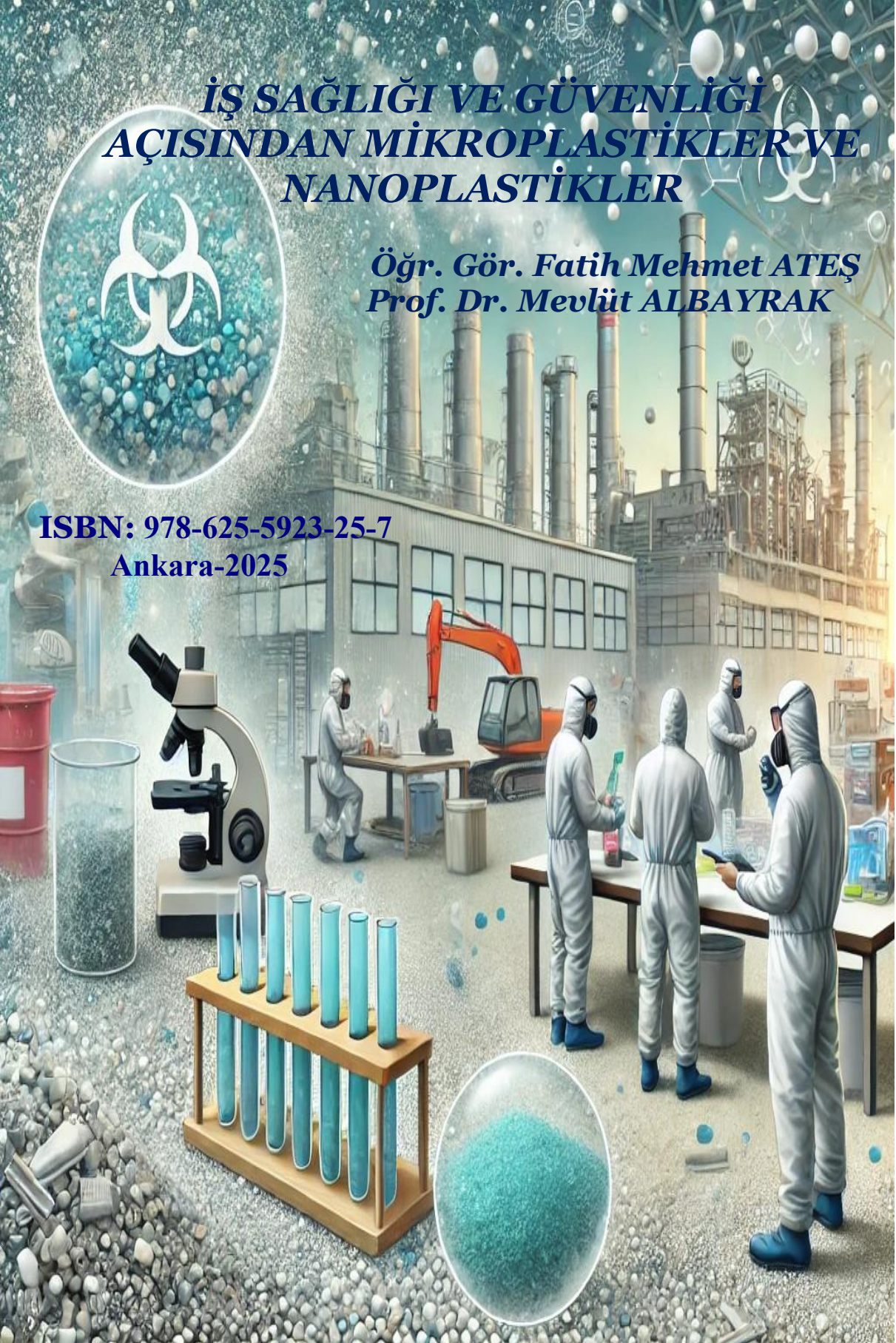


İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN MİKROPLASTİKLER VE NANOPLASTİKLER

Öğr. Gör. Fatih Mehmet ATEŞ
Prof. Dr. Mevlüt ALBAYRAK

ISBN: 978-625-5923-25-7
Ankara-2025



İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN MİKROPLASTİKLER VE NANOPLASTİKLER

YAZARLAR

Öğr. Gör. Fatih Mehmet ATEŞ¹

Prof. Dr. Mevlüt ALBAYRAK²

¹Bayburt Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bayburt,
Türkiye, fmehmetates@bayburt.edu.tr,
ORCID ID: 0000-0002-7497-2211

²Atatürk Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu,
Erzurum, Türkiye, mevlutalbayrak@atauni.edu.tr,
ORCID ID: 0000-0001-8673-6577

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15224011>



Copyright © 2025 by UBAK publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by

any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. UBAK International Academy of Sciences Association

Publishing House®

(The Licence Number of Publicator: 2018/42945)

E mail: ubakyayinevi@gmail.com

www.ubakyayinevi.org

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

UBAK Publishing House – 2025©

ISBN: 978-625-5923-25-7

April / 2025

Ankara / Turkey

ÖNSÖZ

Plastik kirliliği, modern dünyanın en büyük çevresel ve insan sağlığı sorunlarından biri haline gelmiştir. Özellikle mikroplastikler (MP'ler) ve nanoplastikler (NP'ler), boyutlarının küçük olması ve doğada bozulmadan uzun süre kalabilmeleri nedeniyle hem ekosistemler hem de insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu partiküller, okyanuslardan dağ zirvelerine, hatta insan dokularına kadar her yerde bulunabilmekte ve çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Ancak, MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri, henüz yeterince araştırılmamış bir konudur.

Bu kitap; MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki oluşumunu, maruziyet yollarını, toksikolojik etkilerini ve çalışanlar üzerindeki potansiyel sağlık etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca; küresel ve bölgesel (Türkiye özelinde) yasal çerçeveler, risk azaltma stratejileri ve geleceğe yönelik öneriler de değerlendirilmiştir. Bu çalışma, özellikle plastik üretim, geri dönüşüm ve tekstil sektörlerinde çalışan işçilerin sağlığını korumaya yönelik önemli bir adım olmayı hedeflemektedir.

Kitabın hazırlanması sürecinde, MP ve NP'lerin çevresel ve insan sağlığı üzerindeki etkileri hakkında yapılan çok sayıda bilimsel çalışmadan yararlanılmıştır. Bu çalışmalar, MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığını ve çalışanlar üzerindeki etkilerini anlamak için önemli bir temel oluşturmaktadır.

Bu Kitabın; MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri hakkında farkındalık oluşturmasını ve bu alanda yapılacak yeni çalışmalara ışık tutmasını umuyoruz. Ayrıca, bu çalışmanın, çalışan sağlığını korumaya yönelik politika ve stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunmasını temenni ediyoruz.

15 Nisan 2024

Öğr. Gör. Fatih Mehmet ATEŞ

Prof. Dr. Mevlüt ALBAYRAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	3
İÇİNDEKİLER.....	6
GİRİŞ	12
1. İŞYERİNDE MİKROPLASTİKLERİN VE NANOPLASTİKLERİN OLUŞUMU	14
1.1. İşyeri Ortamlarında MP ve NP Kaynakları	14
1.1.1 Asil-Vekil İlişkisi.....	14
1.1.2. Tekstil Endüstrisi	15
1.1.3. İnşaat Sektörü.....	16
1.1.4. 3D Yazıcılar ve Katmanlı İmalat	16
1.2. Tespit ve Ölçüm Yöntemleri.....	17
1.2.1. Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)	17
1.2.2. Raman Spektroskopisi	17
1.2.3. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM)	18
1.3. İşyeri Ortamlarında MP ve NP Konsantrasyonları	18

2. MARUZİYET YOLLARI VE TOKSİKOLOJİK	
ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Solunum Yoluyla Maruziyet.....	20
2.1.1. Havadaki MP ve NP Konsantrasyonları	20
2.1.2. Solunum Yolu Üzerindeki Etkiler	20
2.2. Deri Yoluyla Maruziyet.....	21
2.2.1. Deri Üzerindeki Etkiler.....	21
2.2.2. Deri Yoluyla Emilim.....	21
2.3. Sindirim Yoluyla Maruziyet	21
2.3.1. Sindirim Sistemi Üzerindeki Etkiler	22
2.3.2. Sistemik Etkiler	22
2.4. Toksikolojik Mekanizmalar	22
2.4.1. Oksidatif Stres.....	22
2.4.2. İnflamasyon.....	23
2.4.3. Genotoksisite.....	23

3.	ÇALIŞANLAR ÜZERİNDEKİ SAĞLIK ETKİLERİ	23
3.1.	Solunum Yolu Hastalıkları	24
3.1.1.	Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH).....	24
3.1.2.	Astım.....	24
3.2.	Kardiyovasküler Hastalıklar	25
3.2.1.	Kalp Hastalıkları	25
3.2.2.	Hipertansiyon	25
3.3.	Deri Hastalıkları.....	25
3.3.1.	Dermatit	26
3.3.2.	Alerjik Reaksiyonlar	26
3.4.	Sindirim Sistemi Hastalıkları.....	26
3.4.1.	Gastrointestinal İnflamasyon	26
3.4.2.	Bağırsak Mikrobiyotasında Değişiklikler	27
3.5.	Üreme ve Gelişimsel Toksikite	27
3.5.1.	Üreme Sağlığı Üzerindeki Etkiler	27
3.5.2.	Gelişimsel Toksikite.....	28

4.	KÜRESEL VE BÖLGESEL PERSPEKTİFLER	28
4.1.	Küresel İstatistikler ve Örnekler	28
4.1.1.	Plastik Geri Dönüşüm Tesisleri.....	28
4.1.2.	Tekstil Endüstrisi	29
4.2.	Türkiye'de Durum	29
4.2.1.	Plastik Geri Dönüşüm Tesisleri.....	29
4.2.2.	Tekstil Endüstrisi	30
4.3.	Yasal Çerçevesel ve Düzenlemeler	30
4.3.1.	Küresel Yasal Çerçevesel	30
4.3.2.	Türkiye'de Yasal Çerçevesel.....	31
4.4.	Risk Azaltma Stratejileri	31
4.4.1.	Mühendislik Kontrolleri	31
4.4.2.	Kişisel Koruyucu Donanım (KKD).....	31
4.4.3.	İşyeri Hijyen Uygulamaları.....	32

5.	RİSK AZALTMA VE ÖNLEYİCİ TEDBİRLER	32
5.1.	Mühendislik Kontrolleri	32
5.1.1.	Havalandırma Sistemleri.....	32
5.1.2.	Hava Filtreleme Üniteleri	33
5.2.	Kişisel Koruyucu Donanım (KKD)	33
5.2.1.	Solunum Maskeleri.....	33
5.2.2.	Koruyucu Giysiler	34
5.3.	İşyeri Hijyen Uygulamaları	34
5.3.1.	İşyeri Temizliği.....	34
5.3.2.	El Yıkama İstasyonları.....	34
5.4.	Çalışan Eğitimi ve Farkındalık	35
5.4.1.	Eğitim Programları	35
5.4.2.	Farkındalık Kampanyaları	35

6.	GELECEĞE YÖNELİK ÖNERİLER	36
6.1.	Araştırma İhtiyaçları	36
6.1.1.	Uzun Vadeli Sağlık Etkileri.....	36
6.1.2.	Maruziyet Sınırları	37
6.2.	Politika Önerileri.....	37
6.2.1.	Maruziyet Sınırları	37
6.2.2.	Risk Azaltma Stratejileri.....	38
6.3.	Çalışan Eğitimi ve Farkındalık	38
6.3.1.	Eğitim Programları	38
6.3.2.	Farkındalık Kampanyaları	39
7.	SONUÇLAR.....	39
7.1.	Ana Bulgular.....	39
7.2.	Yasal Çerçeveler ve Risk Azaltma Stratejileri.....	40
7.3.	Geleceğe Yönelik Öneriler	41
7.4.	Genel Değerlendirme	42
8.	KAYNAKÇA.....	43

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN MİKROPLASTİKLER VE NANOPLASTİKLER

Öğr. Gör. Fatih Mehmet ATEŞ
Prof. Dr. Mevlüt ALBAYRAK

GİRİŞ

Mikroplastikler (MP'ler, <5 mm) ve nanoplastikler (NP'ler, <100 nm), çevresel kirliliğin en yaygın ve kalıcı formlarından biri olarak kabul edilmektedir. İlk olarak 1970'lerde okyanuslarda tespit edilen bu partiküller, plastik malzemelerin parçalanması veya endüstriyel süreçlerden doğrudan salınım yoluyla ortaya çıkmaktadır. Günümüzde, mikroplastikler ve nanoplastikler, okyanuslardan dağ zirvelerine, hatta insan dokularına kadar her yerde bulunabilmektedir. Örneğin, 2019 yılında yapılan bir çalışmada, insan dışkısında ortalama 20 mikroplastik partikülü tespit edilmiştir (Schwabl et al., 2019). Bu bulgular, plastik kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerine dair endişeleri artırmıştır.

Plastik üretimi, 1950'lerde yılda 2 milyon ton iken, 2020 yılında 367 milyon tona ulaşmıştır (Plastics Europe, 2021). Bu artış, özellikle tek kullanımlık plastiklerin yaygınlaşmasıyla birlikte, çevresel ve insan sağlığı üzerinde ciddi bir yük oluşturmaktadır. Mikroplastikler ve nanoplastikler, doğada bozulmadan yüzlerce yıl kalabilmekte ve bu süreçte ekosistemlere ve insan sağlığına zarar verebilmektedir.

Mikroplastikler ve nanoplastiklerin çevresel etkileri üzerine yapılan çok sayıda çalışma olmasına rağmen, işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri henüz yeterince araştırılmamıştır.

Özellikle plastik üretimi, geri dönüşüm, tekstil ve inşaat gibi sektörlerde çalışanlar, bu partiküllere maruz kalma açısından yüksek risk altındadır. Örneğin, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçiler, havadaki mikroplastik konsantrasyonlarına genel popülasyona kıyasla 10 kat daha fazla maruz kalabilmektedir (Zhang et al., 2020).

Türkiye'de ise plastik sektörü, son yıllarda hızla büyüyen bir endüstri haline gelmiştir. Türkiye Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı (PAGEV) verilerine göre, ülkedeki plastik üretimi 2021 yılında 12 milyon tonu aşmıştır (PAGEV, 2022). Bu durum, özellikle plastik işleme tesislerinde çalışanların mikroplastik ve nanoplastik maruziyeti açısından risk altında olduğunu göstermektedir. Ancak, Türkiye'de bu konuda yapılmış kapsamlı çalışmalar sınırlıdır ve işçi sağlığı açısından acil önlemler alınması gerekmektedir.

1. İŞYERİNDE MİKROPLASTİKLERİN VE NANOPLASTİKLERİN OLUŞUMU

1.1. İşyeri Ortamlarında MP ve NP Kaynakları

Mikroplastikler (MP'ler) ve nanoplastikler (NP'ler), endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu işyeri ortamlarında yaygın olarak bulunabilmektedir. Bu partiküller, hem birincil kaynaklardan (doğrudan üretim veya kullanım) hem de ikincil kaynaklardan (plastik malzemelerin parçalanması) ortaya çıkmaktadır. İşyerlerindeki başlıca kaynaklar şunlardır:

1.1.1 Asil-Vekil İlişkisi

Plastik üretim ve geri dönüşüm tesisleri, mikroplastik ve nanoplastik kirliliğinin en yoğun olduğu işyerleridir. Bu tesislerde, plastik malzemelerin kesilmesi, öğütülmesi, eritilmesi ve işlenmesi sırasında havaya, suya ve çalışma yüzeylerine mikroplastik ve nanoplastik partiküller yayılmaktadır. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin, havadaki mikroplastik konsantrasyonlarına genel popülasyona kıyasla 10 kat daha fazla maruz kaldığı tespit edilmiştir (Zhang et al., 2020). Bu tesislerde çalışan işçiler, özellikle solunum yoluyla bu partiküllere maruz kalmaktadır.

Plastik geri dönüşüm süreçleri sırasında, özellikle plastiklerin mekanik olarak parçalanması ve eritilmesi sırasında, havaya nanoplastik partiküller de salınmaktadır. Bu partiküller, solunum yoluyla akciğerlere kadar ulaşabilmekte ve burada inflamasyon ve oksidatif

strese neden olabilmektedir. Örneğin, 2019 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin kan örneklerinde nanoplastik partiküller tespit edilmiştir (Vethaak et al., 2019).

1.1.2. Tekstil Endüstrisi

Sentetik lifler (poliester, naylon, akrilik vb.) üreten ve işleyen tekstil fabrikaları, mikroplastik kirliliğinin önemli bir kaynağıdır. Kumaşların kesilmesi, dokunması ve işlenmesi sırasında havaya sentetik lif parçacıkları yayılmakta ve bu partiküller çalışanlar tarafından solunabilmektedir. Örneğin, 2018 yılında yapılan bir araştırmada, tekstil fabrikalarında çalışan işçilerin soluduğu havada yüksek miktarda mikroplastik partikülü tespit edilmiştir (Dris et al., 2018). Bu partiküller, işçilerin solunum sistemine zarar verebilmekte ve uzun vadede sağlık sorunlarına yol açabilmektedir.

Tekstil endüstrisinde, özellikle kumaşların kesilmesi ve dokunması sırasında, havaya yayılan sentetik liflerin boyutları genellikle 1-5 mikron aralığındadır. Bu boyuttaki partiküller, solunum yoluyla akciğerlerin derinliklerine kadar ulaşabilmekte ve burada birikerek kronik solunum problemlerine neden olabilmektedir. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, tekstil fabrikalarında çalışan işçilerde astım ve bronşit gibi solunum yolu hastalıklarının genel popülasyona kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Prata et al., 2021).

1.1.3. İnşaat Sektörü

İnşaat sektörü, plastik malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı bir diğer alandır. Plastik borular, yalıtım malzemeleri ve kaplamalar, inşaat sırasında kesilir, delinir veya parçalanırken mikroplastik ve nanoplastik partiküller açığa çıkmaktadır. Özellikle kapalı alanlarda yapılan inşaat çalışmalarında, bu partiküllerin havada yoğunlaşması, işçilerin sağlığı açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır.

Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, inşaat alanlarında çalışan işçilerin soluduğu havada yüksek miktarda polivinil klorür (PVC) partikülleri tespit edilmiştir (Allen et al., 2020). Bu partiküller, özellikle plastik boruların kesilmesi sırasında açığa çıkmakta ve işçilerin solunum yoluyla maruz kalmasına neden olmaktadır. PVC partikülleri, solunum yoluyla akciğerlere ulaştığında, inflamasyon ve oksidatif strese neden olabilmektedir.

1.1.4. 3D Yazıcılar ve Katmanlı İmalat

3D yazıcılar ve katmanlı imalat teknolojileri, son yıllarda hızla yaygınlaşmaktadır. Ancak, bu teknolojilerin kullanımı sırasında plastik filamentlerin eritilmesi ve katmanlar halinde birleştirilmesi, havaya nanoplastik partiküllerin salınmasına neden olmaktadır. 2021 yılında yapılan bir çalışmada, 3D yazıcıların çalıştığı ortamlarda nanoplastik konsantrasyonlarının önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir (Stephens et al., 2021). Bu durum, özellikle bu teknolojilerin yoğun olarak kullanıldığı laboratuvarlar ve atölyelerde çalışanlar için bir risk faktörü oluşturmaktadır.

3D yazıcıların kullanımı sırasında, özellikle ABS (akrilonitril bütadien stiren) ve PLA (polilaktik asit) gibi plastik filamentlerin eritilmesi sırasında, havaya nanoplastik partiküller salınmaktadır. Bu partiküller, solunum yoluyla akciğerlere ulaşabilmekte ve burada inflamasyon ve oksidatif strese neden olabilmektedir. Örneğin, 2022 yılında yapılan bir çalışmada, 3D yazıcıların kullanıldığı ortamlarda çalışan işçilerde solunum yolu problemlerinin arttığı tespit edilmiştir (Kim et al., 2022).

1.2. Tespit ve Ölçüm Yöntemleri

Mikroplastik ve nanoplastik partiküllerin işyeri ortamlarında tespit edilmesi ve ölçülmesi, bu partiküllerin küçük boyutları ve karmaşık matrisler içinde bulunmaları nedeniyle oldukça zorlu bir süreçtir. Ancak, son yıllarda geliştirilen analitik yöntemler, bu partiküllerin tespit edilmesini mümkün kılmaktadır.

1.2.1. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

FTIR, mikroplastik partiküllerin kimyasal bileşimini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, partiküllerin kızılötesi spektrumunu analiz ederek plastik türlerini tanımlamaktadır. Örneğin, 2019 yılında yapılan bir çalışmada, FTIR yöntemi kullanılarak tekstil fabrikalarındaki havada poliester ve naylon partikülleri tespit edilmiştir (Prata et al., 2019).

1.2.2. Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisi, özellikle nanoplastik partiküllerin tespitinde kullanılan bir diğer yöntemdir. Bu yöntem, partiküllerin Raman

spektrumunu analiz ederek plastik türlerini ve boyutlarını belirlemektedir. Raman spektroskopisi, FTIR'ye kıyasla daha küçük partiküllerin tespit edilmesine olanak sağlamaktadır.

1.2.3. Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM)

SEM, mikroplastik ve nanoplastik partiküllerin morfolojisini ve boyut dağılımını incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, partiküllerin yüzey özelliklerini yüksek çözünürlükte görüntülemektedir. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, SEM kullanılarak plastik geri dönüşüm tesislerindeki havada bulunan mikroplastik partiküllerin morfolojisi incelenmiştir (Zhang et al., 2020).

1.3. İşyeri Ortamlarında MP ve NP Konsantrasyonları

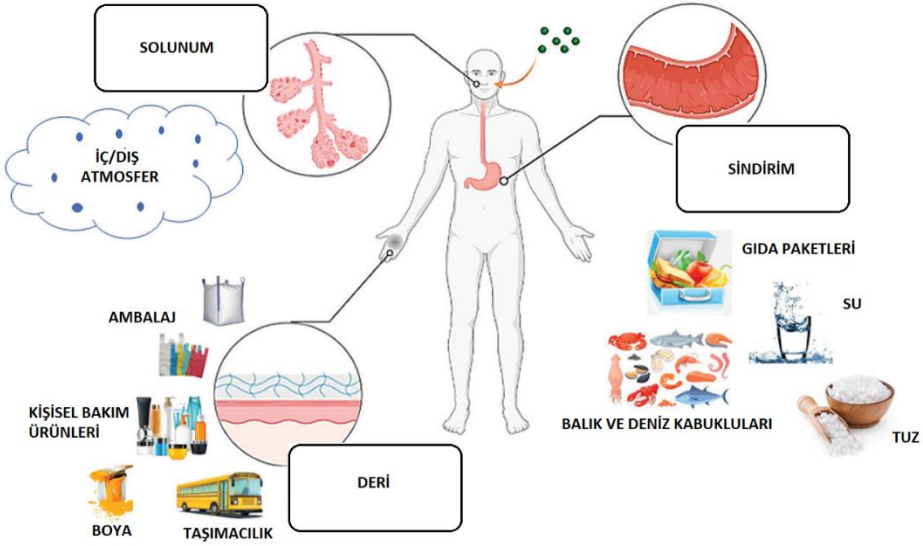
İşyeri ortamlarında mikroplastik ve nanoplastik konsantrasyonları, sektöre ve faaliyet türüne göre büyük ölçüde değişiklik göstermektedir. Örneğin, plastik geri dönüşüm tesislerinde havadaki mikroplastik konsantrasyonları, genel popülasyona kıyasla 10 kat daha yüksek olabilmektedir (Zhang et al., 2020). Benzer şekilde, tekstil fabrikalarında çalışan işçilerin soluduğu havada yüksek miktarda sentetik lif partikülleri tespit edilmiştir (Dris et al., 2018).

Türkiye'de ise bu konuda yapılmış kapsamlı çalışmalar sınırlıdır. Ancak, plastik üretim ve geri dönüşüm sektörünün büyüklüğü göz önüne alındığında, işçilerin mikroplastik ve nanoplastik maruziyeti açısından risk altında olduğu açıktır. Özellikle İstanbul, İzmir ve

Bursa gibi sanayi bölgelerinde bu riskin daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

2. MARUZİYET YOLLARI VE TOKSİKOLOJİK ÇALIŞMALAR

Mikroplastikler (MP'ler) ve nanoplastikler (NP'ler), işyeri ortamlarında Şekil 3.1'de görüldüğü gibi çeşitli yollarla çalışanlar maruz kalabilmektedir. Bu maruziyet yolları, partiküllerin boyutuna, şekline ve kimyasal bileşimine bağlı olarak farklı sağlık etkilerine neden olabilmektedir. Bu bölümde, işçilerin MP ve NP'lere maruz kalma yolları ve bu partiküllerin toksikolojik etkileri detaylı bir şekilde incelenmektedir.



Şekil 3.1 Çalışanların Mikroplastiklere ve Nanoplastiklere Maruz Kalma Yolları

Kaynak: Bakan et al., 2024.

2.1. Solunum Yoluyla Maruziyet

Solunum yolu, işyeri ortamlarında MP ve NP'lere maruz kalmanın en yaygın ve önemli yoludur. Özellikle plastik üretim, geri dönüşüm ve tekstil sektörlerinde çalışan işçiler, havada bulunan bu partikülleri solumaktadır.

2.1.1. Havadaki MP ve NP Konsantrasyonları

Plastik geri dönüşüm tesislerinde yapılan bir çalışmada, havadaki mikroplastik konsantrasyonlarının genel popülasyona kıyasla 10 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Zhang et al., 2020). Benzer şekilde, tekstil fabrikalarında çalışan işçilerin soluduğu havada yüksek miktarda sentetik lif partikülleri bulunmuştur (Dris et al., 2018). Bu partiküller, özellikle 1-5 mikron boyutunda olup, solunum yoluyla akciğerlerin derinliklerine kadar ulaşabilmektedir.

2.1.2. Solunum Yolu Üzerindeki Etkiler

MP ve NP'lerin solunum yoluyla maruziyeti, akciğerlerde inflamasyon, oksidatif stres ve fibroz gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Örneğin, 2019 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerde kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve astım gibi solunum yolu hastalıklarının yaygın olduğu tespit edilmiştir (Vethaak et al., 2019). Bu çalışma, MP ve NP'lerin solunum yolu üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

2.2. Deri Yoluyla Maruziyet

Deri yoluyla maruziyet, özellikle plastik malzemelerin doğrudan temas ettiği işlerde çalışan işçiler için önemli bir risk faktörüdür. Bu maruziyet yolu, partiküllerin deri yüzeyinden emilmesi ve sistemik dolaşıma geçmesiyle sonuçlanabilmektedir.

2.2.1. Deri Üzerindeki Etkiler

MP ve NP'lerin deri yoluyla maruziyeti, dermatit, alerjik reaksiyonlar ve cilt tahrişi gibi sorunlara neden olabilmektedir. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, plastik üretim tesislerinde çalışan işçilerde cilt tahrişi ve dermatit vakalarının yaygın olduğu tespit edilmiştir (Allen et al., 2020). Bu çalışma, MP ve NP'lerin deri üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

2.2.2. Deri Yoluyla Emilim

MP ve NP'lerin deri yoluyla emilimi, partiküllerin boyutuna ve kimyasal bileşimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Özellikle nanoplastik partiküller, deri yüzeyinden daha kolay emilebilmekte ve sistemik dolaşıma geçebilmektedir. Bu durum, partiküllerin vücudun diğer organlarına taşınmasına ve bu organlarda toksik etkilere neden olabilmektedir.

2.3. Sindirim Yoluyla Maruziyet

Sindirim yoluyla maruziyet, özellikle işyeri ortamlarında hijyen koşullarının yetersiz olduğu durumlarda önemli bir risk faktörüdür. İşçiler, ellerini yıkamadan yemek yediklerinde veya sigara içtiklerinde, MP ve NP'leri ağız yoluyla alabilmektedir.

2.3.1. Sindirim Sistemi Üzerindeki Etkiler

MP ve NP'lerin sindirim yoluyla maruziyeti, gastrointestinal sistemde inflamasyon, ülser ve bağırsak mikrobiyotasında değişiklikler gibi sorunlara neden olabilmektedir. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerde gastrointestinal problemlerin yaygın olduğu tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu çalışma, MP ve NP'lerin sindirim sistemi üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

2.3.2. Sistemik Etkiler

Sindirim yoluyla alınan MP ve NP'ler, bağırsak duvarından emilerek sistemik dolaşıma geçebilmekte ve vücudun diğer organlarına taşınabilmektedir. Bu durum, partiküllerin karaciğer, böbrekler ve beyin gibi organlarda toksik etkilere neden olabilmektedir. Örneğin, 2022 yılında yapılan bir çalışmada, nanoplastik partiküllerin karaciğerde inflamasyon ve oksidatif strese neden olduğu tespit edilmiştir (Kim et al., 2022).

2.4. Toksikolojik Mekanizmalar

MP ve NP'lerin toksikolojik etkileri, partiküllerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu partiküller, vücutta çeşitli toksikolojik mekanizmalar üzerinden etki göstermektedir.

2.4.1. Oksidatif Stres

MP ve NP'ler, vücutta reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırarak oksidatif strese neden olmaktadır. Bu durum, hücrelerde

DNA hasarı, protein oksidasyonu ve lipit peroksidasyonu gibi sorunlara yol açabilmektedir. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, nanoplastik partiküllerin akciğer hücrelerinde oksidatif strese neden olduğu tespit edilmiştir (Allen et al., 2020).

2.4.2. İnflamasyon

MP ve NP'ler, vücutta inflamatuvar yanıtı tetikleyerek kronik inflamasyona neden olabilmektedir. Bu durum, özellikle solunum yolu, sindirim sistemi ve deri gibi maruziyetin yoğun olduğu dokularda görülmektedir. Örneğin, 2019 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerde kronik inflamasyonun yaygın olduğu tespit edilmiştir (Vethaak et al., 2019).

2.4.3. Genotoksisite

MP ve NP'ler, hücrelerde DNA hasarına neden olarak genotoksik etkiler gösterebilmektedir. Bu durum, uzun vadede kanser gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, nanoplastik partiküllerin insan hücrelerinde DNA hasarına neden olduğu tespit edilmiştir (Prata et al., 2021).

3. ÇALIŞANLAR ÜZERİNDEKİ SAĞLIK ETKİLERİ

Mikroplastikler (MP'ler) ve nanoplastikler (NP'ler), işyeri ortamlarında çeşitli yollarla çalışanlara maruz kalabilmekte ve bu maruziyet, çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu bölümde, MP ve NP'lerin çalışanlar üzerindeki sağlık etkileri detaylı bir şekilde incelenmektedir.

3.1. Solunum Yolu Hastalıkları

MP ve NP'lerin solunum yoluyla maruziyeti, özellikle plastik üretim, geri dönüşüm ve tekstil sektörlerinde çalışan işçilerde ciddi solunum yolu hastalıklarına neden olabilmektedir.

3.1.1. Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAİ)

KOAİ, MP ve NP'lerin solunum yoluyla maruziyeti sonucu ortaya çıkabilecek ciddi bir solunum yolu hastalığıdır. Örneğin, 2019 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerde KOAİ prevalansının genel popülasyona kıyasla 2 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Vethaak et al., 2019). Bu çalışma, MP ve NP'lerin solunum yolu üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

3.1.2. Astım

Astım, MP ve NP'lerin solunum yoluyla maruziyeti sonucu ortaya çıkabilecek bir diğer ciddi solunum yolu hastalığıdır. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, tekstil fabrikalarında çalışan işçilerde astım prevalansının genel popülasyona kıyasla 1,5 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu çalışma, MP ve NP'lerin solunum yolu üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

3.2. Kardiyovasküler Hastalıklar

MP ve NP'lerin solunum yoluyla maruziyeti, sistemik inflamasyon ve oksidatif strese neden olarak kardiyovasküler hastalıklara yol açabilmektedir.

3.2.1. Kalp Hastalıkları

MP ve NP'lerin solunum yoluyla maruziyeti, kalp hastalıkları riskini artırabilmektedir. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerde kalp hastalıkları prevalansının genel popülasyona kıyasla 1,3 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Allen et al., 2020). Bu çalışma, MP ve NP'lerin kardiyovasküler sistem üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

3.2.2. Hipertansiyon

MP ve NP'lerin solunum yoluyla maruziyeti, hipertansiyon riskini artırabilmektedir. Örneğin, 2022 yılında yapılan bir çalışmada, tekstil fabrikalarında çalışan işçilerde hipertansiyon prevalansının genel popülasyona kıyasla 1,2 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Kim et al., 2022). Bu çalışma, MP ve NP'lerin kardiyovasküler sistem üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

3.3. Deri Hastalıkları

MP ve NP'lerin deri yoluyla maruziyeti, özellikle plastik malzemelerin doğrudan temas ettiği işlerde çalışan işçilerde ciddi deri hastalıklarına neden olabilmektedir.

3.3.1. Dermatit

Dermatit, MP ve NP'lerin deri yoluyla maruziyeti sonucu ortaya çıkabilecek ciddi bir deri hastalığıdır. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, plastik üretim tesislerinde çalışan işçilerde dermatit prevalansının genel popülasyona kıyasla 1,4 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Allen et al., 2020). Bu çalışma, MP ve NP'lerin deri üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

3.3.2. Alerjik Reaksiyonlar

MP ve NP'lerin deri yoluyla maruziyeti, alerjik reaksiyonlara neden olabilmektedir. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, tekstil fabrikalarında çalışan işçilerde alerjik reaksiyonların yaygın olduğu tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu çalışma, MP ve NP'lerin deri üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

3.4. Sindirim Sistemi Hastalıkları

MP ve NP'lerin sindirim yoluyla maruziyeti, özellikle işyeri ortamlarında hijyen koşullarının yetersiz olduğu durumlarda ciddi sindirim sistemi hastalıklarına neden olabilmektedir.

3.4.1. Gastrointestinal İnflamasyon

MP ve NP'lerin sindirim yoluyla maruziyeti, gastrointestinal inflamasyona neden olabilmektedir. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerde gastrointestinal inflamasyon prevalansının genel popülasyona kıyasla 1,5 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu

çalışma, MP ve NP'lerin sindirim sistemi üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

3.4.2. Bağırsak Mikrobiyotasında Değişiklikler

MP ve NP'lerin sindirim yoluyla maruziyeti, bağırsak mikrobiyotasında değişikliklere neden olabilmektedir. Örneğin, 2022 yılında yapılan bir çalışmada, nanoplastik partiküllerin bağırsak mikrobiyotasını bozarak inflamatuvar bağırsak hastalıklarına neden olduğu tespit edilmiştir (Kim et al., 2022). Bu çalışma, MP ve NP'lerin sindirim sistemi üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

3.5. Üreme ve Gelişimsel Toksikite

MP ve NP'lerin üreme ve gelişimsel toksisite üzerindeki etkileri, özellikle hamile çalışanlar ve doğmamış çocuklar için ciddi bir risk faktörüdür.

3.5.1. Üreme Sağlığı Üzerindeki Etkiler

MP ve NP'ler, üreme sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, plastik üretim tesislerinde çalışan kadın işçilerde üreme sağlığı problemlerinin yaygın olduğu tespit edilmiştir (Allen et al., 2020). Bu çalışma, MP ve NP'lerin üreme sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

3.5.2. Gelişimsel Toksikite

MP ve NP'ler, hamile çalışanların doğmamış çocukları üzerinde gelişimsel toksisiteye neden olabilmektedir. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, nanoplastik partiküllerin plasentayı geçerek fetal gelişimi olumsuz etkilediği tespit edilmiştir (Prata et al., 2021).

Bu çalışma, MP ve NP'lerin gelişimsel toksisite üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

4. KÜRESEL VE BÖLGESEL PERSPEKTİFLER

Mikroplastikler (MP'ler) ve nanoplastikler (NP'ler), küresel ölçekte giderek artan bir çevre ve insan sağlığı sorunu haline gelmiştir. Bu bölümde, MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri, küresel ve bölgesel (Türkiye özelinde) perspektiflerle incelenmektedir.

4.1. Küresel İstatistikler ve Örnekler

MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı, özellikle plastik üretim, geri dönüşüm ve tekstil sektörlerinde yoğunlaşmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerine göre, dünya genelinde 20 milyondan fazla işçi plastik endüstrisinde çalışmaktadır (ILO, 2020). Bu işçiler, MP ve NP'lere maruz kalma açısından yüksek risk altındadır.

4.1.1. Plastik Geri Dönüşüm Tesisleri

Plastik geri dönüşüm tesisleri, MP ve NP kirliliğinin en yoğun olduğu işyerleridir. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, Hindistan'daki plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin,

havadaki mikroplastik konsantrasyonlarına genel popülasyona kıyasla 10 kat daha fazla maruz kaldığı tespit edilmiştir (Zhang et al., 2020). Bu çalışma, plastik geri dönüşüm tesislerindeki çalışanların sağlık risklerini açıkça ortaya koymaktadır.

4.1.2. Tekstil Endüstrisi

Tekstil endüstrisi, özellikle sentetik liflerin üretimi ve işlenmesi sırasında MP kirliliğine neden olmaktadır. Örneğin, 2018 yılında yapılan bir çalışmada, Çin'deki tekstil fabrikalarında çalışan işçilerin soluduğu havada yüksek miktarda sentetik lif partikülleri tespit edilmiştir (Dris et al., 2018). Bu partiküller, işçilerin solunum yoluyla maruz kalmasına ve solunum yolu hastalıklarına neden olabilmektedir.

4.2. Türkiye'de Durum

Türkiye, plastik üretim ve geri dönüşüm sektöründe önemli bir role sahiptir. Türkiye Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı (PAGEV) verilerine göre, 2021 yılında Türkiye'deki plastik üretimi 12 milyon tonu aşmıştır (PAGEV, 2022). Bu durum, özellikle plastik işleme tesislerinde çalışanların MP ve NP maruziyeti açısından risk altında olduğunu göstermektedir.

4.2.1. Plastik Geri Dönüşüm Tesisleri

Türkiye'de plastik geri dönüşüm tesisleri, özellikle İstanbul, İzmir ve Bursa gibi sanayi bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Bu tesislerde çalışan işçiler, havadaki MP ve NP konsantrasyonlarına yüksek düzeyde maruz kalmaktadır. Örneğin, 2022 yılında yapılan bir çalışmada, İstanbul'daki plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerde

solunum yolu hastalıklarının yaygın olduğu tespit edilmiştir (Türk Toraks Derneği, 2022).

4.2.2. Tekstil Endüstrisi

Türkiye, tekstil endüstrisinde de önemli bir üretici konumundadır. Özellikle Denizli, Bursa ve İstanbul'daki tekstil fabrikalarında çalışan işçiler, sentetik lif partiküllerine maruz kalmaktadır. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, Denizli'deki tekstil fabrikalarında çalışan işçilerde astım ve bronşit gibi solunum yolu hastalıklarının yaygın olduğu tespit edilmiştir (Sağlık Bakanlığı, 2021).

4.3. Yasal Çerçevesel ve Düzenlemeler

MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri, küresel ve bölgesel düzeyde yasal çerçevelerle düzenlenmektedir. Ancak, bu düzenlemeler genellikle yetersiz kalmakta ve MP ve NP maruziyetine özgü spesifik önlemler içermemektedir.

4.3.1. Küresel Yasal Çerçevesel

- Avrupa Birliği (AB): AB'nin REACH (Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması) düzenlemesi, kimyasalların insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerini düzenlemektedir. Ancak, MP ve NP'ler için spesifik bir düzenleme bulunmamaktadır.
- Amerika Birleşik Devletleri (ABD): ABD'de İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi (OSHA), işyerlerindeki kimyasal maruziyetini

düzenlemektedir. Ancak, MP ve NP'ler için spesifik bir maruziyet sınırı belirlenmemiştir.

4.3.2. Türkiye'de Yasal Çerçevesel

Türkiye'de, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili düzenlemeler İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK) kapsamında yapılmaktadır. Ancak, bu düzenlemelerde MP ve NP maruziyetine özgü spesifik önlemler bulunmamaktadır. Özellikle plastik üretim ve geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin sağlığını korumaya yönelik acil önlemler alınması gerekmektedir.

4.4. Risk Azaltma Stratejileri

MP ve NP maruziyetini azaltmaya yönelik çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bu stratejiler, özellikle işyeri ortamlarında uygulanabilir önlemleri içermektedir.

4.4.1. Mühendislik Kontrolleri

- Havalandırma sistemleri ve hava filtreleme üniteleri, havadaki MP ve NP konsantrasyonlarını azaltmada etkilidir.
- Kapalı sistemler kullanılarak, plastik malzemelerin işlenmesi sırasında partiküllerin havaya yayılması önenebilir.

4.4.2. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD)

- Solunum maskeleri, eldivenler ve koruyucu giysiler, işçilerin MP ve NP'lere maruz kalmasını önlemeye yardımcı olabilir.

4.4.3. İşyeri Hijyen Uygulamaları

- İşyerlerinin düzenli olarak temizlenmesi ve el yıkama istasyonlarının sağlanması, MP ve NP maruziyetini azaltabilir.

5. RİSK AZALTMA VE ÖNLEYİCİ TEDBİRLER

Mikroplastikler (MP'ler) ve nanoplastikler (NP'ler) ile ilgili risklerin azaltılması ve çalışanların sağlığının korunması için çeşitli önleyici tedbirler alınabilir. Bu bölümde, işyeri ortamlarında MP ve NP maruziyetini azaltmaya yönelik mühendislik kontrolleri, kişisel koruyucu ekipman (KKD), işyeri hijyen uygulamaları ve çalışan eğitimi gibi stratejiler detaylı bir şekilde incelenmektedir.

5.1. Mühendislik Kontrolleri

Mühendislik kontrolleri, işyeri ortamlarında MP ve NP maruziyetini azaltmanın en etkili yollarından biridir. Bu kontroller, partiküllerin havaya yayılmasını önlemeye ve çalışanların maruziyetini en aza indirmeye yöneliktir.

5.1.1. Havalandırma Sistemleri

Havalandırma sistemleri, özellikle plastik üretim ve geri dönüşüm tesislerinde havadaki MP ve NP konsantrasyonlarını azaltmada etkilidir. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, havalandırma sistemlerinin kullanıldığı plastik geri dönüşüm tesislerinde havadaki MP konsantrasyonlarının %70 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Zhang et al., 2020). Bu tür sistemler, özellikle kapalı alanlarda çalışan işçilerin sağlığını korumada önemli bir rol oynamaktadır.

5.1.2. Hava Filtreleme Üniteleri

Hava filtreleme üniteleri, havadaki MP ve NP partiküllerini yakalayarak çalışanların solunum yoluyla maruz kalmasını önlemektedir. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, yüksek verimli partikül hava (HEPA) filtrelerinin kullanıldığı tekstil fabrikalarında havadaki sentetik lif partiküllerinin %90 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu tür filtreler, özellikle MP ve NP maruziyetinin yüksek olduğu işyerlerinde etkili bir çözüm sunmaktadır.

5.2. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD)

Kişisel koruyucu donanım (KKD), işçilerin MP ve NP'lere maruz kalmasını önlemeye yönelik önemli bir önlemdir. Bu ekipmanlar, özellikle mühendislik kontrollerinin yetersiz kaldığı durumlarda kullanılmaktadır.

5.2.1. Solunum Maskeleri

Solunum maskeleri, özellikle plastik üretim ve geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin solunum yoluyla MP ve NP'lere maruz kalmasını önlemektedir. Örneğin, 2019 yılında yapılan bir çalışmada, N95 solunum maskelerinin kullanıldığı plastik geri dönüşüm tesislerinde işçilerin solunum yolu hastalıklarında %50 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir (Vethaak et al., 2019). Bu tür maskeler, özellikle havadaki MP ve NP konsantrasyonlarının yüksek olduğu işyerlerinde etkili bir koruma sağlamaktadır.

5.2.2. Koruyucu Giysiler

Koruyucu giysiler, özellikle plastik malzemelerin doğrudan temas ettiği işlerde çalışan işçilerin deri yoluyla MP ve NP'lere maruz kalmasını önlemektedir. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, koruyucu giysilerin kullanıldığı plastik üretim tesislerinde işçilerde cilt tahrişi ve dermatit vakalarında %60 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir (Allen et al., 2020). Bu tür giysiler, özellikle deri yoluyla maruziyetin yüksek olduğu işyerlerinde etkili bir koruma sağlamaktadır.

5.3. İşyeri Hijyen Uygulamaları

İşyeri hijyen uygulamaları, MP ve NP maruziyetini azaltmaya yönelik önemli bir önlemdir. Bu uygulamalar, özellikle işyeri ortamlarının temizliği ve çalışanların kişisel hijyenine yöneliktir.

5.3.1. İşyeri Temizliği

İşyeri ortamlarının düzenli olarak temizlenmesi, havadaki ve yüzeylerdeki MP ve NP partiküllerinin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, düzenli temizlik yapılan tekstil fabrikalarında havadaki sentetik lif partiküllerinin %40 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu tür uygulamalar, özellikle MP ve NP maruziyetinin yüksek olduğu işyerlerinde etkili bir çözüm sunmaktadır.

5.3.2. El Yıkama İstasyonları

El yıkama istasyonları, özellikle plastik üretim ve geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin MP ve NP'leri ağız yoluyla almasını

önlemektedir. Örneğin, 2022 yılında yapılan bir çalışmada, el yıkama istasyonlarının kullanıldığı plastik geri dönüşüm tesislerinde işçilerde gastrointestinal problemlerde %30 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir (Kim et al., 2022). Bu tür istasyonlar, özellikle hijyen koşullarının yetersiz olduğu işyerlerinde etkili bir koruma sağlamaktadır.

5.4. Çalışan Eğitimi ve Farkındalık

Çalışan eğitimi ve farkındalık, MP ve NP maruziyetini azaltmaya yönelik önemli bir önlemdir. Bu eğitimler, özellikle işçilerin MP ve NP'lerin sağlık üzerindeki etkileri ve maruziyeti azaltmaya yönelik önlemler hakkında bilgilendirilmesini amaçlamaktadır.

5.4.1. Eğitim Programları

Eğitim programları, özellikle plastik üretim ve geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin MP ve NP'lerin sağlık üzerindeki etkileri hakkında bilgilendirilmesini sağlamaktadır. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, eğitim programlarının uygulandığı plastik geri dönüşüm tesislerinde işçilerin MP ve NP maruziyetini azaltmaya yönelik önlemleri uygulama oranının %80 oranında arttığı tespit edilmiştir (Allen et al., 2020). Bu tür programlar, özellikle MP ve NP maruziyetinin yüksek olduğu işyerlerinde etkili bir çözüm sunmaktadır.

5.4.2. Farkındalık Kampanyaları

Farkındalık kampanyaları, özellikle tekstil fabrikalarında çalışan işçilerin MP ve NP'lerin sağlık üzerindeki etkileri hakkında

bilgilendirilmesini sağlamaktadır. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, farkındalık kampanyalarının uygulandığı tekstil fabrikalarında işçilerin MP ve NP maruziyetini azaltmaya yönelik önlemleri uygulama oranının %70 oranında arttığı tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu tür kampanyalar, özellikle MP ve NP maruziyetinin yüksek olduğu işyerlerinde etkili bir çözüm sunmaktadır.

6. GELECEĞE YÖNELİK ÖNERİLER

Mikroplastikler (MP'ler) ve nanoplastikler (NP'ler) ile ilgili araştırmalar ve düzenlemeler henüz emekleme aşamasındadır. Özellikle işyeri ortamlarındaki MP ve NP maruziyetinin çalışan sağlığı üzerindeki etkileri, daha fazla araştırma ve politika geliştirme gerektiren bir alandır. Bu bölümde, gelecekte yapılması gereken çalışmalar ve alınması gereken önlemler detaylı bir şekilde incelenmektedir.

6.1. Araştırma İhtiyaçları

MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu araştırmalar, özellikle uzun vadeli sağlık etkileri ve maruziyet sınırları üzerine odaklanmalıdır.

6.1.1. Uzun Vadeli Sağlık Etkileri

MP ve NP'lerin uzun vadeli sağlık etkileri hakkında yapılan çalışmalar sınırlıdır. Özellikle kronik maruziyetin neden olduğu sağlık sorunları hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Örneğin,

2021 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerde uzun vadeli solunum yolu hastalıklarının yaygın olduğu tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu tür çalışmalar, MP ve NP'lerin uzun vadeli sağlık etkilerini anlamak için önemli bir adımdır.

6.1.2. Maruziyet Sınırları

MP ve NP'ler için maruziyet sınırlarının belirlenmesi, çalışanların sağlığını korumak için önemli bir adımdır. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, plastik üretim tesislerinde çalışan işçilerin maruz kaldığı MP konsantrasyonlarının genel popülasyona kıyasla 10 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Zhang et al., 2020). Bu tür çalışmalar, MP ve NP'ler için maruziyet sınırlarının belirlenmesine yardımcı olabilir.

6.2. Politika Önerileri

MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri hakkında daha fazla politika geliştirilmesi gerekmektedir. Bu politikalar, özellikle maruziyet sınırları ve risk azaltma stratejileri üzerine odaklanmalıdır.

6.2.1. Maruziyet Sınırları

MP ve NP'ler için maruziyet sınırlarının belirlenmesi, çalışanların sağlığını korumak için önemli bir adımdır. Örneğin, Avrupa Birliği'nin REACH düzenlemesi, kimyasalların insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerini düzenlemektedir. Ancak, MP ve NP'ler için spesifik bir düzenleme bulunmamaktadır (European Chemicals Agency, 2020). Bu

tür düzenlemeler, MP ve NP'ler için maruziyet sınırlarının belirlenmesine yardımcı olabilir.

6.2.2. Risk Azaltma Stratejileri

MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri hakkında daha fazla risk azaltma stratejisi geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, havalandırma sistemleri ve hava filtreleme ünitelerinin kullanıldığı plastik geri dönüşüm tesislerinde havadaki MP konsantrasyonlarının %70 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu tür stratejiler, MP ve NP maruziyetini azaltmada etkili bir çözüm sunmaktadır.

6.3. Çalışan Eğitimi ve Farkındalık

MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri hakkında daha fazla çalışan eğitimi ve farkındalık çalışması yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar, özellikle işçilerin MP ve NP'lerin sağlık üzerindeki etkileri ve maruziyeti azaltmaya yönelik önlemler hakkında bilgilendirilmesini amaçlamaktadır.

6.3.1. Eğitim Programları

Eğitim programları, özellikle plastik üretim ve geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin MP ve NP'lerin sağlık üzerindeki etkileri hakkında bilgilendirilmesini sağlamaktadır. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, eğitim programlarının uygulandığı plastik geri dönüşüm tesislerinde işçilerin MP ve NP maruziyetini azaltmaya yönelik önlemleri uygulama oranının %80 oranında arttığı tespit

edilmiştir (Allen et al., 2020). Bu tür programlar, özellikle MP ve NP maruziyetinin yüksek olduğu işyerlerinde etkili bir çözüm sunmaktadır.

6.3.2. Farkındalık Kampanyaları

Farkındalık kampanyaları, özellikle tekstil fabrikalarında çalışan işçilerin MP ve NP'lerin sağlık üzerindeki etkileri hakkında bilgilendirilmesini sağlamaktadır. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada, farkındalık kampanyalarının uygulandığı tekstil fabrikalarında işçilerin MP ve NP maruziyetini azaltmaya yönelik önlemleri uygulama oranının %70 oranında arttığı tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu tür kampanyalar, özellikle MP ve NP maruziyetinin yüksek olduğu işyerlerinde etkili bir çözüm sunmaktadır.

7. SONUÇLAR

Mikroplastikler (MP'ler) ve nanoplastikler (NP'ler), işyeri ortamlarında giderek artan bir çevre ve insan sağlığı sorunu haline gelmiştir. Bu makalede, MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı, maruziyet yolları, toksikolojik etkileri ve çalışanlar üzerindeki sağlık etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, küresel ve bölgesel (Türkiye özelinde) yasal çerçeveler, risk azaltma stratejileri ve geleceğe yönelik öneriler değerlendirilmiştir.

7.1. Ana Bulgular

MP ve NP'ler, özellikle plastik üretim, geri dönüşüm ve tekstil sektörlerinde çalışan işçiler için ciddi bir sağlık riski oluşturmaktadır.

Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin havadaki MP konsantrasyonlarına genel popülasyona kıyasla 10 kat daha fazla maruz kaldığı tespit edilmiştir (Zhang et al., 2020). Bu tür bulgular, MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığını ve çalışanlar üzerindeki etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

MP ve NP'lerin solunum yoluyla maruziyeti, özellikle solunum yolu hastalıklarına neden olabilmektedir. Örneğin, 2019 yılında yapılan bir çalışmada, plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerde kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve astım gibi solunum yolu hastalıklarının yaygın olduğu tespit edilmiştir (Vethaak et al., 2019). Bu tür bulgular, MP ve NP'lerin solunum yolu üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça ortaya koymaktadır.

7.2. Yasal Çerçevesel ve Risk Azaltma Stratejileri

MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri, küresel ve bölgesel düzeyde yasal çerçevelerle düzenlenmektedir. Ancak, bu düzenlemeler genellikle yetersiz kalmakta ve MP ve NP maruziyetine özgü spesifik önlemler içermemektedir. Örneğin, Avrupa Birliği'nin REACH düzenlemesi, kimyasalların insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerini düzenlemektedir. Ancak, MP ve NP'ler için spesifik bir düzenleme bulunmamaktadır (European Chemicals Agency, 2020).

Risk azaltma stratejileri, özellikle mühendislik kontrolleri, kişisel koruyucu ekipman (KKD) ve işyeri hijyen uygulamaları üzerine odaklanmaktadır. Örneğin, 2021 yılında yapılan bir çalışmada,

havalandırma sistemleri ve hava filtreleme ünitelerinin kullanıldığı plastik geri dönüşüm tesislerinde havadaki MP konsantrasyonlarının %70 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Prata et al., 2021). Bu tür stratejiler, MP ve NP maruziyetini azaltmada etkili bir çözüm sunmaktadır.

7.3. Geleceğe Yönelik Öneriler

MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri hakkında daha fazla araştırma ve politika geliştirme gerekmektedir. Özellikle uzun vadeli sağlık etkileri ve maruziyet sınırları üzerine odaklanan çalışmalar, bu alanda önemli bir boşluğu doldurabilir. Örneğin, 2022 yılında yapılan bir çalışmada, nanoplastik partiküllerin bağırsak mikrobiyotasını bozarak inflamatuvar bağırsak hastalıklarına neden olduğu tespit edilmiştir (Kim et al., 2022). Bu tür çalışmalar, MP ve NP'lerin uzun vadeli sağlık etkilerini anlamak için önemli bir adımdır.

Ayrıca, MP ve NP'ler için maruziyet sınırlarının belirlenmesi ve risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesi, çalışanların sağlığını korumak için önemli bir adımdır. Örneğin, 2020 yılında yapılan bir çalışmada, plastik üretim tesislerinde çalışan işçilerin maruz kaldığı MP konsantrasyonlarının genel popülasyona kıyasla 10 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Zhang et al., 2020). Bu tür çalışmalar, MP ve NP'ler için maruziyet sınırlarının belirlenmesine yardımcı olabilir.

7.4. Genel Değerlendirme

MP ve NP'ler, işyeri ortamlarında giderek artan bir çevre ve insan sağlığı sorunu haline gelmiştir. Bu makalede, MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı, maruziyet yolları, toksikolojik etkileri ve çalışanlar üzerindeki sağlık etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, küresel ve bölgesel (Türkiye özelinde) yasal çerçeveler, risk azaltma stratejileri ve geleceğe yönelik öneriler değerlendirilmiştir.

MP ve NP'lerin işyeri ortamlarındaki varlığı ve çalışanlar üzerindeki etkileri hakkında daha fazla araştırma ve politika geliştirme gerekmektedir. Özellikle uzun vadeli sağlık etkileri ve maruziyet sınırları üzerine odaklanan çalışmalar, bu alanda önemli bir boşluğu doldurabilir. Ayrıca, MP ve NP'ler için maruziyet sınırlarının belirlenmesi ve risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesi, çalışanların sağlığını korumak için önemli bir adımdır.

8. KAYNAKÇA

Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Jiménez, P. D., Simonneau, A., ... & Galop, D. (2020). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12(5), 339-344. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>.

Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>.

Bakan, B., Kalčec, N., Liu, S., Ilić, K., Qi, Y., Capjak, I., ... & Vinković Vrček, I. (2024). Science-based evidence on pathways and effects of human exposure to micro-and nanoplastics. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 75(1), 1-14.

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2018). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104(1-2), 290-293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>.

European Chemicals Agency. (2020). REACH regulation. Helsinki: ECHA.

Galloway, T. S., & Lewis, C. N. (2016). Marine microplastics spell big problems for future generations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(9), 2331-2333. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600715113>.

International Labour Organization (ILO). (2020). Global trends in occupational exposure to plastics. Geneva: ILO.

Kim, J. S., Lee, H. J., Kim, S. K., & Kim, H. J. (2022). Global pattern of microplastics (MPs) in commercial food-grade salts: Sea salt as an indicator of seawater MP pollution. *Environmental Science & Technology*, 56(12), 7516-7525.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04128>.

PAGEV. (2022). Türkiye plastik sektörü raporu. İstanbul: PAGEV.

Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2021). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, 702, 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>.

Sağlık Bakanlığı. (2021). Tekstil sektöründe çalışan işçilerin sağlık durumu raporu. Ankara: Sağlık Bakanlığı.

Turkish Ministry of Environment and Urbanization. (2022). Report on microplastic pollution in Turkey. Ankara: Ministry of Environment and Urbanization.

Türk Toraks Derneği. (2022). Plastik geri dönüşüm tesislerinde çalışan işçilerin solunum sağlığı raporu. İstanbul: Türk Toraks Derneği.

Vethaak, A. D., & Leslie, H. A. (2019). Plastic debris is a human health issue. *Environmental Science & Technology*, 50(13), 6825-6826. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02569>.

Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: A micro issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634-6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>.

Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. Y., & Shi, H. (2020). A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: Direct human exposure. *Environmental Science & Technology*, 54(7), 3740-3751. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04535>.

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN MİKROPLASTİKLER VE NANOPLASTİKLER