fulleren (C60)
- 2) Tek duvarlı karbon nanotüp (TDKNT)
- 3) Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)
- 4) Gümüş nanoparçacık
- 5) Titanyum dioksit
- 6) Seryum oksit
- 7) Çinko oksit
- 8) Silisyum dioksit
- 9) Dendrimer
- 10) Nanokil
- 11) Altın nanoparçacık

Bu malzemelerin seçimindeki önemli kıstas ticari olarak kullanılıyor veya yakın gelecekte kullanılacak olmalarıdır. Aynı zamanda üretim hacmi, malzemenin test için uygun olup olmadığı malzemeye dair bilgilerin elde edilebilir olması da diğer önemli kıstaslardır.

## 2.5. NANOMALZEMELERİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Uzun yıllardır insanların yanardağ külleri, kum fırtınaları gibi doğa olayları sonucu oluşan küçük parçacıklara maruz kaldığı bilinmektedir. İnsan vücudu tüm bu doğal olan yabancı ve zararlı parçacıklarla, maddelerle, virüslerle dâhil olmak üzere savaşılabilecek yeteneğine sahip olup uzun yıllardır savaşmaktadır.

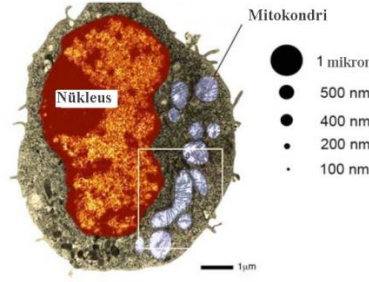
Teknolojinin gelişimi beraberinde çok büyük avantajları getirmekle birlikte parçacık popülasyonunun yapısını değiştirmekte ve NM'ler de buna bir örnek teşkil etmektedir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda havadaki parçacık seviyesinin solunum, kardiyovasküler sistem, bazı kanser tipleri ve hatta ölümlerle doğrudan ilişkili olduğunu kanıtlamıştır [8]. Nano parçacıkların insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri, parçacıkların kimyasına, boyutuna, şekline, kümelenmesine ve elektromanyetik yapılarına bağlı olduğu gibi genetik yapıya ve var olan hastalıklara da bağlıdır.

Hayvanlarda ve insanlarda yapılan çalışmalar göstermiştir ki makro boyutta bulunan yapılarına kıyasla nano boyutta solunan ( $\text{TiO}_2$  ve KNT) parçacıklar akciğerde makrofaj mekanizması ile akciğere zarar vermektedir [27,28]. Bu parçacıklar aynı zamanda dolaşım sistemine kolayca nüfuz edebildikleri için lenf ve sinir sistemine ulaşabilmekte bu yolla beyin de dâhil olmak üzere birçok organa ulaşabilmektedir [29]. Sahip oldukları boyutlardan dolayı hücre içine kolayca girebilen parçacıklar hücre içinde bir takım biyolojik reaksiyonlara sebep olarak hücreyi ölüme kadar götürebilmektedir. Örnek olarak HIV virüsü 100 nm çapına sahip olarak hücre içine kolayca girebilmekte ve yayılabilmektedir. Bilinen en tedirgin edici sonuç ise KNT'lerin asbest benzeri patolojik sonuçlar göstermesidir [30]. Nanomalzeme toksisitesi hakkında bilgiler kesinleştikçe Parkinson, alzheimer ve şizofren gibi hastalıklara ait belirsizliklerin de çözümlenmesine ışık tutabileceği düşünülmektedir.

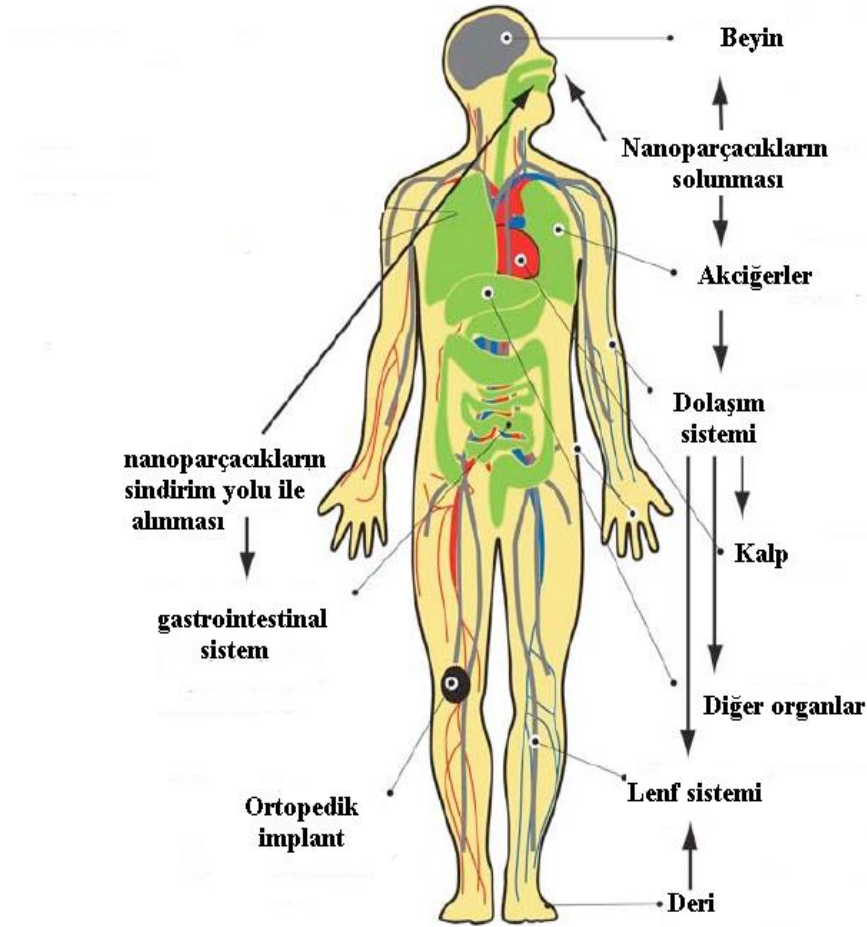
### 2.5.1. Nanomalzeme Maruziyet Yolları

Küçük yapılarından dolayı hücre içerisine girişleri oldukça kolay olan bu malzemeler birçok hastalığa sebep olabilmektedir. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi bir fare hücresi ile nanoboyut kıyaslaması yapıldığında hücre içine girişlerindeki boyut etkisi daha net ifade edilmektedir. Solunum, sindirim yolu ve deri yolu NM'lerin insan vücuduna girmesine sebep olabilen üç ana

yoldur. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi nanoparçacıklara solunum yolu ile maruz kalındığında beyin ya da akciğerlerde birikim olup akciğerlerden dolaşım sistemi vasıtasıyla diğer sistem ve organlara ulaşabilmektedir. Sindirim yolu ile maruziyetlerde ise mide bağırsak (gastrointestinal) sistemine karışıp yine kan yolu ile diğer organlara ulaşabilmektedir. Deri yolu ile maruziyetlerde ise lenf sistemine karıştığı öngörülmektedir.



Şekil 2.5.Fare Hücresi Boyutunun Nanoboyut ile Kıyaslanması [8]



Şekil 2.6.Nanomalzeme Maruziyet Yollarının İnsan Vücudu Üzerindeki Şematik Gösterimi [8]

Nanoboyutta parçacık içeren kuru tozların çeker ocak içinde yapılan işlemleri esnasında bile önemli miktarda havada asılı bulunan parçacıkların laboratuvar ortamındaki çalışan solunum alanında bulunduğunu kanıtlanmıştır [31].

## **2.6. NANOMALZEME RİSKLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Nanomalzemeler ile yapılan in vitro (laboratuvarda) ve in vivo (canlılarda) çalışmalar bu malzemelerin canlılar üzerinde akciğer iltihaplanması başta olmak üzere fibröz ve tümör oluşumuna sebep olduğu kanıtlanmıştır [19]. Bu sonuçlara sebep olan mekanizmalar henüz net olarak belirlenemediği için yapılması gereken en önemli önlem maruziyeti olabildiğince en az seviyeye indirmek ve kontrol edebilmektir. Toksikolojik bilgilerinin ve maruziyet sonucu oluşabilecek sonuçların eksikliğinden dolayı nanomalzemeler ile çalışılan yerlerde risk değerlendirmesi yapmak daha kısıtlı ve zordur. Bu malzemelerle çalışılan iş yerlerinde veya laboratuvar ortamlarında yapılabilecek iki çeşit risk değerlendirme metodu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi maruziyet verilerine dayanarak yapılan nicel risk değerlendirmesi ikincisi ise maruziyet verilerine ulaşma imkânı olmayan durumlarda yapılan nitel risk değerlendirmesidir. NM'lere özgü maruziyet sınır değerleri henüz netlik kazanmamış olup geliştirilme aşamasında olduğundan daha çok nitel risk değerlendirme yöntemleri tercih edilmektedir.

### **2.6.1. Nanomalzeme Risk Değerlendirme Metotları**

İsviçre Federal Konseyi 2008 yılında sentetik nanomalzemeler ile ilgili eylem planı oluşturmuş ve bunun sonucunda bazı önceliklerden bahsetmiştir:

- Nanoparçacıkların sağlık ve çevre üzerinde oluşturabileceği tehlikeli etkilerini anlamak ve engellemek için bilimsel ve metodolojik ön koşullar oluşturmak,
- Sentetik nanomalzemeler ile ilgili düzenleyici grup çalışmaları yapmak,
- Nanoteknoloji ve nanomalzemelerin tehlikeli etkilerinin konuşulduğu ortak bir diyalog platformu oluşturmak.

Bu önceliklerden yola çıkılarak sektöre yönelik çevrimiçi bir risk değerlendirmesi oluşturmak olduğuna karar vererek sentetik nanomalzemeler için Önleyici Matris Risk Değerlendirme Programını geliştirmişlerdir. Risk potansiyellerini, programa girilen bilgiler sonucunda Sınıf A ve Sınıf B olmak üzere iki ana grupta toplamaktadır. Buna göre Sınıf A kategorisinde çıkan malzemeler düşük seviyede tehlikeye sebep olan ya da tehlike oluşturmadığını, Sınıf B kategorisinde çıkan sonuçlar ise malzemeye özel tedbirlerin alınması gerektiğini ifade etmektedir [32]. İsminin aksine bu önleyici matris tehlike ve maruziyet gruplarını ayırtırmadan bu iki parametreyi tek bir skorda birleştirmektedir.

Fransa Gıda, Çevre, İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (ANSES) de NM'ler için bir risk değerlendirmesi geliştirmiştir [33]. 2005 yılında Fransa Çevre, Sağlık ve Çalışma Bakanlıkları ANSES' e nanomalzemelerin çalışan sağlığı üzerindeki etkilerine dair uzman bir değerlendirme yapmasını istemiş ve bunun sonucunda da bir risk değerlendirme yöntemi oluşturmuşlardır.

Stoffenmanager Nano ise çevrimiçi bir risk değerlendirmesi yöntemi olup aşağıda belirtilen kriterlerin sağlandığı durumlar için kullanılabilir [34] :

- ✓ Parçacıklar suda çözünemeyen olmalı,
- ✓ Parçacıklar amaçlanarak üretilen malzemeler olmalı kazara oluşan nanoparçacıkları içermemeli,
- ✓ Üretilen parçacıkların boyutlarının 100 nm'nin altında ya da nanotozların yüzeyi 60 m<sup>2</sup>/g olmalı,
- ✓ Tekli yapılar içermeli.

Nanosafer risk değerlendirme metodu Danimarka Ulusal Çalışma Koşulları Araştırma Merkezi ve Danimarka Teknoloji Enstitüsü tarafından geliştirilmiştir. 2016 yılında yeni bir sürümünü yayınlanması planlanan yöntem kontrol bantlarını ve risk yönetimini birleştirerek risk seviyelerini belirleyip alınması gereken önlemlere yönelik önerilerde bulunmaktadır.

### 2.6.2. Kontrol Bandı Metodu

Mühendislik nanomalzemelerin kullanım alanları sonsuz görünmekte olup bu malzemelerin araştırılması ve geliştirilmesi için hem devlet hem de özel laboratuvarlar büyük bir gayret öne sürmektedirler. NM'leri faydalı yapan özelliklerinin yanı sıra onları insanlar ve çevre için tehlikeli hale getiren özellikleri de mevcut olabilmektedir.

Kontrol Bandı, tehlike ve maruziyet senaryolarının tamamından bağımsız olarak kontrollerle ilgili uygun seviyeler hakkında karar vermeye olanak sağlar. Kimyasal maddeler için çözümler ve kontrol önlemleri oluşturmaya dayalı risklerin belirlenmesi yöntemidir [35]. Bu yöntem potansiyel maruziyetleri veya maruziyet senaryolarına bağlı, sağlığa dair tehlikelerin kategorileri veya 'bant'larını istenilen kontrol düzeyini belirlemek için kullanır. Çalışanların dokunduğu malzemeler hakkında farmakolojik ve toksikolojik bilgilerin eksikliğinden dolayı risk yönetimi yaklaşımı açısından kontrol stratejilerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Kontrol Bandı'na mevcut yaklaşım HSE'nin bir programından yola çıkılarak küçük ve orta ölçekli işletmelere risk yönetimi yaklaşımlarında yol göstermek için kimyasallarla uğraşan tüm çalışanları kapsayan sadeleştirilmiş bir metoda sahip olarak düzenlemelere uymak, riskleri belirlemek ve uygun önlemler almak için oluşturulmuştur. Özellikle toksikolojik veriler ve niteleyici ölçüm eksikliğinden dolayı nanomalzemeler için geleneksel yöntemlerden daha üstün olacağı öngörülmektedir.

Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracı (Control Banding Nanotool) ilk kez 2008 yılında geliştirilmiş olup uygun kontrolleri sağlayan bir risk değerlendirmesi için birçok ülkede uygulanan nitel bir karar matrisi olmuştur [36]. Maynard ve arkadaşları tarafından açıklanan Risk seviyeleri (RS), etki ve maruziyet etkenleriyle benzerlik göstererek işteki şiddet ve olasılık skorlarının birleşimi sonucu ortaya çıkar. KB Nano Risk Değerlendirme Aracı için en büyük zorluk, ilk etapta farklı risk faktörlerinin ağırlıklarının belirlenmesiydi. Bunun üstesinden gelebilmek için Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarından (LLNL) bir grup uzman çalışanların daha güvenli bir ortamda çalışmalarına devam ederek çalışanların ve toplumun sağlığını korumak için 6 aylık süreçlerde 20 den fazla görüşme yaparak NM'ler ilgili sağlık, güvenlik ve çevre kontrollerini sağlamak amaçlı tehlikeleri belirlemek için görüşmeler yapmışlardır. Bu uzmanlar "Institutional Project Team" (IPT) adı altında bir

takım oluşturup LLNL’ın ilk NM güvenlik programını geliştirmeyi amaçlamışlardır. OECD tarafından KB Nano Risk Değerlendirme Aracı ilk kez 2009 yılında Cape Town’ da yapılan mühendislik nanomalzeme üretim çalıştayında açık ve net bir şekilde duyurulmuştur.

Her ne kadar NM’ler ile ilgili risklerin değerlendirmesine dair ortak bir istekte bulunsa da NM’lere ait belirsizlikler bu isteğe dair korkuları da beraberinde getirmektedir [37]. Bunlardan birkaçını adlandırmak gerekirse:

1. Nanomalzemelerin fiziksel yapılarının onların toksisitesinin tamamını etkileyip etkilemediği tam olarak anlaşılmamıştır,
2. Nanomalzemelerin ve onların daha büyük boyuttaki malzemeleri arasındaki akciğer depolanma ve alveoler temizlik anlamında farklılık büyük ölçüde değişiklik göstermektedir.
3. Maruziyetle ilgili parçacık boyutu ve yüzey alanının kütle den daha önemli olduğuna dair net bir fikir birliği bulunmamaktadır.
4. Maruziyet senaryoları ve risk altındaki topluluklarla ilgili büyük bir bilgi eksikliği bulunmaktadır.

Bu anlamda Kontrol Bandının (KB), toksikoloji ve maruziyet bilgisi eksikliğinde çalışanların maruziyet durumu için etkili bir strateji sağladığı kanıtlanmış ve iş yerlerinde nanomalzeme maruziyetinin yönetimi bakımından potansiyel olarak kullanışlı bir yöntem olduğu belirtilmiştir [38]. Nanomalzeme üretimi yapan firmaların birçoğunda risk değerlendirmesinin yapılmadığı düşünülmektedir [39]. Maynard tarafından ortaya koyulan “etki” ve “maruziyet” etkenleri çerçevesindeki bu kavramsal yaklaşım, model mühendislik nanomalzeme kompozisyonundaki parametreler (şekil, boyut, yüzey alanı ve yüzey aktivitesi) ile maruziyet potansiyellerini (kirlilik ve kullanım miktarı) birleştirir. Bu indisler, bantlar karşılığında dört kontrol önlemi ile bağlanır. Kontrol önlemleri dört mühendislik seviyesine göre gruplanır bunlar:

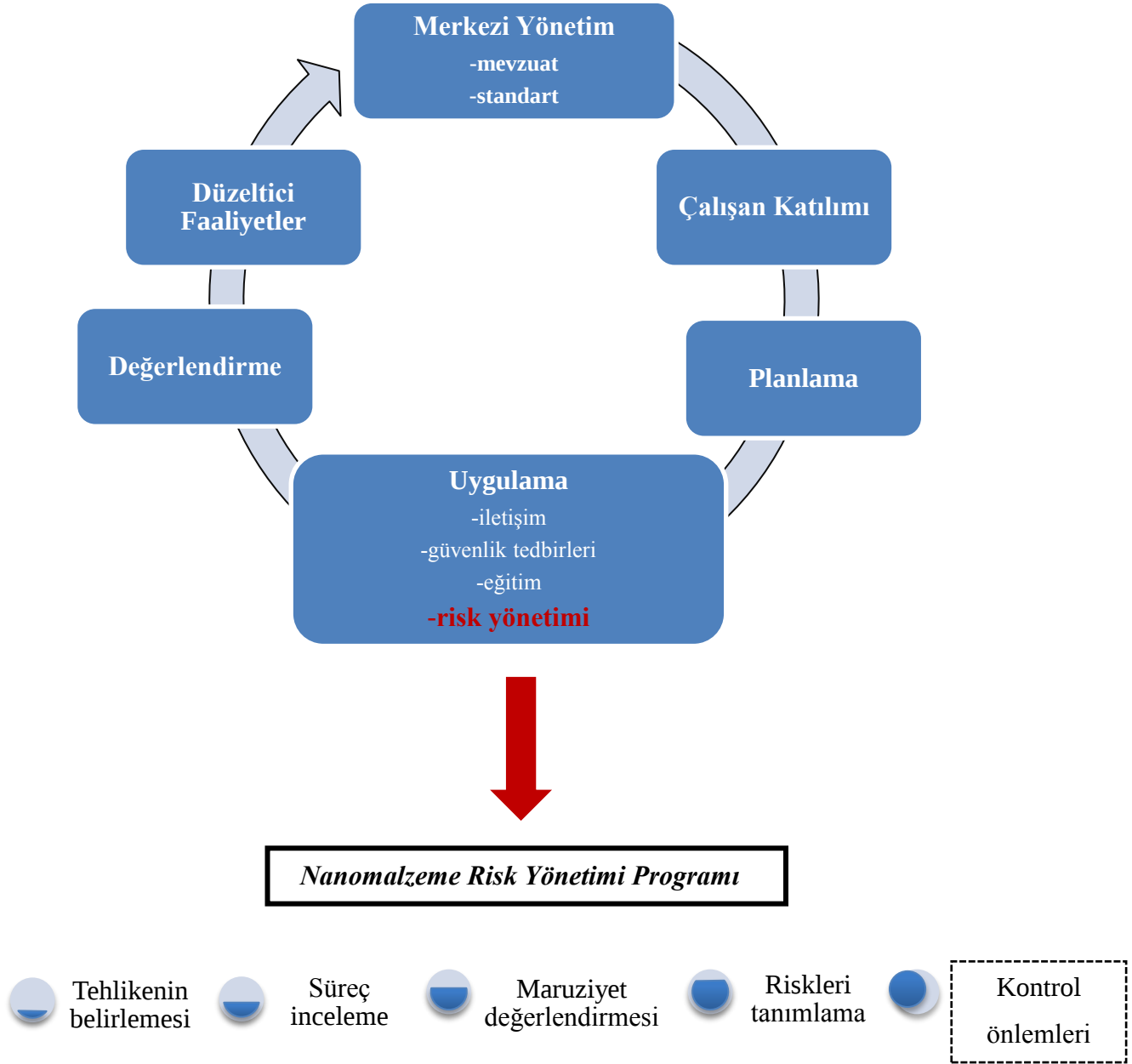
- i) Genel havalandırma,
- ii) Çeker ocak veya yerel havalandırma,
- iii) Detaylı kontrol önlemlerinin alınması, kullanımının kısıtlanması,
- iv) Detaylı kontrol önlemlerinin alınması, prosesin durdurulması.

### 2.6.3. Nanomalzeme Maruziyet Kontrol Önlemleri

Nanomalzemeler için kontrol önlemleri bilinen genel iş sağlığı ve güvenliği sistemlerine ek olarak ayrıca hazırlanmalı ve değerlendirilmelidir. Bunun nedeni nanomalzeme ile çalışma aşamalarında özellikle üretim esnasında malzemeye özgü tehlikelerle karşılaşılabilir. Bu nedenle çalışma alanında tüm üretim aşamalarını kapsayacak şekilde aşağıda belirtilen kriterler de göz önüne alınarak bir ön tehlike analiz oluşturulmalıdır [40].

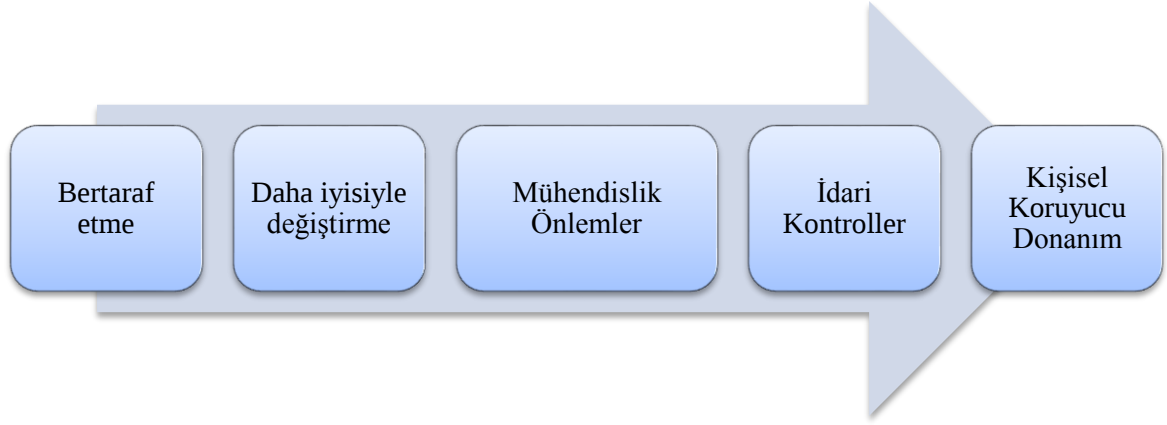
- ✓ Proses esnasında kullanılan kimyasallar/malzemeler,
- ✓ Üretimin her aşamasında kullanılan üretim yöntemleri,
- ✓ Üretim aşamasında kullanılan cihazlar ve kullanılan mühendislik önlemler,
- ✓ Çalışanların iş ile ilgili yeterli donanımına sahip olması,
- ✓ Çalışanın proses esnasında maruz kalma ihtimali ve şiddeti,
- ✓ Çalışılan firmanın yeterliliği,
- ✓ Malzeme üretimi otomatik bir sistem tarafından veya çalışan tarafından direkt olarak yapılma durumu,
- ✓ Özellikle tozlu/sisli yapılar için kapalı sistem çalışma alanları kullanma,
- ✓ Yerel havalandırma sistemleri bulunması,
- ✓ Son ürün elle temas edilerek paketlenmesi,
- ✓ El ile üretilen ürünler için kullanılan üretim alanının (çeker ocak) uygun koşullarda olması (NIOSH'un belirlediği 25 inçlik bir derinlik limiti bulunmaktadır.)

Bu kriterler kapsamında belirlenen ön tehlike analizi sayesinde iş sağlığı ve güvenliği alanında yapılan çalışmalar açısından hem ön bilgilendirme hem de risk değerlendirmesi aşamasına geçiş esnasında kolaylık sağlamaktadır. Alınması gereken kontrol önlemleri ve sürecin en başından itibaren firma veya laboratuvarların uyması önerilen süreçler Şekil 2. 7 ve Şekil 2.8' de örneklendiği gibidir.



Şekil 2.7.Nanomalzeme Risk Yönetimi Programı

### **Kontrol Önlemleri Hiyerarşisi**



**Şekil 2.8.Nanomalzemeler İçin Kontrol Önlemleri**

#### **2.6.3.1. Bertaraf etme**

Bertaraf etme tehlike oluşma ihtimali durumunda en çok tercih edilen ve en kolay yöntem olarak ilk yapılması gereken önlemdir [6]. Riski, çalışma ortamına gelmeden önce yok etmek ya da mümkün olan en az seviyeye indirmek atılması gereken ilk adımdır. NM üretim süreci göz önünde bulundurulduğunda hazırlanmış ve/veya paketlenmiş ürünü kontrolden geçirmek amacıyla açmak, ortama parçacık yayılmasına sebep olacağından son kontrol basamağının proses akışından çıkarılması gerekmektedir.

#### **2.6.3.2. Daha iyisiyle değiştirme**

Bu aşamadaki amaç mevcut durumdan daha az tehlikeli olan bir durumla değiştirmektir [6]. Bir çözücü içerisinde reaksiyon sonucu elde edilen nanomalzemeler için kullanılan çözücünün daha az uçucu ve zehirli olmayan bir çözücü ile değiştirilmelidir.

#### **2.6.3.3. Mühendislik kontroller**

Mühendislik önlemlerin en temel amacı çalışanları ortamda bulunan tehlikelere karşı mühendislik tedbirlerle korumaktır. Kısa vadede idari kontrollerden ve kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanmaktan daha maliyetli olduğu düşünülen mühendislik önlemler uzun vadede daha koruyucu ve daha az maliyetli olmaktadır. Özellikle toksik olma potansiyellerinden ötürü bu koruyucu önlem KKD ve diğer tedbirlere kıyasla daha büyük

önem taşımaktadır [40]. En önemli ve etkili mühendislik önlem havalandırmadır. Küçük boyutta havada asılı bulunulabilen parçacıklar ile yapılan çalışmalarda mümkün olduğunca kapalı sistem kullanılmalıdır. Kapalı sistem kullanılmadığı durumlarda malzemeye göre havalandırma şiddetinin ayarlanabildiği çeker ocakların olması en uygun mühendislik önlemlerin başında gelmektedir [41].

#### **2.6.3.4. İdari Kontroller**

İdari kontroller ve kişisel koruyucu önlemler mevcut tehlike iyi bir şekilde kontrol edilemediğinde kullanılan yöntemlerdir. Özellikle mühendislik kontrollerin yetersiz kaldığı durumda tercih edilmektedir. İdari kontroller genel olarak eğitim, iş rotasyonu, çalışma takvimi değişikliği gibi maruziyeti azaltabilecek önlemleri kapsamaktadır [42]. Nanomalzeme ile çalışmalarda ise NIOSH aşağıda belirtilen önlemleri önermektedir:

- ✓ Çalışanların üretilen nanomalzeme hakkında bilgilendirilmesi,
- ✓ Maruziyetten korunmaya yönelik malzemeye özgü tehlikeler hakkında bilginin sağlanması,
- ✓ Çalışanları her çalışmadan sonra özellikle yeme içme alışkanlığından önce ve işi bıraktıktan sonra el yıkama alışkanlığı başta olmak üzere kişisel temizliğe ve arınmaya teşvik edilmesi,
- ✓ Çalışılan malzemenin çalışma alanı dışına yayılımının engellenmesi amacıyla kontrol önlemlerin alınması,
- ✓ Çalışana bulaşma ihtimali olan malzemeler için özel değiştirilebilir kıyafetler sağlanması,
- ✓ Nanoparçacıklara açık havada temas edilmemeli,
- ✓ Ortama yayılma ihtimali olan nanoparçacık içeren yapıların kapalı kaplarda saklanması,
- ✓ Çalışmanın sonunda veya vardiya devrinden hemen önce çalışma alanının yeterince temizlendiğinden emin olunması,
- ✓ Atıklar varsa yasal düzenlemeler doğrultusunda kontrol edilmesi.

### 2.6.3.5. Kişisel Koruyucu Donanım

Kişisel koruyucu donanıma dayalı önlemler yukarıda sayılan önlemlerin korucu ve yeterli olmadığı düşünülen durumlar için kullanılan önleyici yöntemlerin en son basamağıdır. KKD ye dayalı koruyucu önlemler nanomalzemeler için deri ve solunum yolu koruma olarak iki başlıkta incelenir.

Nanoparçacıklar oldukça küçük yapılarından dolayı deri gözeneklerinden kolayca vücuda nüfus edebilmektedirler [43]. Bu nedenle NM ile temas durumunda kullanılan eldivenlerin duruma uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda hava geçirmez polietilen eldivenlerin pamuklu ve poliester eldivenlere kıyasla NM'lere daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiş, lateks, neopren ve nitril eldivenlerinse kısa süreli maruziyetlerde etkili olabildiği gözlemlenmiştir [44].

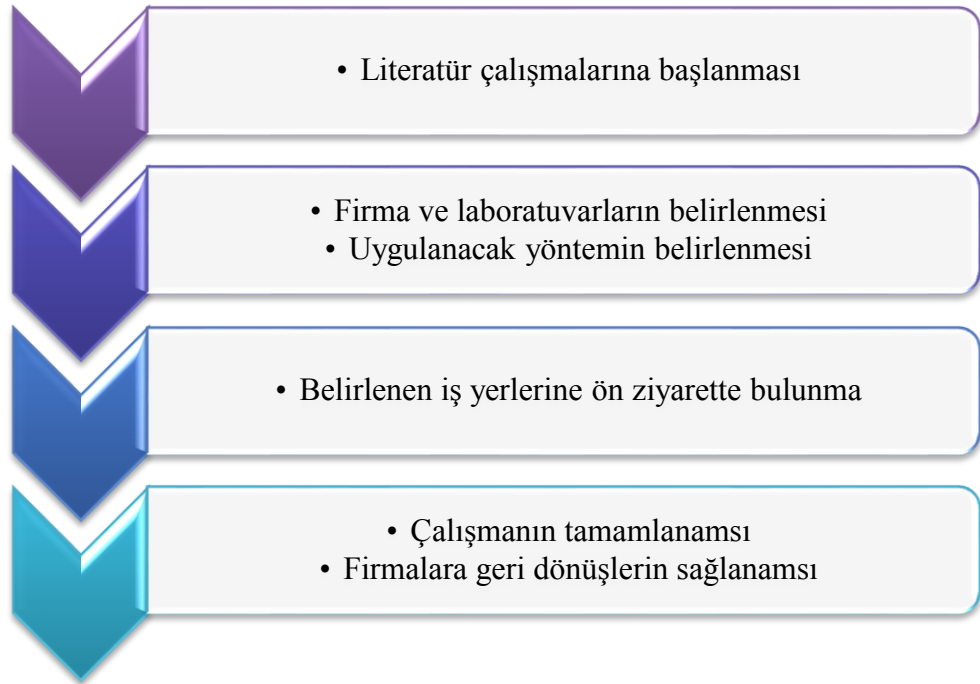
Laboratuvar ortamında kullanılan pamuklu laboratuvar önlüklerin nanoparçacık geçişini engelleyemediği gözlemlenmiştir [45]. Pamuklu ve kâğıt dokumaya kıyasla polietilen tekstil ürünlerinin nanoparçacıklara karşı daha güçlü bir bariyer olma özelliği gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle nanomalzeme ile çalışılan alanlarda koruyucu kıyafet olarak bu malzemelerin tercih edilmesi önerilmektedir [46].

Etkili bir mühendislik önlemi bulunmadığı, geliştirilme aşamasında olduğu, pratik olmadığı durumlarda veya acil durumda kullanılması öngörülen KKD'lerdir. Uygun solunum koruyucu donanımlar profesyonel görüşler, uygun tehlike analizi ve risk değerlendirmeleri sonucunda alın kararlar sonucunda önerilmelidir. NM üretiminin veya kullanımının olduğu alanlarda önerilen solunum koruyucular genelde HEPA (Yüksek performanslı hava filtresi) filtreli solunum koruyuculardır [47]. Kullanılan solunum koruyucuların yüze tam olarak oturması ve hava geçişinin olmaması da çok büyük önem göstermektedir. N95 yarım maskelerin filtreleme performansları istenilen düzeyde olmadığı ve 30-70 nm boyutlarındaki parçacıkların filtrelerden kolayca geçebildikleri gözlemlenmiştir [48]. Cerrahi maskelerin nanoboyutaki parçacıkların % 20,4 - % 84,5 oranının geçişine engel olmadığından bu alanda kullanımının yasaklanması gerektiği öngörülmüştür [49]. NIOSH, IRRST gibi iş sağlığı ve güvenliği alanında öncü yapılar NM maruziyetinin olabileceği çalışma alanlarında 0.3 µm çapında parçacıklara kadar %99,97 oranında etkili olan HEPA filtreler önerilmektedirler.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

#### 3.1. ARAŞTIRMANIN AŞAMALARI

Araştırma kapsamında atılan ilk adım tez danışmanı ile tez konusu ve çalışmanın kapsamının belirlenmesi olmuştur. Belirlenen konuya dair literatür çalışmalarına başlanmış olup çalışma takvimi oluşturulmuştur. Çalışma takvimine uygun şekilde, belirlenen firma ve laboratuvarlara ziyaretler gerçekleştirilip sektöre yönelik ön bilgi edinilmiştir. Gerekli ön bilgiler elde edildikten sonra belirlenen yöntem doğrultusunda analizler yapılmış ve değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları ile firma ve laboratuvarlara geri dönüşler yapılarak gerekli bilgilendirme yapılmıştır. Çalışmanın aşamaları Şekil 3.1’de sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmanın Aşamalarını Gösteren İş Akış Seması

#### 3.2. ARAŞTIRMANIN AMACI

Nanomalzemeler kullanım alanlarının her geçen yıl gelişmesiyle birçok sektörde üretimi artmış böylece birçok çalışanın maruz kalma potansiyeli de yükselmiştir. İnsan sağlığı

üzerindeki zararlı etkileri yeni yeni kanıtlanan bu malzemelerin kullanımı, taşınması ve en önemlisi üretimi esnasında alınması gereken önlemler büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında tehlike potansiyeli yüksek olan bu malzemelerden ülkemizde üretimi yaygın olduğu öngörülen karbon nanotüp, grafen, gümüş, bakır ve titanyum nanoyapılar için Kontrol Bandı (KB) risk değerlendirmesi yöntemi kullanılarak çalışma ortamlarında risk seviyeleri tespit edilmiştir. KB risk değerlendirmesi yönteminin seçilmesinin nedeni toksikoloji ve maruziyet bilgisi eksikliğinde çalışanların maruziyet durumu için etkili bir strateji sağladığı kanıtlanmış olması ve iş yerlerinde nanomalzeme maruziyetinin yönetimi bakımından potansiyel olarak kullanışlı bir yöntem olmasıdır [38].

### **3.3. KONTROL BANDI NANO RİSK DEĞERLENDİRME ARACI**

KB Nano Risk Değerlendirme Aracı da tipik bir risk değerlendirme matris metodudur. Tipik bir matris metodu yaklaşımında, bir riskin gerçekleşme ihtimali ile gerçekleşmesi sonucunda ortaya çıkaracağı şiddet derecesi gibi iki faktör değerlendirilerek bir risk ölçüm değeri elde edilir. KB Nano Risk Değerlendirme Aracı geliştirilirken göz önünde tutulması gereken önemli şey şiddet faktörü ile ilgili birçok faktör hakkında bilinmezlik ve belirsizliktir. Bilinmeyen bir tehlike varsa onun yüksek tehlikede olduğu düşünülmeli ve kötü durum senaryoları doğrultusunda gerekli önlemler alınmalıdır. Bu nedenle ‘bilinmeyen bilgi’ ile ilgili verilen faktöre % 75 değerinde ‘yüksek’ bir puan değeri verilmesi uygun görülmektedir. Bir diğer faktör olan olasılık faktöründe çalışanın nanomalzemeye maruz kalma potansiyeli değerlendirilmektedir. Bu iki parametre göz önüne alınıp bir matris sonucu elde edildiğinde 4 farklı bant ortaya çıkmaktadır.

Belli bir işe özgü kontrol bandı aynı iş için belirlenen total risk seviyesine (RS) bağlıdır. RS şiddet faktörü ve olasılık faktörünün puanlanıp bahsedilen matris oluşturulduktan sonra ortaya çıkan sonuçlardır (Şekil 3.1). Buradan yola çıkarak hiç bir şeyin bilinmediği bir nanomalzeme operasyonunda RS 3 (kullanımının kısıtlanması - önleme) gereklidir. Bu senaryoda herhangi bir puanlama faktörü yüksek olursa araç işlem için RS 4 olarak belirlenmeye ihtiyaç duyarak maksimum kontrol sağlanır (prosesin durdurulması).

Kontrol bandı risk değerlendirmesi parametreleri şiddet ve olasılık olmak üzere ikiye ayrılıp her parametre için değerlendirilen alt başlıklar aşağıda detaylıca açıklanmıştır.

### **3.3.1. Şiddet Faktörleri**

Mevcut literatür bilgisi kapsamında, nanomalzemelerin bilinen toksik özelliklerine bakılarak aşağıda ayrıntıları ile açıklanan şiddet parametreleri ile nanomalzemeler için toplam şiddet faktörü hesaplanabilir. KB Nano Risk Değerlendirme Aracının amacı NM toksisitesi ile ilgili güncel bilgiler kapsamında tüm önemli faktörleri hesaba katmaktır. Bu faktörler parçacıkların solunum yollarına, solunum yolunda bulunan bölgelere ulaşmasını, deri yolu ile emilimi ve biyolojik sistemlerde bir takım problemlerin ortaya çıkmasını sağlayacak özelliklerini etkiler. Şiddet faktörünün puanlaması nanomalzeme için %70 ana malzeme için %30 dur.

Nanomalzemeler için bireysel şiddet faktörleri aşağıda belirtildiği gibidir.

#### **3.3.1.1. Nanomalzemelerin yüzey kimyası**

Solunan parçacıklar için yüzey kimyası toksisiteyi etkileyen anahtar faktörlerden birisidir. Verilen puanlamalarda nanoparçacıkların yüzey aktivitesinin yüksek, orta ya da düşük olması durumuna göre değerlendirilmektedir. Yüzey kimyasının yüksek olması durumunda en yüksek düzeyde olan on puan, orta olması durumundabeş puan, düşük olması durumunda sıfır puan ve bilinmediği durumda ise yedi buçuk puan verilmektedir.

#### **3.3.1.2. Nanomalzemelerin parçacık şekli**

Yapılan çalışmalar sonucunda fiberli yapıların kanser ve fibröze sebep olduğu kanıtlanmış ve bu yöntemde de en yüksek şiddet seviyesi lifsi ve boru biçimli şekillere verilmiştir. Düzensiz şekli (anizotropik) olan parçacıklar küresel şekillere göre daha geniş yüzey alanına sahiptir. Bu nedenle bu parametre için puanlama lifsi, boru biçimli parçacıklar için on puan, düzensiz şekiller için beş puan, küresel yapılar için sıfır puan ve parçacık şekli bilinmeyen yapılar için ise yedi buçuk puan şeklindedir.

#### **3.3.1.3. Nanomalzemelerin parçacık çapı**

Parçacıkların şiddet faktörleri, solunum sisteminin neresine olduğuna bakılmaksızın solunum sistemine depolanmasına bağlı olarak etki etmektedir. Parçacık boyutu 1-10 nm aralığında olan malzemelerin akciğerde daha fazla depolanma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Faktörlerin etkilerinin geliştirilmesi için parçacık boyutu üzerindeki toksikolojik öneme dair ek bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. 1-10 nm parçacık çapına sahip malzemelerin akciğerde daha fazla depolanma eğilimi gösterdiğine dair bilgiler bulunduğundan bu aralıkta bulunan yapılara on puan, 11-40 nm aralığında olanlara beş puan, 41 nm den daha büyük çaptaki yapılara sıfır puan ve parçacık çapının bilinmediği durumlarda ise yedi buçuk değerinde puan verilmektedir.

#### **3.3.1.4. Nanomalzemelerin çözünürlüğü**

Düşük çözünme sahip solunabilir parçacıkların oksidatif strese sebep olup iltihap, fibröz ve kansere sebep olmaktadır. Çözünen nanoparçacıklar aynı zamanda kanda da çözünerek ciddi etkilere sebep olabilir. Bu nedenle çözünemeyen parçacıkların daha tehlikeli olduğu göz önünde bulundurulduğundan hesaplamada on puanla değerlendirilirken çözünen nanomalzemeler için ise beş puan verilmektedir. Yöntemin özelliği gereği bilinmeyen durum %75 değerinde puanlandırıldığından malzemenin çözünürlüğü hakkında herhangi bir bilgi bulunmaması durumunda ise yedi buçuk değerinde puanlandırılmaktadır.

#### **3.3.1.5. Nanomalzemelerin kanserojenliği**

Nanomalzemenin insan ve hayvan üzerindeki kanserojen etkisi ayırt edilmeksizin kanserojen olup olmadığına bağlı olarak puanlamalar belirlenir. Bu konuyla ilgili çok az bilgi bulunmaktadır. Kanserijen olduğu kanıtlanmış olan malzemelere altı puan verilirken, kanser etkisi bulunmayanlar sıfır puan, kanserojen etkisi bilinmeyenler ise dört buçuk ile puanlandırılmaktadır.

#### **3.3.1.6. Nanomalzemelerin üreme sistemi üzerindeki etkisi**

Nanomalzemenin üreme sistemine zararlı olup olmadığına bağlı olarak puanlamalar belirlenir. Bu konuyla ilgili kanserojen parametresinde olduğu gibi çok az bilgi mevcuttur. Nanomalzemelerin üreme sistemi üzerindeki zararlı etkileri kanıtlanmış olan malzemelere altı

puan verilirken, etkisi bulunmayanlar sıfır puan, etkisi bilinmeyenler ise dört buçuk ile puanlandırılmaktadır.

#### **3.3.1.7. Nanomalzemelerin mutajenliği**

Nanomalzemenin mutajen olup olmadığına bağlı olarak puanlamalar belirlenir. Malzemelerin teknolojik olarak gelişimleri henüz çok yeni olduğu için mutajenliği ile ilgili çok az bilgi mevcuttur. Bu nedenle puanlama kanserojen ve üreme sistemi üzerindeki etkisi ile benzer şekilde yapılmaktadır. Mutajen olduğu kanıtlanan malzemeye altı puan, mutajen olmadığı kanıtlanan malzemeye sıfır puan ve bu konu hakkında herhangi bir veri bulunmamış durumunda ise dört buçuk puan ile değerlendirilmektedir.

#### **3.3.1.8. Nanomalzemelerin dermal olarak etkisi**

Nanomalzemenin dermal olarak tehlikeli olup olmadığına bağlı olarak puanlamalar belirlenir. Aynı şekilde malzemelerin yeni geliştirilip üretilmesinden dolayı dermal olarak tehlikeli olup olmadığı ile ilgili de çok az bilgi mevcuttur. Benzer şekilde dermal olarak toksik etkisi kanıtlanmış olan malzemelere altı puan, toksik olmadığı kanıtlanmış olanlara sıfır puan ve herhangi bir bilginin bulunmadığı durumda dört buçuk puan ile değerlendirilmektedir.

#### **3.3.1.9. Nanomalzemelerin astım yapabilme özelliği**

Nanomalzemenin astım yapma etkisi olup olmadığına dair yapıla puanlama benzer şekilde yapılmaktadır. Astım yaptığı kanıtlanan malzemeye altı puan, astım yapmadığı kanıtlanan malzemeye sıfır puan ve bu konuda herhangi bir bilgi bulunmadığı durumda ise dört buçuk puan verilmektedir.

Ana malzemeler için bireysel şiddet faktörleri aşağıda belirtildiği gibidir:

#### **3.3.1.10. Ana malzemenin toksisitesi**

Her ne kadar araştırmalar nanomalzemenin ana malzemedan daha toksik olabileceğini belirtse de ana malzemenin toksisitesinin bilinmesi bu risk değerlendirmesi açısından daha net olacaktır. NM üretiminde kullanılan ana malzemelerin birçoğunun maruziyet sınır değeri bilinmektedir. Puanlandırma yığın malzemenin OEL'ine (maruziyet sınır değeri) bağlı olarak

belirlenir. Bu madde için puanlamada beş şekilde yapılmaktadır. Ana malzemenin maruziyet sınır değeri  $10 \mu\text{gm}^{-3}$  'dan küçükse on puan,  $10-100 \mu\text{gm}^{-3}$  aralığındaysa beş puan,  $101 \mu\text{gm}^{-3} - 1\text{mg/m}^3$  aralığında iki buçuk puan almaktadır. Maruziyet sınır değeri  $1 \text{mg/m}^3$  'den büyük ise sıfır puan ve bilinmediği durumda yedi buçuk puan almaktadır.

#### **3.3.1.11. Ana malzemeni kanserojenliği**

Nanomalzemeye kıyasla ana malzemeler genelde yaygın kullanılmakta olan malzemelerdir. Daha fazla bilimsel çalışma yapıldığından ana malzemeye dair daha fazla bilgi mevcuttur. Ana malzemenin kanserojen olup olmadığına göre yapılan puanlamada kanserojen etki gösterdiği kanıtlanmış malzemelere dört puan, kanser yapmadığı kanıtlanmış olan malzemelere sıfır puan ve kanserojen etkisi hakkında bilgi sahibi olunmayan malzemelere ise üç puan verilmektedir.

#### **3.3.1.12. Ana malzemenin üreme sistemi üzerindeki etkisi**

Ana malzemenin üreme sistemi üzerindeki toksik etkisi olup olmadığına göre yapılan puanlamada toksik etki gösterdiği kanıtlanmış malzemelere dört puan, toksik etkisi olmadığı kanıtlanmış malzemelere sıfır puan ve toksik etkisi hakkında bilgi sahibi olunmayan malzemelere ise üç puan verilmektedir.

#### **3.3.1.13. Ana malzemenin muatajenliği**

Nanomalzeme üretimi için kullanılan ana malzemenin mutajen özelliği de çalışan maruziyeti açısından tıpkı nano boyutta elde edilen yapıların mutajenliği gibi önem taşıyan bir diğer etkidir. Bu alanda yapılan puanlamada mutajen özellik gösterdiği kanıtlanmış malzemelere dört puan, mutajen etkisi olmadığı kanıtlanmış malzemelere sıfır puan ve bu konuda hakkında bilgi sahibi olunmayan malzemelere ise üç puan verilmektedir.

#### **3.3.1.14. Ana malzemenin dermal olarak etkisi**

Benzer şekilde puanlandırılan bu parametre için ana malzemenin dermal olarak toksik olduğu kanıtlanmış olası durumunda dört puan, dermal olarak toksik olmadığı kanıtlanmış olması durumunda sıfır puan ve bu alanda yeterli bilginin bulunmadığı durumda ise üç puan ile değerlendirilmektedir.

### **3.3.1.15. Ana malzemenin astım yapabilme özelliği**

Ana malzemenin astım yapabilme özelliği göz önünde bulundurularak yapılan bu değerlendirmede ana malzemenin astım yapma özelliğine sahipse dört puan, astım yapma özelliğine sahip değilse sıfır puan ve astım yapıp yapmadığına dair bir bilgi mevcut değilse üç puan verilmektedir.

Toplam şiddet faktörü bütün şiddet faktörlerinin toplamına bağlı olarak belirlenir ve en yüksek puan 100 dür. NM'ler daha küçük yapıda olduklarından dolayı genel olarak ana malzemeden farklı davrandığı için hesaplamadaki payları daha yüksektir (100 üzerinden 70). Toplam şiddet faktörü düşünülünce şiddet puanlamasına göre aşağıdaki gibi gruplandırılır:

- ✓ 0-25 arası düşük şiddette,
- ✓ 26-50 arası orta şiddette,
- ✓ 51-75 arası yüksek şiddette,
- ✓ 76-100 arası çok yüksek şiddette.

### **3.3.2. Olasılık Faktörleri**

Olasılık skoru potansiyel olarak nano boyuttaki malzemeye çalışanın hangi ölçekte maruz kalabileceğini belirleyen faktörlere dayanır.

#### **3.3.2.1. İşlem boyunca kullanılan nanomalzemenin tahmini miktarı**

Yüzeyde gömülü ya da sıvı içinde süspansiyon halinde olan nanomalzemeler bulunmaktadır. Kullanılan NM miktarı yüzeye ya da sıvıya bağlı olmaksızın kullanılan malzemenin direkt miktarına bağlıdır. İşlem boyunca kullanılan Nm'nin bilinmesi işin olasılık açısından değerlendirilmesi için oldukça önemlidir. Bu nedenle 100 mg'dan daha fazla kullanıldığı durumlar için yirmi beş puan ile değerlendirilen miktar 11-100 mg için on iki buçuk, 0-10 mg için 6,25 ve bilinmediği durum için 18,75 puan ile değerlendirilir.

#### **3.3.2.2. Tozlu/sisli**

Çalışanlar nanomalzemelere kuru ya da ıslak ortamda maruz kalabilirler. Ortamda malzemenin tozlu veya sisli halde bulunması durumunda solunum yolu ile akciğerlerde

depolanma potansiyeli artmaktadır. Bu nedenle ortamın tozlu veya sisli durumunun yüksek seviyede olmasına otuz puan, orta seviyede olmasına on beş puan, düşük seviyede olmasına yedi buçuk puan verilmektedir. Ortamın sisli veya tozlu olmasının bilinmediği durumda ise yirmi iki buçuk değerinde puan verilmektedir.

#### **3.3.1.3. Benzer maruziyet içerisinde bulunan çalışan sayısı**

NM maruziyetinin olduğu düşünülen alanda çalışan sayısına bağlı olarak verilen puanlamadır. Henüz yeni yeni seri üretimine geçilen bu yeni teknoloji ışığında üretilen malzemeler için bir iş yerinde on beş ve üzerinde çalışan bulunması en yüksek derecede puanlandırılmaktadır. Buna göre nanomalzeme üretilen bir çalışma alanında on beş ve daha fazla çalışanın bulunması durumu on beş puan ile değerlendirilirken 11-15 arası çalışanın bulunduğu ortama on, 6-10 arası çalışanın bulunduğu ortama beş puan verilmektedir. 1-5 arası çalışan için sıfır puan verilirken çalışan sayısının bilinmediği durumda 11,25 değerinde puan verilmektedir.

#### **3.3.1.4. İşin sıklığı( frekans)**

Sık yapılan işlemler maruziyet etkisini artırır, bu nedenle işin sıklığı maruziyeti etkileyen önemli bir diğer parametredir. Bir çalışma alanında her gün NM üretimi gerçekleşiyorsa on beş, haftalıkça on, aylıkça beş puanla puanlandırılırken bir aydan daha uzun süren aralıklarda gerçekleştiğinde sıfır puan alıp çalışma sıklığının bilinmediği durumlar için ise 11,25 puan verilmektedir.

#### **3.3.1.5. İşin süresi**

Uzun yapılan işlemler daha fazla maruziyete yol açmaktadır. Bu nedenle çalışma alanında bir günde dört saatten fazla süren çalışmalara on beş, 1-4 saat arası on, 30-60 dakika arası beş puan alırken 30 dakikadan az süren çalışmalar için sıfır puan ve süresi bilinmeyen çalışmalar içinse diğer olasılık parametreleri ile benzer şekilde 11,25 puan üzerinden değerlendirilmektedir.

Toplam olasılık skoru belirtilen tüm noktaların toplamına eşit olup en yüksek puan 100 dür. Toplam olasılık faktörü düşünülünce olasılık puanlamasına göre aşağıdaki gibi gruplandırılır:

- ✓ 0-25 arası mümkün olmayan,
- ✓ 26-50 arası düşük ihtimalde,
- ✓ 51-75 arası olası muhtemel,
- ✓ 76-100 arası yüksek ihtimal.

Bir işteki şiddet ve olasılık skoruna dayanarak risklerin genel düzeyi ve karşılığındaki kontrol bandı aşağıda gösterilen matrisle belirlenir (Tablo 3.1)

**Tablo 3.1. Şiddet Ve Olasılık Seviyelerine Bağlı Risk Seviyesi (RS)**

|        |                         | Olasılık                  |                          |                           |                            |
|--------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Şiddet |                         | Mümkün olmayan<br>( 0-25) | Düşük ihtimal<br>(26-50) | Olası muhtemel<br>(51-75) | Yüksek ihtimal<br>(76-100) |
|        | Çok yüksek<br>( 76-100) | RS 3                      | RS 3                     | RS 4                      | RS 4                       |
|        | Yüksek<br>(51-75)       | RS 2                      | RS 2                     | RS 3                      | RS 4                       |
|        | Orta<br>(26-50)         | RS 1                      | RS 1                     | RS 2                      | RS 2                       |
|        | Düşük<br>(0-25)         | RS 1                      | RS 1                     | RS 1                      | RS 2                       |

RS 1: Genel havalandırma

RS 2: Çeker ocak veya yerel havalandırma

RS 3: Detaylı kontrol önlemlerinin alınması, kullanımının kısıtlanması,

RS 4: Detaylı kontrol önlemlerinin alınması, prosesin durdurulması.

Yukarıda ayrıntıları ile açıklanan her bir kontrol grubu parametrelerinin ve puanlandırılmalarının özet hali Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’de gösterildiği gibidir.

**Tablo 3.2. Olasılık Faktörleri ve Puanlandırılması**

| <b>Olasılık Faktörleri</b>                                     |           |           |            |
|----------------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|
| <b>İşlem boyunca kullanılan nanomalzemenin tahmini miktarı</b> |           |           |            |
| >100 mg                                                        | 11-100 mg | 0-10 mg   | Bilinmiyor |
| 25                                                             | 12,5      | 6,25      | 18,75      |
| <b>Tozlu/sisli</b>                                             |           |           |            |
| Yüksek                                                         | Orta      | Düşük     | Bilinmiyor |
| 30                                                             | 15        | 7,5       | 22,5       |
| <b>Benzer maruziyet içerisinde bulunan çalışan sayısı</b>      |           |           |            |
| >15                                                            | 11-15     | 6-10      | Bilinmiyor |
| 15                                                             | 10        | 5         | 11,25      |
| <b>İşin sıklığı( frekans):</b>                                 |           |           |            |
| Günlük                                                         | Haftalık  | Aylık     | <Bir aydan |
| 15                                                             | 10        | 5         | 11,25      |
| <b>İşin süresi</b>                                             |           |           |            |
| > 4 s                                                          | 1-4 s     | 30-60 dak | < 30 dak   |
| 15                                                             | 10        | 5         | 11,25      |

Bu çalışma kapsamında KB metodu, literatür kaynaklarından yararlanılarak şiddet parametrelerini biraz daha geliştirilmeye çalışılmış ve bu parametrelere ek olarak 5 parametre daha eklenmiştir. Eklenen bu parametreler ve puanlamalar Tablo 3.3’de sarı renk ile belirtilen bölümde görülmekte olup aşağıda detaylıca açıklanan, üretim prosesi, mühendislik önlemler, KKD kullanımı, havalandırma ve temizlik maddelerinden oluşmaktadır.

NM’ler için önemli olan üretim prosesi bu çalışma kapsamında ıslak ve kuru olmasına göre gruplandırılmıştır bunun sebebi nanoparçacıklar havada asılı olarak bulunup kolayca solunabilmektedirler [31]. Bu nedenle prosesin kuru olması durumunda havada daha çok paracık bulunduğu durumu göz önüne alınarak yüksek puanlandırılmıştır. Prosesin ıslak olması yani herhangi bir çözücünün içinde solüsyon halinde bulunması durumu ise havada asılı bulunan parçacık açısından daha kontrollü olduğu öngörüldüğünden Tablo 3.3’de görüldüğü gibi daha düşük puanlandırılmıştır.

Önemli bir kontrol basamağı olan mühendislik kontroller KKD kullanımından önce yapılması gereken adımlardan biri olduğu için bu kategori de değerlendirilmiş olup önlem alınmayan durum için en yüksek puanlandırma yapılmıştır.

NM üretimi yapılan çalışma ortamlarında KKD kullanımı açısından HEPA filtreli tam yüz maskeleri önerilmekte olup polietilen veya lateks eldivenlerin kullanımı uygun bulunmuştur [47]. Bu nedenle henüz toksik etkileri netlik kazanmamış ve potansiyel tehlikeli olarak yorumlanan bu malzemelerin kullanımı, üretimi ve yan ürün olarak oluşma ihtimallerine karşın önerilen bu KKD lerin kullanımı önem taşımaktadır. Şiddet parametrelerine eklenen KKD kullanımı kategorisi kullanılmayan durum için en yüksek puanı alırken yeterli olmayan korunumun tam olarak sağlanamadığı düşünülen durumlar içinse Tablo 3.3’de görüldüğü gibi orta derecede puanlandırılmıştır.

Nanoparçacıklar havada asılı olarak bulunup kolayca solunabilmektedirler [31]. Bu nedenle genel olarak NM maruziyetinin olabileceği ortamların havalandırılması büyük önem arz etmektedir. Bu anlamda en güvenli yöntem vakum odası olmakla birlikte en olumsuz durumda bile düzenli olarak çekiş gücü kontrol edilen çeker ocaklar ve yerel havalandırmalar bulunması gerekmektedir. Bu nedenle bu risk değerlendirmesi şiddet parametrelerinde bulunması gerektiği düşünülen bu kategori herhangi bir havalandırmanın olmadığı durumda en yüksek puanla puanlandırılması uygun görülmüştür. Puanlandırma yerel havalandırma, çeker ocak ve vakum odası olarak da ayrıca Tablo 3.3’de gösterildiği gibi puanlandırmaya tabi tutulması öngörülmüştür.

Herhangi bir kimyasalla çalışıldığında ve çalışma sonlandığında ortamın temizliği kontaminasyon açısından önemlidir. Nanomalzemeler ile çalışırken ve çalıştıktan sonra da ortamın temizliği büyük öneme sahiptir [40]. Genel olarak havalandırma ile ortamdaki atılan nanoparçacıklar için uygun temizlik koşullarının sağlanması havalandırmanın olmadığı ve çalışma ortamına yayılmış olan parçacıkların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu nedenle şiddet puanlamasında olması gerektiği düşünülen bu başlık için Tablo 3.3.’de görüldüğü gibi uygun olmama durumu en yüksek puanı alırken yeterli olmama durumu sonraki yüksek puanlandırmayı almaktadır. Atık yönetimi de ayrıca önemli bir yere sahip olup temizlik başlığı altında değerlendirilmiştir.

**Tablo 3.3. Şiddet Faktörleri ve Puanlandırılması**

| Şiddet Faktörleri                                       |          |                  |            |                                                        |                          |                     |                      |            |  |
|---------------------------------------------------------|----------|------------------|------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|------------|--|
| Nanomalzemlerin yüzey kimyası(reaktifliği)              |          |                  |            | Ana malzemenin toksisitesi                             |                          |                     |                      |            |  |
| Yüksek                                                  | Orta     | Düşük            | Bilinmiyor | <10 µgm <sup>-3</sup>                                  | 10-100 µgm <sup>-3</sup> | 101 µgm-3 – 1 mgm-3 | >1 mgm <sup>-3</sup> | Bilinmiyor |  |
| 10                                                      | 5        | 0                | 7,5        | 10                                                     | 5                        | 2,5                 | 0                    | 7,5        |  |
| Nanomalzemlerin parçacık şekli                          |          |                  |            | Ana malzemenin kanserojenliği                          |                          |                     |                      |            |  |
| Lifsi,borumsu                                           | Düzensiz | Kompakt, küresel | Bilinmiyor | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor          |                      |            |  |
| 10                                                      | 5        | 0                | 7,5        | 4                                                      | 0                        | 3                   |                      |            |  |
| Nanomalzemlerin parçacık çapı                           |          |                  |            | Ana malzemenin üreme sistemi üzerindeki zehirli etkisi |                          |                     |                      |            |  |
| 1-10 nm                                                 | 11-40 nm | 41-100 nm        | Bilinmiyor | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor          |                      |            |  |
| 10                                                      | 5        | 0                | 7,5        | 4                                                      | 0                        | 3                   |                      |            |  |
| Nanomalzemlerin çözünürlüğü                             |          |                  |            | Ana malzemenin mutajenliği                             |                          |                     |                      |            |  |
| Çözünemeyen                                             | Çözünür  | Bilinmiyor       |            | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor          |                      |            |  |
| 10                                                      | 5        | 7,5              |            | 4                                                      | 0                        | 3                   |                      |            |  |
| Nanomalzemlerin kanserojenliği                          |          |                  |            | Ana malzemenin dermal olarak toksisitesi               |                          |                     |                      |            |  |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor          |                      |            |  |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 0                        | 3                   |                      |            |  |
| Nanomalzemlerin üreme sistemi üzerindeki zehirli etkisi |          |                  |            | Ana malzemenin astım yapabilirliği                     |                          |                     |                      |            |  |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor          |                      |            |  |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 0                        | 3                   |                      |            |  |
| Nanomalzemlerin muatjenliği                             |          |                  |            | KKD kullanımı                                          |                          |                     |                      |            |  |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Kullanılmıyor                                          | Yeterli Değil            | Uygun               |                      |            |  |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 2                        | 0                   |                      |            |  |
| Nanomalzemlerin dermal olarak toksisitesi               |          |                  |            | Üretim Prosesi                                         |                          |                     |                      |            |  |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Kuru                                                   | Islak                    | Bilinmiyor          |                      |            |  |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 2                        | 3                   |                      |            |  |
| Nanomalzemlerin astım yapabilirliği                     |          |                  |            | Havalandırma                                           |                          |                     |                      |            |  |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Yok                                                    | Yerel                    | Çeker ocak          | Temiz oda            |            |  |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 3                        | 2                   | 0                    |            |  |
|                                                         |          |                  |            | Temizlik                                               |                          |                     |                      |            |  |
|                                                         |          |                  |            | Uygun değil                                            | Yeterli değil            |                     | Atık Y. Yok          | Uygun      |  |
|                                                         |          |                  |            | 4                                                      | 3                        |                     | 2                    | 0          |  |
|                                                         |          |                  |            | Mühendislik Önlemler                                   |                          |                     |                      |            |  |
|                                                         |          |                  |            | Yok                                                    | Yeterli değil            |                     | Uygun                |            |  |
|                                                         |          |                  |            | 4                                                      | 2                        |                     | 0                    |            |  |

Eklenen yeni parametreler ile birlikte şiddet skoru toplamda 120 puan üzerinden değerlendirilmiş olup Ek I.'de verilmiştir. Olasılık parametreleri ile ilgili bir değişiklik yapılmamıştır.

### 3.4. İŞLETME BİLGİLERİ

Sektörde yaygın olarak kullanılan 11 tane malzeme OECD tarafından ‘Üretilen Nanomalzemeler İçin Test Programı’ kapsamında yayınlanmış olup, Türkiye’de üretiminin yaygınlığı da dikkate alınarak bu çalışma kapsamında aşağıda sıralanan malzemeler seçilmiştir:

- ✓ Karbon nanotüp (ÇDKNT)
- ✓ Grafen
- ✓ Gümüş nanoparçacık
- ✓ Bakır nanoparçacık
- ✓ Titanyum dioksit nanoyapılar

Çalışma kapsamında ziyaret edilen laboratuvar ve firmalar ve çalıştıkları NM ile ilgili bilgiler Tablo 3.4’de özetlendiği gibi olmakla birlikte devamında her bir işletme ile ilgili detaylı açıklamalar bulunmaktadır.

**Tablo 3.4. Çalışma Kapsamında Ziyaret Edilen İşletmeler ve Ürettikleri Malzemeler**

| Firma veya Laboratuvar | Üretilen Nanomalzeme Çeşidi           |
|------------------------|---------------------------------------|
| Laboratuvar 1          | Karbon nanotüp                        |
| Laboratuvar 2          | Grafen üretimi                        |
| Laboratuvar 2          | Gümüş nanoparçacık ve nonotel üretimi |
| Laboratuvar 3          | Gümüş nano tel üretimi                |
| Laboratuvar 3          | Bakır nanoparçacık üretimi            |
| Laboratuvar 4          | Titanyum dioksit nanoyapılar üretimi  |
| Firma 1                | Grafen üretimi                        |
| Firma 2                | Gümüş nanoparçacık üretimi            |

### 3.4.1. Laboratuvar 1

Bir üniversite laboratuvarında gerçekleştirilen karbon nanotüp üretim prosesi gözlemlenmiştir. Karbonun birçok formu nano boyutta üretilmektedir, bunların başlıcaları karbon nanotüpler, karbon nano fiberler, grafen, fulleren gibi yapılardır [50].

Karbon nanotüpler kusursuz kimyasal ve termal kararlılıklarından dolayı sektörde en çok tercih edilen malzemelerin başında gelmekte ve çapları birkaç nanometreden başlayıp uzunlukları istenilen boyutlara kadar elde edilmektedir. Tekli duvarlı karbon nanotüp (TDKNT) ve çoklu duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) olarak iki ana çeşide ayrılan karbon nanotüpler biyosensörler, enerji depolama, ilaç taşıyım ve otomotiv sektörlerinde kullanılmaktadır [51].

Bu çalışmada çoklu duvarlı karbon nanotüplerin üretim aşaması incelenmiştir. Silikon plaka (Şekil 3.2) adı verilen yarı-iletken katman ya da altlık olarak da adlandırılan tek katman malzeme üzerine iletken NM'lerin (bakır, gümüş) vakum ortamında kaplanmasından sonra karbon nanotüp üretimi için uygun büyütme yüzeyi elde edilmiştir.



**Şekil 3.2. Silikon plaka**

Metal kaplanmış olan silikon plaka üretimin gerçekleştirileceği cihazın içine yerleştirilip ortama karbon nanotüpün üretiminde kullanılan ana malzeme gönderilmektedir. Birçok farklı karbon kökenli malzemeyle sentezlenebilen karbon nanotüp bu proses için etilen ana malzemesi kullanılarak üretilmiştir.

Ortalama yarım saat süren bu işlemin ardından sistemden çıkarılan karbon nanotüpler kutulara koyularak muhafaza ediliyor ve sistem her 20 günde bir fırça yardımı ile temizleniyor. Günde ortalama 8 üretim gerçekleştirilip üretim için 2 kişi çalışıyor. Oluşan karbon nanotüp atıkları anlaşmalı olunan firma tarafından belirli tarihlerde alınmaktadır.

### 3.4.2. Laboratuvar 2

Bir araştırma merkezi laboratuvarında grafen üretim prosesi gözlemlenmiştir. Grafen 2004 yılında keşfedilen fiziksel olarak oldukça güçlü bir yapıya sahiptir. Isıyı elmasan ve elektriği gümüşten daha iyi ilettiği bilinen bu malzeme sahip olduğu iki boyutlu yapısından dolayı oldukça ilgi çekici olup transistorlar, pil teknolojisi, sensörler, filtrasyon, hidrojen depolama gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanım potansiyeline sahiptir.

Grafen üretimi için bu merkezde grafit ana malzemesi kullanılmış ve sulu sistem kullanılarak (solüsyon temelli) elde edilen 1-2 nm boyutlarındaki grafen nanoyapılar daha sonraki uygulamalarda kullanılmak üzere küçük cam şişelerde saklanmaktadır (Resim 3.1).



a



b



c

**Resim 3.1. (a) Grafen Üretiminin Yapıldığı Çeker Ocak, (b)**

**Grafen Üretim Aşaması ve (c) Elde Edilen Grafenlerin Saklanması.**

Aynı araştırma merkezi bünyesinde bulunan bir diğer laboratuvar da gümüş nanoparçacık ve gümüş nanotel üretimi prosesleri gözlemlenmiştir.

Gümüş nanoparçacıklar kendilerine özgü sahip oldukları optik, elektrik ve termal özelliklerinden dolayı güneş pili teknolojisi, biyolojik ve kimyasal sensör alanlarında yaygın kullanılmaktadır [52]. Gümüş nanoparçacıkların en dikkat çekici ve yaygın kullanılan uygulama alanı ise anti bakteriyel özelliklerinden dolayı sağlık, gıda ve tekstil sektöründe kullanılmasıdır [53].

Farklı ana malzemelerden üretimi gerçekleştirilen nanoparçacık ve nanotellerin üretim prosesleri birbirine benzemektedir. Üretilen gümüş nanotellerin çapları ortalama 20-30 nm civarındayken gümüş nanoparçacıkların çapları 2-3 nm arasında değişmektedir.

Solüsyon temelli üretimi gerçekleştirilen nanoyapıları üretim prosesinin birçoğu çeker ocak içerisinde gerçekleştirilmektedir (Resim 3.2).



a



b



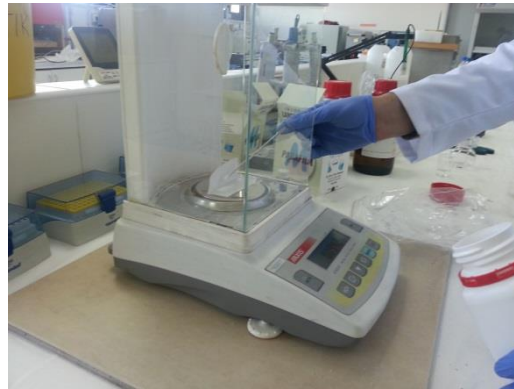
c

**Resim 3.2. (a, b) Gümüş Nanoyapıların Üretiminde Kullanılan Malzemelerin İstenilen Oranda Alınması (c) Prosesin Gerçekleştiği Çeker Ocağın Kullanılması**

### 3.4.3. Laboratuvar 3

Bir üniversite laboratuvarında gümüş ve bakır nanotelellerin üretim aşamaları gözlemlenmiştir.

Gümüş nanotel üretimi için gerekli olan kimyasallar (Resim 3.3) laboratuvar ortamından bulunan masalarda hazırlanıp solüsyon temelli üretim aşamalarına geçilmektedir.



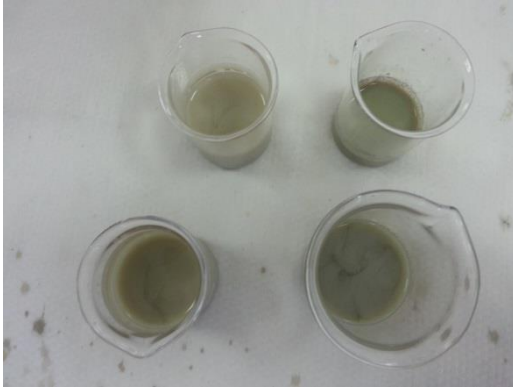
**Resim 3.3. Gümüş Nanotel Üretimi İçin Kullanılan Kimyasalların Hazırlanması**

Hazırlanan solüsyon yüksek sıcaklıktaki ( $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) yağ banyosunun (Resim 3.4) içerisine yerleştirilip belirli süre içerisinde orada bekletiliyor.



**Resim 3.4. Hazırlanan Solüsyonun Yağ Banyosuna Yerleştirilmesi**

Daha sonra içerisinde hem gümüş nanotellerin hem de gümüş nanoparçacıkların oluşturulduğu solüsyon alınıp döndürme (spin) kaplama veya sprey kaplama yöntemleri ile cam yüzeyine kaplanıp fiziksel yöntemlerde camın yüzeyinden ayrıştırılarak son ürün elde edilmektedir (Resim 3.5).



**a**



**b**



**c**



**d**

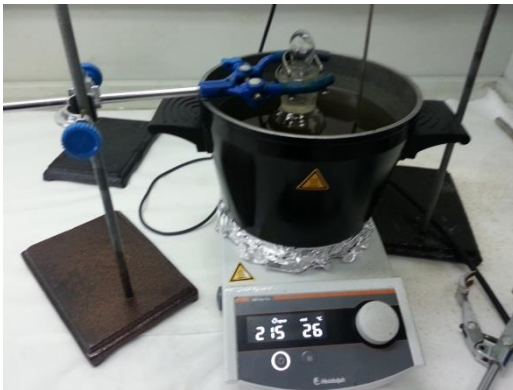
**Resim 3.5. (a) Nanoyapıları İçeren Solüsyonlar, (b) Gümüş Nanotel, (c) Gümüş Nanoparçacık, (d) Cam Yüzeyine Kaplanmış Kurutulmuş Nanoyapılar.**

Bakır nanotel üretimi için gerekli olan başlangıç ana malzemeler Resim 3.6’da gösterilen vakum odasında istenilen oranda tartılıp daha sonra laboratuvar ortamında solüsyon haline getirilmektedir.



**Resim 3.6. Vakum Odası**

Elde edilen solüsyon yüksek sıcaklıktaki yağ banyosunun (Resim 3.7.) içerisine yerleştirilip belirli süre içerisinde orada bekletiliyor. İçerisinde bakır nanotellere ve nanoparçacıkların bulunduğu solüsyon bir sonraki aşamaya geçene kadar tekrar vakum odasında bekletilmektedir. Bakır nanotellerin ve nanoparçacıkların döndürme (spin) kaplama veya spreycaplama yöntemi ile elde edilmesiyle üretim işlemi tamamlanmış bulunmaktadır..



a



b

**Resim 3.7. (a) Yağ Banyosu, (b) Bakır Nanoyapıları İçeren Solüsyon**

#### 3.4.4. Laboratuvar 4

Genel olarak hastaların ihtiyaç duyduğu, kişiye özel ortez, protez, implant ve medikal modellerin yapılıp son ürün olarak metal tozlarının kullanılıp üç boyutlu toz lazer teknolojisi kullanılarak üretilmektedir. Medikal implant üretimi sonucu elde edilen ürünlerde nanoyapıların tespit edilmesinden sonra potansiyel maruziyetin olduğu düşünülüp titanyum dioksit nanoyapılar için de çalışmalar yapılmıştır [54,55]. Yaklaşık 25 kg kapasiteli toz kasalarına koyulan metal tozları üç boyutlu yazıcının (Resim 3.8) içerisine yerleştirilerek önceden bilgisayar ortamında tasarlanan medikal implantlar oluşturulmaktadır.



a



b

**Resim 3.8. 25 Kg lık Toz Kasalarının Sisteme Aktarılması (a), İnsan Gücü İle Yapılan Toz Eleme İşlemi (b)**

Elde edilen implant daha sonra yüksek derecelere kadar ısıtılmış fırında kurutulup (800-1500°C) son işlem olarak mekanik olarak zımparalama işlemi gerçekleştirilmektedir.



a



b

**Resim 3.9. Kurutma Fırını (a), Kumlama Cihazı (b)**

Ortalama haftada 1 kere yapılan temizlik aşamasında ise önce sistem kapalı iken sistemde bulunan eldivenler ile tozların süpürülmesi işlemi yapılmakta daha sonra sistem açılıp elektrik süpürgesi ile kalan tozlar alınmaktadır. En son aşamasında ise kalan tozlar nemli bir bez yardımı ile temizlenmektedir (Resim 3.10).



a



b

**Resim 3.10. Sistemin Elektrik Süpürgesi (a) ve Nemli Bez (b) ile Temizlenmesi**

#### 3.4.5. Firma 1

Birkaç farklı nanomalzeme üretimi yapan firmada grafen üretimi aşamaları gözlemlenmiştir. Grafen satın alınan grafit ana malzemesinden sentezlenmektedir. Gerekli olan kütle miktarında alınan grafit tartım işlemi yapıldıktan sonra çözücüler kullanılarak solüsyon haline getirilir. Solüsyon haline getirme işlemi mutfak robotu ile gerçekleştirilmiştir.



**Resim 3.11. Ana Malzeme Olan Grafitin Tartılması**

Hazırlanan solüsyonun orta kısımlarında oluşan grafen pipet yardımıyla çekilip santrifüj yardımıyla çökelen malzeme süzgeç kağıdı üzerinde biriktirilir. Süzgeç kâğıdında bulunan

malzeme kurutulduktan sonra Resim 3.12’de gösterildiği gibi fiziksel yöntemlerle ayrılıp malzeme üretimi tamamlanmış oluyor.



**Resim 3.12. Elde Edilen Garfenin Süzgeç Kâğıdından Ayrılması**

#### **3.4.6. Firma 2**

Nanoteknoloji alanında gümüş nanoparçacık üretimi yapan firma bu alanda aynı zamanda AR-GE çalışmalarına da devam etmektedir. Gümüş nanoparçacıkları çeşitli alanlarda kullanmayı hedeflemekte ve ilk uygulama alanı olarak anti bakteriyel özelliğinden dolayı temizlik sektöründe kullanılmak üzere üretimlerine devam etmektedir.

Satın alınan saf gümüş parçacıklar gümüş iyonu haline getirilip belli yoğunluklarda karıştırılan yardımcı kimyasallar eşliğinde bir solüsyon elde edilmektedir. Elde edilen solüsyon daha sonra belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve karıştırılarak gümüş nanoparçacık içeren ve temizlik malzemesi olarak kullanılması hedeflenen son ürün elde edilmektedir.



**Resim 3.13. AR-GE Laboratuvarları**

#### 4. BULGULAR

Farklı üç laboratuvar ve farklı iki firmada karbon nanotüp, grafen, gümüş ve bakır nanoparçacık üretimi esnasında risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bir laboratuvar da ise medikal implant üretimi sonucu elde edilen ürünlerde nanoyapıların tespit edilmesinden sonra potansiyel nanomalzeme maruziyeti olduğu düşünülüp titanyum dioksit nanoyapılarının için de bir risk değerlendirmesi çalışması yapılmıştır.

Risk değerlendirmesi çalışması Tablo 4.1’de Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracı yönteminin “CB Nanotool 2.0” versiyonu kullanılarak tamamlanmıştır. Çalışılan ortamda NM maruziyeti ile ilgili Bölüm 3.3.1 de ayrıntıları ile açıklanan kontrol bandı risk değerlendirme parametrelerine ait bilgiler detaylı olarak girilmiş ve yapılan hesaplamalar sonucu her bir malzeme için şiddet skorları, olasılık skorları ve toplam risk seviyeleri tespit edilmiştir. Çalışılan ortama verilen isimden (Laboratuvar 1,2,... veya Firma 1,2,...) sonra üretim prosesinin incelendiği kısım değerlendirilmektedir. NM’nin adı, CAS numarası ve aktivite sınıfı gibi bilgilerden sonra ilk olarak ana malzemeye dair OEL bilgisine verilen sayısal cevaba karşılık puanlama yapılmaktadır. Sonrasında ana malzemeye ait kanserojen, üreme sistemi üzerindeki tehlikeli etkisi, mutajen, dermal tehlike ve astımajen özelliklerine göre evet, hayır ve bilinmiyor cevaplarına karşılık gelen puanlamalar yapılmıştır. Sonraki aşamada NM’ler ile ilgili aynı sorulara ek olarak yüzey kimyası, parçacık şekli, parçacık çapı, çözünürlüğü ve bu tez kapsamında bu kategoriye eklenen havalandırma, KKD kullanımı, üretim prosesi, temizlik ve mühendislik önlemlere verilen yanıtlara karşılık gelen puanlandırmalar yapıp şiddet skorları ve bandları hesaplanmıştır. Olasılık skoru için ise işlem boyunca kullanılan NM’nin tahmini miktarı, tozlu/sisli yapısı, çalışan sayısı, işin sıklığı ve süresi sorularına verilen cevapların karşılığında toplam puan hesaplanmış ve olasılık bandları elde edilmiştir. Sonuç olarak tüm çalışma ortamlarında tüm malzemelere uygulanan bu hesaplama yöntemi (CB Nanotool 2.0) ile her biri için ayrı ayrı risk seviyeleri tespit edilmiştir.

**Tablo 4.1. Çalışma Kapsamında Üretimi Yapılan NM lere Ait KB Nano Risk Değerlendirme Aracı Uygulaması**

|         | Açıklama                                                                                                                   | Nanomalzemenin adı veya açıklaması | CAS #        | Aktivite sınıfı                                    | Ana malzemenin özellikleri |            |                                    |            |                |            |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------|----------------------------|------------|------------------------------------|------------|----------------|------------|
|         |                                                                                                                            |                                    |              |                                                    | OEL mcg/m <sup>3</sup>     | kanserojen | üreme sistemi üzerindeki tehlikesi | mutajen    | dermal tehlike | astımajen  |
| Lab 1   | Etilen ana malzemesi yüksek sıcaklıklarda gaz formuna geçirilerek çoklu duvarlı karbon nanotüp elde edilmesi               | Çoklu duvarlı karbon nanotüp ÇDKNT | 3080 68-56-6 | Nanoparçacıklara toz halinde temas etme ve soluma  | 1                          | Hayır      | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor |
| Firma 1 | Grafit ana malzemesi ile oluşturulan solüsyona fiziksel karıştırma yöntemi uygulanarak grafen nanoyapıların elde edilmesi. | Grafen nano tabakalar              | Yok          | Nanoparçacıklara toz halinde temas etme ve soluma  | 15.000                     | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor |
| Firma 2 | Saf halde alının gümüşten gümüş nanoparçacık içeren temizlik solüsyonları oluşturma                                        | Gümüş nanoparçacıklar              | Yok          | Solüsyon içerisinde bulunan nanoparçacıklara temas | 10                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor |
| Lab 2   | Grafit ana malzemesinden oluşturulan solüsyona fiziksel karıştırma yöntemi uygulanarak grafen nanoyapıların elde edilmesi. | Grafen nano tabakalar              | Yok          | Nanoparçacıklara toz halinde temas etme ve soluma  | 15.000                     | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor |
| Lab 2   | Gümüş nitrat ana malzemesinden kimyasal yöntemler kullanılarak gümüş nanotellerin elde edilmesi                            | Gümüş nanoparçacıklar              | Yok          | Nanoparçacıklara toz halinde temas etme ve soluma  | 0.01                       | Hayır      | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor |
| Lab 3   | Gümüş asetat ana malzemesinden kimyasal yöntemler kullanılarak gümüş nanoparçacıkların elde edilmesi                       | Gümüş nano teller                  | Yok          | Nanoparçacıklara toz halinde temas etme ve soluma  | 0.01                       | Hayır      | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor |
| Lab 3   | Bakır klorit ana malzemesinden kimyasal yöntemler kullanılarak bakır nanotel üretimi                                       | Bakır nano teller                  | Yok          | Nanoparçacıklara toz halinde temas etme ve soluma  | 1                          | Hayır      | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor |
| Lab 4   | Titanyumum metalli bileşiklerinden medikal ürünler üretimi                                                                 | Titanyum dioksit                   |              | Nanoparçacıklara toz halinde temas etme ve soluma  | 15.000                     | Hayır      | Hayır                              | Hayır      | Hayır          | Hayır      |

**Tablo 4.1. Çalışma Kapsamında Üretimi Yapılan NM lere Ait KB Nano Risk Değerlendirme Aracı Uygulaması (Devam)**

|                 | Nanoboyuttaki malzemenin özellikleri |                    |             |            |                                    |            |                |            |               |                |              |               |                   | Şiddet skoru | Şiddet bandı |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------|-------------|------------|------------------------------------|------------|----------------|------------|---------------|----------------|--------------|---------------|-------------------|--------------|--------------|
| Yüzey aktifliği | Parçacık şekli                       | Parçacık çapı (nm) | Çözünürlük  | kanserojen | üreme sistemi üzerindeki tehlikesi | mutajen    | dermal tehlike | astımajen  | KKD kullanımı | Üretim prosesi | Havalandırma | Temizlik      | Mühendislik önlem |              |              |
| Yüksek          | Lifsi, borumsu                       | Bilinmiyor         | Çözünemeyen | Evet       | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor | Kullanılmıyor | Kuru           | Yerel        | Uygun değil   | Yeterli değil     | 93           | Çok Yüksek   |
| Bilinmiyor      | Düzensiz                             | 0-10 nm            | Çözünemeyen | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor | Yeterli değil | Islak          | Yerel        | Yeterli değil | Yok               | 84           | Yüksek       |
| Yüksek          | Kompakt veya küresel                 | 0-10 nm            | Çözünemeyen | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor | Kullanılmıyor | Islak          | Yerel        | Yeterli değil | Yok               | 88,5         | Yüksek       |
| Bilinmiyor      | Düzensiz                             | 0-10 nm            | Çözünemeyen | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor | Yeterli değil | Islak          | Çeker ocak   | Yeterli       | Yeterli değil     | 80           | Yüksek       |
| Yüksek          | Kompakt veya küresel                 | 0-10 nm            | Çözünemeyen | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor | Uygun         | Islak          | Çeker ocak   | Yeterli       | Uygun             | 73,5         | Yüksek       |
| Yüksek          | Lifsi, borumsu                       | >40 nm             | Çözünemeyen | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor | Uygun         | Islak          | Çeker ocak   | Yeterli değil | Yeterli değil     | 78,5         | Yüksek       |
| Bilinmiyor      | Lifsi, borumsu                       | >40 nm             | Çözünemeyen | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor | Uygun         | Islak          | Çeker ocak   | Yeterli değil | Yeterli değil     | 73,5         | Yüksek       |
| Bilinmiyor      | Düzensiz                             | Bilinmiyor         | Çözünemeyen | Evet       | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor     | Bilinmiyor | Yeterli değil | Kuru           | Yok          | Yeterli değil | Yeterli değil     | 69           | Yüksek       |

**Tablo 4.1. Çalışma Kapsamında Üretimi Yapılan NM lere Ait KB Nano Risk Değerlendirme Aracı Uygulaması (Devam)**

|         | İşlem boyunca kullanılan nanomalzemenin tahmini miktarı | Tozlu/sisli | Benzer maruziyet içinde bulunan çalışan sayısı | İşin sıklığı (frekansı) | İşin süresi  | Olasılık skoru | Olasılık bandı  | Toplam Risk Skoru |
|---------|---------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------|-------------------------|--------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Lab 1   | Bilinmiyor                                              | Yüksek      | 3                                              | Günlük(günde 8 kez)     | 30-60 dakika | 68,75          | Olası Muhtemel  | RS 4              |
| Firma 1 | 0-10 gr                                                 | Yüksek      | 4                                              | Günlük(günde 2 kez)     | 1-4 saat     | 61,25          | Olası Muhtemel  | RS 3              |
| Firma 2 | 0-10 gr                                                 | Orta        | 2                                              | Aylık                   | 1-4 saat     | 36,25          | Düşük İhtimalli | RS 2              |
| Lab 2   | 0-10 mg                                                 | Yüksek      | 2                                              | Günlük                  | 1-4 saat     | 61,25          | Olası Muhtemel  | RS 3              |
| Lab 2   | 0-10 mg                                                 | Orta        | 2                                              | Haftalık                | 1-4 saat     | 41,25          | Düşük İhtimalli | RS 2              |
| Lab 3   | 11-100 mg                                               | Orta        | 3                                              | Günlük                  | >4 saat      | 57,5           | Olası Muhtemel  | RS 3              |
| Lab 3   | 11-100                                                  | Yüksek      | 2                                              | Günlük                  | 1-4 saat     | 67,5           | Olası Muhtemel  | RS 3              |
| Lab 4   | Bilinmiyor                                              | Yüksek      | 2                                              | Günlük                  | >4 saat      | 78,75          | Olası Yüksek    | RS 4              |

#### 4.1. İŞLETMELERDE GERÇEKLEŞİRİLEN RİSK DEĞERLENDİRMELERİ SONUCU ELDE EDİLEN RİSK SEVİYELERİ

OECD tarafından 2016 yılında ‘Üretilen Nanomalzemeler İçin Test Programı’ yayınlanmış olup, yaygın olarak kullanılan 11 tane nanomalzemenin güvenliğinden emin olunması gerektiği vurgulanmıştır. Aynı zamanda Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (EU-OSHA) İSG açısından potansiyel tehlikelerin başında nanoparçacıkları ve çok küçük parçacıkları belirlemiştir. Belirtilen bu önemli bilgiler ışığında bu çalışma kapsamında Türkiye’de üretiminin yaygınlığı dikkate alınarak karbon nanotüp (ÇDKNT), grafen, gümüş, bakır ve titanyum dioksit nanoyapıların her biri için ayrı ayrı risk değerlendirmesi çalışmaları yapılmıştır.

Tablo 4.2.’de ziyaret edilen laboratuvar, firmalar, bunlarda üretimi yapılan NM’ler ve karşılığında bulgular bölümünde detaylıca açıklaması yapılan risk değerlendirmesi sonuçları verilmiştir.

**Tablo 4.2. Risk Değerlendirmesi Sonuçları**

| <b>Firma veya Laboratuvar</b> | <b>Üretilen Nanomalzeme Çeşidi</b>    | <b>Risk Değerlendirmesi Sonucu</b> |
|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Laboratuvar 1</b>          | Karbon nanotüp                        | RS 4                               |
| <b>Laboratuvar 2</b>          | Grafen üretimi                        | RS 3                               |
| <b>Laboratuvar 2</b>          | Gümüş nanoparçacık ve nonotel üretimi | RS 2                               |
| <b>Laboratuvar 3</b>          | Gümüş nano çubuk üretimi              | RS 3                               |
| <b>Laboratuvar 3</b>          | Bakır nanoparçacık üretimi            | RS 3                               |
| <b>Laboratuvar 4</b>          | Titanyum dioksit nanoyapılar üretimi  | RS 4                               |
| <b>Firma 1</b>                | Grafen üretimi                        | RS 3                               |
| <b>Firma 2</b>                | Gümüş nanoparçacık üretimi            | RS 2                               |

#### 4.1.1. Karbon Nanotüp Üretimi Yapılan Laboratuvarda Elde Edilen Risk Değerlendirmesi

Laboratuvar 1’de etilen ana malzemesi kullanılarak üretimi yapılan çoklu duvarlı karbon nanotüp üretim süreci için yapılan risk değerlendirmesi sonucu elde edilen şiddet, olasılık skoru, şiddet olasılık bandları ve risk seviyesi Tablo 4.3’ de yer almaktadır.

**Tablo 4.3. Karbon Nanotüp Üretimi Yapılan Ortamda Elde Edilen Risk Parametreleri Ve Risk Seviyesi**

| Karbon Nanotüp (ÇDKNT) |                |
|------------------------|----------------|
| Şiddet Skoru           | 93             |
| Şiddet Bandı           | Çok yüksek     |
| Olasılık Skoru         | 68,75          |
| Olasılık Bandı         | Olası muhtemel |
| Risk Seviyesi          | RS 4           |

#### 4.1.2. Grafen Üretimi Yapılan İşletmelerde Elde Edilen Risk Değerlendirmeleri

Laboratuvar 2 ve Firma 1’de garfit ana malzemesi kullanılarak üretimi yapılan grafen nanoyapılın üretim süreçleri için yapılan risk değerlendirmelerinin sonucu elde edilen şiddet, olasılık skorları, şiddet olasılık bandları ve risk seviyeleri Tablo 4.4’de yer almaktadır.

**Tablo 4.4. Grafen Üretimi Yapılan Ortamlarda Elde Edilen Risk Parametreleri Ve Risk Seviyeleri**

| Grafen         |                |                |
|----------------|----------------|----------------|
|                | Firma 1        | Laboratuvar 2  |
| Şiddet Skoru   | 84             | 80             |
| Şiddet Bandı   | Yüksek         | Yüksek         |
| Olasılık Skoru | 61,25          | 61,25          |
| Olasılık Bandı | Olası muhtemel | Olası muhtemel |
| Risk Seviyesi  | RS 3           | RS 3           |

#### 4.1.3. Gümüş ve Bakır Nanoyapılarının Üretiminin Gerçekleştiği İşletmelerde Elde Edilen Risk Değerlendirmeleri

Farklı iki laboratuvar ve bir firmada değişik ana malzemeler kullanılarak elde edilen üç gümüş ve bir bakır nanoyapılar için, bu üç işletmede yapılan risk değerlendirmelerinin sonucu elde edilen şiddet, olasılık skorları, şiddet olasılık bandları ve risk seviyeleri her biri için ayrı ayrı Tablo 4.5’de yer almaktadır.

**Tablo 4.5. Gümüş Ve Bakır Nanoyapıların Üretiminin Yapıldığı Ortamlarda Elde Edilen Risk Parametreleri Ve Risk Seviyeleri**

| Gümüş ve bakır nanoyapılar |               |               |                |                |
|----------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
|                            | Firma 2       | Laboratuvar 2 | Laboratuvar 3  | Bakır          |
| Şiddet Skoru               | 88,5          | 73,5          | 78,5           | 73,5           |
| Şiddet Bandı               | Yüksek        | Yüksek        | Yüksek         | Yüksek         |
| Olasılık Skoru             | 36,25         | 41,25         | 57,5           | 67,5           |
| Olasılık Bandı             | Düşük İhtimal | Düşük ihtimal | Olası muhtemel | Olası muhtemel |
| Risk Seviyesi              | RS 2          | RS 2          | RS 3           | RS 3           |

#### 4.1.4. Titanyum Dioksit Nanoyapıların Oluştığı İşletmelerde Elde Edilen Risk Değerlendirmeleri

Metal toz kalıpları üç boyutlu bir yazıcı yardımı ile kullanılarak medikal implant üretilen bir laboratuvar da yan ürün olarak oluşan titanyum dioksit nanoyapılar için yapılan risk değerlendirmesi sonucu elde edilen şiddet, olasılık skoru, şiddet olasılık bandları ve risk seviyesi Tablo 4.6’da yer almaktadır.

**Tablo 4.6. Titanyum Dioksit Nanoyapıların Oluştığı Yapılan Ortamlarda Elde Edilen Risk Parametreleri Ve Risk Seviyesi**

| Titanyum Dioksit Nanoyapılar |                |
|------------------------------|----------------|
| Şiddet Skoru                 | 69             |
| Şiddet Bandı                 | Yüksek         |
| Olasılık Skoru               | 78,75          |
| Olasılık Bandı               | Yüksek İhtimal |
| Risk Seviyesi                | RS 4           |

## 4.2. RİSK DEĞERLENDİRMESİ UYGULANAN TÜM MALZEMELERİN KİYASLANMASI

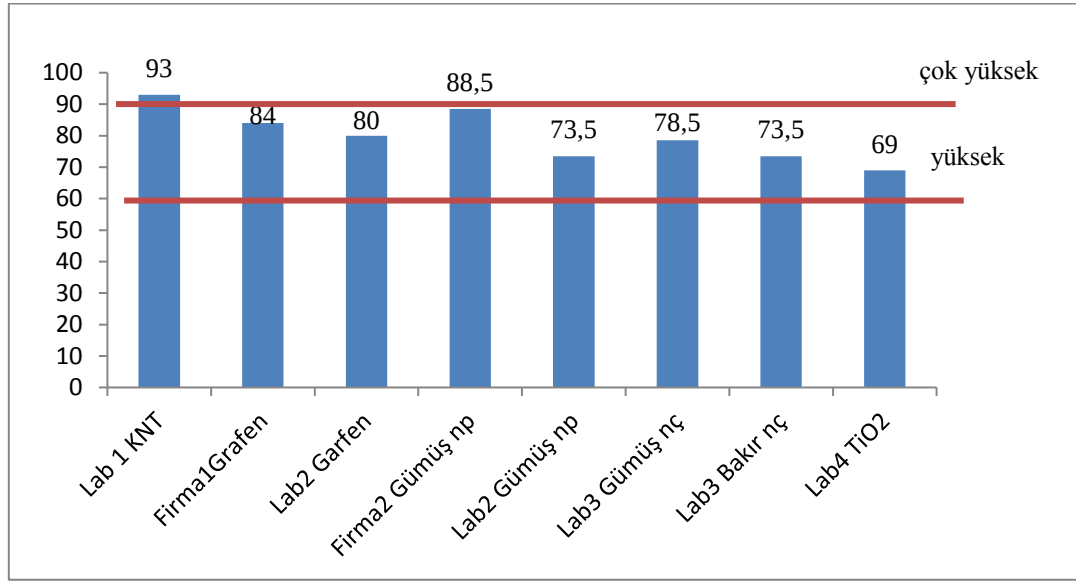
Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracı malzeme tabanlı bir risk değerlendirmesi yöntemi olup malzemeye ait sorulara karşılık verilen cevapların puanlandırılması ile şiddet skoru ve bandı, çalışılan ortama ait sorulara karşılık verilen cevapların puanlandırılması ile olasılık skoru ve bandı hesaplanmaktadır. Nihayetinde elde edilen bu şiddet ve olasılık skorlarının matrislenmesi ile de üretilen her malzeme için bir risk seviyesi elde edilmektedir. Bu kapsamda KB Nano Risk Değerlendirme Aracı kullanımını kolaylaştırmak amacıyla Ek II’de “Nanomalzeme Güvenlik Bilgi Formu” oluşturulmuştur. Bu form yöntemin kullandığı üç sayfalık formdan farklı olarak literatür bilgileri ışığında ve kullanım kolaylığı düşünülerek hazırlanmıştır. Hazırlanan bu form doldurulduğunda ilk etapta hem yöntem için gerekli olan soruları hem de malzemelere ait bir takım güvenlik bilgi verileri ile sorulara cevap verilerek bir ön çalışma olması amaçlanmıştır.

Tablo 4.7’de ise KB Nano Risk Değerlendirme Aracı kullanılarak birbirinden farklı işletmelerde KNT, grafen, gümüş ve bakır nanoparçacıklar ile yan ürün olarak açığa çıkan  $\text{TiO}_2$  nanoyapılar için her birine ait özellikler ile bunlara verilen puanlamalar görülmektedir. Tablo 4.7’de görüldüğü gibi aynı cins olan malzemeler aynı renklerde bulunan sütunlarda gösterilmiştir. Buna göre grafen üretimi için biri firma ve biri laboratuvar olmak üzere iki farklı ortamda risk değerlendirmesi yapılmıştır. Gümüş nanoyapılar için ise bir firma ve iki farklı laboratuvar da toplam üç risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Karbon nanotüp, bakır nanoyapı ve titanyumdioksit nanoyapı maruziyeti için ise birer laboratuvar da risk değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 4.7. KNT Grafen, Gümüş, Bakır Ve TiO<sub>2</sub> Nanoyapılar İçin KB Nano Risk Değerlendirme Aracı Parametrelerinin Puanlandırması.**

|                                           | Lab 1<br>KNT | Firma1<br>Grafen | Lab 2<br>Garfen | Firma2<br>Gümüş<br>np | Lab 2<br>Gümüş<br>np | Lab 3<br>Gümüş<br>nç | Lab 3<br>Bakır<br>nç | Lab 4<br>TiO <sup>2</sup> |
|-------------------------------------------|--------------|------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| Ana malzeme OEL                           | 2,5          | 0                | 0               | 5                     | 5                    | 5                    | 2,5                  | 0                         |
| Ana malzeme.<br>Kanserojenliği            | 0            | 3                | 3               | 3                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                         |
| Ana malzeme.<br>Üreme sistemine<br>etkisi | 3            | 3                | 3               | 3                     | 3                    | 3                    | 3                    | 0                         |
| Ana malzemenin<br>mutajenliği             | 3            | 3                | 3               | 3                     | 3                    | 3                    | 3                    | 0                         |
| Ana malzemenin<br>dermal toksisitesi      | 3            | 3                | 3               | 3                     | 3                    | 3                    | 3                    | 0                         |
| Ana malzemenin.<br>Astımajenliği          | 3            | 3                | 3               | 3                     | 3                    | 3                    | 3                    | 0                         |
| NM.Yüzey aktifliği                        | 10           | 7,5              | 7,5             | 10                    | 10                   | 10                   | 7,5                  | 7,5                       |
| NM.Parçacık şekli                         | 10           | 5                | 5               | 0                     | 0                    | 10                   | 10                   | 5                         |
| NM.Parçacık çapı                          | 7,5          | 10               | 10              | 10                    | 10                   | 0                    | 0                    | 7,5                       |
| NM. Çözünürlüğü                           | 10           | 10               | 10              | 10                    | 10                   | 10                   | 10                   | 10                        |
| NM. kanserojenliği                        | 6            | 4,5              | 4,5             | 4,5                   | 4,5                  | 4,5                  | 4,5                  | 6                         |
| NM. Üreme<br>sistemine etkisi             | 4,5          | 4,5              | 4,5             | 4,5                   | 4,5                  | 4,5                  | 4,5                  | 4,5                       |
| NM. Mutajenliği                           | 4,5          | 4,5              | 4,5             | 4,5                   | 4,5                  | 4,5                  | 4,5                  | 4,5                       |
| NM. Dermal<br>toksisitesi                 | 4,5          | 4,5              | 4,5             | 4,5                   | 4,5                  | 4,5                  | 4,5                  | 4,5                       |
| NM. Astımajenliği                         | 4,5          | 4,5              | 4,5             | 4,5                   | 4,5                  | 4,5                  | 4,5                  | 4,5                       |
| KKD kullanımı                             | 4            | 2                | 2               | 4                     | 0                    | 0                    | 0                    | 2                         |
| Üretim prosesi                            | 4            | 2                | 4               | 2                     | 2                    | 2                    | 2                    | 4                         |
| Havalandırma                              | 3            | 3                | 2               | 3                     | 2                    | 2                    | 2                    | 4                         |
| Temizlik                                  | 4            | 3                | 0               | 3                     | 0                    | 3                    | 3                    | 3                         |
| Mühendislik önlem                         | 2            | 4                | 2               | 4                     | 0                    | 2                    | 2                    | 2                         |
| <b>Şiddet skoru</b>                       | <b>93</b>    | <b>84</b>        | <b>80</b>       | <b>88,5</b>           | <b>73,5</b>          | <b>78,5</b>          | <b>73,5</b>          | <b>69</b>                 |
| NM miktarı                                | 18,75        | 6,25             | 6,25            | 6,25                  | 6,25                 | 12,5                 | 12,5                 | 18,75                     |
| Tozlu/sisli                               | 30           | 30               | 30              | 15                    | 15                   | 15                   | 30                   | 30                        |
| Çalışan sayısı                            | 0            | 0                | 0               | 0                     | 0                    | 0                    | 0                    | 0                         |
| İşin sıklığı                              | 15           | 15               | 15              | 5                     | 10                   | 15                   | 15                   | 15                        |
| İşin Süresi                               | 5            | 10               | 10              | 10                    | 10                   | 15                   | 10                   | 15                        |
| <b>Olasılık Skoru</b>                     | <b>68,75</b> | <b>61,25</b>     | <b>61,25</b>    | <b>36,25</b>          | <b>41,25</b>         | <b>57,5</b>          | <b>67,5</b>          | <b>78,75</b>              |
| Risk Seviyesi                             | <b>RS 4</b>  | <b>RS 3</b>      | <b>RS 3</b>     | <b>RS 2</b>           | <b>RS 2</b>          | <b>RS 3</b>          | <b>RS 3</b>          | <b>RS 4</b>               |

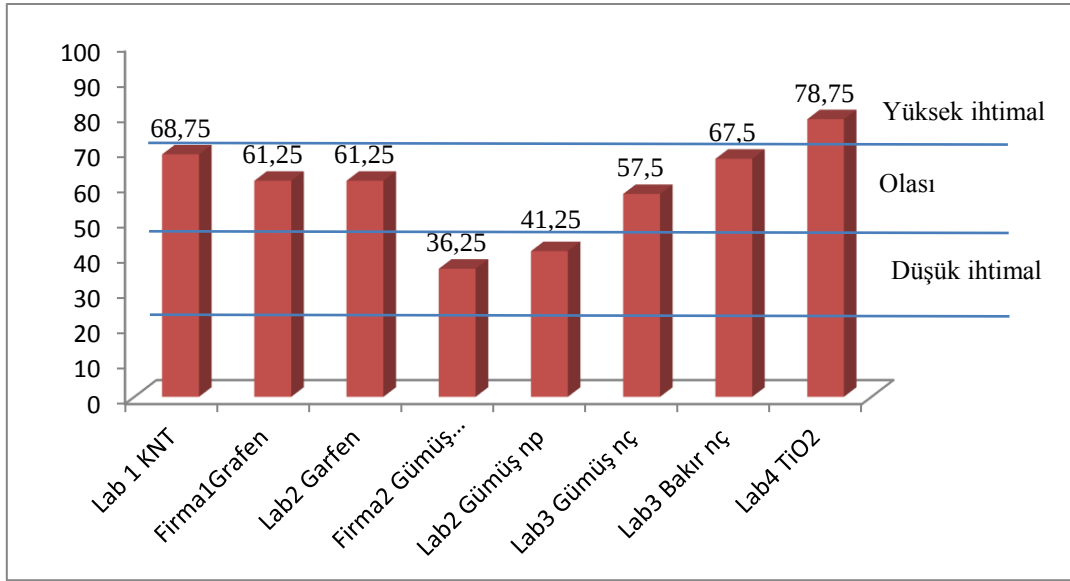
Tüm bu firma ve laboratuvarlarda yapılan sekiz risk değerlendirmesi sonucu elde edilen şiddet skorları Grafik 4.1’de görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi şiddet seviyesi en yüksek olan malzeme 93 şiddet puanıyla karbon nanotüp olup bu malzemelerin içerisinde çok yüksek şiddet bandında bulunmaktadır. Diğer malzemeler için ise şiddet bandı yüksek seviye düzeyinde elde edilmiştir.



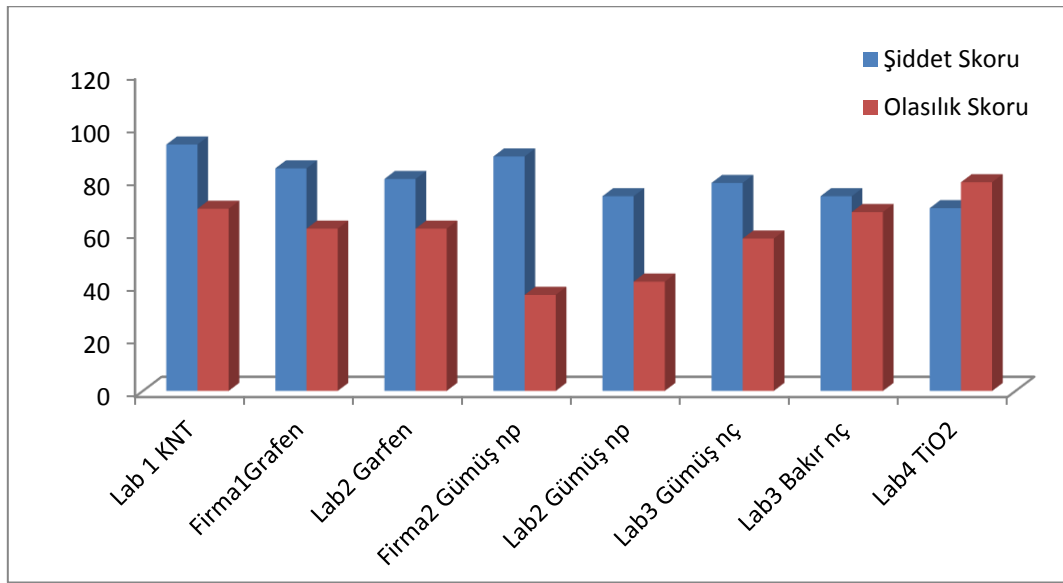
**Grafik 4.1. Risk Değerlendirmesi Yapılan Tüm Malzemelere Ait Şiddet Skor Grafiği**

Tüm firma ve laboratuvarlarda yapılan sekiz risk değerlendirmesi sonucu elde edilen olasılık skorları ise Grafik 4.2’de görülmektedir. Grafikte 4.2’de görüldüğü gibi olasılık seviyesi en yüksek olan malzeme 78,75 olasılık puanıyla titanyum dioksit nanoyapılar olup yüksek ihtimal olasılık bandı içerisinde yer almaktadır. Karbon nanotüp, grafen nanoyapılar ile bir laboratuvarında değerlendirilen gümüş ve bakır nanoyapılar için ise olasılık seviyesi 51-75 düzeyinde olup olası muhtemel olasılık bandında yer almaktadır. Bir firma ve bir laboratuvarında değerlendirilen gümüş nanoyapılar için ise olasılık seviyesi 26-50 düzeyinde olup olasılık bandı düşük ihtimal olarak elde edilmiştir.

Yapılan risk değerlendirmeleri sonucu elde edilen tüm şiddet ve olasılık seviyelerini ve bunların sonucunda ortaya çıkan risk seviyelerini ise Grafik 4.3’de yer almaktadır.



**Grafik 4.2. Risk Değerlendirmesi Yapılan Tüm Malzemelere Ait Olasılık Skor Grafiği**



**Grafik 4.3. Risk Değerlendirmesi Yapılan Tüm Malzemelere Ait Şiddet, Olasılık Skor Grafiği ve Risk Seviyeleri**

#### 4.3. BULGULARIN İSTATİSTİKİ OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Üretilen malzemeye özgü yapılan risk değerlendirmeleri ile sekiz farklı ortamda birbirinden farklı şiddet ve olasılık değerleri elde edilmiştir. Birbiri ile aynı olan malzemelerin üretimin gerçekleştiği ortamlarda yapılan risk değerlendirmeleri istatistiki olarak kıyaslanmıştır. İki farklı ortamda gerçekleştirilen grafen üretimi ve üç farklı ortamda gerçekleştirilen gümüş nanoyapıların üretimi sonucu elde edilen şiddet skorları arasındaki ilişki bağımsız iki örnek arası farkların testi (independent samples t-test) ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.8’de yer almaktadır.

**Tablo 4.8. Grafen ve Gümüş Üretimi Yapılan Ortamlarda Elde Edilen Şiddet Skorları İçin Bağımsız İki Örnek T Testi**

| Grafen                             |                | Gümüş                               |                 |                                      |                 |
|------------------------------------|----------------|-------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|
| Firma 1                            | Lab 2          | Lab 2                               | Lab 3           | Firma 2                              | Lab 2&3         |
| Ortalama = 4,2                     | Ortalama = 4,0 | Ortalama = 4,59                     | Ortalama = 5,44 | Ortalama = 4,9                       | Ortalama = 5,0  |
| Varyans = 6,14                     | Varyans = 7,13 | Varyans = 16,98                     | Varyans = 23,94 | Varyans = 12,16                      | Varyans = 20,23 |
| t= 0,24 t <sub>kritik</sub> = 2,02 |                | t= -0,66 t <sub>kritik</sub> = 2,01 |                 | t = -0,02 t <sub>kritik</sub> = 1,99 |                 |
| p= 0,80                            |                | p= 0,50                             |                 | p= 0,98                              |                 |

Yapılan analiz sonucu grafen üretimi yapan firma ile laboratuvarın şiddetleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p = 0,80 > 0,05$ ). Gümüş üreten 2 farklı laboratuvardaki şiddet değerleri arasında da anlamlı farklılık bulunmamıştır ( $p = 0,50 > 0,05$ ). Gümüş imalatı yapılan firma ile laboratuvarlar arasındaki ilişki incelendiğinde de anlamlı bir farklılık bulunamamıştır ( $p = 0,98 > 0,05$ ). Bu sonuçlardan hareketle söz konusu malzemelerin imalatının gerçekleştiği firma ve laboratuvarlarda şiddet skorları birbirine benzer nitelikte olduğu söylenebilir.

Aynı şekilde iki farklı ortamda gerçekleştirilen grafen üretimi ve üç farklı ortamda gerçekleştirilen gümüş nanoyapıların üretimi sonucu elde edilen olasılık skorları arasındaki ilişki bağımsız iki grup arası farkların testi (independent samples t-test) ile incelenmiş ve sonuçları Tablo 4.9’da görülmektedir.

**Tablo 4.9. Grafen ve Gümüş Üretimi Yapılan Ortamlarda Elde Edilen Olasılık Skorları İçin Bağımsız İki Örnek T Testi**

| Grafen                             |                  | Gümüş                                  |                 |                                        |                 |
|------------------------------------|------------------|----------------------------------------|-----------------|----------------------------------------|-----------------|
| Firma 1                            | Lab 2            | Lab 2                                  | Lab 3           | Firma 2                                | Lab 2&3         |
| Ortalama = 12,25                   | Ortalama = 12,25 | Ortalama = 10,0                        | Ortalama = 11,5 | Ortalama = 7,25                        | Ortalama = 9,88 |
| Varyans = 128,44                   | Varyans = 128,44 | Varyans = 42,5                         | Varyans = 42,5  | Varyans = 31,56                        | Varyans = 35,57 |
| t= 0    t <sub>kritik</sub> = 2,30 |                  | t= -0,21    t <sub>kritik</sub> = 2,78 |                 | t= -0,83    t <sub>kritik</sub> = 2,26 |                 |
| p= 1                               |                  | p= 0,84                                |                 | p= 0,42                                |                 |

Yapılan analiz sonucu grafen üretimi yapan firma ile laboratuvarın olasılık düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p = 1 > 0.05$ ). Gümüş üreten 2 farklı laboratuvardaki olasılık değerleri arasında da anlamlı farklılık bulunmamıştır ( $p = 0,84 > 0.05$ ). Gümüş imalatı yapılan firma ile laboratuvarlar arasındaki ilişki incelendiğinde de anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ( $p = 0,42 > 0.05$ ). Olasılık skorları için yapılan bu analiz sonuçları da göstermiştir ki bu malzemelerin imalatının gerçekleştiği firma ve laboratuvarlarda olasılık skorları da birbirine benzer niteliktedir.



## 5. TARTIŞMA

Dünyada çapında iş sağlığı ve güvenliği alanında önde gelen NIOSH, OSHA, EU-OSHA, IFA gibi yapılar nanomalzemelerin şu anda üretildikleri ve kullanıldıkları her alanda önemli bir tehlike potansiyeli olduğunu kabul etmiş ve birçok çalışma gerçekleştirmişlerdir. Türkiye’de özellikle üniversite laboratuvarlarında hatırı sayılır oranda üretimi ve geliştirilmesi çalışmaları yapılmakta olan bu malzemeler yeni yeni firma bazında seri üretimine geçilmiştir. Bu malzemelerle ilgili iş sağlığı ve güvenliği alanında her hangi bir risk değerlendirmesi çalışması yapılmamıştır. Gerçekleştirilen çalışma kapsamında sihirli olarak adlandırılan bu malzemelerin her geçen gün kanıtlanan tehlikeleri göz önüne alındığında sektöre ilk bakışta, böyle bir gerçeklikten bahsetmek, farkındalık oluşturmak ve laboratuvar ve firmalara öncü bir risk değerlendirmesi örneği sunmaktır.

Bu çalışma ile KB Nano Risk Değerlendirme Aracı kullanılarak birbirinden farklı işletmelerde KNT, grafen, gümüş ve bakır nanoyapılar ile yan ürün olarak açığa çıkan TiO<sub>2</sub> nanoyapıların her biri için ayrı ayrı şiddet, olasılık skor ve band aralıkları hesaplanmıştır. Nihayetinde elde edilen bu iki parametre birbiri içinde matrislenerek her ortamda üretilen malzeme için birer risk seviyesi elde edilmiştir. Gereç ve yöntemler kısmında her bir parametrenin puanlandırması detayları ile açıklanan KB Nano Risk Değerlendirme Aracı metodunda bilinmezliklere % 75 oranında puan verilmektedir.

Karbon nanotüp üretimi yapılan laboratuvarında risk seviyesi dördüncü düzeyde (RS 4) çıkmıştır. Bunun en büyük sebebi şiddet faktörünün diğer üretim alanlarına kıyasla en yüksek düzeyde elde edilmiş olmasıdır. Şiddet faktörünün çok yüksek çıkmasının sebeplerinden birisi KNT toksisitesinin diğer NM’lere kıyasla kanıtlanmış olmasıdır. Bu parametrenin söz konusu malzeme için yüksek çıkmasının bir diğer nedeni ise adı geçen yöntemin bu tez çalışması kapsamında güçlendirmek amacı ile eklenen parametreler için de yüksek şekilde puanlandırılmasından kaynaklanmaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen en çarpıcı sonuç titanyum dioksit maruziyeti için yapılan risk değerlendirmesi sonucu elde edilmiştir. Tamamen üretim amacından bağımsız olarak yan ürün olarak oluşan titanyum dioksit nanoyapıların en üst düzeyde risk seviyesine (RS 4)sahip olması bu çalışmanın temel çıktılarından biridir. Bunun nedeni üretim amacından bağımsız

halde üretim boyutu ne olursa olsun özellikle toz malzeme maruziyetinin olabileceği ortamlarda farkında olmadan nanomalzeme maruziyeti ile karşılaşılabilceğinin kanıtlarından birini oluşturmaktadır. Titanyum dioksit için risk seviyesinin dördüncü düzeyde çıkmasının en önemli sebebi şiddet skorunun “yüksek” bandında elde edilmesine rağmen olasılık skorunun “yüksek ihtimal” bandında elde edilmesidir.

Birisi üniversite laboratuvarı diğeri firma olan iki üretim alanında grafen malzemesi için yapılan risk değerlendirmesi sonucunda her iki ortam için de risk seviyesi üçüncü düzeyde (RS 3) çıkmış olup üretim alanından bağımsız şekilde grafen üretimi için mevcut koşullar göz önüne alındığında risk seviyesi üçüncü seviyede (RS 3) elde edilmiştir. Yapılan iki örnek arası farkların testi (independent samples t-test) istatistik analizi de bu sonucu desteklemektedir. Elde edilen bu sonuçlar neticesinde grafen üretimi için risk seviyesinin hem risk değerlendirmesi neticesinde hem de istatistiksel değerlendirme sonucunda üretim alanından bağımsız şekilde birbiri ile benzerlik gösterdiği kanıtlanmıştır.

Aynı şekilde iki üniversite laboratuvarı ve bir firma da gümüş nanoyapılar için yapılan risk değerlendirmesi sonuçları göz önüne alındığında görülmüştür ki bir laboratuvar ve bir firmada yapılan değerlendirme sonucu risk seviyesi ikinci düzeyde (RS 2) diğer laboratuvar da ise üçüncü düzeyde (RS 3) elde edilmiştir. Bu üç gümüş üretim alanında şiddet skorları aynı band aralığında elde edilmiş olup (yüksek) belirleyici olan unsurun olasılık skoru olduğu görülmüştür. İlk iki gümüş nanoyapılar için olasılık bandı “düşük ihtimal” düzeyindeyken üçüncü çalışma alanı için olasılık bandı “olası muhtemel” bölgesinde elde edilmiştir. Sonuç olarak risk seviyeleri ikisi için ikinci seviyede iken olasılık bandı yüksek olan üretim prosesi için üçüncü seviyede çıkmıştır. Gümüş nanoyapılar için yapılan iki örnek arası farkların testi (independent samples t-test) istatistik analizi sonucu da benzer şekilde sonuçlanmıştır. Gümüş nanoyapılar için elde edilen hem risk değerlendirme hem de istatistiki sonuçların da birbiri ile benzerlik gösterdiği kanıtlanmıştır.

Bakır nanoyapı için bir laboratuvar da gerçekleştirilen risk değerlendirmesi sonucu ise şiddet bandının “yüksek” seviyesinde, olasılık bandının ise “olası muhtemel” seviyesinde olmasından dolayı risk seviyesi üçüncü düzeyde (RS 3) elde edilmiştir.

Toplam sekiz risk değerlendirmesi içerisinde yedi risk değerlendirmesinin yapıldığı işyerlerinde amacı nanomalzeme üretmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirilmektedir..

Sonuçlardan da görüldüğü gibi toksik özellikleri kanıtlanan karbon nanotüp üretiminin gerçekleştiği ortam için en yüksek düzeyde risk seviyesi elde edilmiştir. Elde edilen bulgulardan en çarpıcı olanı titanyum maruziyetinin değerlendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Asıl üretim amacı nanomalzemeden bağımsız olarak metal tozlarından medikal implantlar üretmeyi amaçlayan bu çalışma alanında başka bir çalışma grubu tarafından elde edilen bu malzemelerin üretimi sırasında nanoyapıların ortaya çıktığını kanıtlamasıdır.

Tüm malzemeler için yapılan değerlendirmeler göz önüne alındığında aynı ve benzer NM'ler için benzer risk seviyesi sonuçları elde edilmiştir. Bunun en büyük nedeni bu malzemeler için şiddet skorunun ve olasılık skorunun benzer şekilde puanlara sahip olmasıdır. Şiddet skoru hesaplanırken temel olarak üç grup göz önüne alınarak hesaplanmaktadır. Bunlar ana malzemeye ait özellikler, nanomalzemeye ait özellikler ve bu tez kapsamında nanomalzeme üretiminin gerçekleştiği ortamlarda dikkat edilmesi gereken hususlar (havalandırma, KKD kullanımı, temizlik, üretim prosesi ve mühendislik önlemler).

Nanomalzemelerin bilinmeyen toksik özelliklerinden dolayı şiddet skorlarının genel olarak aynı band aralığında bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında değerlendirilen malzemeler için toksik özelliği diğerlerine kıyasla kanıtlanmış olan karbon nanotüp için şiddet skoru en yüksek band aralığında elde edilmiş olup olasılık skorunun risk seviyesinin tespitinde büyük öneme sahip olduğu gözlemlenmiştir (Grafik 4.3). Bunun en güzel örneği TiO<sub>2</sub> nanoyapı maruziyeti için yapılan risk değerlendirmesi sonucu görülmektedir. Yapılan bu risk değerlendirmesi sonucu elde edilen şiddet skoru diğer malzemeler için elde edilen şiddet skoruna oranla en düşük puana sahip olmasına rağmen diğer malzemelere kıyasla olasılık skorunun en yüksek puanı almasından dolayı risk seviyesi dördüncü düzeyde (RS 4) elde edilmiştir. Bu sonuç göstermektedir ki nanomalzemelerin seri olarak üretimine geçilmesi sonucu maruz kalınacak malzemenin, çalışan sayısının, işin sıklığı gibi olasılık skorunu etkileyecek parametrelerin artması bu sektördeki risk seviyesinin daha fazla artacağına sebep olacaktır. Bu çalışma kapsamında yapılan risk değerlendirmesi sonuçları göz önüne alındığında en iyi koşullarda dahi sonucun RS 2 düzeyinde çıktığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda alınması gereken asgari tedbirin RS 2 eşleniğinde çeker ocak veya yerel havalandırmanın önerildiği görülmektedir. NM'lerin üretim aşamasında olması gereken asgari koşul genel havalandırma olduğu halde ziyaret edilen çalışma alanlarının bazılarında genel havalandırmanın dahi olmadığı gözlemlenmiştir.

Literatür detaylı olarak tarandığında bu tez kapsamında yapılan çalışmaya benzer nitelikte yapılan çalışmalar değerlendirilip tartışılmıştır. Genel olarak çevrimiçi programlar kullanılarak [33,35] yapılabilen risk değerlendirmesi için seçilen ve literatürde ayrıntıları ile açıklanan Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracı ile daha önce pilot bir çalışma kapsamında 5 farklı aktivite için metal nanoparçacık üretimi, seramik nanoyapı sentezi, karbon nanotüp üretimi ve uranyum dioksit hazırlama süreçleri için risk değerlendirmesi çalışması yapılmıştır [36]. Yapılan bu değerlendirmeler sonucu bakır, gümüş alümin ve uranyum dioksit nanoyapılar için risk seviyesi üçüncü düzeyde (RS 3), karbon nanotüp, ve seramik nano yapılar için ise risk seviyesi ikinci düzeyde (RS 2) elde edilmiştir.

Paik ve ark. [36] tarafından 2008 yılında yapılan bu çalışma içinde karbon nanotüp üretimi için şiddet bandı “yüksek” olasılık bandı ise “düşük ihtimalli” elde edilmiştir. Bu çalışma için yapılan karbon naotüp çalışmasında ise şiddet bandı “yüksek ihtimal, olasılık bandı ise “olası muhtemel” seviyesindedir. Bu nedenle 2008 yılında yapılan çalışma sonucu elde edilen risk seviyesi ikinci düzeyde (RS 2) iken bu çalışmada elde edilen risk seviyesi dördüncü düzeyde (RS 4) elde edilmiştir. Sonucun farklı olmasının sebepleri göz önüne alındığında üretim koşullarını farklı olmasının yanı sıra hızla gelişen bu teknololojide her geçen gün yeni bilimsel verilerin elde edilmesi ile ilk çalışmanın yaklaşık 8 yıl önce yapılması aradaki bilimsel farktan olduğu düşünülmektedir. Ayrıca daha önce de belirtildiği gibi olasılık skorunun risk seviyesinin belirlenmesinde önemli bir paya sahip olmasının da önemli bir payı bulunmaktadır.

Her iki çalışma göz önüne alındığında bakır nanoyapılar için yapılan risk değerlendirmesi sonuçları oldukça ortak sonuçlardır. 2008 yılında yapılan çalışma sonucu şiddet bandı “yüksek ihtimal” bandında, olasılık bandı ise “olası muhtemel” band aralığında elde edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında değerlendirilen bakır nano yapılar içinde birebir aynı sonuçlara ulaşılmış nihayetinde her iki değerlendirme sonucu risk seviyesi üçüncü düzeyde (RS 3) elde edilmiştir.

Bir diğer çalışma ise Zalk ve ark. [37] tarafından 2009 yılında 27 farklı üretim veya hazırlama sürecinden geçen nanomalzemeler için gerçekleştirilmiştir. 2009 yılında yapılan bu çalışma sonucu değerlendirilen malzemelerden karbon nanotüp için elde edilen risk seviyesi ikinci düzeyde olup (RS 2) bu tez kapsamında değerlendirilen karbon nanotüp için ise dördüncü düzeyde (RS 4) elde edilmiştir. Bu farklılığın temel sebebi şiddet ve olasılık bandları arasında

birer band farklılık olmasıdır. Gümüş nanoyapılar için kıyaslama yapıldığında ise bir fark olmadığı her iki çalışma neticesinde de bu yapılar için elde edilen risk seviyelerinin ikinci ve üçüncü düzeyde olduğu görülmektedir. Asıl büyük fark titanyum nanoyapı maruziyeti için yapılan değerlendirmeler kıyaslandığında göze çarpmaktadır. Bu büyük farklılığın sebebi ise şiddet bandları arasındaki fark bir seviye iken olasılık bandları açısından 2009 yılında yapılan çalışmada en düşük seviye elde edilirken bu tez çalışması için yapılan değerlendirmede en yüksek seviyede elde edilmiştir.

Yarahmadi ve arkadaşları [56] tarafından 2013 yılında yapılan başka bir çalışmada ise 5 farklı proses de gümüş, kalsiyum nanoyapılar ve karbon nanotüp için yapılan değerlendirilmiştir. Yarahmadi ve arkadaşları tarafından değerlendiren karbon naotüp yapıları için risk seviyeleri üçüncü düzeyde elde edilmiştir. Bu tez çalışması içinde değerlendirilen karbon naotüp için risk seviyesinin daha yüksek çıkmasının nedeni olasılık bandlarının ortak olmasına karşın şiddet bandının 2013 yılında yapılan çalışmada “yüksek” düzeyde elde edilmesidir. Gümüş nanoyapılar kıyaslanacak olursa her iki çalışma için oldukça benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmasının NM üretimi için pilot bir çalışma olduğu öngörülürse ülkemizde hem NM üretimi yapacak hem de kullanan veya kullanacak olan firma ve laboratuvarlara referans olması amaçlanmıştır. Bu bağlamda sunulan bu risk değerlendirmesi öncesinde nanomalzeme güvenlik bilgi formu oluşturulmuş (Ek II) ve oluşturulan bu bilgi formu nanomalzeme maruziyeti olabilecek her ortamda konusunda uzman kişilerce doldurulması önerilmektedir. Bu bilgi formunda içeriğinden de görüldüğü gibi hem risk değerlendirmesi için gerekli olan parametrelerin bir kısmı bulunmakta hem de malzemeye özgü diğer kimyasallar için gerekli olan birtakım güvenlik soruları da sorulmaktadır. Bu bilgi formu Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracı için ayrıntılı olarak hazırlanmış (Ek III) nanomalzeme bilgi formundan farklı olarak hazırlanmıştır. Nanomalzeme bilgi formunun içeriğinde de bulunan soruların olduğu ancak ülkemizde bu tez kapsamında ziyaret edilen firma ve laboratuvarlar temel alınarak kullanım açısından daha kolay ve güvenlik açısından incelenen birçok kaynaktan faydalanılarak oluşturulmuştur.

### 6.1. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Dört farklı laboratuvar ve iki farklı firmada yapılan risk değerlendirmesi sonucunda karbon nanotüp ve titanyum dioksit nanoparçacıkları için sonuçlar en yüksek seviye olan dördüncü seviyede (RS 4) çıkmıştır. KB Nano Risk Değerlendirme Aracı bu düzeyde çıkan sonuçlar için “RS 4: Detaylı kontrol önlemlerinin alınması, prosesin durdurulması” önlemini önermektedir.
- ✓ Grafen nanoyapıların, bakır ve gümüş nanotellerin üretiminin yapıldığı çalışma alanları için risk seviyeleri üçüncü düzeyde elde edilmiş ve bu seviye için önerilen önlem “RS 3: Detaylı kontrol önlemlerinin alınması, kullanımının kısıtlanması” dır.
- ✓ Gümüş nanoparçacık üretimi için ziyaret edilen bir firma ve bir laboratuvar da ise sonuç ikinci düzeyde çıkmış olup önerilen önlem “RS 2: Çeker ocak veya yerel havalandırma” olmaktadır.

## 6.2. ÖNERİLER

Risk seviyelerinin daha düşük düzeyde elde edilmesi için:

- ✓ Riskleri bertaraf etmek adına süreç için çok gerekli olmayan en az bir basamak sürecin içinden çıkartılmalı.
- ✓ Sulu sistemde kullanılan çözücünün daha az uçucu ve zehirli olmayan bir çözücü ile değiştirilmeli.
- ✓ Çekiş gücü periyodik olarak kontrol edilen yerel ve genel havalandırma olmalı.
- ✓ Üretim aşamaları kapalı sistemlerde gerçekleştirilerek mümkün olan en üst seviyede izolasyon sistemleri sağlanmalı.
- ✓ Uygun HEPA filtreli solunum koruyucu, TS EN 374 standardına uygun kimyasal risklere karşı koruyucu eldiven ve iş elbisesi kullanılmalı.
- ✓ Çalışanları her çalışmadan sonra özellikle yeme içme alışkanlığından önce ve işi bıraktıktan sonra el yıkama alışkanlığı başta olmak üzere kişisel temizliğe ve arınmaya teşvik edilmeli.
- ✓ Çalışana bulaşma ihtimali olan malzemeler için özel değiştirilebilir kıyafetler sağlanmalı.
- ✓ Nanoparçacıklara açık havada temas edilmemeli.
- ✓ Ortama yayılma ihtimali olan nanoparçacık içeren yapıların kapalı kaplarda saklanmalı.
- ✓ Çalışmanın sonunda veya vardiya devrinden hemen önce çalışma alanının yeterince temizlendiğinden emin olunmalı.

Yapılan bu çalışma sonucu Türkiye’de nanomalzemelerle güvenli bir şekilde çalışmak ve öngörülemeyen maruziyetlerin önüne geçilebilmesi veya mümkün olan en az seviyeye indirilebilmesi amacıyla nanomalzeme üreten, kullanan veya herhangi bir şekilde bu malzeme ile çalışılan iş yerlerinde veya araştırma laboratuvarlarında bu çalışma kapsamında da örneklendirildiği gibi Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracı yöntemi veya literatürde önerilen diğer yöntemler kullanılarak bu malzemelere özgü risk değerlendirmesi çalışmaları uygulanmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1]. European Agency for Safety and Health at Work, Emerging Risks, <https://osha.europa.eu/en/emerging-risks> (Erişim tarihi: 23/09/2015).
- [2]. Song, Y, Li, X, Du, X, Exposure to nanoparticles related to pleural effusion, pulmonary fibrosis and granuloma, European Respiratory Journal, 34, 559-567, 2009.
- [3]. Ozcan, H.G., Gunerhan, H., Yaldirak, H., 11. ulusal tesisat mhendisliği kongresi/İzmir – TMMOB Makine Mhendisleri Odası, 17/20 Nisan 2013.
- [4]. Krupp, F, June, C. H, Let's Get Nanotech Right, The Wall Street Journal, B2, 14 Haziran 2005.
- [5]. Hett, A, Nanotechnology, Small matter, many unknown. [http://www.swissre.com/pws/research%20publications/risk%20and%20expertise/risk%20perception/nanotechnology\\_small\\_matter\\_many\\_unknowns\\_pdf\\_page.html](http://www.swissre.com/pws/research%20publications/risk%20and%20expertise/risk%20perception/nanotechnology_small_matter_many_unknowns_pdf_page.html), (Erişim tarihi 13/11/2015).
- [6]. NIOSH- Current Strategies for Engineering Controls Nanomaterial Production and Downstream Handling Processes, <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2014-102/pdfs/2014-102.pdf>, ( Erişim tarihi: 13/08/2015).
- [7]. Rao, C, N, R, Mller, A, Cheetham, A,K, Nanomaterials Chemistry, 18-31, 2007.
- [8]. Buzea Ivan, C, Blandino, I, P, Robbie, K, Nanomaterials and nanoparticles: Source and toxicity, 2(4), MR17 - MR172 , 2007.
- [9]. Baird, D, Nordmann, A, Schummer, J, Discovering the nanoscale, 2, 140-142, 2005.
- [10]. National Nanotechnology Initiative, Working at the Nanoscale, <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/working-nanoscale> (Erişim Tarihi:09/12/2015).
- [11]. Leydecker, S., Nano Materials: in Architecture, Interior Architecture and Design, 20-23, 2008.
- [12]. International Organization for Standardization, Workplace atmospheres. Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols Inhalation exposure characterization and assessment, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:27628:ed-1:v1:en>, ( Erişim tarihi: 19/01/2016).
- [13]. Aitken, R,J, Chaudhry, MC, Boxall, A,B,A, Hull, M, 'Manufacture and use of nanomaterials: current status in the UK and global trends', Occupational Medicine, 56, 300–306, 2006.

- [14]. Organisation for Economic Co-operation and Development, Considerations In Moving Towards A Statistical Framework For Nanotechnology: Findings From A Working Party On Nanotechnology Pilot Survey Of Business Activity In Nanotechnology, <http://www.oecd.org/sti/biotech/statistical-framework-nanotechnology-business-activity-findings.pdf>, (Erişim tarihi: 12.06.2015)
- [15]. Khan , A,S, Nanotechnology: Ethical and Social Implications, CRC Press, 2-5, 2012.
- [16]. Mazumder, S,Sarkar, D, Puri, IK, Nanotechnology Commercialization: Prospects in India , Journal of Materials Science & Nanotechnology, 2, 4, 2014.
- [17]. Rocco, M,C, International Perspective on Government Nanotechnology Funding in 2005, Journal of Nanoparticle Research, 7(6), 5-8, 2005.
- [18]. The Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Best Practices Guidance for Nanomaterial Risk Management in the Workplace, <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-899.pdf>, (Erişim tarihi: 01/10/2015).
- [19]. EU-OSHA – European Agency for Safety and Health at Work, Workplace exposure to nanoparticles, [https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/literature\\_reviews/workplace\\_exposure\\_to\\_nanoparticles](https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles), (Erişim tarihi: 14/01/2016).
- [20]. International Organization for Standardization, Standards catalogue, [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_tc\\_browse.htm?commid=381983](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=381983), (Erişim Tarihi: 29/09/2016).
- [21]. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Ulusal Bilim ve Teknoloji Politikaları 2003-2013 Strateji Belgesi, [http://www.tubitak.gov.tr/tubitak\\_content\\_files/vizyon2023/Vizyon2023\\_Strateji\\_Belgesi.pdf](http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/Vizyon2023_Strateji_Belgesi.pdf), (Erişim Tarihi: 26/06/2016).
- [22]. Krings, B,J, Muellner, A,S, Interactions between new technologies and the job market, flexicurity and training vocational training, <http://www.itas.kit.edu/pub/v/2007/krmu07a.pdf> (Erişim tarihi: 06/01/2016).
- [23]. Ostiguy, C, Lapointe, G, Ménard, L, Cloutier, Y, Trottier, M, Boutin, M, Antoun, M, Normand, C, Nanoparticles: actual knowledge about occupational health and safety risks and prevention measures, IRSST Report R-455, 19-22, 2006.
- [24]. Chaudhry, Q, Castle, L, Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries, Trends in Food Science & Technology, 22(11), 1-4, 2011.

- [25]. Organisation for Economic Co-operation and Development, Testing Programme of Manufactured Nanomaterials, <http://www.oecd.org/chemicalsafety/nanosafety/testing-programme-manufactured-nanomaterials.htm> (Erişim tarihi: 04/08/2015).
- [26]. Buzea Ivan, C, Blandino, I, P, Robbie, K, Nanomaterials and nanoparticles: Source and toxicity, *Biointerphases*, 2 (4), 21-22, 2007.
- [27]. Chou, Y, Hong Q,S, Chen, C,H,, Peng, Y, W, Chen, H,W, ve ark., Single-walled carbon nanotubes can induce pulmonary injury in mouse model. *NanoLetter*, 8, 437-445, 2008.
- [28]. Shvedova, A,A, Kisin, E,R, Mercer, R, Murray, A,R, Johnson, V,J, Potapovich, A,I, Tyurina, Y,Y, Gorelik, O, Arepalli, S, Schwegler-Berry, D, Hubbs, A,F, Antonini, J, Evans, D,E, Ku, B,K., Ramsey, D, Maynard, A, Kagan, V,E, Castranova, V, Baron, P, Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to singlewalled carbon nanotubes in mice. *Am. J. Physiol. Lung. Cell Mol. Physiol*, 289, L698–708, 2005.
- [29]. Elder, G,R, Silva, V, Feikert, T, Opanashuk, L, Carter, J, Potter, R, Maynard, A, Ito, Y, Finkelstein, J, Oberdörster, G, Translocation of inhaled ultrafine manganese oxide particles to the central nervous system, *Environ. Health Perspect*, 114, 1172–1178, 2006.
- [30]. Takagi, A, Hirose, A, Nishimura, T, Fukumori, N, Ogata, A, Ohashi, N, Induction of mesothelioma in mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube, *Journal of Toxicol Sci*, 33(1), 105–116, 2008.
- [31]. Tsai, S,J, ,Ada, E, Ellenbecker, M,J, 'Airborne nanoparticle exposures associated with the manual handling of nanoaluminia and nanosilver in fume hoods, *Journal of Nanopart. Res*, 11(1), 147, 2009.
- [32]. Höck, J, Hofmann, H, Krug, H, Lorenz, C, Limbach, L, Nowack, B, Riediker, M, Schirmer, K, Som, C, Stark, W, Studer, C, Götz, N, Wengert, S, Wick, P, Guidelines on the Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials. Federal Office for Public Health and Federal Office for the Environment, [http://www.temas.ch/wwwtemas/temas\\_homepage.nsf/vwRes/Spiegel\\_053/\\$FILE/Guidelines+on+the+Precautionary+Matrix+for+Synthetic+Nanomaterials+June+09.pdf](http://www.temas.ch/wwwtemas/temas_homepage.nsf/vwRes/Spiegel_053/$FILE/Guidelines+on+the+Precautionary+Matrix+for+Synthetic+Nanomaterials+June+09.pdf), 2008.
- [33]. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety, <https://www.anses.fr/en>, ( Erişim Tarihi: 23/11/2015).
- [34]. Duuren-Stuurman, B, V, Vink, S, R, Verbist, K, J, M, Heussen, H, G, A, Kroese, D, E, D, Niftrik, M, F, J, V, Tielemans, E, Fransman, W, The ;Annals of Occupational

- Hygiene, Stoffenmanager Nano Version 1.0: A Web-Based Tol for Risk Prioritization of Airbone Manufactured Nano Objects, 5(56), 525-541, 2012.
- [35]. Russell, R.M, Maidment, S,C, Brooke, I, Topping, M.D, An introduction to a UK References 81 scheme to help small firms control health risks from chemicals, Ann Occup Hyg, 42(6), 367–376, 1998.
- [36]. Paik, S.Y, Zalk, D,M, Swüste, P, Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures, Ann Occup Hyg, 52, 419–28, 2008.
- [37]. Zalk, D,M, Samuel, Y, Paik, P, S, Evaluating the Control Banding Nanotool: a qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures, J Nanopart Res 11, 1685–1704, 2009.
- [38]. Warheit, D, B, Sayes, C, M, Reed, K, L, Swain, K, A, Health effects related to nanoparticle exposures: Environmental, health and safety considerations for assessing hazards and risks, Pharmacology & Therapeutics, 120, 35–42, 2008.
- [39]. Helland, A, Scherlinger, M, Siegrist, M, Kastenholz, H, G, Wiek, A, Scholz, R, W, Risk Assessment of Engineered Nanomaterials: A Survey of Industrial Approaches, Environ. Sci. Technol, 42, 640-646, 2008.
- [40]. The National Institue for Occupational Safety and Health, Current strategies for engineering controls in nanomaterial production and downstream handling processes, <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2014-102/pdfs/2014-102.pdf>, (Erişim tarihi: 22/07/2015)
- [41]. The Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Nanoparticles : Actual Knowledge About Occupational Health and Safety Risks and Prevention Measures – IRSST, <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/pubirsst/R-470.pdf>, (Erişim tarihi: 28/10/2015).
- [42]. Sutariya, V, K, B, Pathak, Y, Biointeractions of Nanomaterials, 62-65, 2015.
- [43]. Smijs, T.G.M., Bouwstra, J.A., Focus on skin as a possible port of entry for solid nanoparticles and the toxicological impact, Journal of Biomed Nanotechnol, Sayı: 6(5) Sayfa: 469–484, 2010.
- [44]. Woskie, S, Workplace practices for engineered nanomaterial manufacturers, WIREs Nanomed Nanobiotechnol, 2(6), 685–692, 2010.
- [45]. Golanski, L, Guiot, A, Rouillon, F, Pocachard, J, Tardif, F, Experimental evaluation of personal protection devices against graphite nanoaerosols: Fibrous filter media, masks, protective clothing, and gloves, Hum Exp Toxicol, 28(6-7), 353-359, 2009.

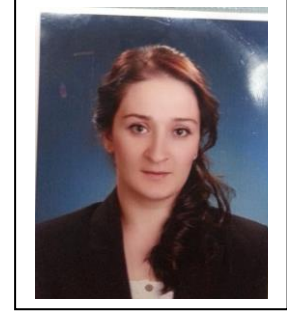
- [46]. Gao, P, Jaques, P,A, Hsiao, T,C, Shepherd, A, Eimer, B,C, Yang, M, Miller, A, Gupta, B, Shaffer, R, Evaluation of nano- and submicron particle penetration through ten nonwoven fabrics using a winddriven approach, *Journal of Occup Environ Hyg*, 8(1), 13-22, 2011.
- [47]. Kim, C,S, Matthew, S, Harrington, S, Pui, D, Experimental study of nanoparticles penetration through commercial filter media, *Journal of Nanoparticle Research*, 9, 117-125, 2007.
- [48]. Balazy, A, Toivola, M, Reponen, T, Podgorski, A, Zimmer, A, Grinshpun, S.A, Manikinbased performance evaluation of n95 filtering-facepiece respirators challenged with nanoparticles, *Annals of Occupational Hygiene*, 50, 259-269, 2006.
- [49]. Rengasamy, S, Eimer, B, C, Shaffer, R, E, Comparison of nanoparticles filtration performance of NIOSH-approved and CE-Marked particulate filtering facepiece respirators, *Ann Occup Hyg*, 53(2), 117-128, 2009.
- [50]. Bose, S, Kuila, T, Mishra, A, K, Rajasekar, R, Kimc, N, H, Lee, J, H, Carbon based nanostructured materails and their composites as supercapacitor electodes, *Journal of Materials Chemistry*, 22, 767-784, 2012.
- [51]. De Volder, M, F, L, Tawfick, S, H , Baughman, R, H, Hart, A, J, Carbon Nanotubes: Present and Future Commercial Applications, *Science*, 339( 6119), 535-539, 2013.
- [52]. Kholoud, M, M, El-Nour, A, Eftaiha, A, Al-Warthan, A, Ammar, R, A, A, Synthesis and applications of silver nanoparticles, *Arabian Journal of Chemistry*, 3, 135–140, 2010.
- [53]. Sharma, V, K, Yngard, R, A, Lin, Y, Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities, *Advances in Colloid and Interface Science*, 145(1-2), 83–96, 2009.
- [54]. Bayırlı, A, Orujalıpoor, I, Demir, O, Dursun, A, M, İde, S, SWAXS Examination of Metallic Alloy Implants Produced by Selective Laser Melting, 4. International Conference on Superconductivity and Magnetism, 27 Nisan– 2 Mayıs, 2014.
- [55]. Bayırlı, A, Orujalıpoor, I, Demir, O, Dursun, A, M, İde, S, 4. National Crystallography Meeting, 16-19 Mayıs, 2014.
- [56]. Yarahmadi, R, Dizaji, R, A, Farshad, A, A, Teimuri, F, Soleiani, M, Occupational Risk Assementof Engineered Nanomaterials by Control Banding Method in Chemistry Laboratories, *Journal of American Science*, 9, 6-7, 2013.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

SOYADI, adı : ÜNVER, Hülya  
Doğum tarihi ve yeri : 14.03.1985, Ankara  
Telefon : 03122571690  
E-Posta : hülya.unver@csgb.gov.tr



### Eğitim

| Derece        | Okul                                                              | Mezuniyet tarihi |
|---------------|-------------------------------------------------------------------|------------------|
| Doktora       | TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi/<br>Mikro ve Nanoteknoloji | Devam Ediyor     |
| Yüksek lisans | TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi/<br>Mikro ve Nanoteknoloji | 2012             |
| Lisans        | Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Kimya                             | 2010             |
| Lise          | Fatih Sultan Mehmet Lisesi/Ankara                                 | 2004             |

### İş Deneyimi

| Yıl           | Yer                                  | Görev                             |
|---------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 2012- (Halen) | Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı | İş Sağlığı ve Güvenliği Uzm. Yrd. |

### Yabancı Dil

İngilizce (YDS-2015: 75)

### Mesleki İlgi Alanları

Nano teknoloji, Risk Değerlendirmesi, Proje Yönetimi

## YAYINLAR

1. **H, Unver**, Nanomalzeme Üretimi Yapılan Bir Laboratuvarda Risk Değerlendirilme Örneği, 8. Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı İstanbul, Türkiye, 8-11 Mayıs 2016
2. **H, Unver**, K, Cinar, Savunma Ve Güvenlik Sektöründeki Benzen Maruziyetinin 4 Farklı İş Koluna Göre İncelenmesi, 7. Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 5-7 Mayıs 2014
3. N, D, Sankır, E, Aydın, **H, Unver**, E, Uluer, Effect of Thickness on the film Properties of Spray Deposited Copper Indium Sulfide Thin Films by Ultrasonic Impact Nozzle, International Journal of Renewable Energy Research, 3(2), 491-496, 2012.
4. N, D, Sankır, E, Aydın, **H, Unver**, E, Uluer, Preperation and Characterization of Cost Effective Spray Pyrolyzed Absorber Layer for Thin Film Solar Cells, Solar Energy, 2013.
5. N, D, Sankır, E, Aydın, **H, Unver**, E, Uluer, Uluer, Molybdenum Thin Flms for High Temperature Photovoltaic Fabrication Process, VIII Minks International Seminar, Minks, Belarus, 12-15 Eylül, 2011.
6. N, D, Sankır, E, Aydın, **H, Unver**, E, Uluer, Akbar, D, Bilikmen, S, Effects of Dual RF Plasma Treatment on Polyimide Films Used as Flexible Substrates for Solar Cell Applications, IUPAC World Polymer Congress, USA, Haziran 2012.
7. N, D, Sankır, E, Aydın, **H, Unver**, E, Uluer, Effect on the Film Properties of Spray Deposited CuInS<sub>2</sub> Thin Films by Using Ultrasonic Impact Nozzle, III International Conference on Nuclear & Renewable Energy, Istanbul, Türkiye, Mayıs 2012.
8. N, D, Sankır, E, Aydın, **H, Unver**, E, Uluer, Spray Depositim of Nanocrystal indium sulfide thin films: Effect of Infuse Rate, Nano TR8, Ankara, Türkiye, Haziran 2012.
9. N, D, Sankır, E, Aydın, **H, Unver**, E, Uluer, Spray Depositim of Nanocrystal indium sulfide thin films: Effect of Solution Stoichiometry, Nano TR8, Ankara, Türkiye, Haziran 2012. (POSTER SUNUMU)
10. N, D, Sankır, E, Aydın, **H, Unver**, E, Uluer, Effect of Solution Stoichiometry on the Film Properties of Spray Deposited CuInS<sub>2</sub> Films by Ultrasonic Impact Nozzle, Nano TR8, Ankara, Türkiye, Haziran 2012. (POSTER SUNUMU)
11. N, D, Sankır, E, Aydın, **H, Unver**, E, Uluer, Plasma Surface Modification of Polyimide Films as Flexible Substrates for Solar Cell Application, 10th Chemical Physics Congress, Ankara, Türkiye, Ekim, 2012. (POSTER SUNUMU)

## **EKLER**

**EK I:** Eklenen Yeni Şiddet Parametreleri İle Şiddet Ve Olasılık Seviyelerine Bağlı Risk Seviyesi (RS)

**EK II:** Nanomalzeme Güvenlik Bilgi Formu

**Ek III.** Nanomalzeme Bilgi Formu

**EK IV:** Nanomalzeme Üretiminde Kontrol Bandı Risk Değerlendirmesi Uygulama Rehberi

**EK I: Eklenen Yeni Şiddet Parametreleri İle Şiddet Ve Olasılık Seviyelerine Bağlı Risk Seviyesi (RS)**

**Olasılık**

|               |                         |                              |                             |                              |                               |
|---------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Şiddet</b> |                         | Mümkün<br>olmayan<br>( 0-25) | Düşük<br>ihtimal<br>(26-50) | Olası<br>muhtemel<br>(51-75) | Yüksek<br>ihtimal<br>(76-100) |
|               | Çok yüksek<br>( 91-120) | RS 3                         | RS 3                        | RS 4                         | RS 4                          |
|               | Yüksek<br>(61-90)       | RS 2                         | RS 2                        | RS 3                         | RS 4                          |
|               | Orta<br>(31-60)         | RS 1                         | RS 1                        | RS 2                         | RS 2                          |
|               | Düşük<br>(0-30)         | RS 1                         | RS 1                        | RS 1                         | RS 2                          |

**EK II: Nanomalzeme Güvenlik Bilgi Formu**

| Nanomalzeme Bilgi Formu            |             |             |
|------------------------------------|-------------|-------------|
|                                    | Ana Malzeme | Nanomalzeme |
| 1. Adı                             |             |             |
| 2. Maruziyet sınır değeri          |             |             |
| 3. Yüzey reaktivliği               |             |             |
| 4. Parçacık şekli                  |             |             |
| 5. Parçacık çapı                   |             |             |
| 6. Kanserojen                      |             |             |
| 7. Deri üzerindeki toksisitesi     |             |             |
| 8. Deriye nüfus                    |             |             |
| 9. Üreme sistemi üzerindeki etkisi |             |             |
| 10. Mutajen                        |             |             |
| 11. Astım yapıcı                   |             |             |
| <b>Güvenlik Bilgi Verileri</b>     |             |             |
| Suda çözünürlüğü                   |             |             |
| Buhar Basıncı                      |             |             |
| Alevlenebilirliği                  |             |             |
| Patlayabilirliği                   |             |             |
| Kimyasal Reaktivitesi              |             |             |
| Aşındırıcılığı                     |             |             |

**Ek III. Nanomalzeme Bilgi Formu**

| Nanomalzeme Bilgi Formu                            |  |
|----------------------------------------------------|--|
| Program                                            |  |
| Aktivite numarası                                  |  |
| Çalışma konumu                                     |  |
| İlgili kişi iletişim bilgileri                     |  |
| <b>Malzeme ve iş açıklamaları</b>                  |  |
| Materyalin ismi (CAS numarası ve varsa MSDS)       |  |
| Nanomalzeme tedarikçisi ismi ve iletişim bilgileri |  |
| İşleme, kullanım açıklamaları                      |  |
| Kullanım faydaları                                 |  |
| Amaçlanan alt kullanım alanı                       |  |
| Güvenli kullanım bilgileri mevcut                  |  |
| <b>Ana malzeme özellikleri</b>                     |  |
| Maruziyet sınır değeri                             |  |
| LD50                                               |  |
| Mutajenliği                                        |  |
| Kanserojenliği                                     |  |
| Üreme sistemi üzerindeki etkisi                    |  |
| Dermal etkileri                                    |  |
| Astımajenliği                                      |  |

| <b>Nanoboyuttaki malzemenin özellikleri</b>      |  |
|--------------------------------------------------|--|
| Kimyasal formu ( sıvı süspansiyon, kuru toz, vb) |  |
| Parçacık boyutu/boyutları                        |  |
| Parçacık şekli                                   |  |
| Yüzey aktifliği                                  |  |
| Çözünürlüğü                                      |  |
| Yığılnlaşma, toplanma veya kümelenme potansiyeli |  |
| Tozluluk, kirlilik potansiyeli                   |  |
| Materyalin saflığı                               |  |
| Alevlenebilirliği                                |  |
| Parlama noktası                                  |  |
| Substrat toksisite                               |  |
| LD50                                             |  |
| Mutajenliği                                      |  |
| Kanserojenliği                                   |  |
| Üreme sistemi üzerindeki etkisi                  |  |
| Dermal etkileri                                  |  |
| Astımajenliği                                    |  |
| Organizmaya etkileri                             |  |
| Biyobirikim potansiyeli                          |  |
| Bozuşma, ayrışma                                 |  |

| <b>Kullanım</b>                                                                                                                         |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Günlük ortalama kullanım                                                                                                                |  |
| Günlük kullanılan en yüksek miktar                                                                                                      |  |
| İşlem frekansı (günlük, aylık, v.b)                                                                                                     |  |
| İşlem süresi (saat)                                                                                                                     |  |
| Maruziyet yolları                                                                                                                       |  |
| Benzer maruziyette çalışan sayısı                                                                                                       |  |
| <b>KKD ve kontroller</b>                                                                                                                |  |
| Mühendislik kontroller                                                                                                                  |  |
| İdari kontroller                                                                                                                        |  |
| Kullanılan KKD listesi                                                                                                                  |  |
| Döküntü va kalıntılar için temizlik presedürü                                                                                           |  |
| Atık prosedürü (tehlikeli atıklar)                                                                                                      |  |
| Materyalin depolanmasında kullanılan konteyner                                                                                          |  |
| Nanomlazemlerele kullanılan ekipmalar                                                                                                   |  |
| Döküntü azaltıcı ekipmanların, mühendislik kontrol ekipmanların ve güvenlik ekipmanlarının ( göz banyosu, güvenlik duşu v.b) lokasyonu. |  |

**EK IV: Nanomalzeme Üretiminde Kontrol Bandı Risk Değerlendirmesi Uygulama Rehberi.**

T. C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

*Adres: İnönü Bulvarı No:42 Pk: 06520*

*Emek / ANKARA*

*Telefon: 0 312 296 60 00*

*Fax: (0312) 257 16 11*

<http://www3.csgb.gov.tr/csgbPortal/isggm.portal>

**©2016 İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü**, işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği kültürünün artmasına katkı sağlayacağından dolayı bu rehberin, kaynak gösterilmesi şartıyla, kopyalanmasını, yazdırılmasını ve dağıtılmasını desteklemektedir. Ancak, bu rehberin hiçbir bölümü, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü'nün izni olmadan başka kaynaklarda kullanılamaz, para karşılığı satılamaz ve ticari faaliyetlerde kullanılamaz.

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı diğer kaynaklar için internet adresimizi ziyaret edebilirsiniz. Afiş, broşür, basılı yayın, eğitim, ölçüm gibi talepleriniz için lütfen irtibata geçiniz.

# **HAZIRLAYAN**

**Hülya ÜNVER**

**İSG Uzman Yardımcısı**

## 1. Giriş

Nanoteknoloji, maddelerin atomik boyuttaki yapılarından yola çıkarak yeni ve faydalı özellikler kazanmasını sağlamak amacıyla üretilmesidir. Malzemenin en az bir boyutunun 1 ile 100 nm arasında olması durumunda o malzemeye nanomalzeme adı verilmektedir.

Tüm dünyada gelişen bu sektöre ilgi her geçen gün büyüyerek artmakta olup sahip olduğu özellikler sayesinde birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Enerji, tıp, iletişim, temizlik, kozmetik başta olmak üzere endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Nanomalzemeler birçok yeni özelliği ile endüstrinin birçok alanına yeni olanaklar sağlasa da bu avantajları ile birlikte yeni riskleri ve bilinmeyenleri de beraberinde getirmektedir. Sektörün büyüme hızına bağlı olarak bu alanda çalışan sayısı da her geçen gün artmaktadır. İlk etapta bu malzemelere temas halinde olan çalışanlar açısından önemli tehlikelere sebep olabilmektedir.

Nanomalzeme üretimi veya araştırılması aşamasında çalışanlar bu malzemelere soluma, sindirim ve deri yolu ile maruz kalmaktadırlar. İnsan sağlığı üzerindeki etkileri kesinlik kazanmamış olan bu malzemeler için yapılan bilimsel çalışmalar biyolojik olarak aktif olabildiğini ve boyutlarından dolayı kolay bir şekilde insan vücuduna girebildiğini göstermektedir. İnsan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri yeni yeni ortaya çıkan ve asbest benzeri özellik gösterdiği kanıtlanan bu malzemelerin kullanımı, taşınması ve en önemlisi üretimi esnasında alınması gereken önlemler büyük önem taşımaktadır. Elde edilen en önemli etkisi akciğerlerde sebep olduğu ortaya çıkan doku hasarından dolayı fibröz ve tümör oluşumudur. Kana karıştığında diğer organlara da yayılımı kolay olup birçok hayati organa zarar verme potansiyeline sahiptir.

Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı (EU-OSHA) gelişen potansiyel tehlikeler ile ilgili alanında uzman kişiler tarafından öngörülerde bulunmuş ve gelişmekte olan bu potansiyel tehlikelerin başında nanoparçacıkları ve çok küçük parçacıkları en tehlikeli olanları olarak belirlemiştir. Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Teşkilatı (OECD) bünyesinde kurulan “Üretilen Nanomalzemeler Çalışma Grubu”, Kasım 2007’de “Üretilen Nanomalzemeler İçin Test Programı” yayınlamış olup bu program, üretimi yapılan çeşitli nanomalzemelerin insan ve çevre sağlığı ve güvenliği açısından birtakım testlere dair inceleme ve araştırma yürütmektedir. Üretilen bu malzemeler için ilk olarak geniş bir liste belirlemiş ancak sonra

test programı için aşağıda bulunan 11 tane yaygın kullanılan nanomalzeme belirlenmiş ve güvenliğinden emin olunması gerektiği vurgulanmıştır,

12) Fuleren (C60)

13) Tek duvarlı karbon nanotüp (TDKNT)

14) Çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT)

15) Gümüş nanoparçacık

16) Titanyum dioksit

17) Seryum oksit

18) Çinko oksit

19) Silisyum dioksit

20) Dendrimer

21) Nanokil

22) Altın nanoparçacık

## **2. Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracı**

Kontrol Bandı (Control Banding), tehlike ve maruziyet senaryolarının tamamından bağımsız olarak kontrollerle ilgili uygun seviyeler hakkında karar vermeye olanak sağlar. Kimyasal maddeler için çözümler ve kontrol önlemleri oluşturmaya dayalı risklerin belirlenmesi yöntemidir. [35]Bu yöntem potansiyel maruziyetleri veya maruziyet senaryolarına bağlı, sağlığa dair tehlikelerin kategorileri istenilen kontrol düzeyini belirlemek için kullanır. Çalışanların dokunduğu malzemeler hakkında farmakolojik ve toksikolojik bilgilerin eksikliğinden dolayı risk yönetimi yaklaşımı açısından Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracı (Control Banding Nanotool) birçok ülkede uygulanan nitel bir karar matrisi olmuştur. Kontrol Bandının (KB), toksikoloji ve maruziyet bilgisi eksikliğinde çalışanların maruziyet durumu için etkili bir strateji sağladığı kanıtlanmış ve iş yerlerinde nanomalzeme maruziyetinin yönetimi bakımından potansiyel olarak kullanışlı bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

KB Nano Risk Değerlendirme Aracı da tipik bir risk değerlendirme matris metodudur. Tipik bir matris metodu yaklaşımında, bir riskin gerçekleşme ihtimali ile gerçekleşmesi sonucunda ortaya çıkaracağı şiddet derecesi gibi iki faktör değerlendirilerek bir risk ölçüm değeri elde edilir. KB Nano Risk Değerlendirme Aracı geliştirilirken göz önünde tutulması gereken önemli şey şiddet faktörü ile ilgili birçok faktör hakkında bilinmezlik ve belirsizliktir. Bilinmeyen bir tehlike varsa onun yüksek tehlikede olduğu düşünülmeli ve kötü durum senaryoları doğrultusunda gerekli önlemler alınmalıdır. Bu nedenle ‘bilinmeyen bilgi’ ile ilgili verilen faktöre % 75 değerinde ‘yüksek’ bir puan değeri verilmesi uygun görülmektedir. Bir diğer faktör olan olasılık faktöründe çalışanın nanomalzemeye maruz kalma potansiyeli değerlendirilmektedir.

Kontrol bandı risk değerlendirmesi parametreleri şiddet ve olasılık olmak üzere ikiye ayrılıp her parametre için değerlendirilen alt başlıklar aşağıda detaylıca açıklanmaktadır.

## **2.1. Şiddet Faktörleri**

Mevcut literatür bilgisi kapsamında, nanomalzemelerin bilinen toksik özelliklerine bakılarak şiddet parametreleri ile nanomalzemeler için toplam şiddet faktörü hesaplanabilir. KB Nano Risk Değerlendirme Aracının amacı nanomalzeme toksisitesi ile ilgili güncel bilgiler kapsamında tüm önemli faktörleri hesaba katmaktır. Bu faktörler, parçacıkların solunum yollarına, solunum yolunda bulunan bölgelere ulaşmasını, deri yolu ile emilimi ve biyolojik sistemlerde bir takım problemlerin ortaya çıkmasını sağlayacak özelliklerini etkiler.

Nanomalzemeler için bireysel şiddet faktörleri aşağıda belirtildiği gibidir.

### **2.1.1. Nanomalzemelerin yüzey kimyası**

Solunan parçacıklar için yüzey kimyası toksisiteyi etkileyen anahtar faktörlerden birisidir. Verilen puanlamalarda nanoparçacıkların yüzey aktivitesinin yüksek, orta veya düşük olması durumuna göre değerlendirilmektedir. Yüzey kimyasının yüksek olması durumunda en yüksek düzeyde olan on puan, orta olması durumunda beş puan, düşük olması durumunda sıfır puan ve bilinmediği durumda ise yedi buçuk verilmektedir.

### **2.1.2. Nanomalzemelerin parçacık şekli**

Yapılan çalışmalar sonucunda fiberli yapıların kanser ve fibröze sebep olduğu kanıtlanmış ve bu yöntemde de en yüksek şiddet seviyesi lifsi ve boru biçimli şekillere verilmiştir. Düzensiz

şekli (anizotropik) olan parçacıklar küresel şekillere göre daha geniş yüzey alanına sahiptir. Bu nedenle bu parametre için puanlama lifsi, boru biçimli parçacıklar için on puan, düzensiz şekiller için beş puan, küresel yapılar için sıfır puan ve parçacık şekli bilinmeyen yapılar için ise yedi buçuk puan şeklindedir.

### **2.1.3. Nanomalzemelerin parçacık çapı**

Parçacıkların şiddet faktörleri, solunum sisteminin neresine olduğuna bakılmaksızın solunum sistemine depolanmasına bağlı olarak etki etmektedir. Parçacık boyutu 1-10 nm aralığında olan malzemelerin akciğerde daha fazla depolanma eğilimi gösterdiği görülmüştür. Faktörlerin etkilerinin geliştirilmesi için parçacık boyutu üzerindeki toksikolojik öneme dair ek bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. 1-10 nm parçacık çapına sahip malzemelerin akciğerde daha fazla depolanma eğilimi gösterdiğine dair bilgiler bulunduğundan bu aralıkta bulunan yapılara on puan, 11-40 nm aralığında olanlara beş puan, 41 nm den daha büyük çaptaki yapılara sıfır puan ve parçacık çapının bilinmediği durumlarda ise yedi buçuk değerinde puan verilmektedir.

### **2.1.4. Nanomalzemelerin çözünürlüğü**

Düşük çözünme sahip solunabilir parçacıkların oksidatif strese sebep olup iltihap, fibröz ve kansere sebep olmaktadır. Çözünen nanoparçacıklar ise kanda da çözünerek ciddi etkilere sebep olabilir. Bu durumda çözünemeyen parçacıkların daha tehlikeli olduğu göz önünde bulundurulduğundan hesaplamada on puanla değerlendirilirken çözünen nanomalzemeler için ise beş puan verilmektedir. Yöntemin özelliği gereği bilinmeyen durum %75 değerinde puanlandırıldığından malzemenin çözünürlüğü hakkında herhangi bir bilgi bulunmaması durumunda ise yedi buçuk değerinde puanlandırılmaktadır.

### **2.1.5. Nanomalzemelerin kanserojenliği**

Nanomalzemenin insan ve hayvan üzerindeki kanserojen etkisi ayırt edilmeksizin kanserojen olup olmadığına bağlı olarak puanlamalar belirlenir. Bu konuyla ilgili çok az bilgi bulunmaktadır. Kanserijen olduğu kanıtlanmış olan malzemelere altı puan verilirken, kanser

etkisi bulunmayanlara sıfır puan, kanserojen etkisi bilinmeyenlere ise dört buçuk puan verilmektedir.

#### **2.1.6. Nanomalzemelerin üreme sistemi üzerindeki etkisi**

Nanomalzemenin üreme sistemine zararlı olup olmadığına bağlı olarak puanlamalar belirlenir. Bu konuyla ilgili kanserojen parametresinde olduğu gibi çok az bilgi mevcuttur. Nanomalzemelerin üreme sistemi üzerindeki zararlı etkileri kanıtlanmış olan malzemelere altı puan verilirken, etkisi bulunmayanlara sıfır puan, etkisi bilinmeyenler ise dört buçuk puan verilmektedir.

#### **2.1.7. Nanomalzemelerin mutajenliği**

Nanomalzemenin mutajen olup olmadığına bağlı olarak puanlamalar belirlenir. Malzemelerin teknolojik olarak gelişimleri henüz çok yeni olduğu için mutajenliği ile ilgili çok az bilgi mevcuttur. Bu nedenle puanlama kanserojen ve üreme sistemi üzerindeki etkisi ile benzer şekilde yapılmaktadır. Mutajen olduğu kanıtlanan malzemeye altı puan, mutajen olmadığı kanıtlanan malzemeye sıfır puan ve bu konu hakkında herhangi bir veri bulunmamış durumunda ise dört buçuk puan ile değerlendirilmektedir.

#### **2.1.8. Nanomalzemelerin dermal olarak etkisi**

Nanomalzemenin dermal olarak tehlikeli olup olmadığına bağlı olarak puanlamalar belirlenir. Aynı şekilde malzemelerin yeni geliştirilip üretilmesinden dolayı dermal olarak tehlikeli olup olmadığı ile ilgili de çok az bilgi mevcuttur. Benzer şekilde dermal olarak toksik etkisi kanıtlanmış olan malzemelere altı puan, toksik olmadığı kanıtlanmış olanlara sıfır puan ve herhangi bir bilginin bulunmadığı durumda dört buçuk puan ile değerlendirilmektedir.

#### **2.1.9. Nanomalzemelerin astım yapabilme özelliği**

Nanomalzemenin astım yapma etkisi olup olmadığına dair yapıla puanlama benzer şekilde yapılmaktadır. Astım yaptığı kanıtlanan malzemeye altı puan, astım yapmadığı kanıtlanan malzemeye sıfır puan ve bu konuda herhangi bir bilgi bulunmadığı durumda ise dört buçuk puan verilmektedir.

#### **2.1.10. Ana malzemenin toksisitesi**

Her ne kadar araştırmalar nanomalzemenin ana malzemeden daha toksik olabileceğini belirtse de nanomalzemenin toksisitesini anlamak bu risk değerlendirmesi açısından daha net olacaktır. Bu malzemelerin üretiminde kullanılan ana malzemelerin birçoğunun maruziyet sınır değeri bilinmektedir. Puanlandırma yığın malzemenin OEL'ine (maruziyet sınır değer) bağlı olarak belirlenir. Bu madde iin puanlamada beş şekilde yapılmaktadır. Ana malzemenin maruziyet sınır değerı  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  'dan küçükse on puan,  $10-100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aralığındaysa beş puan,  $101 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 1\text{mg}/\text{m}^3$  aralığında iki buçuk puan almaktadır. Maruziyet sınır değerı  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$  'den bk ise sıfır puan ve bilinmediği durumda yedi buçuk puan almaktadır.

#### **2.1.11. Ana malzemeni kanserojenliği**

Nanomalzemeye kıyasla ana malzemeler genelde yaygın kullanılmakta olan malzemelerdir. Daha fazla bilimsel çalışma yapıldığından ana malzemeye dair daha fazla bilgi mevcuttur. Ana malzemenin kanserojen olup olmadığına göre yapılan puanlamada kanserojen etki gösterdiği kanıtlanmış malzemelere dört puan, kanser yapmadığı kanıtlanmış olan malzemelere sıfır puan ve kanserojen etkisi hakkında bilgi sahibi olunmayan malzemelere ise üç puan verilmektedir.

#### **2.1.12. Ana malzemenin üreme sistemi üzerindeki etkisi**

Ana malzemenin üreme sistemi üzerindeki toksik etkisi olup olmadığına göre yapılan puanlamada toksik etki gösterdiği kanıtlanmış malzemelere dört puan, toksik etkisi olmadığı kanıtlanmış malzemelere sıfır puan ve toksik etkisi hakkında bilgi sahibi olunmayan malzemelere ise üç puan verilmektedir.

#### **2.1.13. Ana malzemenin mutajenliği**

Nanomalzeme retimi için kullanılan ana malzemenin mutajen özelliği de çalışan maruziyeti açısından tıpkı nano boyutta elde edilen yapıların mutajenliği gibi önem taşıyan bir diğer etkindir. Bu alanda yapılan puanlamada mutajen özellik gösterdiği kanıtlanmış malzemelere dört puan, mutajen etkisi olmadığı kanıtlanmış malzemelere sıfır puan ve bu konuda hakkında bilgi sahibi olunmayan malzemelere ise üç puan verilmektedir.

#### **2.1.14. Ana malzemenin dermal olarak etkisi**

Benzer şekilde puanlandırılan bu parametre için ana malzemenin dermal olarak toksik olduğu kanıtlanmış olması durumunda dört puan, dermal olarak toksik olmadığı kanıtlanmış olması durumunda sıfır puan ve bu alanda yeterli bilginin bulunmadığı durumda ise üç puan ile değerlendirilmektedir.

#### **2.1.15. Ana malzemenin astım yapabilme özelliği**

Ana malzemenin astım yapabilme özelliği göz önünde bulundurularak yapılan bu değerlendirmede ana malzemenin astım yapma özelliğine sahipse dört puan, astım yapma özelliğine sahip değilse sıfır puan ve astım yapıp yapmadığına dair bir bilgi mevcut değilse üç puan verilmektedir.

Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendireme Aracı, ülkemizdeki durum göz önüne alınarak ve literatür kaynaklarından yararlanılarak şiddet parametrelerini biraz daha geliştirilmeye çalışılmış ve bu parametrelere ek olarak 5 parametre daha eklenmiştir. Eklenen bu parametreler aşağıda açıklanmaktadır.

#### **2.1.16. Üretim prosesi**

Nanomalzemeler için üretim prosesi önemli bir yer tutmaktadır bunun sebebi nanoparçacıklar havada asılı olarak bulunup kolayca solunabilmektedirler. Bu nedenle prosesin kuru olması durumunda havada daha çok paracık bulunduğu durumu göz önüne alınarak yüksek puanlandırılmıştır. Prosesin ıslak olması yani herhangi bir çözücünün içinde solüsyon halinde bulunması durumu ise havada asılı bulunan parçacık açısından daha kontrollü olduğu öngörölüp daha düşük puanlandırılmıştır. Prosesin kuru olması durumunda dört, ıslak olması durumunda iki ve bilinmemesi durumunda ise üç puan ile derecelendirilmiştir.

#### **2.1.17. Mühendislik önlemler**

Önemli bir kontrol basamağı olan mühendislik önlemleri KKD kullanımından önce yapılması gereken adımlardan biri olduğu için bu kategoride değerlendirilmiş olup önlem alınmayan durum için en yüksek puanlandırma yapılmıştır. Mühendislik önlemlerinin alınmadığı

durumda dört, yeterli olmadığı durumda iki ve uygun olması durumunda ise sıfır puan verilmektedir.

#### **2.1.18. KKD kullanımı**

Nanomalzeme üretimi yapılan çalışma ortamlarında HEPA filtreli tam yüz maskeleri önerilmekte olup polietilen veya lateks eldivenlerin kullanımı uygun bulunmuştur. Bu nedenle henüz toksik etkileri netlik kazanmamış ve potansiyel tehlikeli olarak yorumlanan bu malzemelerin kullanımı, üretimi ve yan ürün olarak oluşma ihtimallerine karşın önerilen koruyucu donanım kullanımı önem arz etmektedir. Şiddet parametrelerine eklenen KKD kullanımı kategorisi, kullanılmayan durum için dört puanı alırken yeterli olmayan durumlarda iki ve uygun olduğu düşünülen ortamlar için sıfır puan almaktadır.

#### **2.1.19. Havalandırma**

Nanoparçacıklar havada asılı olarak bulunup kolayca solunabilmektedirler. Bu nedenle genel olarak maruziyetinin oluşabileceği ortamların havalandırılması büyük önem arz etmektedir. Bu anlamda en güvenli yöntem vakum odası olmakla birlikte en olumsuz durumda bile düzenli olarak çekiş gücü kontrol edilen çeker ocaklar ve yerel havalandırmalar bulunması gerekmektedir. Bu nedenle bu risk değerlendirmesi şiddet parametrelerinde bulunması gerektiği düşünülen bu kategori herhangi bir havalandırmanın olmadığı durumda dört puanla puanlandırılması uygun görülmüştür. Puanlandırma yerel havalandırmanın olduğu ortamlarda üç, çeker ocak bulunan ortamlarda iki ve temiz odanın bulunduğu durumlarda ise sıfır ile derecelendirilmiştir.

#### **2.1.20. Temizlik**

Herhangi bir kimyasalla çalışıldığında ve çalışma sonlandığında ortamın temizliği kontaminasyonun önlenmesi açısından önemlidir. Nanomalzemeler ile çalışırken ve çalıştıktan sonra da ortamın temizliği büyük öneme sahiptir[40]. Genel olarak havalandırma ile ortamdaki atılamayan nanoparçacıklar için uygun temizlik koşullarının sağlanması havalandırmanın olmadığı, çalışma ortamına yayılmış olan parçacıkların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu nedenle şiddet puanlamasında olması gerektiği düşünülen bu başlık için uygun olmama durumu dört puanı alırken yeterli olmama durumu üç ile puanlandırılmaktadır. Atık yönetimi de ayrıca önemli bir yere sahip olup temizlik başlığı altında değerlendirilmiş olup olmadığı durum için iki puan ile derecelendirilmiştir.

Toplam şiddet faktörü bütün şiddet faktörlerinin toplamına bağlı olarak belirlenir ve en yüksek puan 100'dür. NM'ler daha küçük yapıda olduklarından dolayı genel olarak ana malzemeden farklı davrandığı için hesaplamadaki payları daha yüksektir (100 üzerinden 70). Toplam şiddet faktörü düşünülünce şiddet puanlamasına göre aşağıdaki gibi gruplandırılır:

- ✓ **0-30 arası düşük şiddette,**
- ✓ **31-60 arası orta şiddette,**
- ✓ **61-90 arası yüksek şiddette,**
- ✓ **91-120 arası çok yüksek şiddette.**

## **2.2. Olasılık Faktörleri**

Olasılık skoru potansiyel olarak nano boyuttaki malzemeye çalışanın hangi ölçekte maruz kalabileceğini belirleyen faktörlere dayanır.

### **2.2.1. İşlem boyunca kullanılan nanomalzemenin tahmini miktarı**

Yüzeyde gömülü veya sıvı içinde süspansiyon halinde olan nanomalzemeler bulunmaktadır. Kullanılan nanomalzeme miktarı yüzeye ya da sıvıya bağlı olmaksızın kullanılan malzemenin direkt miktarına bağlıdır. İşlem boyunca kullanılan miktarın bilinmesi işin olasılık açısından değerlendirilmesi için oldukça önemlidir. Bu nedenle 100 mg'dan daha fazla kullanıldığı durumlar için yirmi beş puan ile değerlendirilen miktar 11-100 mg için on iki buçuk, 0-10 mg için 6,25 ve bilinmediği durum için 18,75 puan ile değerlendirilir.

### **2.2.2. Tozlu/sisli**

Çalışanlar nanomalzemelere kuru ya da ıslak ortamda maruz kalabilirler. Ortamda malzemenin tozlu veya sisli halde bulunması durumunda solunum yolu ile akciğerlerde depolanma potansiyeli artmaktadır. Bu nedenle ortamın tozlu veya sisli durumunun yüksek seviyede olmasına otuz puan, orta seviyede olmasına on beş puan, düşük seviyede olmasına yedi buçuk puan verilmektedir. Ortamın sisli veya tozlu olmasının bilinmediği durumda ise yirmi iki buçuk değerinde puan verilmektedir.

### 2.2.3. Benzer maruziyet içerisinde bulunan çalışan sayısı

Maruziyetin olduğu düşünülen alanda çalışan sayısına bağlı olarak verilen puanlamadır. Henüz yeni yeni seri üretimine geçilen bu yeni teknoloji ışığında üretilen malzemeler için bir iş yerinde on beş ve üzerinde çalışan bulunması en yüksek derecede puanlandırılmaktadır. Buna göre nanomalzeme üretilen bir çalışma alanında on beş ve daha fazla çalışanın bulunması durumu on beş puan ile değerlendirilirken 11-15 arası çalışanın bulunduğu ortama on, 6-10 arası çalışanın bulunduğu ortama beş puan verilmektedir. 1-5 arası çalışan için sıfır puan verilirken çalışan sayısının bilinmediği durumda 11,25 değerinde puan verilmektedir.

### 2.2.4. İşin sıklığı (frekans)

Sık yapılan işlemler maruziyet etkisini artırır, bu nedenle işin sıklığı maruziyeti etkileyen önemli bir diğer parametredir. Bir çalışma alanında her gün nanomalzeme üretimi gerçekleşiyorsa on beş, haftalıkça on, aylıkça beş puanla puanlandırılırken bir aydan daha uzun süren aralıklarda gerçekleştiğinde sıfır puan alıp çalışma sıklığının bilinmediği durumlar için ise 11,25 puan verilmektedir.

### 2.2.5. İşin süresi

Uzun yapılan işlemler daha fazla maruziyete yol açmaktadır. Bu nedenle çalışma alanında bir günde dört saatten fazla süren çalışmalara on beş, 1-4 saat arası on, 30-60 dakika arası beş puan alırken 30 dakikadan az süren çalışmalar için sıfır puan ve süresi bilinmeyen çalışmalar içinse diğer olasılık parametreleri ile benzer şekilde 11,25 puan üzerinden değerlendirilmektedir.

Toplam olasılık skoru belirtilen tüm noktaların toplamına eşit olup en yüksek puan 100 dür. Toplam olasılık faktörü düşünülünce olasılık puanlamasına göre aşağıdaki gibi gruplandırılır:

- ✓ 0-25 arası mümkün olmayan,
- ✓ 26-50 arası düşük ihtimalde,
- ✓ 51-75 arası olası muhtemel,
- ✓ 76-100 arası yüksek ihtimal.

Bir işteki şiddet ve olasılık skoruna dayanarak risklerin genel düzeyi ve karşılığındaki kontrol bandı Tablo 1’de gösterilen matrisle belirlenir.

**Tablo 1. Şiddet Ve Olasılık Seviyelerine Bağlı Risk Seviyesi (RS)**

| Şiddet | Olasılık                  |                          |                           |                            |
|--------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|
|        | Mümkün olmayan<br>( 0-25) | Düşük ihtimal<br>(26-50) | Olası muhtemel<br>(51-75) | Yüksek ihtimal<br>(76-100) |
|        | Çok yüksek<br>( 91-120)   | RS 3                     | RS 3                      | RS 4                       |
|        | Yüksek<br>(61-90)         | RS 2                     | RS 2                      | RS 4                       |
|        | Orta<br>(31-60)           | RS 1                     | RS 1                      | RS 2                       |
|        | Düşük<br>(0-30)           | RS 1                     | RS 1                      | RS 2                       |

RS 1: Genel havalandırma

RS 2: Çeker ocak veya yerel havalandırma

RS 3: Detaylı kontrol önlemlerinin alınması, kullanımının kısıtlanması,

RS 4: Detaylı kontrol önlemlerinin alınması, prosesin durdurulması.

Yukarıda ayrıntıları ile anlatılan her bir kontrol grubu parametrelerinin ve puanlandırılmalarının özet hali şiddet parametreleri için Tablo 2, olasılık parametreleri için Tablo 3’de gösterildiği gibidir.

**Tablo 2. Şiddet Faktörleri ve Puanlandırılması**

| Şiddet Faktörleri                                       |          |                  |            |                                                        |                          |                                             |                      |            |
|---------------------------------------------------------|----------|------------------|------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|----------------------|------------|
| Nanomalzemlerin yüzey kimyası(reaktifliği)              |          |                  |            | Ana malzemenin toksisitesi                             |                          |                                             |                      |            |
| Yüksek                                                  | Orta     | Düşük            | Bilinmiyor | <10 µgm <sup>-3</sup>                                  | 10-100 µgm <sup>-3</sup> | 101 µgm <sup>-3</sup> – 1 mgm <sup>-3</sup> | >1 mgm <sup>-3</sup> | Bilinmiyor |
| 10                                                      | 5        | 0                | 7,5        | 10                                                     | 5                        | 2,5                                         | 0                    | 7,5        |
| Nanomalzemlerin parçacık şekli:                         |          |                  |            | Ana malzemenin kanserojenliği                          |                          |                                             |                      |            |
| Lifsi,borumsu                                           | Düzensiz | Kompakt, küresel | Bilinmiyor | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor                                  |                      |            |
| 10                                                      | 5        | 0                | 7,5        | 4                                                      | 0                        | 3                                           |                      |            |
| Nanomalzemlerin parçacık çapı                           |          |                  |            | Ana malzemenin üreme sistemi üzerindeki zehirli etkisi |                          |                                             |                      |            |
| 1-10 nm                                                 | 11-40 nm | 41-100 nm        | Bilinmiyor | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor                                  |                      |            |
| 10                                                      | 5        | 0                | 7,5        | 4                                                      | 0                        | 3                                           |                      |            |
| Nanomalzemlerin çözünürlüğü                             |          |                  |            | Ana malzemenin mutajenliği                             |                          |                                             |                      |            |
| Çözünemeyen                                             | Çözünür  | Bilinmiyor       |            | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor                                  |                      |            |
| 10                                                      | 5        | 7,5              |            | 4                                                      | 0                        | 3                                           |                      |            |
| Nanomalzemlerin kanserojenliği                          |          |                  |            | Ana malzemenin dermal olarak toksisitesi               |                          |                                             |                      |            |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor                                  |                      |            |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 0                        | 3                                           |                      |            |
| Nanomalzemlerin üreme sistemi üzerindeki zehirli etkisi |          |                  |            | Ana malzemenin astım yapabilirliği                     |                          |                                             |                      |            |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Evet                                                   | Hayır                    | Bilinmiyor                                  |                      |            |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 0                        | 3                                           |                      |            |
| Nanomalzemlerin mutajenliği                             |          |                  |            | KKD kullanımı                                          |                          |                                             |                      |            |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Kullanılmıyor                                          | Yeterli Değil            | Uygun                                       |                      |            |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 2                        | 0                                           |                      |            |
| Nanomalzemlerin dermal olarak toksisitesi               |          |                  |            | Üretim prosesi                                         |                          |                                             |                      |            |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Kuru                                                   | Islak                    | Bilinmiyor                                  |                      |            |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 2                        | 3                                           |                      |            |
| Nanomalzemlerin astım yapabilirliği                     |          |                  |            | Havalandırma                                           |                          |                                             |                      |            |
| Evet                                                    | Hayır    | Bilinmiyor       |            | Yok                                                    | Yerel                    | Çeker ocak                                  | Temiz oda            |            |
| 6                                                       | 0        | 4,5              |            | 4                                                      | 3                        | 2                                           | 0                    |            |
|                                                         |          |                  |            | Temizlik                                               |                          |                                             |                      |            |
|                                                         |          |                  |            | Uygun değil                                            | Yeterli değil            | Atık Y. Yok                                 | Uygun                |            |
|                                                         |          |                  |            | 4                                                      | 3                        | 2                                           | 0                    |            |
|                                                         |          |                  |            | Mühendislik önlemler                                   |                          |                                             |                      |            |
|                                                         |          |                  |            | Yok                                                    | Yeterli değil            | Uygun                                       |                      |            |
| 4                                                       | 2        | 0                |            |                                                        |                          |                                             |                      |            |

**Tablo 3. Olasılık Faktörleri ve Puanlandırılması**

| Olasılık Faktörleri                                     |           |           |            |            |
|---------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| İşlem boyunca kullanılan nanomalzemenin tahmini miktarı |           |           |            |            |
| >100 mg                                                 | 11-100 mg | 0-10 mg   | Bilinmiyor |            |
| 25                                                      | 12,5      | 6,25      | 18,75      |            |
| Tozlu/sisli                                             |           |           |            |            |
| Yüksek                                                  | Orta      | Düşük     | Bilinmiyor |            |
| 30                                                      | 15        | 7,5       | 22,5       |            |
| Benzer maruziyet içerisinde bulunan çalışan sayısı      |           |           |            |            |
| >15                                                     | 11-15     | 6-10      | Bilinmiyor |            |
| 15                                                      | 10        | 5         | 11,25      |            |
| İşin sıklığı( frekans):                                 |           |           |            |            |
| Günlük                                                  | Haftalık  | Aylık     | <Bir aydan | Bilinmiyor |
| 15                                                      | 10        | 5         | 0          | 11,25      |
| İşin süresi                                             |           |           |            |            |
| > 4 s                                                   | 1-4 s     | 30-60 dak | < 30 dak   | Bilinmiyor |
| 15                                                      | 10        | 5         | 0          | 11,25      |

### 3. Nanomalzeme Üretiminde Kontrol Bandı Risk Değerlendirmesi Örnek Uygulaması

Nanomalzeme maruziyetini değerlendirmek ve risk seviyelerini belirlemek amacıyla Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracının “CB Nanotool 2.0” (Tablo 4) versiyonu kullanılmaktadır. Bu araca göre önce ana malzemeye ait bilgiler sonra nano boyutta elde edilen malzemeye ait bilgiler ve ortam koşullarına ilişkin bilgilere ait sorulara karşılık verilen cevaplar ışığında toplam bir şiddet skoru ve şiddet seviyesi elde edilmektedir. Bir sonraki kısımda ise çalışma ortamı koşullarını göz önüne alınarak olasılık faktörünü etkileyen sorulara karşılık verilen cevaplar doğrultusunda bir olasılık skoru ve olasılık seviyesi elde edilir. Elde edilen bu şiddet ve olasılık seviyelerinin matrislenmesi ile de nihayetinde bu malzemenin üretiminin yapıldığı ortama özgü bir risk seviyesi elde edilir. Elde edilen bu risk seviyesine göre önerilen kontrol önlemleri alınır. Toksik özellikleri diğer malzeme çeşitlerine göre kanıtlanmış olan karbon nanotüp üretimi gerçekleştirilen bir laboratuvar da örnek bir uygulama olması açısından bu malzemenin üretimi için gerçekleştirilen risk değerlendirme çalışması Tablo 4’de yer almaktadır.

**Tablo 4. Karbon Nanotüp Üretimi Yapılan Bir Laboratuvarda Kontrol Bandı Nano Risk Değerlendirme Aracı Uygulaması**

|                                      |                                                                                                              |                                    |                                                |                                                   | Şiddet Parametreleri               |            |                                    |                |                |                   |              |             |                    |              |              |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|------------|------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------|-------------|--------------------|--------------|--------------|
| Genel Özellikler                     |                                                                                                              |                                    |                                                |                                                   | Ana malzemenin özellikleri         |            |                                    |                |                |                   |              |             |                    |              |              |
|                                      | Açıklama                                                                                                     | Nanomalzemenin adı veya açıklaması | CAS numarası                                   | Aktivite sınıfı                                   | OEL mcg/m <sup>3</sup>             | kanserojen | üreme sistemi üzerindeki tehlikesi | mutajen        | dermal tehlike | astımajen         |              |             |                    |              |              |
| Lab 1                                | Etilen ana malzemesi yüksek sıcaklıklarda gaz formuna geçirilerek çoklu duvarlı karbon nanotüp elde edilmesi | Çoklu duvarlı karbon nanotüp ÇDKNT | 308068-56-6                                    | Nanoparçacıklara toz halinde temas etme ve soluma | 1                                  | Hayır      | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor     | Bilinmiyor     | Bilinmiyor        |              |             |                    |              |              |
| Şiddet Parametreleri                 |                                                                                                              |                                    |                                                |                                                   |                                    |            |                                    |                |                |                   |              |             |                    |              |              |
| Nanoboyuttaki malzemenin özellikleri |                                                                                                              |                                    |                                                |                                                   | Ortam koşulları                    |            |                                    |                |                |                   |              |             |                    |              |              |
| Yüzey aktifliği                      | Parçacık şekli                                                                                               | Parçacık çapı (nm)                 | Çözünürlük                                     | kanserojen                                        | üreme sistemi üzerindeki tehlikesi | mutajen    | dermal tehlike                     | astımajen      | KKD kullanımı  | Üretim prosesi    | Havalandırma | Temizlik    | Mühen dislik önlem | Şiddet skoru | Şiddet bandı |
| Yüksek                               | Lifsi, borum su                                                                                              | Bilinmiyor                         | Çözünemeyen                                    | Evet                                              | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor | Bilinmiyor                         | Bilinmiyor     | Kullanılmıyor  | Kuru              | Yerel        | Uygun değil | Yeterli değil      | 93           | Çok Yüksek   |
| Olasılık Parametreleri               |                                                                                                              |                                    |                                                |                                                   |                                    |            |                                    |                |                |                   |              |             |                    |              |              |
|                                      | İşlem boyunca kullanılan nanomalzemenin tahmini miktarı                                                      | Tozlu/sisli                        | Benzer maruziyet içinde bulunan çalışan sayısı |                                                   | İşin sıklığı (frekansı)            |            | İşin süresi                        | Olasılık skoru | Olasılık bandı | Toplam risk skoru |              |             |                    |              |              |
| Lab 1                                | Bilinmiyor                                                                                                   | Yüksek                             | 3                                              |                                                   | Günlük(günde 8 kez)                |            | 30-60 dakika                       | 68,75          | Olası Muhtemel | RS 4              |              |             |                    |              |              |





