T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

MALZEME SENTEZİ YAPILAN ARAŞTIRMA LABORATUVARLARININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÖRNEK BİR MALZEME SENTEZİ UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Şakir YILMAZ
DANIŞMAN: Doç. Dr. Adem ZENGİN

VAN-2022

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

MALZEME SENTEZİ YAPILAN ARAŞTIRMA LABORATUVARLARININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÖRNEK BİR MALZEME SENTEZİ UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Şakir YILMAZ

VAN-2022

KABUL VE ONAY SAYFASI

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Adem ZENGİN danışmanlığında, Şakir YILMAZ tarafından sunulan "Malzeme sentezi yapılan araştırma laboratuvarlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi: Örnek bir malzeme sentezi uygulaması" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 22/12/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Fikret TÜRKAN İmza:

Üye: Doç. Dr. Adem ZENGİN İmza:

Üye: Doç. Dr. Mustafa BİLİCİ İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …../…../2022 tarih ve …….. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

……

Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Şakir YILMAZ

ÖZET

MALZEME SENTEZİ YAPILAN ARAŞTIRMA LABORATUVARLARININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: ÖRNEK BİR MALZEME SENTEZİ UYGULAMASI

YILMAZ, Şakir
Yüksek Lisans Tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Adem ZENGİN
Aralık 2022, 79 sayfa

Nanoteknoloji araştırmaları alanındaki çok sayıda çalışan nedeniyle sentez laboratuvarlarındaki tehlikeler ve riskler önemli bir konudur. Kantitatif veya kalitatif yöntemlerle risk değerlendirmesi, laboratuvar ortamında risklerin yönetilmesi için önemli bir yoldur. Risk değerlendirmesi, nanomalzemelerin sentezlendiği laboratuvarlarda fikir birliği sağlayan kalitatif yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Nanoteknolojinin yükselişi, adsorpsiyon, hidrojen üretimi, sensör ve süper kapasitör gibi farklı uygulamalarla nanomalzemelerin alternatif malzemeler olarak araştırma ve ticarileştirme olanaklarını açmıştır. Ancak ölçek büyütmeden önce laboratuvar ölçeğinde sentez sürecine ilişkin genel bir tehlike tanımı yapmak gerekir. Bu çalışmanın amacı, nanomalzemelerin üretimi sırasında gerçekleştirilen deneylerin ve bu deneyler sırasında insan sağlığını etkileyen faktörlerin ve risklerin değerlendirilmesi, iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesidir. Bu amaçla nanomalzemelerin sentezlendiği laboratuvar ortamında örnek bir malzeme sentezi için tehlike analizleri olursa ne olur tekniği kullanılarak detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Burada poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit, örnek bir malzeme sentezi olarak tartışılmaktadır. Sonuçlar, bu malzemenin sentezindeki ana tehlikelerin küçük yaralanma potansiyeli ve toksik kimyasallara maruz kalma olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, bu malzeme sentezinin ölçeği arttıkça, daha derin değerlendirmeler yapılması gerekmektedir ve bu çalışma gelecekte bu tür tehlikelerin belirlenmesine katkıda bulunacaktır.

Anahtar kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, Laboratuvar, Malzeme, Risk değerlendirmesi, Sentez.

ABSTRACT

EVALUATION OF MATERIAL SYNTHESIS RESEARCH LABORATORIES IN TERMS OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY: A SAMPLE MATERIAL SYNTHESIS APPLICATION

YILMAZ, Şakir
MSc. Thesis, Department of Occupational Health and Safety
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Adem ZENGİN
December 2022, 79 pages

Hazards and risks in the synthesis laboratories are a significant issue due to the large number of employees in the area of the nanotechnology research. The risk assessment with quantitative or qualitative methods is an important way for the management of risks in the laboratory environment. Risk assessment can be carried out by qualitative methods that gather consensus in laboratories where nanomaterials are synthesized. The rise of nanotechnology has opened up research and commercialization possibilities of nanomaterials as alternative materials with different applications such as adsorption, hydrogen production, sensor, and super-capacitor. However, before scaling up, it is necessary to make a general hazard definition regarding the synthesis process at the laboratory scale. The aim of this work is aimed to evaluate the experiments carried out during the production of nanomaterials, and the factors and risks affecting human health during these experiments, and to evaluate them in terms of occupational health and safety. For this purpose, hazard analyzes for an exemplary material synthesis in the laboratory environment where nanomaterials are synthesized were carried out in detail using the what-if technique. Here, poly(2-aminoethyl methacrylate)-grafted magnetic bentonite is discussed as an exemplary material synthesis. The results show that the main hazards in the synthesis of this material are the potential for minor injury and exposure to toxic chemicals. Consequently, as the scale of this material synthesis increases, deeper considerations are required and this work will contribute to identifying such hazards in the future.

Keywords: Occupational Health and safety, Laboratory, Materials, Risk assessment, Synthesis.

ÖNSÖZ

İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi kapsamında bana ilgi ve desteğini esirgemeyen her türlü bilgi ve birikimlerinden yararlandığım, tez çalışmamda yardım ve yönlendirmeleri ile çalışmama katkıda bulunan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Adem ZENGİN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, İş Sağlığı ve Güvenliği alanında beni yönlendiren ve vakit ayırarak yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mustafa BİLİCİ hocama teşekkür ederim.

Akademik çalışma hayatımda destekleriyle yanımda olan; Dr. Berdan ULAŞ, Dr. Ümit ECER, Arş. Gör. Mehmet ORUÇ ve Arş. Gör. A. Sadık DURU'ya teşekkür ederim.

2022

Şakir YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT iii
ÖNSÖZ v
İÇİNDEKİLER vii
ÇİZELGELER LİSTESİ ix
ŞEKİLLER LİSTESİ xi
SİMGELER VE KISALTMALAR xiii
1. GİRİŞ 1
1.1. İş Sağlığı ve Güvenliğine Genel Bakış 3
1.2. Laboratuvar Ortamlarında İş Sağlığı ve Güvenliği 4
1.3. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Nanomalzemeler 5
1.4. Nanomalzeme Türleri 8
1.4.1. Karbon bazlı nanomalzemeler 10
1.4.2. Silikon bazlı nanomalzemeler 10
1.4.3. Metal ve metal oksit nanomalzemeler 10
1.5. Nanomalzemelerin Potansiyel Sağlık Etkileri 11
1.6. Nanomalzeme Risklerinin Değerlendirilmesi 14
1.7. Sentez Laboratuvarlarındaki Tehlike ve Riskler 16
1.7.1. Fiziksel tehlikeler 17
1.7.2. Kimyasal tehlikeler 19
1.7.3. Biyolojik tehlikeler 22
1.7.4. Ergonomik tehlikeler 24
1.7.5. Psikososyal tehlikeler 24
1.8. Risk Değerlendirme Yöntemleri 25
1.8.1. Ön tehlike analizi 25
1.8.2. İş güvenliği analizi 26
1.8.3. Risk değerlendirme karar matrisi 27
1.8.4. Tehlike ve işletilebilme çalışması metodolojisi 28
1.8.5. Hata ağacı analizi metodolojisi 29
1.8.6. Olası hata türleri ve etkileri analizi 30

Sayfa

1.8.7. Olay ağacı analizi 31
1.8.8. Neden-sonuç analizi 32
1.8.9. Fine-Kinney risk analizi 35
1.8.10. Olursa ne olur analizi 37
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ 41
3. MATERYAL VE YÖNTEM 47
3.1. Sentez Laboratuvarında Kullanılan What If Analizi 47
3.2. Sentez Senaryosunda Kullanılan Malzemeler 50
3.3. Sentez Senaryosunda Kullanılan Ekipmanlar 51
3.4. Sentez Senaryosu 51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 53
4.1. Sentez Senaryosunun Olursa Ne Olur Analizine Uyarlanması 53
4.2. Fiziksel Tehlikeler 67
4.3. Kimyasal Tehlikeler 68
4.4. Ergonomik Tehlikeler 70
5. SONUÇ 73
KAYNAKLAR 75
ÖZ GEÇMİŞ 79

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. En yaygın nanomalzemler ve uygulama alanları 11

Çizelge 1.2. Bazı nanomalzemelerin toksikolojik etkileri..... 13

Çizelge 3.1. What-if proses tehlike analizi yöntemi..... 48

Çizelge 4.1. Sentez laboratuvar tehlike analizi için risk matrisi 55

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması 57

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Risk değerlendirmesi/risk yönetimi çerçevesi. 16

Şekil 1.2. Fine-Kinney yönteminin akış şeması. 36

Şekil 3.1. Beyin fırtınası aşamaları. 48

Şekil 3.2. Kontrol listesi aşamaları. 49

Şekil 3.3. What-if tehlike analizi aşamaları. 49

Şekil 3.4. What-if kontrol listesi aşamaları. 49

Şekil 3.5. Yapılandırılmış What-if tekniği aşamaları. 49

Şekil 3.6. Tehlike ve işletilebilirlik çalışması aşamaları. 50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
g	Gram
kHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
µm	Mikrometre
mg	Miligram
mL	Mililitre
nm	Nanometre
°C	Santigrat derece sıcaklığı

Kısaltmalar	**Açıklama**
ETA	Olay Ağacı Analizi
FMEA	Olası Hata Türleri ve Etkileri Analizi
FTA	Hata Ağacı Analizi
HAZOP	Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Metodolojisi
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
JSA	İş Güvenliği Analizi
KKD	Kişisel Koruyucu Donanım
MSDS	Malzeme Güvenlik Bilgi Formu
PHA	Ön Tehlike Analizi

1. GİRİŞ

Günümüzde dünyanın çeşitli ülkelerinde bilim ve teknolojinin gelişmesi giderek artmakta, nano ölçekli malzemelerin mühendisliğine ya da nanoteknoloji olarak bilindiğine inanılmaktadır. Nanoteknoloji, basitçe, mühendisliğin tamamen endüstriyel veya ticari amaçlara yönelik araç veya cihazlara uygulanması olarak tanımlanır. Malzeme teknolojisinde nanoteknoloji, nanomalzeme nanomalzemeler olarak bilinir (Kustono ve ark., 2021). Nanoteknoloji uygulamaları, malzeme özelliklerini geliştirmek, enerji tüketimini korumak ve daha yeşil ve çevresel açıdan sürdürülebilir yapısal malzemeleri birleştirmek için çeşitli endüstrilere yapılan önemli bir yatırımla birlikte, endüstriyel ve tüketici sektörlerinde hızla artmaktadır (Singh ve ark., 2022). Nanomalzemelerin sağlık ve çevre için potansiyel faydaları geniş çapta araştırılmıştır, ancak aynı zamanda sağlık ve çevre için bu olumsuz materyal veya denemelerden ayrılamayan zehirlenmelere neden olabilir. Bunlar arasında nanomalzemelerin sağlık alanında kullanılmasının yan etkileri ve doğanın bu parçacıkları parçalama yeteneği hakkında düşünmek gerekir. Bu yan etkiler, yabancı partiküllerin içeri girmesinden kaynaklanabilir. Nanomalzemeler hayatın çeşitli alanlarında çeşitli kullanımlara sahiptir. Nanomalzemeler alanında çeşitli atılımlar ortaya çıkmıştır, bu tür gelişmeler her gün kullandığımız çeşitli ürünlerde, örneğin gıda ve kozmetik ambalajlarında bulunabilir. Ayrıca nanomalzemeler, kanser tedavisi gibi sağlık sektöründe de kullanılmaktadır. Nanoteknolojinin gelişmesi ile birlikte, eğitim dünyası aracılığıyla tanıtılabilecek olan nanoteknolojinin toplumdaki anlayışının arttırılması gerekmektedir. Yükseköğretim kurumlarında öğrenim müfredatına teknoloji geliştirme biliminin veya nanoteknolojinin dâhil edilmesi, uygulanabilecek bir alternatiftir. Nanomalzeme biliminin gelişmesinde destekleyici bir tesis olarak nanomalzeme laboratuvarı, insanlar ve çevre için tehlike ve risk oluşturma potansiyeline sahip bir yerdir. Nanomalzeme laboratuarlarında var olan potansiyel tehlikeler genellikle ilgili kişiler tarafından fark edilmez, bunun nedeni değerlendirme standartlarının olmaması ve nanomalzeme laboratuarlarında iş kazalarının potansiyel tehlikeleri ve riskleri hakkında bilgi verilmemesidir (Kustono ve ark., 2021).

Laboratuvarlardaki güvenlik olaylarının başlıca nedenlerinden biri, sentez yolu sırasında ortaya çıkan güvenlik sorunlarına ilişkin bilgi eksikliğidir; bu, özellikle reaksiyonların tehlikelerinin henüz keşfedilmediği yeni malzeme sentezi ve yeni

prosesler için geçerlidir. Çoğu üniversite ve araştırma laboratuvarı, araştırmacıların potansiyel tehlikeleri belirlemek ve ele almak için bir güvenlik analizi yapmasını haklı olarak talep etse de, reaksiyon yoluyla ısı ve gaz üretim hızı, yan ürün oluşumu, termal kararlılık vb. gibi önemli bilgiler eksikse bu analizler eksiksiz olamaz (Lakhe ve ark., 2019). Endüstriyel uygulamalar için ölçek büyütme ve genel büyük ölçekli malzeme üretiminin durumu, birçok sentez koşulunun doğrudan endüstriyel ölçeğe ölçeklendirilememesi nedeniyle tartışmalı olarak hala geliştirme aşamasındadır. Ek olarak, malzeme sentez sürecinde farklı güvenlik ve çevresel endişeleri ile birlikte nano veya kompozit malzeme üretimi süreçlerinde reaktanların, ürünlerin, çözücülerin ve ara bileşiklerin toksisitesinin dikkate alınması dâhil olmak üzere yeşil kimya ilkelerinin uygulanmasına duyulan ihtiyaç göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, akademik laboratuvarlarda yürütülen malzeme sentez sürecindeki tehlikeleri kapsamlı bir şekilde araştırmak ve anlamak için belirlenmiş bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır (Escobar-Hernandez ve ark., 2021).

Nano ve kompozit malzeme araştırmalarına artan ilgi, bu malzeme özelliklerinin izin verdiği çeşitli potansiyel uygulama alanlarına ve pratik kullanımlara bağlanabilir. Yüksek yüzey alanları nedeniyle, böyle malzemeler bilimsel olarak atıksulardan bazı kirliliklerin uzaklaştırılması, gaz saflaştırma, depolama, çeşitli enerji çalışmalarında kullanılan katalizörler gibi çeşitli uygulamalarda doğrudan bir kullanım göstermiştir. Ancak, orijinal olarak bir akademik laboratuvarda geliştirilen herhangi bir süreç gibi, nano ve kompozit malzeme sentez süreci ve bu teknolojinin gelişimi, bu laboratuvarlarda mevcut olan tehlikelere tabidir ve daha da önemlisi, laboratuvar ölçeğindeki bu malzemelerin sentezinde laboratuvardaki araştırmacılar, üretim ve üretimle ilgili birtakım tehlikelere maruz kalmaktadır. Laboratuvar güvenliği konusunda raporlar, akademik kimya laboratuvarlarındaki olay verilerinin, olay oranlarının endüstriyel laboratuvarlardakinden kat kat daha yüksek olduğunu göstermiştir. Buna bağlı olarak malzeme sentezi yapılan araştırma laboratuvarların kullanılan kimyasalların fiziksel tehlikeleri de dâhil olmak üzere güvenlik tehlikelerinin ele alınmasını sağlamaları gerekmektedir.

Bu tez kapsamında; malzeme sentezi yapılan laboratuvarların iş sağlığı ve güvenliği bakımından değerlendirilerek örnek bir malzeme sentezi sürecinde kullanılan kimyasallardan kaynaklanan tehlikelerin ve her bir reaksiyon adımının (karıştırma,

filtrasyon, yıkama ve kurutma gibi) tehlikeli koşullara en yatkın sentez senaryosunu belirlemektir. Buradaki amaç, araştırmacıların kendi laboratuvarlarına uygulamasını teşvik etmek ve böylece malzeme sentezinin genel uygulamasını geliştirmektir. Bu tez ile nano ve kompozit malzeme teknolojisinin genel gelişimine ve endüstriyel ölçekte ticari kullanımına yönelik çabalara katkıda bulunacaktır. Malzeme sentezi için yeni süreçlerin ölçeğinin büyütülmesi doğru yapılmadığı takdirde tehlikeler birleşebileceğinden feci olaylara neden olabilir. Bu amaçla, ilgili tez ile sentez ve ölçek büyütme ile ilişkili olayların sayısını ve şiddetini azaltmak için önleyici tedbirlerin önemini vurgulamayı amaçlamaktadır.

1.1. İş Sağlığı ve Güvenliğine Genel Bakış

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) genel olarak, işyerinde veya işyerinden kaynaklanan ve çalışanların sağlığını ve esenliğini bozabilecek tehlikelerin, işyeri üzerindeki olası etkilerini dikkate alarak öngörme, tanıma, değerlendirme ve kontrol etme bilimi olarak tanımlanır. Bu alan zorunlu olarak geniştir, çok sayıda disiplini ve çok sayıda işyeri ve çevresel tehlikeyi kapsar. Ulusal İSG sistemlerini oluşturan tüm yapı taşlarını koordine etmek ve uygulamak için çok çeşitli yapılara, becerilere, bilgiye ve analitik kapasiteye ihtiyaç vardır, böylece koruma hem çalışanları hem de çevreyi kapsayacak şekilde genişletilir. İSG'nin kapsamı, sosyal, politik, teknolojik ve ekonomik değişimlere yanıt olarak kademeli ve sürekli olarak gelişmiştir. Son yıllarda dünya ekonomilerinin küreselleşmesi ve yansımaları, iş dünyasında ve dolayısıyla İSG kapsamında hem olumlu hem de olumsuz anlamda değişimin en büyük gücü olarak algılanmaktadır. Dünya ticaretinin liberalleşmesi, hızlı teknolojik ilerleme, ulaşım ve iletişimdeki önemli gelişmeler, değişen istihdam kalıpları, iş organizasyonu uygulamalarındaki değişiklikler, kadın ve erkeklerin farklı istihdam kalıpları ve işletmelerin ve yeni teknolojilerin boyutu, yapısı ve yaşam döngüleri tümü yeni tür ve modellerde tehlikeler, maruz kalmalar ve riskler oluşturabilir. İş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemek için etkili yasal ve teknik araçlar ve önlemler mevcut olmasına rağmen, İSG sorunlarını çözmeye yönelik ulusal çabalar genellikle parçalıdır ve sonuç olarak daha az etkiye sahiptir. Bu tür çabalar, iş dünyasındaki değişiklikler veya yeni tehlike ve risklerin tespiti ile uygun tepkilerin geliştirilmesi ve uygulanması arasındaki kaçınılmaz gecikme nedeniyle de engellenmektedir. Önleme ve kontrole yönelik geleneksel stratejiler ve yöntemler, iş

yerindeki hızlı ve sürekli değişikliklere etkili bir şekilde yanıt verebilmek için radikal güncellemelere ihtiyaç duyar. Bu nedenle, iş sağlığı ve güvenliğini sürekli olarak ulusal ve kurumsal önceliklerin ön saflarında tutmak için mekanizmalar ve stratejiler geliştirilmelidir. Bu, insana yakışır çalışma koşullarının ve insana yakışır çalışma ortamının sağlanması ve sürdürülmesi için temel bir gerekliliktir. Bu, sosyal ve ekonomik bağlamlarda iş sağlığı ve güvenliğinin önemi konusunda genel farkındalığı artırarak ve ulusal ve iş planlarına öncelikli bir unsur olarak entegre ederek yapılabilir. Ulusal İSG sistemlerinin sürekli iyileştirilmesi için mekanizmaların başlatılması ve sürdürülmesine tüm sosyal ortakları ve paydaşları dâhil etmek de önemlidir. Nihai hedef, tehlikelerin önlenmesi ve kontrolü yoluyla güvenlik ve sağlığı korumaya yönelik ilkelerin uygulanmasının, çalışma kültürünün ve aslında tüm sosyal ve ekonomik süreçlerin ayrılmaz bir parçası haline gelmesidir. Başarılı olmak için, uygun yanıtların geliştirilmesi, bu alandaki ortak bilgi birikiminden, deneyimden ve iyi uygulamalardan faydalanmalı ve bu bilginin güncel tutulmasını ve iyi bilgi ve eğitim sistemleri aracılığıyla verimli bir şekilde yayılmasını sağlamalıdır. Ulusal bir İSG sistemini oluşturan tüm unsurların tutarlılığını, ilgililiğini ve geçerliliğini sağlamak için dinamik yönetim stratejilerinin geliştirilmesi ve uygulanması gerekir (Alli, 2008).

1.2. Laboratuvar Ortamlarında İş Sağlığı ve Güvenliği

Kimya/malzeme laboratuvarları, diğer bilim laboratuvarlarında tipik olarak bulunandan daha fazla tehlike sunar. İlginç bir şekilde, bazı kimyasallarda değer verdiğimiz özellikler aynı zamanda onları tehlikeli yapan şeydir. Örneğin, bazı organik çözücülerin organik molekülleri çok güzel çözmesi hoşumuza gidiyor ama bu özelliği aynı zamanda cildimizi kurutmasına da neden oluyor. Asitlerin ve bazların sağladığı reaktiviteyi kimyasal bir değişimi etkilemek için kullanır, ancak bu reaktivite aynı zamanda ciltle temas ettiklerinde veya yutulduklarında onları tehlikeli hale getirir. Sıvı nitrojen ve kuru buzun her ikisinin de çok soğuk olduğu bilinen bir gerçektir, çünkü bazen laboratuvar ortamlarında çok düşük sıcaklıklara ihtiyaç duyulur, ancak bu maddeler çok soğuk oldukları için kesinlikle çıplak elle tutmak tehlikelidir. Doğal gaz, eğer kapalı bir alanda biriktiğinde kıvılcım veya alev patlamaya neden olabilir. Kimyasalların kullanıldığı herhangi bir laboratuvarda (bir kimya laboratuvarı veya başka bir bilim laboratuvarı) tehlikeler olacaktır. İyi eğitimli kimyagerler ve iyi eğitimli kimya

öğrencileri, laboratuvarda güvenli bir şekilde çalışabilmek için kimyasalların ve çeşitli kimyasal prosedürlerin tehlikelerini anlamalıdır. Güvenli çalışabilme yeteneği için, yalnızca bir tehlikeyi tanımak değil, aynı zamanda ortaya çıkardığı gerçek riski de değerlendirmek çok önemlidir. Örneğin, bir organik çözücü çok yanıcı olabilir, ancak belirli bir laboratuvarda çözücü bir şişede iyi bir şekilde bulunuyorsa veya çözücü miktarı çok azsa ve tutuşma kaynakları bölgeden uzak tutuluyorsa risk düşüktür. Benzer şekilde, bir kimyasal yutulduğunda çok toksik olabilir, ancak yutulacağı koşullardan kaçınırsa risk düşüktür. Son olarak, güçlü bir asit cilt için çok aşındırıcı olabilir, ancak cilt temasından kaçınmak için adımlar atılırsa risk daha düşüktür. Kaza önleme, laboratuvardaki herkesin tam işbirliğini gerektiren kolektif bir sorumluluktur. Laboratuvarda güvenlik sorumluluğu size, meslektaşlarınıza, eğitmene ve kuruma aittir. Laboratuvarda güvenlikten herkes sorumlu olsa da deneyi yapan kişi olarak kazaları en doğrudan şekilde önlenebilir. Olaylar genellikle güvenliğe karşı kayıtsız bir tutum, tehlikeleri veya tehlikeli durumları fark edememe, yapılmakta olan işle ilgili risklerin değerlendirilmemesi, çevrenize karşı tetikte olamama, riskleri en aza indirmek için talimatlara veya önlemlere uyulmaması ve bilginizin ve deneyiminizin sınırlarını fark edememe gibi nedenlerden kaynaklanır. Kimya laboratuvarı, öğrenme için zengin bir fırsat sunabilir, ancak laboratuvarda çalışırken, eylemlere ve çevredekilerin eylemlerine karşı tetikte olunmalıdır. Kullanılacak kimyasallardaki veya kullanılacak miktarlardaki değişiklikler de dâhil olmak üzere prosedürdeki değişiklikler tehlikeli olabilir (Finster, 2017).

1.3. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Nanomalzemeler

Nanomalzemeler uzun yıllardır işyerinde sağlam bir yere sahiptir ve imalat, işleme ve imha veya geri dönüşümde kullanılmaktadır. Kullanılan nanomalzemelerin hacmi ve türü yıllar içinde sürekli olarak artmıştır ve çoğu durumda laboratuvarları, nanomalzemelerin üretimini ve işlenmesini, kullanıcıyı ve son olarak imha firmasını kapsayan işyerlerinde konuşlandırılır. Nanoteknolojilerin, yaklaşık 1–100 nm aralığındaki yapıları kullanan teknolojiler olduğu konusunda genel bir fikir birliği vardır. Bu karmaşık alan için net bir tanım oluşturmaya yönelik birçok girişim vardır ve bunların tümü az çok konuyu daraltmayı amaçlar. Riskleri belirlemek ve değerlendirmek ve koruyucu önlemler almak için, malzemelerin özellikleri 100 nm'de aniden değişmediğinden, üst limiti mikrometre aralığına doğru genişletmenin yararlı olduğu

kanıtlanmıştır. Buna ek olarak, aglomeralar ve agregalar gibi daha büyük ikincil parçacıklar da işyerinde önemli bir rol oynar. 1–100 nm aralığındaki birincil parçacıklara birçok işyerinde nadiren rastlansa da, bu birincil parçacıklardan oluşan ve vücutta tekrar birincil parçacıklara parçalanabilen ikincil parçacıklar meydana gelir. Kesin sınırların uygulanması, bu sorunun önemli bir bölümünü basitçe engelleyecektir. Nanomalzemeler, serbest, bağlanmamış nano nesnelerden (nanofilmler ve nanoplakalar, nanotüpler, nanoçubuklar veya nanoteller ve ayrıca küresel nanopartiküller) daha nadiren oluşur. Aglomeratların ve agregaların yanı sıra, örneğin bir polimer matrisine entegre edilmiş nanopartiküller veya nanotüpler gibi kompozit malzemeler sıklıkla kullanılır. Ayrıca, işyerinde nano ölçekli yapılara sahip iki tür malzeme ortaya çıkar (üçüncü bir tür, doğal kaynaklardan gelen çok ince tozlar olacaktır). Ultra ince aerosoller, genel olarak nanomalzemeler olduğu anlaşılan ve bu şekilde bilinçli ve kasıtlı olarak üretilen veya kullanılan nanomalzemelerden farklıdır, çünkü prensipte aynı özellikleri paylaşabilseler de, istemeden de oluşturulabilirler ve maruz kalmaya neden olabilirler. İş sağlığı ve güvenliği tedbirleri açısından her iki tip de eşit olarak değerlendirilmelidir. Ultra ince aerosoller, nanomalzemeler tarafından salınabilir, ancak bunlar genellikle daha kaba malzemeler üzerinde işlem ve işleme adımları yoluyla oluşturulur. Frezeleme, öğütme veya lazerle kesme gibi çalışma prosedürleri sırasında yayılan ultra ince tozların doğası ve konsantrasyonu hakkında varsayımlar yapılabilir ancak bunlar yanlış olabilir. Güvenli işleme için ayrıntılı yönergeler mevcut değilse, uzman görüşüne ihtiyaç vardır (Brock, 2018).

Nanomalzeme biliminin geliştirilmesinde destekleyici bir tesis olarak nanomalzeme laboratuvarı, insanlar ve çevre için tehlike ve risk oluşturma potansiyeline sahip bir yerdir. Nanomalzeme laboratuvarlarında var olan potansiyel tehlikeler, genellikle bunlarla ilgili kişiler tarafından fark edilmez, bunun nedeni, değerlendirme standartlarının olmaması ve nanomalzeme laboratuvarlarında iş kazalarının potansiyel tehlikeleri ve riskleri hakkında bilgi verilmemesidir. Nanomalzemelerin sağlık ve çevre için potansiyel faydaları geniş çapta incelenmiştir, ancak aynı zamanda bu olumsuz malzeme sağlık ve çevre için veya daha spesifik olarak denemelerden ayrılamayan zehirlenmelere neden olabilir. Bunların arasında sağlık alanında nanomateryallerin kullanılmasının yan etkileri ve doğanın bu parçacıkları ayrıştırma yeteneği üzerine

düşünmek var. Bu yan etkiler vücuda yabancı partiküllerin girmesinden kaynaklanmaktadır (Kustono ve ark., 2021).

Nanomalzemeler, farklı endüstriyel alanlarda çeşitli kullanımlara sahiptir ve mevcut veya gelecekteki uygulamaların etkinliğini artırmak için sayısız tüketici ürününe yerleştirilmiştir. Nanomalzemeler için iyi bilinen veri kaynakları olan nanoteknoloji ile ilgili ana uluslararası envanterlere göre, dünya çapında yüzlerce şirket tarafından üretilmiş, ticari ve araştırma amaçlı satışa sunulan binlerce nano ölçekli malzeme bulunmaktadır. Aslında, bu malzemeler kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde, boya ve kaplamalarda, gıda işleme ve paketlemede, tekstil ve giyimde, plastiklerde, elektronik ve optik cihazlarda, böcek ilaçlarında, farmasötik ve tıbbi uygulamalarda, inşaat malzemelerinde, su arıtmada ve çevresel iyileştirmede kullanılmaktadır. Bu nedenle, nanoteknoloji şu anda hayatın ve çalışmanın farklı alanlarında iyileştirmeler sağlamayı vaat eden, hızla büyüyen bir pazardır. Bununla birlikte, nanomalzemelerin yaygın endüstriyel kullanımlarını açıklayan benzersiz fiziko-kimyasal özelliklerinin, olası spesifik toksik etkilerden de sorumlu olabileceği gerçeğinden dolayı, bu malzemelerin potansiyel olumsuz sağlık etkileri ve çevresel etkileri konusunda artan bir endişe vardır. İnsanların nanomalzemelere maruz kalması yaşam döngüsünün herhangi bir aşamasında (laboratuar veya endüstriyel reaktörlerde sentezlenmelerinden bu malzemeleri içeren tüketici ürünlerinin kullanımına ve bertarafına kadar) meydana gelebilmesine rağmen, endüstriyel tesislerde ve/veya araştırma tesislerinde meydana gelme olasılığı daha yüksektir. Bu işyerlerinde, iş faaliyetinin türüne ve/veya nanomalzemelerin karmaşıklığına bağlı olarak, bunların üretimi, işlenmesi veya kullanımı birkaç miligram veya birkaç yüz kilogram içerebilir. Dünya pazarındaki toplam yıllık miktarın ~11 milyon ton olduğu tahmin edilse bile, üretilen toplam küresel nanomalzeme miktarı için kesin veriler mevcut değildir ve karbon siyahı ve sentetik amorf silika nanomalzemeler en yaygın şekilde üretilir. Nano ölçekli malzemelerle temel ve uygulamalı araştırma yapan araştırma laboratuvarları, faaliyetleri için kullanılan nanomalzemeleri de üretme eğiliminde olduklarından, maruz kalma potansiyeli en yüksek iş yerlerini oluşturmaktadırlar (Iavicoli ve ark., 2018).

1.4. Nanomalzeme Türleri

Günümüzde en yaygın nanoparçacık türleri, karbon veya titanyum dioksit gibi tek elementlerin veya moleküllerin ince ölçekli parçacıklarıdır. Nanoparçacıklar ayrıca, yarı iletkenler gibi davranabilen, laboratuvar teşhisi için gelecek vaat eden bir nano ölçekli araç ve 2 nm kadar küçük olabilen kuantum noktaları gibi yapıları da içerir. Diğer bir tür, jeodezik kubbenin mucidi Buckminster Fuller'ın adını taşıyan buckminster fullerenes, fullerenes veya bucky topları olarak adlandırılan 60 karbon atomundan oluşan top şeklindeki bir kafes işidir. İçi boş olan fullerenler ilaç endüstrisinde ilaç dağıtımı, yakıt hücrelerinde enerji üretimi, çevresel iyileştirme ve yağlama ve çeşitli ticari kimyasal reaksiyonlarda kullanılan katalitik nanopartiküller için kullanılabilir. Bu parçacıkların boyutu farklı varyasyonlara sahiptir; fullerenler 1 nm boyutundadır ve nano katalizörler 1 ila 10 nm uzunluğundadır. Şu anda iki tür nanotüp yapısı vardır. Birincisi tek duvarlı bir yapı, ikincisi ise çok katmanlı bir tasarımdır. Bu yapılar tipik olarak 5 nm'lik bir iç çapa ve 10 nm'lik bir dış çapa sahiptir. Nanotüpler yüksek gerilme mukavemeti, yüksek iletkenlik, geniş yüzey alanı, benzersiz elektronik özellikler sergiler ve yüksek moleküler depolama kapasitesine sahip olabilir. Bu teknolojiden potansiyel olarak etkilenen alanlar elektronik, yüksek mukavemetli malzemeler, kuantum teli ve mekanik bellektir. Bu malzemelerin üretim süreci, yüksek sıcaklık veya basınçta moleküler karbon varlığında bir geçiş metali partikülünün katalizör olarak kullanılmasını içerir (McShane, 2005).

Parçacık yüzey alanı ve parçacık sayısı belirlemelerinin, nanoparçacıkla ilişkili akciğer toksisitesinin gelişimini etkilemede önemli roller oynadığı öne sürülmüştür. Yapılan varsayımlar, çok ince ve ince boyutlu parçacık türleri arasındaki tek farkın parçacık boyutları olduğuydu; bununla birlikte, kristal yapı, agregasyon potansiyeli ve yüzey kaplamaları dâhil olmak üzere bir dizi başka fizikokimyasal özelliğin, karşılaştırılan çeşitli parçacık türlerinde farklı olduğunu gösterir. Ayrıca, nanokuvars ve ultra ince titanyum dioksit parçacık türleri ile yapılan diğer yakın tarihli çalışmaların bulguları, bazı nanoparçacık türlerinin toksisitesinin, büyük ölçüde, akciğerde enflamatuar ve sitotoksik tepkilerin gelişimini etkilemede parçacıkların yüzey reaktivitesi ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Parçacıkların yüzeyleri ve arayüzleri, nano ölçekli malzemelerin özellikle önemli bileşenleridir. Parçacık boyutu küçüldükçe, yüzeyde bulunan atomların oranı, hacminin içindeki orana göre büyütülür. Bu, daha reaktif hale gelmesi muhtemel olan nano ölçekli parçacık türleri ile sonuçlanır; böylece

çeşitli uygulamalarda daha etkili katalizörler üretilir. Bununla birlikte, potansiyel sağlık etkileri göz önüne alındığında, parçacıkların yüzeyindeki reaktif grupların pasifleşme eğiliminde olan reaktif olmayan yüzeylere veya yüzey kaplamalarına kıyasla biyolojik (potansiyel olarak toksikolojik) etkileri de etkilemesi muhtemeldir. Sonuç olarak, bir (çekirdek) nanoparçacık tipi üzerinde kabuğu oluşturan yüzey kimyasındaki değişiklikler, maruz kalmanın ardından sağlık etkileri açısından önemli ve ilgili olabilir. Ayrıca, yüzey kaplamaları, farklı parçacık türleri ile topaklaşmayı veya topaklanmayı önlemek için nanoparçacıkların yüzey özelliklerini değiştirmek için kullanılabilir ve/veya ultraviyole radyasyonun neden olduğu reaktif oksidanların etkilerini hafifletmek için parçacık türünü "pasifleştirmeye" hizmet edebilir. Partikül dağılımını kolaylaştırmakla birlikte agregasyonu azaltmak için işlev gören yüzey kaplamalarının, tasarlanan uygulamasında partikül tipinin etkinliğini artırması muhtemeldir, ancak aynı zamanda solunum yolundan sistemik dolaşıma nanopartikül translokasyonunu da kolaylaştırabilir. Böylece nanoparçacık dağılımını ve vücuttaki bölgelere maruziyeti önemli ölçüde artırır. Sonuç olarak, değerlendirilmekte olan nanopartikül tipinin fiziksel özelliklerini yeterli bir şekilde tanımlamak için, daha önce deneycilerin nanopartikül tipleriyle tehlike çalışmaları yürütmeden önce en azından aşağıdaki (önceliklendirilmiş) fizikokimyasal özellikleri karakterize etmelerini tavsiye edilir (Warheit ve ark., 2008).

- Kullanılmakta olan ilgili ortamdaki partikül boyutu ve boyut dağılımı (ıslak durum) ve yüzey alanı (kuru durum) - maruz kalma yoluna bağlı olarak
- Kristal yapı/kristallik
- İlgili ortamdaki agregasyon durumu
- Kompozisyon/yüzey kaplamaları
- Yüzey reaktivitesi
- Post-sentetik modifikasyonlar dâhil olmak üzere nanomalzeme sentezi ve/veya hazırlama yöntemi
- Numunenin saflığı.

Nanoparçacık türlerinin bu önerilen fizikokimyasal karakterizasyonu, deneylerin başlatılmasından önce uygulanmalıdır.

1.4.1. Karbon bazlı nanomalzemeler

Karbon bazlı nanomalzemeler, farklı uygulamalar için büyük miktarlarda üretilir ve tüketici ürünlerinde bulunan en yaygın nanomalzemelerdir. Karbon siyahı, neredeyse yuvarlak şekiller oluşturmak için birbirine bağlanan grafitik alanlardan oluşur. Karbon nanotüpler, tipik olarak 1-4 nm çapında bir çapa ve birkaç milimetre uzunluğa sahip grafit levhalardır. Geniş yüzey alanları, benzersiz elektriksel özellikleri ve potansiyel olarak yüksek moleküler adsorpsiyon kapasiteleri sayesinde karbon nanotüpler, elektrik enerjisi depolama cihazları ve hidrojen depolama ortamları gibi çeşitli uygulamalar için büyük öneme sahiptir. Karbon nanotüplerin polimerlerle kompozitleştirilmesi, yüksek mukavemet, yüksek elektrik iletkenliği ve sertlik sağlar. Diğer bir yaygın karbon bazlı nanomalzeme türü, ilk olarak 1985'te keşfedilen fullerenlerdir. Fullerenlerin geleceği muhtemelen biyomedikal uygulamaları, kozmetik, elektronik ve süper iletken alanlarında olacaktır (Stebounova ve ark., 2012).

1.4.2. Silikon bazlı nanomalzemeler

Silikon bazlı nanomalzemeler, en yaygın nanomalzeme türleri arasındadır ve tüm nano özellikli malzemelerin %17'sini kapsamaktadır. Bunlar, hem bir yarı iletken olan saf silikonu (Si) hem de bir yalıtkan olan silikon dioksiti (SiO_2) veya silikayı içerir. Silika nanopartiküller, biyolojik sıvılardaki stabiliteleri ve yüksek iyonik kuvvetli çözeltilerle tamponlama yetenekleri sebebiyle biyoteknoloji alanında büyük ilgi çekmektedir (Stebounova ve ark., 2012).

1.4.3. Metal ve metal oksit nanomalzemeler

Metal ve metal oksit nanopartiküller günümüzde hem askeri alanda hem de sağlık alanlarında antimikrobiyal, UV bloklama işlevleri ve kendi kendini temizleme gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Metal ve metal oksit nanopartiküller, sıvı fazlı kimyasal yöntemler, koloidal sentez, buhar biriktirme teknikleri ve hidroliz gibi yöntemlerle üretilebilir. Ag, ZnO, CeO_2 ve TiO_2'nin nano boyutlu parçacıkları piyasaya sunulan en yaygın malzemeler arasındadır. En yaygın nanomalzemler ve uygulama alanları çizelge 1.1'de özetlenmiştir (Stebounova ve ark., 2012).

Çizelge 1.1. En yaygın nanomalzemler ve uygulama alanları

Nanomalzemeler	**Kullanım oranı (%)**	**Uygulama alanları**
Karbon bazlı malzemeler	34	Karbon siyahı: kauçuk, mürekkep ve deriyi boyamak için araba lastikleri, antistatik tekstiller Karbon nanotüp: elektromanyetik ekranlama, elektron alan yayıcılar, süper kapasitörler, piller, taramalı prob mikroskoplarındaki uçlar
Si bazlı malzemeler	17	Si: uzun süreli depolama, mikroelektronik, güneş enerjisi uygulamaları ile pillerde kullanım potansiyeli SiO_2: hücre boyama gibi biyoalgılama ve biyogörüntüleme; DNA saptama ve ayırma; hızlı tek bakteri tespiti; DNA korumasında biyoteknolojik uygulama
Ag	30	Gıda saklama kapları, çamaşır deterjanları, giyim, tekstil, su filtreleri, ayakkabı
ZnO	9	UV koruma için güneş kremleri ve kumaş işlemleri
TiO_2	9	Otomotiv boya sistemleri, plastikler, kozmetikler, UV koruması, renkli pigmentler, gıda renklendiricileri, besin takviyeleri, ahşap koruma sistemleri, katalitik işlemler, diş macunu ve diğer yüzlerce kişisel bakım ürünleri
CeO_2	1	Geniş spektrumlu güneş kremleri için elektrolitler, otomobil egzoz katalizörleri, katı oksit yakıt hücreleri, oksijen sensörleri

1.5. Nanomalzemelerin Potansiyel Sağlık Etkileri

Nano ölçekli boyut aralığındaki parçacıklar vücuda akciğerler, gastrointestinal sistem ve deri yoluyla girebilir. Tüm bu taşıma mekanizmalarından penetrasyon şansı ve derecesi, parçacıkların boyutuna ve yüzey özelliklerine ve ayrıca belirli doku veya organ üzerindeki temas noktasına bağlıdır. Parçacığın yüzey özellikleri ve morfolojisi, parçacık vücudun içine girdikten sonra kaderini veya ana hedef organını belirlemede çok önemli

bir rol oynar. Nanoteknolojik yollarla açığa çıkan havadaki ultra ince parçacıklarla ilişkili çevre ve insan toksikoloji potansiyeli, giderek büyük bir endişe yaratır. Üretim ve fabrikasyon gibi endüstrilerde önemli risklere neden olan nanoteknoloji güvenlik endişelerini artırmakta ve bu durum nanotoksiloji olarak ifade edilen yeni bir alanı gündeme getirmiştir. İşyeri ortamlarındaki ince partiküller göz önüne alındığında, doğal olarak oluşan partiküller ile kullanılan nanomalzeme tarafından ortama salınan partiküller arasında ayrım sorunları orta çıkmıştır. Her bir malzeme benzersiz biyolojik ve ekolojik reaksiyonunu ortaya çıkaracağından, nanopartiküllerin doğasından kaynaklanan sağlık etkilerini ortaya çıkarmada başka bir zorluk vardır. Buna bağlı olarak, ultra ince aralıktaki farklı malzeme türlerini ve maruz kalma yollarındaki (cilt, soluma, enjeksiyon ve yutma gibi) farklılıklarla ayrı ayrı kategorize etmek uygun olacaktır (Handy ve ark., 2010).

Çeşitli endüstriler için üretilen nanomalzemeleri umut vadeden benzersiz özellikler, aynı zamanda öngörülemeyen insan ve çevresel sağlık etkileri de üretebilir. Nanomalzemeler, farklı mekanizmalar yoluyla daha yüksek organizmaların yanı sıra mikroorganizmalar için toksikolojik bir risk oluşturabilir. Bunlar, hücre duvarı bozulmasını (karbon nanotüpler), DNA/RNA hasarını (çok duvarlı karbon nanotüpler), toksik metal bileşenlerin çözünmesini (kuantum noktalar), doğrudan hücre zarı oksidasyonu (Sulu C_{60} kümeleri) ve reaktif oksijen türlerinin neden olduğu oksidatif stresi (TiO_2) içerir. Çizelge 1.2'de nanomalzemelerin bazı toksikolojik etkilerini göstermektedir (Lee ve ark., 2010).

Çizelge 1.2. Bazı nanomalzemelerin toksikolojik etkileri

Nanomalzeme Türü	**Toksikolojik Etki**
Karbon nanotüpler	Antibakteriyel, mitokondriyal DNA hasarı, hücre zarı hasarı, apoptoz/nekroz, solunum fonksiyonlarını inhibe eder, akciğer dokularından bakteriyel klirensi inhibe eder, granülomları ve aterosklerotik lezyonları indükler.
Kuantum noktaları	Metal salınımından bakteriyel toksisite, DNA'da oksidatif hasar, çoklu organellerde oksidatif hasar nedeniyle sitotoksik etkiler, böbreklerde metal birikimi.
C_{60} türevleri	Gram-pozitif bakteriler için bakterisit, karaciğerde birikim, farelerde ve insan hücrelerinde gliomalar, sarkomlar, apoptoz/nekroz, oksidatif sitotoksisiteye neden olur.
C_{60} (suya dayanıklı kolloidler)	Antibakteriyel, lipid peroksidasyonu, insan hücre dizileri için sitotoksik etkiler, proteinleri stabilize eder.
nCu/nCuO	Tatlı su yosunu ve mayası için toksik, karaciğer, böbrek ve dalak için akut toksisite, lipid peroksidasyonu, DNA hasarı.
SiO_2	Reaktif oksijen türleri üretimine bağlı hafif toksisite, apoptoz, deniz yosunları için toksik, enflamatuar ve bağışıklık tepkileri, tümör nekroz faktörü - alfa genlerinin yukarı regülasyonu
TiO_2	Büyüme inhibisyonu, akut öldürücülük, fotosentetik aktivitenin baskılanması, reaktif oksijen türlerinden kaynaklanan oksidatif hasar, Gram-pozitif bakteriler için bakterisit

Farklı nanopartikül türlerinin vücutta sistemik dolaşıma ulaşabildiğini ve bu yolla beyin, karaciğer, böbrek, immünolojik sistem ve damar duvarları dâhil olmak üzere bir

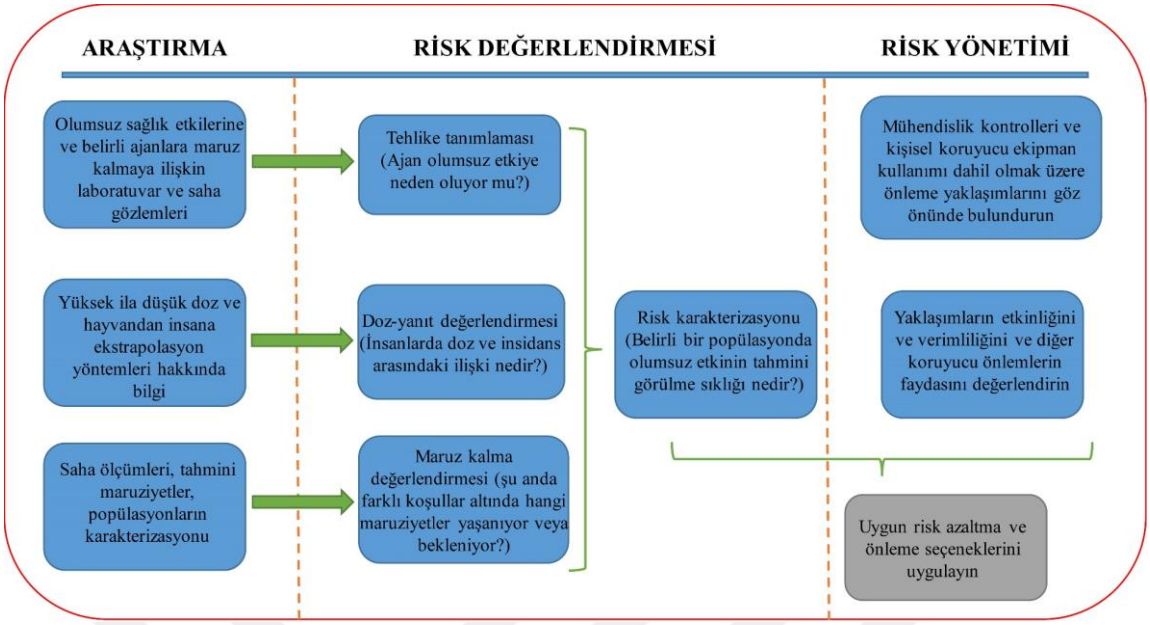
dizi farklı hedef organa dağılabileceğini göstermektedir. Nanopartiküllerin biyolojik sistem için güvensiz olması muhtemeldir. Nanopartiküllerin insan vücuduna girebileceğini ve doku ve organlarda hücresel düzeyde toksik hale gelebileceğini göstermektedir. Bu malzemelerin kanserojen veya alerjik etkileri olabilir, ancak inert nanopartiküller vücut sıvılarıyla reaksiyona girerek toksik ürünlerin oluşumuna bağlı olarak zararlı etkiler gösterebilir. Bazı nanopartiküller, doku hasarına neden olabilen yüksek oranda reaktif oksijen formları oluşturmak için gelişmiş katalitik özellikler gösterebilir. Havadaki partiküller için bu yaralanma astıma ve aterosklerotik kalp hastalıklarına dönüşebilir. Nanopartiküllerin vücut ile etkileşimlerinin etkisi boyutlarına, yüzey yapılarına, çözünürlüklerine, kimyasal bileşimlerine, şekillerine ve bireysel nanopartiküllerin nasıl bir arada biriktiğine bağlıdır. Nanopartiküllerin küçük boyutu ve dolayısıyla daha yüksek spesifik yüzey alanı sebebiyle, solunduklarında bir dizi akciğer hastalığına sebep olabilen toksik kirleticilere kolayca bağlanabilir ve bunları taşıyabilir. Solunan nanopartiküller, vücutta biriken kütlenin %80'i kadar yer değiştirme yeteneğine sahiptir. Nanopartiküller vücuda girdikten sonra, vücuttaki kanda serbestçe dolaşabilir ve beyin veya karaciğer gibi organlara ulaşabilir. Akciğerlerin derinliklerine inebilir ve kan dolaşımı kan-beyin bariyerini geçebilir, nanopartiküllerin taşınması sırasında cilt teması kolayca oluşabilir. Nanopartiküller için çevresel maruziyet göz önünde bulundurulduğunda, bu partiküllerin havada kolayca taşındığı ve tespit edilmesi zor olan yüzeylere kolayca yapıştığı söylenebilir. Çevresel yolla bu partiküller besin zincirine girebilir, biyosferi etkileyebilir, su gibi sıvılardaki yapısal değişimi ve geri dönüşüm yoluyla fiziksel/kimyasal geçişi etkileyebilir (Vishwakarma ve ark., 2010).

1.6. Nanomalzeme Risklerinin Değerlendirilmesi

Nanopartiküllerin sayısı git gide artmaktadır ve benzersiz özellikler sergileyen nano ölçekteki malzemelerin güvenliğinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Nanomalzemelere maruziyetin nasıl değerlendirileceği, tehlikelerinin nasıl belirleneceği ve tehlikelerinin sistematik olarak nasıl karakterize edileceği belirlenmesi gerekmektedir. Nanobilimler, nanomalzeme ve nanoteknoloji uygulamalarındaki hızlı teknolojik ilerlemeler nedeniyle ve mevcut malzemeler hakkındaki veri eksikliği ve bu malzemelerin risk değerlendirmesi için üzerinde anlaşmaya varılmış yaklaşımların olmaması sebebiyle görevler oldukça büyüktür. Nanomalzeme risk değerlendirmesi için

mevcut en iyi kanıtlara dayanan etkili, güvenilir, uygun fiyatlı, kademeli test yaklaşımı önemli olacaktır. Çok çeşitli toksisite değerlendirme yöntemleri, kişinin toksik nanomalzemeyi daha az toksik veya zararsız olanlardan ayırmasına ve biraz tehlikeli nanomalzemeyi ele almanın güvenli yollarını tanımlamasına olanak tanır. Bu durum, çalışanları nanomalzemeye zararlı maruziyetlerden korumak için gerekli eylemlerin önceliklendirilmesine olanak sağlar. Çok sayıda nanopartiküllerin teknolojik ve toksikolojik özellikleri önemli ölçüde değişir. Bu nedenle, farklı nanomalzemelerin toksisite ve risklerin geçici olarak değerlendirilmesini gerektirmesi önemlidir. Birçok benzer özelliği taşımalarına rağmen, diğer kimyasallar kadar birbirlerinden farklıdır. Belirli bir nanopartikül risklerini değerlendirirken genel olarak daha spesifik olmak faydalı olacaktır (Savolainen ve ark., 2010).

Risk değerlendirmesi veya risk yönetimi çerçevesinde nanomalzeme uygulamalarında bir ajanın olumsuz bir etkiye sebep olup olmadığına, maruziyetin olası olup olmadığına, etkinin dozla nasıl ilişkili olduğuna, mevcut maruz kalma seviyelerinde popülasyondaki olumsuz etkilerin olasılığına bağlıdır. İlk unsur tehlike tanımlaması, bir ajanın olumsuz bir etkiye neden olduğuna dair herhangi bir kanıt olup olmadığını ele alır. Kanıtlar, laboratuvar veya saha gözlemleri gibi kaynaklardan gelebileceğinden, tehlike tanımlaması süreçteki en düşük engeli temsil eder. Bir sonraki unsur olan etkin doz değerlendirmesi daha önemlidir ve malzemenin dozu ile yan etkinin görülme sıklığı veya büyüklüğü arasında bir ilişki olup olmadığını sorar. Bu unsur, doz toksikolojisi ve farmakolojisindeki temel ilkeye dayanmaktadır; yani doz arttıkça etki de artar. Maruz kalma değerlendirmesi bir sonraki unsurdur. Kanıtlar bir ajanın tehlike oluşturduğunu ve tehlikenin doza bağlı olduğunu gösteriyorsa, bir sonraki adım mesleki veya günlük yaşam maruziyetinin boyutunu belirlemektir. Tüm öğelerden elde edilen bilgilerden sonra, maruz kalan popülasyonda veya popülasyonun bir bölümünde olumsuz bir etkinin meydana gelme olasılığını tahmin eden bir risk karakterizasyonunda birleştirilir. Risk değerlendirme/risk yönetimi araştırma, risk değerlendirmesi ve risk yönetiminden oluşur. Risk değerlendirmesi bilimsel bir girişim olarak kabul edilirken risk yönetimi, sosyal faydaları, ekonomik maliyetleri ve eylem için yasal emsalleri hesaba katan yollarla etkene maruz kalmayı düzenlemek için bilimi kullanır. Risk değerlendirmesi/risk yönetimi çerçevesi şekil 1.1'de özetlenmiştir (Yokel ve MacPhail, 2011).



Şekil 1.1. Risk değerlendirmesi/risk yönetimi çerçevesi.

1.7. Sentez Laboratuvarlarındaki Tehlike ve Riskler

İş sağlığının önemi, genellikle mesleki tehlikeli atıkları sanayileşme ve şehir bölgelerindeki fabrikalar ile eş tutma eğiliminde olanlar tarafından ihmal edilmektedir. Bu görüş, gelişmekte olan ülkelerde mesleki uygunluğun gelişmesini engellemiştir. İş ortamlarında olduğu gibi aynı zamanda insanlar, kimyasal maddeler, biyolojik maddeler ve olumsuz ergonomik durumlar da dâhil olmak üzere çok sayıda tehlikeyle karşı karşıyadır. Bu durum, çok sayıda tehlike analizi çeşidiyle ve laboratuvarlarda bir risk değerlendirmesi ile başlanabilir. Laboratuvarlarda güvenli çalışma ortamı, tehlikelerin belirlenmesi, riskin değerlendirilmesi, ilgili tehlikelerin kontrol edilmesi ve sürekli olarak tolere edilebilir aşamaya getirilmesini gerektirir. Laboratuvar ortamlarında, bazı kazalara yol açabilecek ve insan hayatını kayba, mülke zarar vermeye, laboratuvar çalışmasını kesintiye uğratmaya ve daha pek çok şeye neden olabilecek farklı tehlikeli koşullar, uygulamalar ve ekipman bulunmaktadır. Kimyasal maddeler, başta laboratuvarlar olmak üzere hastaneler ve ofis ortamları gibi kimyasallarla uğraşan çeşitli işyerlerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Kimyasallara mazurziyet, solvent, toksik maddeler, bakteri ve kansere maruz kalmayı içeren uygunluk sonuçlarına bağlı olarak geniş ölçüde değişir. Biyolojik, mekanik ve ergonomik tehlikeler, bazı mesleki iş yerlerinde meydana gelen bakteriler, virüsler, mantarlar ve tozlar gibi birkaç biyolojik ortama maruz kalma,

işyerlerinde güvensiz hareket, güvensiz durum ve kırık şişeler işyerlerinde en sık görülen tehlikelerden bazılarıdır. İş güvenliği planlaması, güvenlik ve sağlık yönetim sistemini derecelendirmek için kullanılabilecek bir doğrulama aracı ve değerlendirme sürecidir. Çalışma ortamındaki tehlike tanımlaması, mevcut herhangi bir tehlikeyi kontrol etmek için mantıklı bir şekilde yapılmalı ve tehlikelerin değerlendirilmesi, tehlikelerden kaynaklanan riskleri en aza indirmek için güvenli bir çalışma prosedürü vermelidir (Dodo ve ark., 2018). Laboratuvar çalışma ortamlarında çalışanların karşılaşabildikleri tehlikeler genellikle; patlamalar, yangınlar, gaz salınımları, buna bağlı olarak yaralanmalar, meslek hastalıkları ve ölüm ile sonuçlanabilecek riskler mevcuttur.

1.7.1. Fiziksel tehlikeler

Bazı laboratuvar işlemleri, kullanılan maddeler veya ekipman nedeniyle personel için fiziksel tehlikeler oluşturur. Laboratuvardaki fiziksel tehlikeler; sıkıştırılmış gazlar, yanıcı olmayan kriyojenik, yüksek basınçlı reaksiyonlar, vakum çalışması, radyo frekansı ve mikrodalga tehlikeleri ve elektrik tehlikeleri olarak sıralanabilir. Laboratuvar çalışanı ayrıca laboratuvardaki koşullar veya faaliyetlerden kaynaklanan genel iş yeri tehlikeleriyle karşı karşıyadır. Potansiyel fiziksel tehlikeler arasında kesikler, kaymalar, takılmalar, düşmeler ve tekrarlayan hareket yaralanmaları bulunur (Moran ve Masciangioli, 2010).

Sıkıştırılmış gazlar; gaza bağlı olarak insanları hem mekanik hem de kimyasal tehlikelere maruz bırakabilir. Tehlikeler, gazın yanıcılığından, tepkimesinden veya zehirliliğinden, boğulma olasılığından ve tankın veya valfin yırtılmasına yol açabilecek gaz sıkıştırmasının kendisinden kaynaklanabilir. Yanmaz kriyojenler (esas olarak sıvı nitrojen); sıvı veya kaynayan gazlarla temas nedeniyle aşırı soğuktan doku hasarına neden olabilir. İyi havalandırılmayan alanlarda, kaynama veya dökülme nedeniyle gazın solunması boğulmaya neden olabilir. Diğer tehlikeler arasında vakum tuzaklarındaki sıvı oksijen yoğuşmasından kaynaklanan patlamalar, buz tıkacı oluşumu veya havalandırma valflerinin olmaması yer alır. Bir atmosferin üzerindeki basınçlarda yapılan deneyler, ekipman arızasından patlamaya yol açabilir. Hidrojenasyon reaksiyonları sıklıkla yüksek basınçlarda gerçekleştirilir. Potansiyel bir tehlike, patlayıcı O_2-H_2 karışımlarının oluşumu ve katalizörün reaktivitesi veya piroforikliğidir. Süperkritik sıvıların kullanımı da yüksek basınçlara neden olabilir. Düşük ortam basıncında kullanılan vakum hatları ve diğer cam

eşyalar, cam kırılması durumunda ciddi yaralanma tehlikesi oluşturur. Bununla birlikte, vakumlu çalışmadaki tek tehlike uçuşan cam nedeniyle yaralanma değildir. Ek tehlikeler, vakum sisteminde bulunan kimyasalların olası toksisitesinin yanı sıra bir şişenin (örneğin, sodyum veya potasyum üzerinde depolanan bir çözücünün) kırılmasını takiben çıkan yangından kaynaklanabilir. Vakum hatları tipik olarak pompalar ve vakum hattı arasında soğuk tuzaklar (genellikle sıvı nitrojen) gerektirdiğinden, kriyojenlerin kullanımına ilişkin önlemleri de alınmalıdır. Vakum ölçerlerle ilişkili sağlık tehlikeleri, manometrelerde kullanılan cıvanın toksisitesi, ısıl iletkenlik göstergeleri ile oluşan aşırı basınç ve düşük basınç durumları, sıcak katot iyonizasyon sistemleri ile elektrik çarpması ve bazı katotlarda kullanılan toryum dioksitin radyoaktivitesi olarak sıralanabilir. Radyo frekansı fırınlarında, endüksiyonlu ısıtıcılarda ve mikrodalga fırınlarda kullanılan radyo frekansı ve mikrodalgalar, 10 kHz ila 300.000 MHz aralığında meydana gelir. Mikrodalgalara aşırı maruz kalma, katarakt, kısırlık veya her ikisinin gelişmesine neden olabilir. Laboratuvarlarda yalnızca laboratuvar veya endüstriyel kullanım için tasarlanmış mikrodalga fırınlar kullanılmalıdır. Mikrodalga fırınlarda metal kullanımı ark oluşumuna ve yanıcı bir çözücü varsa yangına veya patlamaya neden olabilir. Sıvıların aşırı ısınması meydana gelebilir. Flakonların ve fırında kullanılan diğer kapların kapatılması, flakon içinde basınç birikmesi nedeniyle patlamaya neden olabilir. Uygun olmayan şekilde seçilen plastik kaplar eriyebilir (Moran ve Masciangioli, 2010).

Laboratuvarlar, makul önlemler alarak elektrikle çalışan aletlerin, aletlerin ve diğer ekipmanların elektrik çarpması tehlikelerini neredeyse tamamen ortadan kaldırabilir. Ancak mühendislik, bakım ve kişisel çalışma uygulamalarına dikkat edilmezse elektrik çarpması nedeniyle ciddi yaralanma veya ölüm olasılığı çok gerçektir. Tüm laboratuvar personeli, elektrikli kapatma anahtarları ve/veya devre kesici anahtarlar kullanarak yanan ekipmana giden gücü nasıl kapatacağını bilmelidir. Bir laboratuvarda bazı özel elektrik sorunları ortaya çıkar. Kablolardaki yalıtım, aşındırıcı kimyasallar, organik solvent buharları veya ozon (ultraviyole ışıklar, fotokopi makineleri vb.) tarafından aşınabilir. Soğuk odalar veya soğutma banyoları gibi ıslak yerlerde elektrikli ekipman üzerindeki aşınmış yalıtım hemen onarılmalıdır. Ek olarak, elektrikli ekipmandan çıkan kıvılcımlar, yanıcı buharın varlığında bir ateşleme kaynağı görevi görebilir. Belirli ekipmanların çalıştırılması (örn. lazerler, elektroforez ekipmanı) yüksek voltajlar ve depolanmış elektrik enerjisi içerebilir. Birçok flaş lambasında ve diğer

sistemlerde kullanılan büyük kapasitörler, ölümcül miktarda elektrik enerjisi depolayabilir ve güç kaynağının bağlantısı kesilse bile canlı olarak kabul edilmelidir. Elektrik gücünün kaybı son derece tehlikeli durumlara neden olabilir. Donduruculardа ve buzdolaplarında depolanan kimyasallar ısındıkça yanıcı veya zehirli buharlar salınabilir. Bazı reaktif maddeler ısındığında enerjik olarak ayrışabilir. Laboratuvar kimyasal davlumbazları işlevini yitirebilir. Güvenli reaktif karışımı için gereken karıştırma (motorlu veya manyetik) durabilir. Gücün yanıcı buharlar içeren bir alana geri verilmesi onları tutuşturabilir. Bunların yanı sıra, laboratuvarlarda en sık görülen yaralanmalar arasında kırık camlar ve kayma, takılma veya yanlış kaldırma nedeniyle oluşan yaralanmalar yer alır. Genel işyeri tehlikeleri laboratuvarda da geçerlidir. Örneğin, laboratuvar personeli tekrarlayan hareket yaralanmalarına veya sırt gerginliğine maruz kalabilir. Mesleki yaralanmaları azaltmak için bu tür konuların farkında olmak ve kontrol etmek önemlidir (Moran ve Masciangioli, 2010).

1.7.2. Kimyasal tehlikeler

Hayatı veya sağlığı tehlikeye atma potansiyeline sahip herhangi bir malzeme, kimyasal tehlike olarak kabul edilir. Kimyasallar genellikle evlerde ve diğer bazı ortamlarda kullanılır. Kimyasal maruziyetin sağlık üzerinde ani veya uzun süreli olabilecek olumsuz etkileri olabilir. Tehlikeli kimyasallar, nörotoksinler, immünolojik uyarıcılar, dermatolojik tahriş edici maddeler, sistemik toksinler, üreme toksinleri, astımjenler, pnömokonyotik ajanlar ve hassaslaştırıcılar dâhil olmak üzere çeşitli biçimlerde bulunur. İş ortamlarında kimyasal tehlike maruziyeti, bir tür mesleki tehlikedir. Tehlikeli maddelerle temastan kaynaklanan yaralanma riski, kişisel koruyucu donanım (KKD) giyilerek önemli ölçüde azaltılabilir. Kurşun, sigara dumanı, silis tozu ve motor egzozları gibi kimyasal tehlikelere uzun süre maruz kalma, kalp hastalığı, felç ve yüksek tansiyon riskinin artmasıyla ilişkilendirilmiştir. Solunum, insanların iş ortamlarında toksinlere maruz kalmalarının en tipik yoludur. Gaz, buhar, sis, toz ve duman solumak mümkündür. Havası kirli bir ortamda çalışıyorsanız, fiziksel emek gerektiren işlerde çalışanlar daha fazla miktarda kirletici soluyabilir. Bunun nedeni, 8 saatlik bir iş günü boyunca fiziksel aktivite yapan çalışanların, yapmayanlara göre 10.000 litreden fazla hava alışverişi yapmasıdır. Daha fazla hava değişimi, işyerindeki hava kirliyse daha fazla miktarda kirleticinin alınmasına neden olacaktır. Yiyecek veya içecek;

kirli eller, giysiler veya uygun olmayan kullanım teknikleri nedeniyle kirlendiğinde, kimyasallar tüketilebilir (Blessed ve ark., 2022).

Laboratuvar ortamlarında çalışan kişiler, tehlikeli kimyasal maddeler ile çalışmaları sırasında maruziyet durumuna göre, solunan veya temas edilen toksik gaz/buharlar, asit/bazlar, ağır metal bileşiklerinden dolayı zehirlenme, anestezik gazlar, alerji, kanser, üreme organlarında zarar, gözlerde, ciltte ve soluk borusunda tahriş gibi kimyasal risklerle karşı karşıyadır (Ateş, 2020).

Asitler, suda veya diğer belirli çözücülerde çözündüklerinde hidrojen iyonları (H^+) üretmek üzere ayrışan veya parçalanan hidrojen ve bir veya daha fazla başka elementin (karbon hariç) bileşikleridir. Asitler her türlü aşındırıcıdır ve yüksek konsantrasyonlarda vücut dokularını tahrip eder ve cilt ile teması halinde ciddi yanıklara neden olur. Gözler çok hassastır ve asitlerle temas kalıcı hasara veya görme kaybına neden olabilir. Aşırı konsantrasyonlarda buhar veya sisin solunması, solunum sistemini ve özellikle mukus zarları üzerinde son derece tahriş edicidir. Konsantre asitlerin kazara yutulması boğazda ve midede ciddi tahrişe ve bazı durumlarda ölümcül olabilen hasara neden olabilir. Bu malzemelerin bazıları tahriş edici olduğu kadar özellikle zehirlidir. Daha düşük konsantrasyonlarda, tekrarlanan cilt teması iltihaba neden olabilir. Konsantre sulu asit çözeltileri kendi başlarına yanıcı değildir. Potansiyel tehlike, diğer kimyasallar veya yanıcı maddelerle karışımlarının yangına veya patlamaya yol açabilecek tehlikesidir. Asitler ayrıca pek çok metalle reaksiyona girerek havada tutuştuğunda bir patlamaya neden olabilen oldukça yanıcı bir gaz olan hidrojenin serbest kalmasına neden olur. Asitlerin bazıları güçlü oksitleyici maddelerdir ve organik veya diğer oksitlenebilir maddelerle temas ettiklerinde yıkıcı ve şiddetli bir şekilde reaksiyona girebilirler (Gedeon, 2022).

Alkaliler (bazlar), suda ayrışan ve hidroksil iyonları (OH^-) veren aşındırıcı kostik maddelerdir. Alkaliler; amonyak, amonyum hidroksit; kalsiyum hidroksit ve oksit; potasyum, potasyum hidroksit ve karbonat; sodyum, sodyum hidroksit; karbonat, peroksit ve silikat; ve trisodyum fosfat bileşiklerini kapsar. İster katı formda ister konsantre sıvı solüsyonda olsun, alkaliler doku için çoğu asitten daha yıkıcıdır. Alkali tozlar, buğular ve spreyler gözlerde ve solunum yollarında tahrişe ve nazal septumda lezyonlara neden olabilir. Güçlü alkaliler doku ile birleşerek ciddi yanıklara, sıklıkla derin ülserasyona ve nihai yara izine neden olur. Şiddetli yanıklar yalnızca katı alkalilerle temastan değil, aynı

zamanda bu bileşiklerin çözeltilerinden de kaynaklanır. Potasyum ve sodyum hidroksit bu gruptaki en aktif maddelerdir. Daha güçlü alkalilerin seyreltik çözeltileri bile epidermisi (cilt) yumuşatma ve cilt yağlarını emülsifiye etme veya çözme eğilimindedir. Alkalilerle kirlenmiş atmosferlere maruz kalma, maruz kalmanın ciddiyetine bağlı olarak üst solunum yollarında ve akciğer dokusunda hasara neden olabilir. Teneffüs etmenin etkileri, nazal mukoza zarlarının hafif tahrişinden akciğerlerin şiddetli iltihaplanmasına kadar değişebilir. Yutulması, temas edilen mukoza zarlarında veya daha derin dokularda ciddi hasara neden olur. Bunu bu dokuların perforasyonu izleyebilir veya ciddi ve yaygın nedbe oluşumu olabilir. Hayati bölgelere penetrasyon meydana gelirse ölümle sonuçlanabilir. Alkaliler yanıcı olmamasına ve yanmayı desteklememesine rağmen, katı madde suda çözüldüğünde çok fazla ısı açığa çıkar. Bu nedenle, katı alkalileri çözmek için soğuk su kullanılmalıdır, aksi takdirde çözelti kaynayabilir ve aşındırıcı sıvı geniş bir alana sıçrayabilir (Gedeon, 2022).

Endüstride bulunan toksik bileşik türlerinin sayısı çokça ifade edildiğinden ve belirli tehlikeler, kontroller ve düzeltici önlemler maddeye göre değişiklik gösterebilir. Bir malzemenin toksisitesi, sağlık tehlikesi ile eşanlamlı değildir. Toksisite, bir malzemenin canlı bir organizmaya zarar verme veya zarar verme kapasitesidir. Tehlike, belirli koşullar altında belirli bir miktar kullanıldığında bir malzemenin yaralanmaya neden olma olasılığıdır. Bir sağlık tehlikesini değerlendirirken; kullanılan malzemelerin toksisitesi, fiziksel özellikleri, bireyler tarafından emilme olasılıkları, malzemelere maruz kalmanın kapsamı ve yoğunluğu ve kullanılan kontrol önlemleri dikkate alınır. Toksisite görecelidir. Bazı biyolojik mekanizmalar üzerindeki zararlı etkiyi ifade eder. Toksisite terimi genellikle bir kimyasal maddenin diğeriyle karşılaştırılmasında kullanılır, ancak biyolojik mekanizma ve zararlı etkilerin meydana geldiği koşullar belirtilmedikçe bu tür bir karşılaştırma anlamsızdır. Endüstride kullanılan birçok kimyasal maddenin toksik etkileri iyi bilinmesine rağmen, yaygın olarak kullanılan diğer birçok kimyasal maddenin toksik etkileri tam olarak tanımlanmamıştır. Bir malzemenin toksisitesi fiziksel bir sabit değildir (kaynama noktası, erime noktası veya sıcaklık gibi); bu nedenle, belirli bir kimyasal maddenin zararlı doğası hakkında yalnızca genel bir açıklama yapılabilir. Pek çok kimyasal madde, doku veya hücreler üzerindeki etkilerinde seçici değildir; tüm canlı maddeler üzerinde zararlı bir etki gösterebilirler. Diğer kimyasal maddeler yalnızca belirli hücreler üzerinde etki edebilir. Başka bir etken yalnızca belirli türler için zararlı olabilir;

diğer türler yerleşik koruyucu cihazlara sahip olabilir. Bir maddenin canlı hücreleri etkileme derecesi, ancak absorpsiyonun ardından fark edilebilir değişiklikler meydana geldikten sonra ölçülebilir. Gerçek hücre hasarına neden olmak için çok düşük seviyelerde bazı değişiklikler (bozuk muhakeme, gecikmiş reaksiyon süresi) üretilebilir. Toksisite doza, hıza, yönteme ve absorpsiyon bölgesine ve genel sağlık durumu, bireysel farklılıklar, tolerans, diyet ve sıcaklık gibi diğer birçok faktöre bağlıdır. Genel olarak, endüstriyel zehirlenmeler genellikle inhalasyon, yutma ve absorpsiyondan kaynaklanır. Toksik ajanların akciğerler tarafından solunması ve emilmesi, vücut sıvılarındaki çözünürlüğe, akciğerlerdeki difüzyona, soluma hacmine, akciğerlerdeki kan hacmine ve solunan hava ile kan arasındaki buharların konsantrasyon gradyanına bağlıdır. Toksik ajanın yutulması bir dereceye kadar meydana gelebilir; bununla birlikte, bu tür koşulların mevcut olduğu yerlerde genellikle malzemenin önemli ölçüde solunması söz konusu olacaktır. Bazı toksik ajanlara maruz kalındığında deri yoluyla absorpsiyon meydana gelebilir. Bazı sıvıların ve buharların deriden solunum korumasının yeterli olmayacağı kadar yüksek konsantrasyonlarda geçtiği bilinmektedir. Örneğin, hidrojen siyanürün (HCN) deriden geçtiği bilinmektedir. Giyilen iş elbiselerinin türüne dikkat edilmelidir; çözücülerle doygun hale gelirlerse, vücudu sürekli olarak zararlı madde ile yıkamak için bir rezervuar görevi görürler (Gedeon, 2022).

1.7.3. Biyolojik tehlikeler

Biyolojik tehlike, insan gibi diğer organizmalar için potansiyel olarak zararlı olan makro veya mikroorganizma ve yan ürünleri olarak tanımlanır. Biyolojik tehlikelere; tıbbi atıklar, diğer canlı organizmalardan yayılan toksinler, virüsler, mantarlar ve bakteriler örnek verilebilir. Herhangi bir malzemedeki biyolojik tehlike sembolü, malzemenin son derece dikkatli kullanılması gerektiğini gösterir. Sembol, hastanelerde ve tıbbi laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılan bir semboldür. Biyolojik tehlikelerin çeşitli şiddet dereceleri vardır ve bunları işlerken, imha ederken ve uygun şekilde depolarken alınan önlemler vardır. Biyolojik olarak tehlikeli olan malzemeleri kullananlar tarafından tüm önlemlere kesinlikle uyulmalıdır. Malzemelerin uygun şekilde kullanılmaması, ölümcül hastalıkların önemli bir şekilde ortaya çıkmasına neden olabilir (Tait, 2019).

Canlıların, özellikle insanların sağlığını tehlikeye atan biyolojik bir malzemeye biyolojik tehlike denir. İnsan sağlığına zararlı olabilecek bir mikrop, virüs veya toksin örneği buna dâhil olabilir. Diğer canlılar için zehirli bir malzeme de biyolojik tehlike olarak kabul edilebilir. Bacillus subtilis, köpek hepatiti, Escherichia coli ve suçiçeği gibi bakteri ve virüslerin yanı sıra çeşitli hücre kültürleri ve bulaşıcı olmayan bakterilerin tümü biyolojik tehlikelerin birinci seviyesinde kabul edilir. Bu aşamada, söz konusu biyolojik olarak tehlikeli maddelere karşı tek güvence muhtemelen eldivenler ve bir çeşit yüz koruması olacaktır. Biyolojik tehlike düzeyi 2: Hepatit A, B ve C gibi bakteri ve virüsler, belirli influenza A suşları, insan solunum sinsitiyal virüsü, Lyme hastalığı, salmonella, kabakulak, kızamık, scrapie, dang humması ve HIV gibi virüsler insanlarda yalnızca hafif hastalığa neden olur (Blessed ve ark., 2022).

Laboratuvar ortamlarında kesici-delici aletlerden kaynaklanan yaralanmalar enfeksiyon açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bu sebeple kesici-delici aletlerle çalışmalarda ve ayrıca bunlardan kaynaklanan atıkların ilgili ortamdan uzaklaştırılmasında kurallara uygun bir şekilde yerine getirilmesi gerekmektedir. Genellikle evsel atık ve tıbbi atık ayrımının dikkatli yapılmasına, tıbbi atıklar için kullanılan kırmızı torbaların amaca yönelik kullanılmasına, kesici-delici aletlerin sert plastik kutulara, kullanılan enjektörlerin uçlarını kapatmadan ve eğilmemesine özen göstererek uzaklaştırılmasına dikkat edilmelidir (Bulut, 2016). İş ortamlarında risklerin azaltılması hususunda ortamda bulunan çalışanların maruziyetinin önlenmesi, bu mümkün değilse; ortamda maruz kalanların sayısı ve bu maruziyet düzeyinin minimuma indirilmesi gerekmektedir. Maruziyet durumu teknik ve yönetimsel olarak azaltılamıyorsa KKD'ler kullanılmalıdır. Ayrıca hijyen kurallarının yerine getirilmesi ve hijyen eğitimi, biyolojik risklerin oluşturduğu etkenlerin yayılmasını ve taşınmasını önlemek adına oldukça önemlidir. Bunların yanı sıra çalışanların atıkları uygun bir şekilde toplaması, depolaması, güvenli araçların kullanılması ve iş ortamlarında uzaklaştırılması uygun bir şekilde sağlanmalıdır (Atılmış, 2019).

1.7.4. Ergonomik tehlikeler

Ergonomik tehlike, kas-iskelet sistemine zarar veren çevredeki fiziksel bir faktördür. Laboratuvar ortamlarında çalışanlar, kas-iskelet sistemi hastalıklarından önemli ölçüde etkilenirler. Potansiyel tehlikeler, eklemlerde, kaslarda, tendonlarda ve diğer yumuşak kısımlarda rahatsızlık, sakatlık veya kalıcı ağrının varlığı ile karakterize edilen çeşitli kas-iskelet bozukluklarını içerir. Risk faktörleri, tekrarlanan hareketler ve uzun süreli garip veya zorlayıcı vücut duruşlarını içerir (Sivakumar ve ark., 2012). İnsan faktörleri mühendisliği ergonominin diğer adıdır. Bu ifade, Yunanca "iş" anlamına gelen ergo ve "kurallar" veya "bilim" anlamına gelen nomi kelimelerinden gelir ve sonuç olarak, aletlerin ve görevlerin yaratılması için çevresel incelemeye atıfta bulunur (Blessed ve ark., 2022). "Ergonomik tehlikeler" genellikle aşağıdakiler arasındaki etkileşimden kaynaklanan sağlık sorunlarını ifade eder: (i) insanların çalıştıkları nesnelere ve ekipmana ulaşmak, bunlar üzerinde hareket etmek veya bunları çalıştırmak için benimsemeye zorlandıkları duruşlar ve (ii) bu nesnelere uygulanan kuvvetin doğası ve zaman geçmişi. Ergonomik sağlık sorunları genellikle kas-iskelet sistemi ve esas olarak üst uzuvlar, boyun ve bel ile ilişkilidir. Ayrıca, uygun olmayan aydınlatmalar ile uzun süreler boyunca görsel olarak zorlu görevler üzerinde çalışmaktan kaynaklanan görme bozukluğu ile ilişkilendirilebilirler. Bir sağlık sorununu "ergonomik" olarak tanımlayan kritik faktör, yaralanmanın, ortamın ve ekipmanın düzenlenme şeklinin, insanların sağlık açısından işlerinin normal seyrinde kendilerinden bekleneni tamamlamak için potansiyel olarak zararlı olabilecek koşullarda duruşlar, hareketler benimsemelerini, kuvvet uygulamalarını ve materyalleri okumalarını gerektirmesi nedeniyle ortaya çıkmasıdır (Niven ve McLeod, 2009).

1.7.5. Psikososyal tehlikeler

Psikolojik tehlikeler, diğer mesleki tehlikelerden farklıdır çünkü bir kuruluş içindeki stres seviyesi zaman içinde hem hızlı hem de önemli ölçüde değişir; stres, bir organizasyondaki sıcak noktalarda meydana gelir ve nadiren tek tiptir, stres ve kontrollerin tam ve objektif bir değerlendirmesini yapmak için gereken çaba yüksektir ve hafife alınmamalıdır; kapsamlı stres ve kontrol değerlendirmeleri aslında stresi etkiler; bir organizasyonda veya popülasyonda stresin normal ve genellikle geçici olduğuna dair

bazı kanıtlar vardır. Şu anda mevcut olan veriler stresi doğrudan ölçmezken, yorumlama zor ve çoğu zaman mantıksızdır. Bununla birlikte, iş ortamında yaygın olan ve özel dikkat gerektiren stres etkenlerini belirlemek mümkündür. Örnekler arasında aşırı iş yükü, işin net olmaması ve sık değişiklik yer alır. Ayrıca, insanlarla uzun süreli sınırlı etkileşim süreleri, zayıf boş zaman etkinlikleri, sınırlı uyku kalitesi ve miktarı ile ilgilidir (Niven ve McLeod, 2009).

1.8. Risk Değerlendirme Yöntemleri

1.8.1. Ön tehlike analizi

Ön tehlike analizi (Preliminary Hazard Analysis-PHA), esas olarak sistem ve ara yüzleriyle ilgili olası kazaları belirlemek, bunların oluşma olasılıklarını ve neden olabilecekleri hasarın ciddiyetini değerlendirmek ve son olarak azaltacak, kontrol edecek veya ortadan kaldıracak çözümler önermek için kullanılır. Bu analizin sonuçları, donanım ve yazılımın tasarım aşamalarında ve başarımlarında dikkate alınması gereken gereksinimlerin ve sistem güvenlik kriterlerinin tanımlanmasıdır. Aslında, potansiyel kazaların bir listesinin oluşturulması, sistemdeki güvenlik açısından kritik olabilecek ve tasarım, uygulama, doğrulama ve bakımda özel ilgiyi hak eden noktaların belirlenmesine yardımcı olur. Potansiyel kazalara neden olabilecek hasarın ciddiyetini (genellikle niteliksel olarak) değerlendirmekle sınırlı olduğunda buna tehlike analizi denir. Bir PHA, sistemin ve çevresinin misyonunun iyi bir şekilde anlaşılmasını gerektirir. Bilmediğiniz teknolojileri kullanan sistemler için gereklidir. Bir deneyim geri bildiriminin uygulanması için yalnızca üreticinin deneyiminden ve hayal gücünden değil, aynı zamanda izleme işleminden de yararlanır. PHA, çalışma boyunca genellikle açık kalan ve sürekli güncellenen bir konudur. Bu analiz programın başlangıcında yapıldığı için sonuçları eksik ve yanlış olabilir. Bu nedenle, sistem tasarımı yeterince gelişmiş olana kadar bir PHA eklenmeli ve güncellenmelidir. Bu, listedeki her potansiyel kazanın meydana gelme olasılığını kontrol etmek, azaltmak veya ortadan kaldırmak için tasarımda, işlevde veya ihtiyati düzenlemede olmasını sağlar. PHA genellikle teoride endüktif yaklaşımlardan sınıflandırılır. Tümevarımsal yaklaşımda, muhakeme en özelden daha genele doğru gider, bu da sistemin ve çevresinin başarısızlığının etkilerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesine yol açar. Başka bir deyişle, tümevarım yöntemleri, temel olayları ya da sonuçları

doğrudan araştırmayı ya da kritik sonuçlara sahip olabilecek olay kombinasyonlarını belirlemeyi bırakır. PHA bağlamında, temel olarak, tümevarım yoluyla, tehlikelerden (veya tehlikeli unsurlardan) kaynaklanan potansiyel kazalar kümesini araştırmaktır. Bununla birlikte, uygulamada, hata ağacı analizi (Fault Tree Analysis-FTA) olarak esasen tümdengelimli bir yaklaşım kullanılmaktadır. Aslında, karmaşık bir sistemin güvenlik analizi, sahadaki uzmanların hem tümevarımcı hem de tümdengelimli yaklaşımları içeren yinelemeli bir analiz sürecinin uygulanmasını gerektirir. Bir yaklaşımla elde edilen sonuçların başka bir tamamlayıcı yaklaşımla elde edilen sonuçlarla çapraz kontrolü genellikle gereklidir (Hadj-Mabrouk, 2017).

1.8.2. İş güvenliği analizi

İş güvenliği analizi (Job Safety Analysis-JSA)'nin amacı, tehlikeleri ortadan kaldırmak ve/veya kontrol altına almak için önlemlerin uygulanabilmesi için bir görevle ilgili tüm risk unsurlarını belirlemek ve değerlendirmektir. JSA süreci beş ana adımda ayrılır.

JSA ihtiyacının belirlenmesi; İlk adım, yapılacak işin bir JSA gerektirip gerektirmediğini belirler. Bu, JSA'nın gerekliliğini belirlemek için kriterlerin oluşturulması anlamına gelir ve bu, bir JSA yürütme kararı için gerekçe sağlayacaktır. Aşağıdaki durumlarda bir JSA gerçekleştirilmelidir:

- Tehlikelerin mevcut olduğu ve mevcut çalışma prosedürleri veya engeller tarafından yeterince kontrol edilmediği faaliyetler
- Prosedürler veya rutinler tarafından öngörülen işten sapmayı gerektiren faaliyetler
- Onları gerçekleştiren işçiler tarafından bilinmeyen yeni iş faaliyetleri
- Çalışanların birbirine aşina olmadığı faaliyetler
- İşçilerin aşina olmadığı ekipmanları içeren faaliyetler
- Ön koşulların değiştiği faaliyetler (ör. hava koşulları, yeni zaman çizelgesi, alt faaliyetlerin değişen sırası, paralel operasyonlarla yeni etkileşimler)

Hazırlık ve planlama; Bir iş JSA gerektiriyorsa, süreci yönetmek için JSA'dan sorumlu bir kişi seçilir. JSA yöneticisi bir JSA analiz ekibi kurar. Bir JSA ekibi genellikle

bir JSA yöneticisi, bir emniyet temsilcisi, çalışma ekibi lideri ve yürütme personelinden oluşur. JSA yöneticisi ve ekibi, hazırlığın bir parçası olarak analiz için verileri ve diğer ilgili bilgileri toplar.

JSA'nın gerçekleştirilmesi; JSA aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilir:

- İşin ayrıştırılması: işi işlevlere, görevlere ve adımlara bölmek. Adımlar sırayla listelenir ve açıklanır
- Tehlike tanımlama: Tehlikeli durumlara yol açabilecek potansiyel olaylar ve koşullar
- Tehlikelerin potansiyel sonuçları değerlendirilir
- Tehlikeler için beklenen oluşum sıklığı değerlendirilir
- Her bir alt görev için risk değerlendirmesi, değerlendirilen sıklık ve sonuçlara göre yapılır ve bu da bir risk matrisiyle ilişkili olarak değerlendirilir
- Dayanılmaz bir riske sahip olan alt görevler için, işi gerçekleştirmek için güvenliği artırmaya yardımcı olabilecek risk azaltma önlemleri belirlenir.

JSA'yı belgelemek için bir JSA formu kullanılır. JSA'nın sonucu, işi uygun bir şekilde yürütme riskinin devam etmek için yeterince kabul edilebilir olup olmadığına ilişkin karar için gerekçe sağlar.

Tedbirlerin uygulanması ve işin yürütülmesi; JSA'ya uygun olarak iş yapılmadan önce, işin ön koşullarının karşılanıp karşılanmadığı ve önerilen önlemlerin uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilir. Çalışmada öngörülemeyen faktörler veya önemli değişiklikler ortaya çıkarsa, JSA güncellenmeli ve yeniden değerlendirilmelidir.

JSA deneyiminin özeti; JSA yöneticisi tarafından gerçekleştirilen JSA ile ilgili yapılan çalışmanın değerlendirilmesi. Bu değerlendirme, bir sonraki JSA yapıldığında iyileştirmeler yapmak için önemlidir ve deneyim aktarımının sağlanmasına yardımcı olur (Albrechtsen ve ark., 2019).

1.8.3. Risk değerlendirme karar matrisi

Hem olasılık hem de sonuçlar ve göreceli önem açısından bilgilendirilmiş muhakeme temelinde risklerin ölçülmesini ve kategorize edilmesini içeren risk tahminine yönelik sistematik bir yaklaşımdır. Bu, risk yöneticilerinin temel riskleri

önceliklendirmesine ve yönetmesine yardımcı olabilecek niceliksel ve grafiksel bir yöntemdir. Bu teknik, her bir risk kaynağı (makine, insan, çevre ve yönetim) için bir risk analizi ve değerlendirmesi yapılmasını sağlar, ardından yeni bir konsept tarafından önerilen faaliyet sırasındaki genel risk oranı belirlenir (Kharzi ve ark., 2020).

1.8.4. Tehlike ve işletilebilme çalışması metodolojisi

Tehlike ve işletilebilme çalışması metodolojisi (Hazard and Operability Studies-HAZOP), tasarım ve işletim koşullarından herhangi bir sapmanın etkilerini araştıran, tehlikeleri ve işletilebilirlik sorunlarını incelemek için en yapılandırılmış tekniklerden biridir. Kökeni 1970'lerde "The Imperial Chemical Industries" tarafından geliştirilmiş, ancak Birleşik Krallık'ta naylon ara madde üreten bir kimya fabrikasında 28 kişinin ölümüne ve çoğu kişinin yaralanmasına neden olan bir patlamadan sonra gerçekten bir standart haline gelmiştir. Bu felaketten ortaya çıkan şey, değişikliklerin ve iyileştirmelerin sürekli olarak gözden geçirilmesi ve uygulanması da dâhil olmak üzere, bir sistem içindeki değişimin yönetimini doğru bir şekilde ele alma ihtiyacıydı. O zamandan beri kimya ve petrol endüstrilerinde ve karbon ayırma işlemleri ve hidrojenle ilgili tesisler gibi diğer sektörlerde sıklıkla uygulanmaktadırlar. HAZOP, daha güvenli, daha verimli ve daha güvenilir altyapılar elde etmek için proses sistemlerinin tasarımında standart bir faaliyet haline gelmiştir. Bir sistem veya ekipmanda ortaya çıkabilecek herhangi bir çalışma probleminin, ilgili bağlamdaki bir değişken veya parametrenin normal çalışmasından sapmaya neden olacağını varsayar. HAZOP çalışması kavramı ilk olarak 1970'lerin ortalarında Birleşik Krallık'taki mühendisler tarafından geliştirildi ve ilk olarak zararlı, yanıcı ve kararsız bileşikler dâhil olmak üzere yüksek derecede tehlikeli malzemeleri yöneten sistemlerde meydana gelebilecek olası tehlikeleri tespit etmek amacıyla ortaya çıkmıştır. Pilot tesis geliştirme, yürütme tasarımı, işletme ve hizmetten çıkarma dâhil olmak üzere farklı seviyelerde bir sistemin güvenli tasarımını ve işletimini sağlamak için tehlikelerin tanımlanması esastır. Nihai amaç, yangın, patlamalar ve toksik salınımlar dâhil olmak üzere büyük kazalara yol açan herhangi bir nedeni ortadan kaldırmaktır. HAZOP, giderek daha karmaşık ve sofistike süreçleri kapsayan kimya tesislerinin güvenliğini geliştirmeye yönelik araştırmaların çoğunun odak noktasıdır.

Tarihsel bir perspektiften bakıldığında HAZOP çalışmaları, tasarım operasyonlarından (ekipman odaklı) sapmaları tespit etmek için disiplinli bir prosedür

olarak formüle edilmiştir. Daha sonra, ilkeler daha karmaşık süreçleri analiz etmek için uyarlanmıştır. Ekipman odaklı süreçlerden süreç odaklı süreçlere geçiş, titiz, eksiksiz, sistematik ve çok disiplinli bir metodoloji gerektiriyordu. Sistemlerin tasarımı ve işletilmesinin güvenlikle ilgili etkilerini analiz eden HAZOP çalışmaları, güvenliğin özel bir endişe kaynağı olduğu tüm endüstrilerde gereklidir. HAZOP'un bir PHA stratejisi olarak ilk ortaya çıkışından bu yana kırk yılı aşkın bir süredir HAZOP'un gelişimi, proses endüstrilerinden gelen çok sayıda yayın, kitap ve şirket içi kurumsal kılavuza göre gerçekleştirilmiştir. Bir HAZOP analizi, bir sistemin tam tanımını dikkate alır ve tasarım niyetinden sapmaları belirlemek için sistemin her parçasını inceler ve bunların nedenlerini ve sonuçlarını değerlendirir. Temel fikir, bir sürecin veya operasyonun başarısız olmasının tüm olası yollarını belirlemek için kontrollü bir şekilde yaratıcı bir şekilde beyin fırtınası yapmaktır. HAZOP analizlerinin odak noktası, kimya tesislerinde çok tehlikeli maddeleri yönetmek ve risklerini azaltmaktır. Kapsamlı bir HAZOP, artık sistemin kullanım ömrü boyunca makul olarak beklenebilecek durumları dikkate alıyor ve kimya endüstrisinin ötesindeki sistemlere ve sektörlere uzanıyor. HAZOP, aşağıdaki adımlardan oluşan hiyerarşik bir prosedürdür (Mocellin ve ark., 2022).

- Tesisin/sürecin bir bölümünün seçimi ve tasarım amacının açıklanması;
- HAZOP'un amacının ve çalışmanın sınırlarının tanımlanması;
- HAZOP multidisipliner ekibinin oluşturulması;
- İncelenecek önemli parametrelerin tanımlanması;
- Kılavuz sözcükleri ve parametreleri birleştirerek bir sapma listesinin geliştirilmesi;
- Her sapma için potansiyel nedenleri, sonuçları, sapma sıklığını ve risk yönetimi stratejilerini belirleme ve
- Raporlama.

1.8.5. Hata ağacı analizi metodolojisi

Hata ağacı analizi metodolojisi (Fault Tree Analysis-FTA) ilk olarak 1962 yılında Minuteman I Kıtalararası Balistik Füze Fırlatma Kontrol Sistemini değerlendirmek için ABD Hava Kuvvetleri Balistik Sistemleri Bölümü sözleşmesi kapsamında H.A Watson tarafından Bell Laboratuvarlarında geliştirilmiştir. FTA, risk ve güvenilirlik

çalışmalarında nedensel analiz için en sık kullanılan tekniktir. Hata ağacı analizi, bir sistemin istenmeyen bir durumunun, bir dizi alt düzey olayı birleştirmek için Boole mantığı kullanılarak analiz edildiği bir başarısızlık analizidir. Bu analiz yöntemi, temel olarak güvenlik mühendisliği alanında bir güvenlik tehlikesinin olasılığını nicel olarak belirlemek için kullanılır. FTA, güvenilirlik blok diyagramlarına alternatif sağlayan bir grafik tasarım tekniğidir. Kapsam olarak bir güvenilirlik blok diyagramından daha geniştir ve birkaç açıdan güvenilirlik blok diyagramlarından farklıdır. Bileşenlerden ziyade olaylar açısından yapılandırılmış, yukarıdan aşağıya, tümdengelimli bir analizdir. Başarısızlıklara odaklanmanın bir avantajı, başarısızlıkları tanımlamanın genellikle başarısızlık olmayanlara göre daha kolay olmasıdır ve başarısızlıkların oluşabileceği çok daha az yol olabilir. Odak noktası genellikle, en önemli olay olarak anılan ve hata ağacı diyagramının en üstünde görünen önemli bir başarısızlık veya felaket olayıdır. Niteliksel analiz, en önemli olayın meydana gelmesine neden olacak çeşitli olay kombinasyonlarının tanımlanmasından oluşur. Bunu, en önemli olayın meydana gelme olasılığını tahmin etmek için nicel bir analiz izleyebilir. FTA genellikle makine aşınması, malzeme arızası veya dallara veya kesim setlerine donanım (makine)/sistem arıza oranı atamaktan kaynaklanan olaya belirleyici katkıların kombinasyonlarından oluşan olayları içerir. Tipik olarak başarısızlık oranları, bileşenlerin, birimin, alt sistemin veya işlevin arızalanması arasındaki ortalama süre gibi doğrulanmış tarihsel verilerden dikkatlice türetilir. FTA değerli bir tasarım aracı olarak kullanılabilir, potansiyel kazaları belirleyebilir ve maliyetli tasarım değişikliklerini ortadan kaldırabilir. Bir sistem arızasında en olası sistem arızasını tahmin eden bir teşhis aracı olarak da kullanılabilir. FTA, güvenlik mühendisliğinde ve tüm ana mühendislik alanlarında kullanılmaktadır (Waghmode ve Patil, 2013).

1.8.6. Olası hata türleri ve etkileri analizi

İlk olarak 1960'larda havacılık endüstrisi tarafından resmi bir tasarım metodolojisi olarak geliştirilen olası hata türleri ve etkileri analizi (Failure Mode and Effects Analysis-FMEA), potansiyel arızaları değerlendirmede ve bunların oluşmasını önlemede yararlı ve güçlü bir araç olduğu kanıtlanmıştır. FMEA, bilinen ve/veya olası arızaları, sorunları, hataları vb. sistem, tasarım, süreç ve/veya hizmetten müşteriye ulaşmadan önce tanımlama, tanımlama ve ortadan kaldırmaya yönelik bir analiz

tekniğidir. FMEA'nın temel amacı, potansiyel arıza modlarını belirlemek, farklı bileşen arıza modlarının nedenlerini ve etkilerini değerlendirmek ve arıza şansını neyin ortadan kaldırabileceğini veya azaltabileceğini belirlemektir. Analizin sonuçları, analistlerin sistem üzerinde zararlı etkisi olan arıza modlarını belirlemesine ve düzeltmesine ve tasarım ve üretim aşamalarında performansını iyileştirmesine yardımcı olabilir. Tasarımcılar için bir destek aracı olarak tanıtılmasından bu yana FMEA, havacılık, otomotiv, nükleer, elektronik, kimya, mekanik ve tıbbi teknolojiler endüstrileri dâhil olmak üzere çok çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. FMEA, karmaşık sistemlerin güvenilirliğini ve güvenliğini artırmak için bilinen veya potansiyel arızaları belirlemek ve ortadan kaldırmak için kullanılan ve risk yönetimi kararları almak için bilgi sağlamayı amaçlayan önemli bir tekniktir. Spesifik bir ürün veya sistemi analiz etmek için, önce FMEA'yı yürütmek üzere fonksiyonlar arası bir ekip kurulmalıdır. FMEA'daki ilk adım, sistematik bir beyin fırtınası oturumu ile ürün veya sistemin olası tüm olası arıza modlarını belirlemektir. Bundan sonra, risk faktörleri dikkate alınarak bu arıza modları üzerinde kritik analiz gerçekleştirilir: oluşum (O), şiddet (S) ve tespit (D). FMEA'nın amacı, sınırlı kaynakları en ciddi risk kalemlerine atamak için ürün veya sistemin arıza modlarına öncelik vermektir. Genel olarak, düzeltici eylemler için hata modlarının önceliklendirilmesi, bir hatanın O, S ve D'sinin çarpımı bulunarak elde edilen risk öncelik numarası aracılığıyla belirlenir. Geleneksel FMEA'nın sistem, tasarım, süreç veya hizmette meydana gelen ve müşteriye ulaşan arızaları ve hataları önleyecek en önemli erken önleyici eylemlerden biri olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, geleneksel risk öncelik numarası yöntemi çeşitli nedenlerle literatürde yoğun bir şekilde eleştirilmiştir (Liu ve ark., 2013).

1.8.7. Olay ağacı analizi

Olay ağacı analizi (Event Tree Analysis-ETA), bir başlatıcı olaydan (örneğin, LPG salınımı gibi bir kaza olayı) sonra gelebilecek çeşitli olayların mantıksal bir kombinasyonunu temsil eder. Ağacın başlangıç olayı, olayın sonucunu ağacın farklı dallarında yaymak için ikili koşullar, yani başarı/başarısızlık (doğru/yanlış veya evet/hayır) kullanır. Farklı dallar tarafından izlenen her bir yol, sonunda bir olay-sonuç modeli geliştirerek olası sonuç olaylarını tanımlar. Risk analizinde, olay-sonuç modeli ve sonuç olayları, olay öncülerini ve olay sonrası uygulamayı incelemek ve tesadüfi bir olay

için olası tehlikeleri (sonuç olaylarını) belirlemek için olay öncesi uygulamada art arda kullanılır. Bir olay ağacındaki nitel analiz, bir başlatıcı olayın olası sonuç olaylarını tanımlarken, nicel analiz, ağaç için sonuç olay olasılığını veya sıklığını (olasılığı) tahmin eder. Geleneksel olarak, bir olay ağacının nicel analizi, sonuç olay olasılığını veya sıklığını tahmin etmek için kesin olay olasılıklarını kullanır. Uygulamada, olay olasılığının kesin tahminlerini elde etmek zor ve pahalıdır çünkü çoğu durumda bu tahminler bir uzmanın sınırlı bilgisinin, eksik bilgisinin, düşük kaliteli verilerinin veya bir arıza mekanizmasının kusurlu yorumunun sonucudur. Bu kaçınılmaz sorunlar, ETA'da belirsizlikler yaratır ve karar verme için tüm risk analizi sürecini daha az güvenilir hale getirir. Genel bir belirsizlik taksonomisinde, tesadüfi ve epistemik belirsizlikler ana sınıflardır. Tesadüfi belirsizlik, bir sistemin davranışındaki doğal varyasyon veya rastgeleliği açıklar ve veri mevcudiyeti durumunda, olasılığa dayalı yaklaşımların en iyi seçenek olduğu bulunmuştur. Öte yandan, epistemik belirsizlik, eksiklik ve belirsizlik nedeniyle ortaya çıkan belirsizliği ve belirsizliği açıklar. Girdi verilerindeki (yani olay olasılığı) belirsizlikleri tanımlamak ve bunları ETA aracılığıyla yaymak için, geleneksel olarak Monte Carlo simülasyonları gibi olasılığa dayalı yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu yaklaşım, genellikle mevcut olmayan girdi verilerinin olasılık yoğunluk fonksiyonlarını türetmek için yeterli ampirik bilgi gerektirir. Objektif verilere alternatif olarak, özellikle veri toplamanın zor veya çok pahalı olduğu durumlarda, uzman bilgisi/kararı kullanılır. Uzman yargıları doğası gereği niteliksel/dilseldir ve çeşitli uzmanlar arasında fikir birliği eksikliği ortaya çıkarsa tutarsızlıktan zarar görebilir. Klasik olasılık çerçevesi, belirsiz veya eksik/tutarsız kavramlarla başa çıkmak için çok etkili değildir (Ferdous ve ark., 2009).

1.8.8. Neden-sonuç analizi

Neden-sonuç diyagramı yöntemi (Cause-Consequence Analysis), tehlikeli sonuçlara yol açması muhtemel olan bileşenlerin veya alt sistemlerin arızalanmasını içeren bir olay gibi kritik bir olayın meydana gelmesine dayanır. Kritik bir olay belirlendikten sonra, bunun tüm ilgili nedenleri ve olası sonuçları iki geleneksel güvenilirlik analizi yöntemi kullanılarak geliştirilir (FTA ve ETA). FTA, istenmeyen bir olayın nedenlerini açıklamak için kullanılır. ETA, bir veya daha fazla koruma sisteminin tasarlandığı gibi çalışmaması durumunda kritik bir olayın yol açabileceği sonuçları

gösterir. Neden-sonuç diyagramının yapımında kullanılan ana sembol, sistem koşulunu içeren bir karar kutusudur. Bir olay ağacı yapısında görülen "Evet-Hayır" dallarının aynı temsilidir. Karar kutusunun evet ve hayır çıkış kollarını takiben diyagram geliştirilir. Sistem arızasının nedenleri, FTA kullanılarak geliştirilir. Neden-sonuç diyagramı sonuç kutularında sona erer. Yöntemin bir örneği olarak, bir motoru çalıştırmak ve daha sonra sınırlı bir süre çalışmasına izin vermek için tasarlanmış basit bir motor kontrol sistemini düşünün. Motora güç veren devre, röle kontaklarının kapanmasıyla enerjilenir. İlk karar kutusu sistem koşulu "Röle kontakları açık" olarak kabul edilir. Koşul sağlanırsa ve röle kontakları açıksa, sistem için sonuç motorun durmasıdır, bu EVET kolunda gösterilir. Koşul sağlanmazsa ve röle kontakları açık değilse, sırasıyla diğer tüm sistem koşulları dikkate alınır. Bu örnekte "Zamanlayıcı kontakları açık" dikkate alınan bir sonraki koşuldur. Örnekte röle kontaklarının açılmaması ve sigortanın yanmamasının nedeni, birinci ve üçüncü karar kutularına oklarla gösterildiği gibi hata ağaçları kullanılarak geliştirilmiştir. Bir neden-sonuç diyagramının amacı, kritik olaydan kaynaklanabilecek her sonucun olasılığını veya sıklığını değerlendirmektir. Neden-sonuç diyagramının karar kutularının olasılıkları bağımsız olduğunda, niceleme aşağıdaki adımlarda yapılabilir:

- Karar kutusundan kaynaklanan her çıkış koluna olasılıklar atayın (muhtemelen ilgili hata ağacını ölçerek).
- Herhangi bir dizinin olasılığı, o dizideki her bir karar kutusu çıkış yolu ile ilgili olasılıkların çarpılmasıyla elde edilir.
- Herhangi bir sonucun olasılığı, o sonuçta sona eren her dizinin olasılıklarının toplanmasıyla elde edilir.

Ancak, bir dizideki her karar kutusundaki hatalar bağımsız olmadıkça bu prosedür kullanılamaz. Neden-sonuç diyagramlarında tekrarlanan veya tutarsız olaylar nedeniyle bağımlılıklar olabilir ve bunlar nicelleştirmeden önce ele alınmalıdır. Tekrarlanan olaylar durumunda, aynı başarısızlık olayı, neden-sonuç diyagramının aynı yolu üzerinde birden fazla hata ağacı yapısında bulunur. Yaygın bir olay hatasıyla başa çıkmak için aşağıdaki algoritma önerilir.

- Ortak olayı hata ağacı yapılarından çıkarın ve ortak başarısızlık olayını içeren ilk karar kutusundan önce gelen yeni bir karar kutusuna yerleştirin (yeni olay, ortak olayın meydana gelmesidir: EVET/HAYIR).

- Yeni karar kutusundan kaynaklanan her bir çıkış dalında orijinal neden-sonuç diyagramını çoğaltın.
- Yeni karar kutusunun HAYIR çıkış dalını takiben, içinde bulunduğu herhangi bir hata ağacı yapısında başarısızlık olayı DOĞRU olarak ayarlanır.
- Benzer şekilde, EVET çıkış dalını takiben, ortak arıza olayının arıza olasılığı, mevcut olduğu herhangi bir arıza ağacı yapısında YANLIŞ olarak ayarlanır.

Neden-sonuç diyagramında ortaya çıkabilecek diğer bağımlılık, aynı bileşenin farklı işlevleri yerine getirmesi gerekebilmesidir; bu, başarılı bir şekilde yerine getirildiğinde, bileşenlerin farklı zamanlarda farklı durumlarda bulunmasına neden olur. Örneğin, başlangıçta bir rölenin kapatılması ve daha sonra sıranın açık olması gerekebilir. Tutarsız arıza olayları, rölenin gerektiği gibi açılmasına neden olmak için rölenin açılmaması ve ardından rölenin kapanmasının nedeni olarak kapanmaması olabilir. Röle aynı anda açılıp kapatılamaz. Tutarsız arıza olaylarının tanımlanmasının ardından, sıradaki ikinci arıza modu incelenir ve ikinci arıza modunun açıklanmamış veya açıklanmış bir arıza olayı olmasına bağlı olarak neden-sonuç diyagramı farklıdır. İkinci arıza modu açıklanmış bir arıza ise, operasyonlar arasında başarısız olamaz ve tespit edilemez. Bu nedenle, ikinci arıza modunun arıza süresi, sistemin birinci arıza olayı ile ikinci arıza olayı arasında çalışması için geçen süreye eşit olarak ayarlanır. İkinci arıza modu açığa çıkarılmazsa, operasyonlar arasında ortaya çıkabilir ve tespit edilemeyebilir. Bu durumda aşağıdaki algoritma önerilmektedir.

- Tutarsız başarısızlık olaylarından herhangi birini ayıklayın ve tutarsız olaylardan herhangi birini içeren ilk karar kutusunun önüne yeni bir karar kutusuna yerleştirin.
- Yeni karar kutusundan kaynaklanan her bir çıkış dalında orijinal neden-sonuç diyagramını çoğaltın.
- Çıkarılan bileşenin başarısız olduğu çıkış dalının ardından, çıkarılan olayın tüm oluşumları DOĞRU olarak ayarlanır.
- Çıkarılan bileşenin başarısız olmadığı çıkış dalının ardından, çıkarılan olayın tüm oluşumları YANLIŞ olarak ayarlanır.

Neden-sonuç diyagramındaki her sıra yolunun incelenmesinin ve tanımlanmış herhangi bir bağımlı arıza olayına bağlı değişikliğin ardından, neden-sonuç diyagramı, bağımsız sistemlerle aynı prosedür izlenerek nicelendirilebilir. Bununla birlikte, bu yöntemin, tutarsız arıza modlarına sahip bileşenin çalışma durumuna sahip olan diyagram boyunca giden yolda, olasılığının tutarsız arıza modlarının olasılığı olduğu gerçeğini hesaba katması gerekir (Vyzaite ve ark., 2006).

1.8.9. Fine-Kinney risk analizi

Bu yöntem risk değerlendirme problemleri için geliştirilmiştir. Bu basit bir tekniktir ve üretimden hizmete kadar herhangi bir endüstrideki güvenlik paydaşları tarafından kolaylıkla benimsenebilir. Bu yöntemde risk değeri, P, E ve C parametreleri çarpılarak hesaplanır. P, tehlike olayının risk olasılığıdır. E, tehlike olayının meydana gelme sıklığı olarak tanımlanır. C, istenmeyen bir olayın en olası sonucu olarak tanımlanır. Fine-Kinney yönteminin birçok varyasyonu zamanla önerilmiştir. Fine-Kinney mesleki risk değerlendirmesinin yürütülmesinde yaygın olarak kullanılan bazı terimler şu şekilde tanımlanmaktadır.

Tehlike: Güvenli olmayan herhangi bir durum veya istenmeyen bir kaza olayının potansiyel kaynağı olarak tanımlanır. Örneğin bir tankta kaynak yapmak; bir araçta arızalı frenler; ağır yüklerin elle taşınması.

Olasılık: Tehlike oluştuğunda bir kaza veya hasar olasılığı olarak tanımlanır.

Maruz Kalma: Tehlike olayının meydana gelme sıklığı olarak tanımlanır.

Sonuç: Yaralanmalar ve maddi hasarlar da dâhil olmak üzere potansiyel istenmeyen bir kaza olayının en olası sonucu olarak tanımlanır.

Risk: Bir şeyin hedef üzerinde etki yaratma şansı olarak tanımlanır. Olasılık, maruz kalma ve sonuçlara dayalıdır.

Risk yönetimi: Bağlamın belirlenmesi, risklerin belirlenmesi, risklerin analiz edilmesi, risklerin değerlendirilmesi, risklerin tedavi edilmesi, sürekli izleme ve gözden geçirme, iletişim ve istişareyi içeren bir süreç olarak tanımlanır.

Fine–Kinney yöntemiyle bir mesleki risk değerlendirmesi gerçekleştirmek için aşağıdaki adımlar izlenmelidir:

Adım 1: İstenmeyen sonuçlara yol açabilecek olayların kaza sırasını listeleyin.

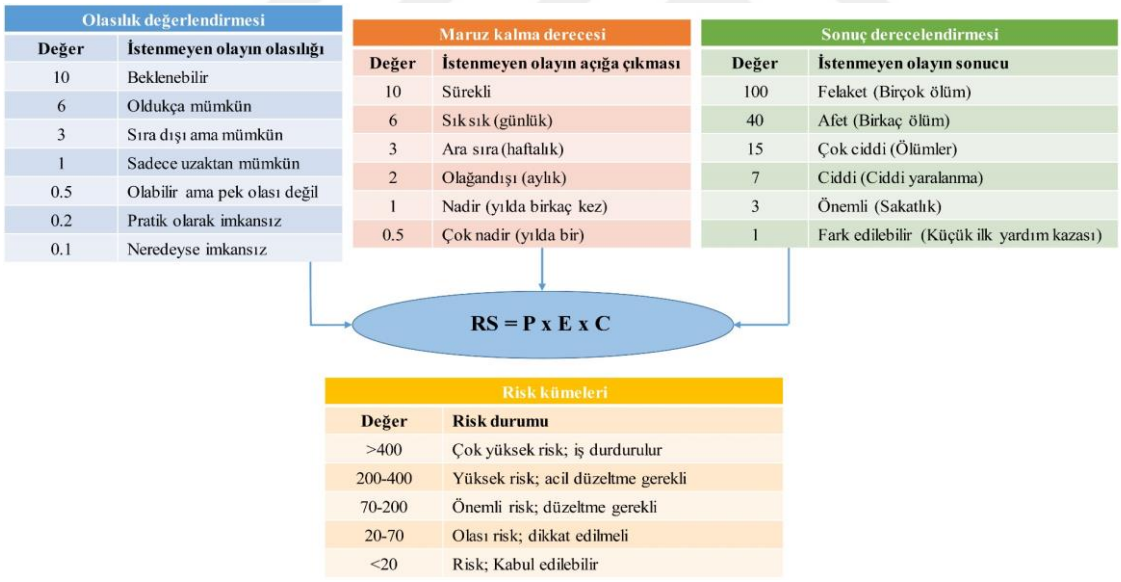
Adım 2: Formül öğeleri (olasılık, maruz kalma ve sonuç) için değerleri belirleyin (Şekil 1.2.).

Adım 3: Formülde yerine koyun ve risk değerini (RS) belirleyin.

Adım 4: Önleyici faaliyetler için tehlikelere öncelik verin. Tehlikeler, RS'ler açısından azalan sırada önceliklendirilir. Bundan sonra, yüksek riskli tehlikeler için önerilen kontrol önlemleri dikkate alınmalıdır.

Adım 5: Analiz sonuçlarını özetleyerek bir Fine-Kinney mesleki risk değerlendirme raporu hazırlayın.

Adım 6: Tehlikelerin neden olduğu riskleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için revize edilmiş RS'leri hesaplayın. Önerilen kontrol önlemleri ve düzeltici eylemler devreye alındıktan sonra, risk değerlendirme ekibi P, E ve C için risk dizilerinin her birini yeniden değerlendirmelidir. Bu risk yeniden değerlendirmesi çok önemlidir, çünkü her tehlikeyle ilişkili riskin ne kadar iyileştiğinin (uzun vadede kabul edilebilir bir düzeye düşürüldüğü veya tamamen ortadan kaldırıldığı) resmini gösterir (Gul ve ark., 2021).



Şekil 1.2. Fine-Kinney yönteminin akış şeması.

Klasik Fine-Kinney yöntemi, potansiyel tehlikeleri ve ilgili riskleri değerlendirmeye yardımcı olan yararlı bir mesleki risk değerlendirme aracı olarak kabul edilir. Bununla birlikte, mevcut akademik bilgide, bu yöntemin klasik RS hesaplaması için bir takım dezavantajlar bulunmaktadır. Bazıları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- P, E ve C'nin göreli önem (ağırlık) değerleri RS hesaplamasında dikkate alınmaz.
- P, E ve C'nin çeşitli kombinasyonları, aynı RS değerine neden olabilir, ancak risk etkileri altındaki anlamları tamamen farklı olabilir. Durum bazı yüksek riskli tehlikelerin fark edilmemesine neden olabilir.
- Hesaplanan RS şüphelidir ve kesin bir bilimsel kaynağa dayanmaz. RS elde etmek için P, E ve C'nin neden çarpılması gerektiğine dair bilimsel ve gerçekçi bir gerekçe yoktur.
- Tehlikeler ve tehlike nedenleri arasındaki karşılıklı ilişkiler yeterince tartışılmamıştır.
- "P, E ve C" parametreleri, ayrık ölçüm değerlerine sahip bir skalaya göre analiz edilir. Ancak, ürünün hesaplanması sıra ölçeğinde anlamsızdır.
- RS, esas olarak iş güvenliği açısından olmak üzere yalnızca üç risk faktörüne göre hesaplanır. Maliyet, önleme, kişisel koruyucu donanımların kullanılmama hassasiyeti, bakım yapılmama hassasiyeti, tespit edilememe gibi diğer bazı önemli parametreler ne yazık ki kapsam dışıdır.
- Olasılığın yanlış tanımı, kazanın tek bir nedene dayandırılması gerekliliği, maruz kalma faktörünün ve işçi sayısının tahmin edilmesi.
- RS hesaplamasının matematiksel formülü, risk parametrelerinin değerlerinin değişmesine karşı son derece hassastır. Risk parametre değerlerindeki küçük değişiklikler, RS değerinde çok farklı değişikliklere yol açar (Gul ve ark., 2021).

1.8.10. Olursa ne olur analizi

Olursa ne olur (What if) analizi, tehlikeleri tanımlamanın bir yolu olarak olursa ne olur ile başlayan bir dizi soru sormayı içerir. Kontrol listelerinin yanı sıra, olursa ne olur analizi muhtemelen en eski tehlike belirleme yöntemidir ve hala popülerdir. "Olursa ne olur" analizi şu tür sorularla gerçekleştirilir:

- Boru sızarsa ne olur?
- Akış denetleyicisi başarısız olursa ne olur?

Soruların mutlaka olursa ne olur "What if" ile başlaması gerekmez; başka ifadeler de kullanılabilir. Yöntem, esas olarak, genellikle bir kontrol listesi kullanarak, bu türden sorular kullanan bir ekip tarafından tüm tasarımın gözden geçirilmesini içerir. Bu tekniğin avantajları şunlardır:

- Hiçbir özel teknik veya hesaplama aracı gerekmez,
- Sorular bir kez geliştirildikten sonra küçük değişikliklerle projenin ömrü boyunca kullanılabilirler,
- Basit bir tablo özeti sağlar.

Başlıca dezavantajlar şunlardır:

- Çalışmayı gerçekleştirmek için bir uzman ekibi gerektirir; bu nedenle HAZOP'a benzer dezavantajlara (mevcut uzmanlık ve maliyetler açısından) sahiptir;
- Hem yaratıcı sorular geliştirmek hem de yanıt almak için çalışma ekibinin deneyimine ve sezgilerine büyük ölçüde güvenilmesi, çalışmanın bu yönündeki herhangi bir sınırlamanın çalışmayı tamamen yararsız hale getirebileceğini (daha da kötüsü, yanıltıcı olduğunu) ima eder;
- HAZOP ve FMEA kadar sistematik değildir;
- Sayısal önceliklendirme olmadan yalnızca niteliksel sonuçlar verir (Khan ve Abbasi, 1998).

Genel olarak, olursa ne olur analizi, neyin yanlış gidebileceğini belirlemek için yapılandırılmış bir beyin fırtınasından ve ardından her bir senaryonun olasılığını ve sonuçlarını yargılamaktan oluşur. Bu soruların cevapları, bu risklerin kabul edilebilirliğine ilişkin yargıya varmak ve kabul edilemez olduğuna karar verilen riskler için önerilen bir eylem planı belirlemek için temel oluşturur. Bu analiz, tek bir kişi tarafından gerçekleştirilebilir, ancak en iyi şekilde, daha karmaşık süreçler ve prosedürler için bir ekip yaklaşımıyla gerçekleştirilir. Birçok laboratuvar uygulaması için "ekip", deneyi tasarlayan, aparatın bakımını yapan ve kendi tehlike incelemelerini kolaylaştıran bir veya iki üyeden oluşabilir. Olursa ne olur analizi, basit araştırma uygulamaları için iyi bir adaydır. Daha karmaşık süreçler için kullanılması da garanti edilir, ancak kapsam, karmaşıklık, sürece dâhil olan tek kullanıcı veya birden çok kişi gibi incelemenin özel ihtiyaçlarını dikkate alan organize bir yaklaşım kullanılarak uygulanması gerekir. Düzenli olarak kullanılan bir düşünce tarzına dayandığı için yoğun bir eğitim gerektirmez ve aynı

zamanda geniş deneyime sahip kişilerin daha az deneyimli kişilerle birlikte katılabileceği grup katılımına da uygundur. Bu yaklaşımın soruları, sonuçları ve önerilen eylem formatı, öğretimin temel görev olduğu bir araştırma ortamında da işe yarar. Bu yaklaşımı kullanan katılımcılar, bir görev veya deney için uyulması gereken gereksinimlerin bir listesini almaktansa, bir operasyon için önerilen mühendislik kontrollerinin, çalışma uygulamalarının ve koruyucu ekipmanın arkasındaki mantığı ve ardından takdirini kazanır. Bu yöntemin uygulanmasıyla öğrenilen endişeler ve kontroller, katılımcılar tarafından içselleştirilerek yeni görevlere ve deneylere taşınabilir. Katılımcılar gelecekteki süreçler hakkında eleştirel düşünmeyi öğrenirler. Daha karmaşık süreçler için, tehlike analizi incelemesine başlamadan önce araştırmadan ayrıntılı bir ekipman diyagramı içeren bir süreç açıklaması elde etmek gerekir. Çizimlerin oluşturulması, sürecin her bir alt bölümünün yeterli şekilde gözden geçirilmesini sağlar. Bu çizimler aynı zamanda yeni laboratuvar çalışanlarının eğitiminde kullanılmak üzere kalıcı belgeler görevi görür. Çizimler ve belgelenmiş tehlike incelemesi, deney veya süreçteki gelecekteki değişiklikleri yönetmek için bir tartışma noktası olarak da hizmet eder. Bu teknik, henüz kendilerini göstermemiş doğal arıza modlarına sahip olabilecek mevcut standart işletim prosedürlerini analiz etmek için kullanılabilir. Standart işletim prosedürlerinin her adımında uygun "olursa ne olur" sorularının kullanılmasıyla, bu teknik, makul olarak beklenen arızaların belirlenmesine yardımcı olabilir ve ek veya gözden geçirilmiş mühendislik kontrolleri, gözden geçirilmiş iş uygulamaları veya kişisel koruyucu ekipman kullanım revizyonları ihtiyacını güçlendirebilir. Ancak süreçlerin ve deneylerin, sonrasında değil, iş yapılmadan önce analiz edilmesi önemle tavsiye edilir (Anonim, 2013).

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Günümüzde, küresel endüstrilerde ve daha genel olarak bilimsel araştırma topluluğunda nanoteknolojinin rolü, kullanım önemi ve kapsamı açısından artmaktadır. Pek çok nanomalzeme, ilaçların insan vücuduna verilmesi ve kontrollü salımı için kozmetiklerde, gıda ürünlerinde, farmasötik nanokapsüllerde bileşen olarak kullanılmaktadır. Fiziko-kimyasal özelliklerinden dolayı, nanopartiküller çok çeşitli uygulamalara uygundur. Bununla birlikte, bir akademik laboratuvarda geliştirilen herhangi bir süreç gibi, nanomalzeme sentez süreci ve bu teknolojinin geliştirilmesi de bu laboratuvarlarda mevcut olan tehlikelere tabidir ve daha da önemlisi, alandaki araştırmacılar, nanomalzemenin laboratuvar ölçeğinde üretimi ve sentezi ile ilişkili birçok tehlikeye maruz kalmaktadır. Araştırmacılar son zamanlarda akademik laboratuvarlarda güvenliğin iyileştirilmesi için çağrıda bulundular ve akademik kurumların genel güvenliğini iyileştirmek için liderlik taahhüdüne duyulan ihtiyacın altını çizdiler. Bu konulara yönelik yapılan ilgili çalışmaların özeti aşağıda verilmiştir.

Ostraat ve ark. (2008) SiO_2 aerosol nanopartikül reaktörünü iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirmişlerdir. Bu çalışma, < 100 nm boyut aralığında kararlı, iyi kontrol edilen, amorf SiO_2 aerosol nanoparçacıkları üretmek için kullanışlı ve basit bir reaktörü açıklamaktadır. SiO_2 aerosol nanoparçacık reaktörü, halojen içeren yan ürünler üretmeyen ve parçacık boyutu dağılımı günlük izleme gerektirmeyen 104–107 parçacık/cm^3 parçacık konsantrasyonlarında 10-70 nm'den amorf SiO_2 aerosol nanoparçacıklarının kararlı, uzun vadeli sentezini yapabileceği rapor edilmiştir. Bu reaktörün, inhalasyon toksikolojisi çalışmalarını kolaylaştırmak, aerosol nanoparçacıklarının patlama özelliklerini ölçmek, aerosol nanopartiküllerinin patlama özelliklerini ölçmek, solunum cihazı filtrasyonu, torbalı egzoz ve çeşitli aerosol nanopartikülleri ile zorlanan kişisel koruyucu giysi ortamları için bariyer etkinliği ve işyeri güvenlik protokollerini doğrulamak için havadan izleme teknolojileri geliştirmek için tasarlandığı bildirilmiştir. Tüp fırınına verilen tetraetilortosilikat (TEOS)'ın kısmi basıncını ve TEOS reaksiyon sıcaklığını değiştirerek, 10-70 nm partikül çapından nanopartiküller üretilebileceği ifade edilmiştir. Nanoparçacıkların üretim kaynağı olarak daha büyük hacimlere ölçeklenemese de, bu reaktör tasarımı, iş sağlığı ve güvenliği araştırmalarındaki uygulamalar için iyi karakterize edilmiş, kararlı bir aerosol sentezi için

ideal olduğu vurgulanmıştır. Bu reaktörün uzun vadeli kararlılığı, aynı zamanda, günlük olarak tahsis edilmiş aerosol sınıflandırması ve tespit ekipmanı olmayan gruplar için aerosol nanoparçacıklarına erişime izin vererek, kişinin reaktörün periyodik aerosol izlemesini yapmasını sağladığı bildirilmiştir. Veriler, bu aerosol reaktörün ve işleminin, inhalasyon toksikolojisi programları, patlama çalışmaları, filtre verimliliği çalışmaları ve işyeri maruziyet metodolojileri için endüstriyel hijyen izleme ve numune alma ihtiyaçları için tekrarlanabilir olduğu, bilinen amorf SiO_2 aerosol nanoparçacık konsantrasyonları sağlamak için kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Rendon ve ark. (2014) araştırma laboratuvarlarında karbon nanotüp risklerini, güvenlik ve iş sağlığı yönünden incelemişlerdir. Bu nanomalzemelerle ilgili potansiyel risklerin farkındalığı, bir güvenlik laboratuvarı için en önemli adım olduğu ifade edilmiştir. Burada, metal safsızlıklarının varlığı veya karbon nanotüplerin uzunluğu, risklerini değiştirdiği için karakteristik olduğu bildirilmiştir. Akciğer efüzyonu veya mezotelyoma gibi potansiyel hastalıkların bu materyallere laboratuvarda maruz kalmanın bir sonucu olabileceği göz önüne alındığında, karbon nanotüplere maruz kalmamak için ihtiyati tedbirler uygulamak için maliyetler (ekonomik, konfor ve zaman) oldukça değerli olduğu rapor edilmiştir. Bu nedenle, herhangi bir iş yapılmadan önce personel, laboratuvarda uygulanan risk ve güvenlik protokolleri konusunda eğitilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Silva ve ark. (2015) nano-TiO_2'nin sol-jel sentezi sırasında bir araştırma laboratuvarında risk değerlendirmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında farklı görevlerin niteliksel risk değerlendirmesi iki araç (CB Nanotool 2.0 ve Stoffenmanager Nano 1.0) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Havadaki nanoparçacık konsantrasyonlarının karşılaştırılmasından elde edilen sonuçların, CB Nanotool'dan elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu ve her ikisi de faz 1 ve faz 2 görevleri için düşük bir risk seviyesi olduğu bildirilmiştir. Buna karşılık, Stoffenmanager Nano daha yüksek bir risk düzeyine vardığı rapor edilmiştir. Maruz kalma değerlendirmesinin farklı yönleri göz önüne alındığında, Stoffenmanager Nano değerlendirmesinin her iki durumda da riski olduğundan fazla tahmin ettiğini varsaymanın mantıklı olabileceği ifade edilmiştir. Aşama 3 görevleriyle ilgili olarak, her iki nitel yöntem de orta düzeyde bir risk düzeyinin olduğu rapor edilmiştir. TiO_2, yığın halinde, referansa bağlı olarak farklı toksikolojik özelliklere sahip olabileceği bildirilmiştir. TiO_2, düşük toksisiteli nanopartiküllerin bir örneği olarak kabul

edildiği ve mikro boyutlu partiküllerin, düşük toksisitesi ve düşük çözünürlüğü nedeniyle toksikolojik çalışmalarda negatif kontrol olarak kullanıldığı ifade edilmiştir. Çoğu in vitro ve in vivo testte, herhangi bir etkinin oluşması için yüksek dozlarda maruz kalmanın gerekli olduğunu belirtmenin önemli olduğu vurgulanmıştır. Örnek olarak akciğer dokusunun inflamatuar yanıtı düşünülebilir; düşük dozlar kullanıldığında iltihaplanma çok azdır ve bir iyileşme döneminden sonra etkiler kaybolur. Yazarlar bu durumun malzeme güvenlik bilgi formları bilgilerine bağımlı olmadıkları için, çalışanlar için bir avantaj olarak kabul edilebileceğini; ancak yine de başka bilgi kaynaklarının aranması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Golbabai ve ark. (2015) bir nano araştırma laboratuvarında kontrol bantlaması yöntemiyle nanomalzemelerin risk düzeyini belirlemek için fizikokimyasal özelliklerin ve toksikolojinin ve çalışanların maruziyetlerinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Mühendislik nanomalzemelerin toksisitesinin, bu materyallerin ortaya çıkan fizikokimyasal özellikleri ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabileceğini ifade etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada mühendislik nanomalzemelerinin üretim ve tüketimine ilişkin dokuz farklı aktivitede yer alan 20 personel ve öğrencilerde nanomalzemelere maruz kalmanın tanımlayıcı ve kesitsel bir çalışma olduğu rapor edilmiştir. Bu çalışma, kontrol bantlaması yaklaşımının basit bir nitel risk değerlendirme yöntemi olduğunu, risk değerlendirmesi için uygulanabilir ve kapsamlı bir yol olduğunu göstermektedir. Nanopartiküllerin risk seviyesinin belirlenmesinde en önemli risk faktörlerinin proseslerde üretilen toz miktarı ve kullanılan malzeme miktarı olduğu rapor edilmiştir. Üretilen toz miktarını ve nanomalzemelere maruz kalan işçi sayısını azaltmak için mühendislik kontrolleri, tehlikeli süreçlerin ve malzemelerin daha güvenli olanlarla değiştirilmesi ve idari kontroller gibi bazı mekanizmalar önerilebilineceği vurgulanmıştır. Nanomalzemenin taşınması sırasında nanoparçacık emisyonlarının azaltılması, endüstrideki çalışma koşullarını iyileştirmek ve işçi için maruz kalma risk seviyesini azaltmak için gerekli olduğu bildirilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan yöntemin kalitatif bir model olmasına rağmen, yeterli toksikoloji ve sağlık tehlikesi kanıtının bulunmaması durumunda uygun bir yöntem olduğu ifade edilmiştir.

Lakhe ve ark. (2019) $Ti_3C_2T_x$ MXene sentezi için proses güvenliği analizi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada $Ti_3C_2T_x$ laboratuvar üretimi ile

ilişkili tehlikeleri belirlemiş ve önleme, hafifletme ve acil müdahale planı tartışılmıştır. MAX faz sentezinde, tehlikelerin çoğunun, hem reaktant hem de sentez sonrası işleme dâhil olmak üzere toz işleme ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca Ti_3AlC_2 MAX fazının yanıcı toz özelliği bilinmediği ve bu durum süreç büyütülmeden önce Ti_3AlC_2 MAX fazının toz patlamaları olasılığını ve bunlarla ilişkili riski anlamak için daha fazla çalışma gerekli olduğu rapor edilmiştir. Ti_3C_2Tx MXene'leri sentezlemek için MAX fazından alüminyum katmanı aşındırmak oldukça ekzotermik olduğu ve bu nedenle küçük parti boyutlarında bile önemli bir tehlike oluşturabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca, Ti_3AlC_2 MAX fazı çok hızlı eklenirse, reaksiyon sıcaklığındaki artış reaksiyonun şiddetlenmesine ve hidroflorik asidin (HF) kaynamasına neden olarak aşındırıcı sıçramaya ve üretilen toksik dumanların konsantrasyonunun artmasına neden olabileceği vurgulanmıştır. En yüksek verime sahip aşındırma yöntemlerinde HF kullanıldığı, ancak HF aşırı derecede toksik ve güvensiz olduğundan alternatif bir yöntemin araştırılması gerektiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, aşındırıcı olarak HF seçilirse, HF'nin muhafazası çok önemli olduğu, ancak özellikle endüstride geleneksel konteynırların çoğunu aşındırdığı için zor bir durum olabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca, Ti_3C_2Tx kili uygun şekilde yıkanmazsa, HF tehlikeleri son işlemin her adımında devam edebileceği rapor edilmiştir. Diğer taraftan MXene'lerin uzun vadeli biyolojik etkisini tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu ve özellikle flor gibi tehlikeli fonksiyonel gruplarla bir nano yapının yüzey alanındaki bir artış, insan dokularında ve üzerinde ciddi iltihaplanma ve tahrişe neden olabileceği vurgulanmıştır.

Escobar-Hernandez ve ark. (2021) metal-organik çerçeve (MOF) sentezi sürecinde tehlike değerlendirmesi yaparak bir laboratuvar güvenlik perspektifi ile daha güvenli ortamlara katkıda bulunmuşlardır. Yaptıkları çalışmada MOF sentez metodolojisini kullanarak doğası gereği tehlikeli ve derinlemesine analiz edilmeye değer olarak tanımlanan koşullara ve işlemlere odaklanmaktadırlar. MOF sentez sürecindeki karışım, sentez, filtrasyon, yıkama ve kurutma gibi proses operasyonları göz önünde bulundurularak proses ve olası bozulmaların sonuçları ve doğal tehlikeler hakkında yeterli bilgi sağlamak için laboratuvar ölçeğinde yer alan sentez proseslerinin ve operasyonların kapsamlı bir tehlike tanımlamasının önemi vurgulanmıştır. Bunun için sentez aşamasının her adımı için tehlike tanımlaması yapılmış ve bu süreçte yalnızca büyük tehlikeler vurgulanmıştır. Mevcut çalışmada laboratuvar sürecinde tehlike analizi

tekniği olarak proses tehlike analizi (Process Hazard Analysis, PHA) için basitleştirilmiş olursa tekniği (Simplified What-If Technique, SWIFT) uygulanmıştır. Bu çalışmada SWIFT'in uygulanması, burada sağlanan olasılık, sonuç ve risk seviyelerine ilişkin değerlerin kullanılmasına dayanmaktadır. Sonuç olarak, SWIFT analizinin bulgularından elde edilen bazı tavsiyelerin bir parçası olarak, kontrol listeleri, laboratuvar işlemleri için farklı koşulların, durumların ve uygun deneysel ayarların kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmesi sağlanarak sentezi daha güvenli ve etkili bir şekilde yürütmek için bilinçli bir çaba olması rapor edilmiştir.

Verilen literatür raporları incelendiğinde araştırma laboratuvarlarında malzeme sentez aşamasında iş sağlığı ve güvenliğine dayalı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma, malzeme sentezi aşamasındaki çeşitli tehlike tanımlama çalışmalarının yürütülmesi konusunda bir rehber olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, bu çalışma geniş bir kitleyi hedeflediği ve bu nedenle malzeme sentez yöntemine bağlı olarak değişebilen daha genel prosedürleri tanımlayabileceğini belirtmek açısından oldukça önemlidir. İlgili çalışma, malzeme sentez aşamasında doğası gereği tehlikeli ve derinlemesine analiz edilmeye değer olarak tanımlanan koşullara ve işlemlere odaklanarak ileriki çalışmalar için önemli bir kaynak olacağı düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Nano ve kompozit malzeme araştırma alanının odak noktası, çeşitli uygulamalar için ürün verimini ve kalitesini artırmak için farklı ve daha verimli sentez yöntemleri geliştirmektir. Bu çalışma kapsamında malzeme üretimi yapılan araştırma laboratuvarlarında sentez aşamasında kullanılan kimyasal maddelerin ve bu maddeler ile sentez koşullarının tehlike ve risk faktörlerinin tespit edilmesi, alınması gereken çeşitli önlemlerin belirlenerek risk değerlendirmesine katkıda bulunulmuştur. Bu çalışmada malzeme sentezi yapılan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Polimer Kimyası Laboratuvarı'nda, iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmiştir. İlgili laboratuvarda yapılan malzeme sentezine ait tehlikeler ile ilgili risklerin değerlendirilmesi, Olursa ne olur (What If) analizi kullanılarak yapılmıştır.

3.1. Sentez Laboratuvarında Kullanılan What If Analizi

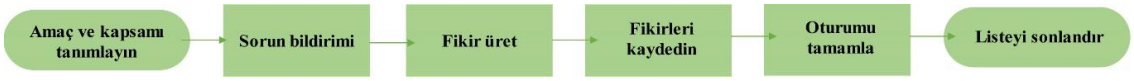
What-if tehlike analizi, OSHA Proses Güvenliği Yönetimi standardında ve EPA Risk Yönetim Planı Kuralında kabul edilebilir bir yöntem olarak atıfta bulunulan birkaç proses tehlike analizi metodolojisinden biridir (Çizelge 3.1). What-if analizi, değerlendiriciyi iş üzerindeki bilgi sonuçları hakkında düşünmeye yönlendirmek için yapılandırılmış analitik bir süreçtir. Bilgi etkisi hakkında mantıksal düşünce bu şekilde kurulur, değerlendiriciyi yönlendirir ve sonucun kendisi bilginin önemini ve daha sonra niteliksel yoğunluklara dönüştürülen kaybın potansiyel boyutunu tanımlar. Bahsedilen yöntemin, malzeme sentezine veya diğer laboratuvar süreçlerine uygulanacak olası tehlike analizi tekniklerinin örnekleri olarak hizmet etmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada What-if metodunun uygulanması, esas olarak olasılık, sonuç ve risk seviyelerine ilişkin değerlerin kullanılmasına dayanmaktadır.

Çizelge 3.1. What-if proses tehlike analizi yöntemi

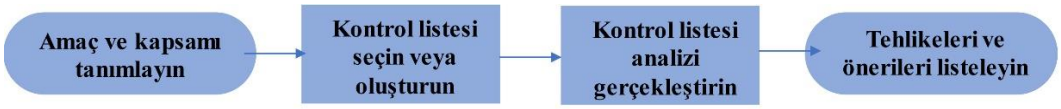
Proses tehlike analizi yöntemi	Açıklama
What-if	Bir dizi "what-if" tipi soru oluşturmak ve yanıtlamak için çok yetenekli bir ekip kullanır. Bu yöntem nispeten serbest bir yapıya sahiptir ve ancak sorulan soruların ve verilen cevapların kalitesi kadar etkilidir.
Kontrol Listesi	Bir süreci karşılaştırmak için bir kontrol listesi olarak yerleşik kodları, standartları ve iyi anlaşılmış tehlikeli işlemleri kullanır. İyi bir kontrol listesi, onu geliştirenlerin deneyim düzeyine ve bilgisine bağlıdır.
What-if Kontrol Listesi	What-if'in yaratıcı, beyin fırtınası yapan yönlerini kontrol listesinin sistematik yaklaşımıyla birleştiren ekip tabanlı, yapılandırılmış bir analiz. Tekniklerin kombinasyonu, her birinin zayıf yönlerini telafi edebilir.

What-if metodolojisinin birincil hedefleri aşağıdakileri belirlemek ve analiz etmektir: 1) bir sistemdeki büyük tehlikeler ve tehlikeye maruz kalma senaryoları; 2) büyük tehlikelere yol açabilecek nedenler, sapmalar ve zayıflıklar; 3) sistemdeki kontrol önlemleri; 4) ve kabul edilebilir bir risk düzeyine ulaşmak için gerekli kontroller. Yöntem şunları içermektedir:

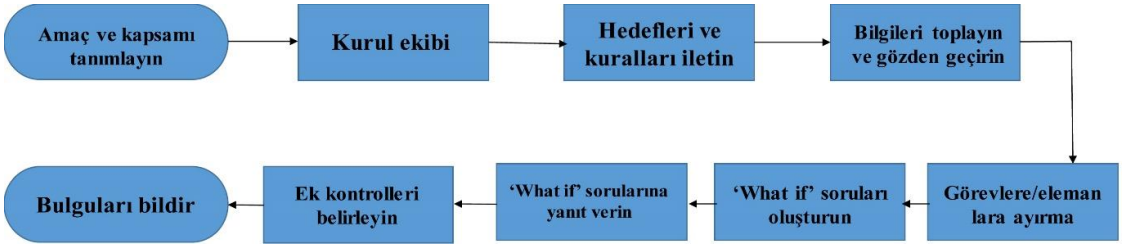
- Beyin fırtınası (Şekil 3.1)
- Kontrol listesi analizi (Şekil 3.2)
- What-if tehlike analizi (Şekil 3.3)
- What-if kontrol listesi (Şekil 3.4)
- Yapılandırılmış What-if tekniği (SWIFT) (Şekil 3.5)
- Tehlike ve işletilebilirlik çalışması (HAZOP) (Şekil 3.6)



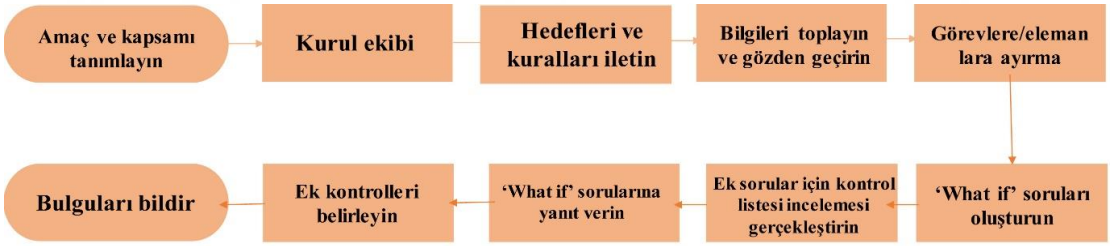
Şekil 3.1. Beyin fırtınası aşamaları.



Şekil 3.2. Kontrol listesi aşamaları.



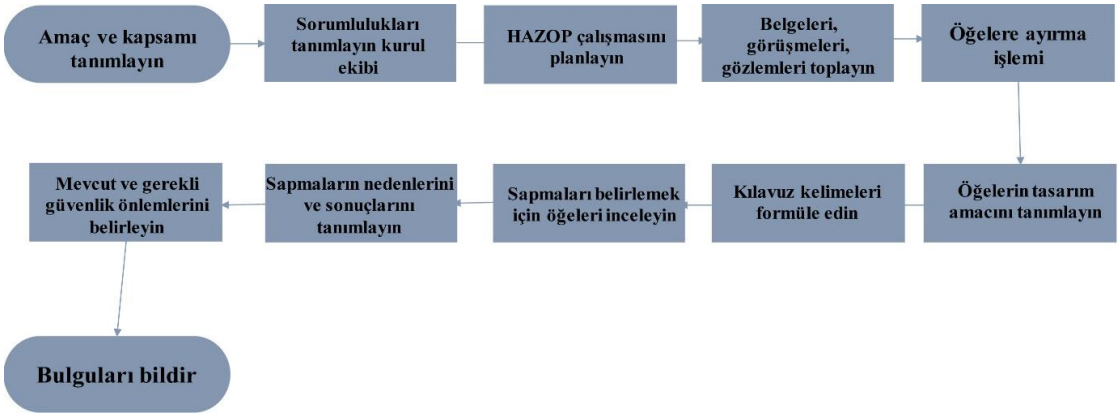
Şekil 3.3. What-if tehlike analizi aşamaları.



Şekil 3.4. What-if kontrol listesi aşamaları.



Şekil 3.5. Yapılandırılmış What-if tekniği aşamaları.



Şekil 3.6. Tehlike ve işletilebilirlik çalışması aşamaları.

"What-if" Uygulaması; What-if analizi yaklaşımının esnekliği, mevcut veya planlanmış hemen hemen her operasyona, sürece veya faaliyete uygulanabilir. Diğerlerinin yanı sıra rutin ve rutin olmayan faaliyetlere, bakım ve servis çalışmalarına, kurulumlara ve kurulum faaliyetlerine uygulanabilir. Tasarım incelemesi açısından bu yöntem, önerilen değişikliklerin veya yeni tasarımların tekil hatalarını ve bariz tehlikelerini belirlemek için kullanılabilir.

3.2. Sentez Senaryosunda Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada destek malzemesi olarak Türkiye'nin Kütahya bölgesinden temin edilen bentonit örnekleri kullanılmıştır. Ayrıca, mevcut çalışmada kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup aşağıda belirtilmiştir;

Demir(III) klorür hekzahidrat ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$, Sigma-Aldrich, Almanya), etilen glikol (Sigma-Aldrich, Almanya), sodyum asetat trihidrat (Sigma-Aldrich, Almanya), etilendiamin (Sigma-Aldrich, Almanya), 2-aminoetil metakrilat (AEMA, Acros, Belçika), azobisizobütironitril (AIBN, Acros, Belçika), 2-siyano-2-propil benzoditioat (zincir transfer ajanı, CTA, Sigma-Aldrich, Almanya), dimetilformamid (DMF, Sigma-Aldrich, Almanya), tetrahidrofuran (THF, Sigma-Aldrich, Almanya), etil alkol (Merck, Almanya) ve ultra-saf su.

3.3. Sentez Senaryosunda Kullanılan Ekipmanlar

Sentez senaryosunda kullanılan ekipmanlar ve kullanım amaçları aşağıda sunulmuştur.

- Değirmen ve elek; sentez çalışmalarında kullanılacak bentonitin uygun boyut ve istenilen partikül boyutlarına getirilmesi için kullanıldı.
- Analitik terazi; sentez aşamalarında kimyasalların miktarlarını tartmak için kullanıldı.
- Etüv; sentez aşamasında ve sentezlenecek malzemelerinin kurutma işlemlerinde kullanıldı.
- Ultra-saf su cihazı; sentez çalışmalarında, yıkama ve süzme işlemlerinde ultra-saf su elde etmek için kullanıldı.
- Filtre kâğıdı; sentez aşamalarında gerçekleştirilen filtrasyon işlemlerinde kullanıldı.
- Vakum filtresi; sentez aşamalarında gerçekleştirilen filtrasyon işlemlerinde kullanıldı.
- Vakumlu desikatör; sentezlenen malzemenin muhafaza işlemlerinde kullanıldı.
- Manyetik karıştırıcı; sentez aşamalarında malzemelerin homojen bir şekilde karışması için kullanıldı.
- Ultrasonik su banyosu; sentez aşamalarında malzemelerin dispers işlemlerinde kullanıldı.
- Politetrafloroetilen astarlı paslanmaz yüksek basınçlı otoklav; sentez aşamalarında malzemelerin hazırlanmasında kullanıldı.
- Cam malzemeler; sentez aşamalarında malzemelerin hazırlanmasında kullanıldı.

3.4. Sentez Senaryosu

Bu çalışmada, örnek bir malzeme sentezi olarak poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezinin uygulamasını gerçekleştirmektir. İlk olarak, ham bentonitin bünyesinde bulunan kirlilikleri ve safsızlıkları elimine etmek için ultra-saf su ile birkaç

kez yıkandı ve ardından 90 °C sıcaklığa ayarlanmış bir etüvde 24 saat boyunca kurutulması sağlandı. Sonra kuruyan bentonit örnekleri bir değirmen vasıtasıyla öğütüldü ve 60 μm'lik elekten geçirilerek elendi (Aşama 1). Daha sonra, elenmiş bentonit örnekleri solvotermal yöntem ile manyetik hale getirildi. Bunun için, 2 g $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ilk olarak 40 mL etilen glikol içinde kuvvetlice karıştırılarak çözündürüldü. Daha sonra sırasıyla 6 g sodyum asetat trihidrat ve 20 mL etilendiamin ilave edildi. Daha sonra, 2 g ham bentonit yukarıdaki çözeltiye ilave edilerek ultrasonik su banyosunda iyice dispers edildi. Daha sonra karışım, 30 dakika boyunca bir karıştırıcıda karışması sağlandı ve 100 mL'lik bir hacme sahip politetrafloroetilen astarlı paslanmaz yüksek basınçlı bir otoklava aktarıldı. Ardından otoklav 200 °C'ye ayarlanmış bir etüv içerisinde 8 saat boyunca ısıtılmıştır. Soğutulduktan sonra nihai katı birkaç kez ultra-saf su ve etanol ile yıkanarak vakum filtre ile filtre edildi. Katı daha sonra 80 °C'lik bir etüvde 24 saat boyunca kurutulması sağlandı (Aşama 2). Bu işlemlerden sonra, 1.14 g AEMA, 0.28 mg AIBN ve 3.9 mg CTA, 10 mL DMF içinde çözüldü ve 100 mg manyetik bentonit çözelti içerisinde dispers edildi. Daha sonra karışım, çözünmüş oksijeni uzaklaştırmak için 15 dakika boyunca bir buz banyosu üzerinde nitrojen ile köpürtüldü. Polimerizasyon, 60 °C'de 12 saat süreyle gerçekleştirildi. Karışım, THF ile seyreltildi ve polimerizasyondan sonra oda sıcaklığında gece boyunca karıştırıldı. Hazırlanan malzeme vakumla süzülerek çözeltiden geri kazanıldı ve THF ile yıkandı. Son olarak hazırlanan numune 80 °C'lik bir etüvde 24 saat boyunca kurutulması sağlandı (Aşama 3).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sentez Senaryosunun Olursa Ne Olur Analizine Uyarlanması

Nano ve kompozit malzeme sentezlerinin ortak noktası, çeşitli uygulamalar için ürün verimini ve kalitesini artırmada farklı ve daha verimli sentez yöntemleri geliştirmektir. Sentez aşamalarında ilk adım kullanılan ham maddeler ve kimyasallardan kaynaklanan tehlikelerin ve proses koşullarının bu tehlikenin varlığını nasıl daha da kötüleşebileceğinin ayrıntılı bir şekilde tanımlanmasından oluşur. Sentez laboratuvarlarında çalışanların, sentezlenen malzemenin amacı göz önünde bulundurulduğunda, sentez sürecinin ve koşullarının tüm etkilerinin hesaba katılıp katılmadığını irdelemesi önemlidir. Ayrıca sentez süreçlerinin çoğu yıkama, kurutma, karışım ve filtrasyon gibi operasyonlardaki farklılıklar dışında, esasen farklılıklar sentezlenen malzemenin reaksiyon adımlarından kaynaklanmaktadır. Sentez laboratuvarlarında, malzeme sentez prosesi ve olası bozulmaların sonuçları ve doğal tehlikeler hakkına yeterli bilgi sağlamak için laboratuvar ölçeğinde yer alan sentez aşamalarının kapsamlı bir şekilde tehlike tanımlamaları gerekmektedir. Sentez prosedüründe her adım için tehlikelerin tanımlanması, böyle bir sentez aşamasında genel olarak analiz edilmesi gereken ilgili tehlikeleri vurgulamak gerekir. Ayrıca, sentezde kullanılan ham bentonit ve diğer kimyasal maddeler birden fazla aşamada kullanılmıştır. Bu durum, sentez adımlarının yinelemeli doğası nedeniyle, bazı maddeler doğal tehlikelerini birden fazla kez tehlike tanımlama sürecinde bulundurduğu söylenebilir.

Farklı operasyonlara veya bir bütün olarak sentez sürecine uygulanan farklı potansiyel sentez senaryolarını ele almak için değişik varyasyonların basitleştirildiği ve ne olursa ne olur sorularına uyarlandığı olursa ne olur (What-If) analizidir. Sentez aşamalarında önerilen senaryolar, proses açıklamalarına ve diyagramlarına dayalı olarak düşünülmelidir. Bu çalışmada, poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine ve süreçlerine uygulanacak olası tehlike analizi tehlikelerinin örnekleri olarak hizmet etmesi amaçlanmıştır. Burada olursa ne olur analizinin Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Polimer Kimyası Laboratuvarı'ndaki çalışma önerisine ve burada sağlanan olasılık, sonuç ve risk seviyelerine ilişkin değerlerin kullanılmasına dayanmaktadır. Mevcut çalışma için risk seviyelerine uyarlanmış risk

matrisi çizelge 4.1’de verilmiştir. Ayrıca poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentez adımları için olursa ne olur analizi için hazırlanan soru listesi çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Sentez laboratuvar tehlike analizi için risk matrisi

Sonuç kategorisi			**Sonuç/Etki**				
Güvenlik/Sağlık			Beklenen etki yok Etkisiz	Tek ilk yardım Küçük maruz kalma	Tek ilk yardım Küçük maruz kalma	Tıbbi tedavi veya maruziyet	Ölüm, kalıcı sakatlık yaralanması, yaşamı tehdit eden olay
Operasyonel/Ekipman			Önemli bir rahatsızlık yok Operasyona etkisi yok Müdahale gerekmez	Sentez prosedürlerinden plansız sapma Düzeltmek için müdahale gerektirir	Küçük arıza; gerekli işlemin kapatılması veya ani durması	Önemli başarısızlık; çevresel salıverme kapalı, potansiyel yangın	Ekipman terminal arızası. Felaket bir çevreleme kaybı. Olası yangın ve patlama
OLASILIK			ŞİDDET				
			I	II	III	IV	V
Sık	Olay bu laboratuvarda yılda en az bir kez gerçekleşir	(5)	Düşük	Orta derece	Yüksek	Ciddi	Şiddetli (acil eylem gerekli)

Çizelge 4.1. Sentez laboratuvar tehlike analizi için risk matrisi (devam)

Ara sıra	Yılda en az bir kez olur	(4)	Düşük	Orta derece	Yüksek	Ciddi	Ciddi
Olası	Son 3 yılda en az bir kez	(3)	Minimal	Düşük	Orta derece	Yüksek	Ciddi
Olası olmayan	Kurumda meydana gelmemiş ancak başka bir yerde meydana gelmiştir.	(2)	Minimal	Minimal	Düşük	Orta derece	Yüksek
Uzak	Sahada meydana geldiğine dair kanıt yok	(1)	Minimal	Minimal	Minimal	Düşük	Orta derece

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması

Sentez adımı senaryosu	**Sonuçlar**	**Güvenlik önlemleri**	**S**	**P**	**R**	**En iyi uygulamalar**
Yıkama/Kurutma (Aşama 1)						
Ham bentonitin yetersiz yıkanması	Üründeki safsızlıklar ve kirlilikler	Eğitim	II	3	DŞ	Ek öneri yok.
Kurutma ekipmanının güç kaybı	Ürün nemlidir ve sonraki aşamalar için verim düşük olur	Periyodik izleme. Eğitim.	II	4	OR	Elektrik bağlantıları kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin solunmasına karşı KKD kullanılmalı.
Kurutma ekipmanının yanlış sıcaklık ayarı	Olası düşük veya aşırı ısı	Düzenli denetimler. Sentez başlamadan önce elektrik bağlantıları kontrolü. Periyodik izleme	III	4	YK	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin solunmasına ve temasına karşı KKD kullanılmalı. İstenmeyen sürekli ısı beslemesini önlemek için programlanabilir cihazlar veya kilitler kullanın.
Kurutma ekipmanının arızası	Olası düşük veya aşırı ısı	Düzenli denetimler, Sentez başlamadan önce elektrik bağlantıları kontrolü, Periyodik izleme	III	4	YK	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin solunmasına ve temasına karşı KKD kullanılmalı.

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması (devam)

Öğütme/Eleme (Aşama 1)						
Öğütme ekipmanının güç kaybı	Olası toksik tozlara maruz kalma riski ve öğütme verimi düşük	Periyodik izleme, Eğitim, Sabit oda havalandırması	IV	4	C	Havalandırma sistemi güvenilirliğini gözden geçirin.
Eleme işlemlerinde havalandırma kaybı	Olası toksik tozlara maruz kalma riski ve eleme işlem verimi düşük	Periyodik izleme, Eğitim, Sabit oda havalandırması	IV	4	C	Havalandırma sistemi güvenilirliğini gözden geçirin.
Karıştırma/Sentez (Aşama 2)						
Karıştırıcının hızı yüksek	Kararsız karıştırıcı hareketi. Olası reaksiyon kabının (beher), kırılma riski. Toksik maruziyet olasılığı.	Periyodik izleme. Eğitim. Senteze başlamadan önce karıştırma cihazının hareketi kontrolü. Sabit oda havalandırması.	IV	3	YK	Otomatik izlemeyi düşünün. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.
Karıştırıcının hızı düşük	Sentez reaksiyonu yok veya verim düşük	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli ekipman muayeneleri.	II	4	OR	Ek öneri yok
Reaksiyona girenlerin oranı yanlış	Sentez reaksiyonu yok veya verim düşük	Periyodik izleme. Eğitim	II	3	DŞ	Ek öneri yok

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması (devam)

Reaksiyona girenlerin oranı yanlış	İstenmeyen reaksiyonlar	Periyodik izleme. Eğitim	III	3	OR	Sentez prosedürlerin yerinde olduğundan ve iyi belgelendiğinden emin olun.
Karıştırma veya ultrasonik su banyosu cihazının elektrik kesintisi	Sentez reaksiyonu yok veya verim düşük. Toksik maruziyet olasılığı.	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler.	III	3	OR	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.
Ultrasonik su banyosu arızası (Yanlış zaman)	Olası aşırı ısı. Reaksiyon kabının çatlaması veya kırılması. Olası toksik maruz kalma.	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler. Sabit oda havalandırması.	III	5	YK	Patlamaya dayanıklı ve istenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı. Muhafaza kaybını önlemek için reaksiyon kapları için ikincil muhafaza seçeneklerini gözden geçirin.
Reaksiyon için kullanılan otoklavın uygun şekilde kapatılmaması	Sentez sırasında sızıntılar. Muhafaza kaybı. Olası toksik maruz kalma.	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler. Otoklavın senteze başlamadan önce kontrolü. İkincil muhafaza. Sabit oda havalandırması.	IV	5	C	Sentez prosedürlerin yerinde olduğundan ve iyi belgelendiğinden emin olun. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması (devam)

Reaksiyon içeren otoklavın kapasitesinin aşılması	İç basıncın önemli ölçüde yükselmesi. Sentez sırasında karışım sızıntıları. Muhafaza kaybı. Olası toksik maruz kalma veya yaralanma. Şiddetli kap patlaması. Otoklav kullanırken potansiyel ciddi yaralanma.	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler. Sabit oda havalandırması. İkincil muhafaza.	III V	4 3	YK C	Sentez prosedürlerin yerinde olduğundan ve iyi belgelendiğinden emin olun. Patlamaya dayanıklı ve istenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.
Yıkama/Filtreleme (Aşama 2)						
Sentez malzemesinin yetersiz yıkanması	Üründeki safsızlıklar ve kirlilikler	Eğitim	II	3	DŞ	Ek öneri yok.
Filtrasyonda vakum hızı çok düşük	Malzemenin çözeltiden kötü ayrılması. Sentez veriminde azalma	Periyodik izleme. Eğitim.	II	4	OR	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması (devam)

Filtrasyonda vakum hızı çok yüksek	Olası ciddi kap çatlamaları ve kırılmaları. Olası toksik maruz kalma. Safsızlıkların tamamen temizlenmemesi. Sentez veriminde azalma.	Periyodik izleme. Eğitim. Filtrasyona başlamadan vakum kontrolü. Sabit oda havalandırması. Düzenli ekipman muayeneleri.	III	5	YK	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı. İstenmeyen sürekli elektrik beslemesini önlemek için programlanabilir cihazlar veya kilitler kullanın.
Kurutma (Aşama 2)						
Kurutma ekipmanının güç kaybı	Ürün nemlidir. Sentezin diğer aşamaları için verim düşük olur.	Periyodik izleme. Eğitim.	II	4	OR	Elektrik bağlantıları kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin solunmasına karşı KKD kullanılmalı.
Kurutma ekipmanı arızası	Olası düşük ve yüksek ısı. Olası çözücü buharlaşması ve toksik maruziyet.	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler. Sentez başlamadan önce elektrik bağlantıları kontrolü.	IV	2	OR	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin solunmasına ve temasına karşı KKD kullanılmalı. İstenmeyen sürekli ısı beslemesini önlemek için programlanabilir cihazlar veya kilitler kullanın.

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması (devam)

Kurutma ekipmanı yanlış zaman	Sentez süresinin sekteye uğraması. Uzun süre bırakılırsa, olası malzemenin veya solventlerin bozulması	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler.	III	3	OR	Sentez prosedürlerin yerinde olduğundan ve iyi belgelendiğinden emin olun. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.
Karıştırma/Sentez (Aşama 3)						
Karıştırıcının hızı yüksek	Kararsız karıştırıcı hareketi. Olası reaksiyon kaplarının kırılma riski. Toksik maruziyet olasılığı.	Periyodik izleme. Eğitim. Senteze başlamadan önce karıştırma cihazının hareketi kontrolü. Sabit oda havalandırması.	IV	3	YK	Otomatik izlemeyi düşünün. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.
Karıştırıcının hızı düşük	Sentez reaksiyonu yok veya verim düşük	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli ekipman muayeneleri.	II	4	OR	Ek öneri yok
Reaksiyona girenlerin oranı yanlış	Sentez reaksiyonu yok veya verim düşük.		II	3	DŞ	Ek öneri yok
	İstenmeyen reaksiyonlar.	Periyodik izleme. Eğitim.	III	3	OR	Sentez prosedürlerin yerinde olduğundan ve iyi belgelendiğinden emin olun.

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması (devam)

Karıştırma veya ultrasonik su banyosu cihazının elektrik kesintisi	Sentez reaksiyonu yok veya verim düşük. Toksik maruziyet olasılığı.	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler.	III	3	OR	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.
Ultrasonik su banyosu arızası (Yanlış zaman)	Olası aşırı ısı. Reaksiyon kabının çatlaması veya kırılması. Olası toksik maruz kalma.	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler. Sabit oda havalandırması.	III	5	YK	Patlamaya dayanıklı ve istenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı. Muhafaza kaybını önlemek için reaksiyon kapları için ikincil muhafaza seçeneklerini gözden geçirin.
Süzme/Yıkama (Aşama 3)						
Filtrasyonda vakum hızı çok düşük	Malzemenin çözeltiden kötü ayrılması. Sentez veriminde azalma	Periyodik izleme. Eğitim.	II	4	OR	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması (devam)

Filtrasyonda vakum hızı çok yüksek	Olası ciddi kap çatlamaları ve kırılmaları. Olası toksik maruz kalma. Safsızlıkların tamamen temizlenmemesi. Sentez veriminde azalma.	Periyodik izleme. Eğitim. Filtrasyona başlamadan vakum kontrolü. Sabit oda havalandırması. Düzenli ekipman muayeneleri.	III	5	YK	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı. İstenmeyen sürekli elektrik beslemesini önlemek için programlanabilir cihazlar veya kilitler kullanın.
Sentez malzemesinin yetersiz yıkanması	Üründeki safsızlıklar ve kirlilikler	Eğitim	II	3	DŞ	Ek öneri yok.
Kurutma (Aşama 3)						
Kurutma ekipmanının güç kaybı	Ürün nemlidir. Sentezin için verim düşük olur.	Periyodik izleme. Eğitim.	II	4	OR	Elektrik bağlantıları kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin solunmasına karşı KKD kullanılmalı.
Kurutma ekipmanı arızası	Olası düşük ve yüksek ısı. Olası çözücü buharlaşması ve toksik maruziyet.	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler. Sentez başlamadan önce elektrik bağlantıları kontrolü.	IV	2	OR	Elektrik bağlantılarını kontrol edilmeli. İstenmeyen ürünlerin solunmasına karşı KKD kullanılmalı.

Çizelge 4.2. Olursa ne olur analizinin poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezine uyarlanması (devam)

Kurutma ekipmanı yanlış zaman	Sentez süresinin sekteye uğraması. Uzun süre bırakılırsa, olası malzemenin veya solventlerin bozulması	Periyodik izleme. Eğitim. Düzenli denetimler.	III	3	OR	Sentez prosedürlerin yerinde olduğundan ve iyi belgelendiğinden emin olun. İstenmeyen ürünlerin maruziyetine karşı KKD kullanılmalı.

Risk bileşeni kısaltmaları: Şiddet (S); olasılık (P); risk (R). Risk sıralaması kategorileri: Minimal (MN); düşük (DŞ); orta (OR); yüksek (YK); ciddi (C); şiddetli (acil müdahale gerektiren) (Ş-A).

Sentez senaryosu göz önünü alındığında, poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezindeki temel proseslerle ilişkili olarak ana tehlikeleri belirlemek için adım adım sentez senaryosu analizi yapılmıştır. Sentez senaryosunda ana tehlikelerin kullanılan ham maddeler ve kimyasalların doğal tehlikelerini değil, aynı zamanda sentez laboratuvarında kullanılan proses koşulları ve ekipmanları da kapsamaktadır. Bu kapsamda örnek bir malzeme sentezi olarak poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonitin sentez senaryosunun her bir adımı için düzenlenen ayrıntılı açıklamalar çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Yıkama aşamaları için, hazırlanan malzemelerin safsızlıklarını, kirliliklerini gidermek ve sentez aşamaları için kullanılan kimyasalların varlığı, bu maddelerin fiziksel özellikleri ve tehlikeleri, tehlike tanımlama süreçlerinin odak noktasını oluşturur. Yıkama aşamaları, genellikle malzemelerin geri kazanılması ve süzülmesi işlemlerinde kullanılan yinelemeli bir süreçtir. Bundan dolayı, bu işlem düşük parlama noktasına sahip çözücülerin kullanılması laboratuvar ortamı için potansiyel tutuşma ve yangın gibi tehlikelere sebebiyet verebilir. Kurutma aşamaları, katı ürünleri elde etmek için farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen işlemlerdir. Bu aşamalarda, yüksek sıcaklıklara bağlı olarak duman oluşumu ve toksik maddelerin ortama yayılması gibi potansiyel tehlikeler meydana gelebilir. Öğütme ve eleme işlemleri, sentez aşamalarında sıklıkla kullanılan süreçlerdir. Bu işlemlerde, genellikle çalışma ortamlarında solunabilen toksik dumanlara maruz kalınabilir. Karıştırma adımları incelendiğinde, bentoniti manyetik hale getirilebilmek için ilk olarak kullanılan metal tuzu ve bağlayıcı içeren organik maddeler karıştırılır ve sonra uygun ortamı oluşturmak için hammadde kaynağı olarak bentonit eklenir ve karıştırılır. Bu adımda, ana tehlikelerin reaksiyona katılan kimyasallar ile ilişkili olduğu söylenebilir. Karıştırma aşamalarının en büyük tehlikelerinin, reaksiyona katılan maddelerin yanıcı, toksik ve aşındırıcı gibi karakterleri sebebiyle laboratuvar ortamlarında bu maddelere maruziyet ve tutuşma potansiyellerinin olduğu ifade edilebilir. Genellikle bu ortamlarda kullanılan yüksek kaynama noktalı kimyasalların yanıcılığı göz önüne alınırsa, yangınların meydana gelebileceği söylenebilir. Diğer bir karıştırma adımı ise polimerleşme reaksiyonudur. Bu adımda da mevcut tehlikelerin kullanılan çözücü ve kimyasalların toksik, yanıcı ve aşındırıcı gibi özellikleriyle tehlikelere maruz bırakabileceği ifade edilebilir. Genel olarak, karıştırma adımlarının tehlikeleri şu şekilde özetlenebilir. Bentonit mineralini manyetikleştirme işlemi için metal tuzunun varlığı,

proseste önemli aşındırıcı tehlikeler taşır. Metal klorürlerin kullanılması yüksek düzeyde oksidatif anyon karakteri ile potansiyel olarak yüksek aşındırıcı/oksidatif ve toksik tehlikelere sahiptir. Çözücü ve diğer kimyasallarda ise toksisite ve tahriş edici gibi özellikler belirtilmesi gereken tehlikeler arasındadır. Sentez aşamalarının çoğunda, farklı yöntemlerde kullanılan ısıtma ve reaksiyon ekipmanlarının sıcaklık ve basınç koşulları tarafından kuvvetli karışım adımında kimyasalların reaktivitesi ve yanıcılığı ile ilişkili tehlikeler barındırır. Burada belirtilmesi gereken başlıca tehlikeler, oksitleyici bir ortamda gerçekleşen reaksiyon ve karışımdaki bileşenin ayrışması veya buharlaşmasından kaynaklanan gazların oluşmasıyla ilgilidir. Filtrasyon işlemi, çoğu nanopartikül sentez yöntemi için standarttır. Bu adımın önemli tehlikeleri, filtrasyon aşamasında önemli kimyasal atık madde oluşumuna bağlı olarak çevresel bir tehlike olarak tanımlanmasıdır.

4.2. Fiziksel Tehlikeler

Vücuda temas etmeden zarar verebilecek çevresel risk faktörleri olarak tanımlanan fiziksel tehlikelerin, sentez laboratuvarındaki risklerin önemli bir bölümünü oluşturduğu söylenebilir. Ekipmanla ilgili tehlikeler öncelikle mekanik ve elektriksel faktörleri içerir. Bu tür riskleri azaltmaya yönelik yaklaşımlar şunları içerir:

- Doğru kurulum, iyi bakım ve uygun personel eğitimi ile riskleri azaltın.
- Tüm prizlerin uygun şekilde polarize edilip edilmediği ve kalifiye bir kişi tarafından topraklanıp topraklanmadığı rutin olarak kontrol edilmelidir.
- Ekipman, uzatma kablolarına değil prize takılmalıdır.
- Elektrikli ekipman yanıcı buharları tutuşturabilir.
- Patlamaya dayanıklı cihazların, yanıcı buharlarla teması önlemek için anahtarları kapatılmalıdır.
- Ekipmandan kaynaklanan mekanik tehlikeler şunları içerir: sıcak yüzeylerden kaynaklanan yanıklar ve kırık cam ve tek kullanımlık bıçaklarından kaynaklanan kesikler.
- Keskin nesnelerin atılması için belirlenmiş kaplar kullanılmalıdır.

4.3. Kimyasal Tehlikeler

Sentez laboratuvarlarında kimyasal tehlikeler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

Tahriş edici maddeler, temas bölgesinde geri dönüşümlü inflamatuar etkilere neden olur. Gözler, cilt ve solunum yolları en çok etkilenir. Neredeyse tüm kimyasallar, dokuya maruz kalma miktarına bağlı olarak tahriş edici olabilir. Kimyasallarla doğrudan temastan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır.

Aşındırıcılar, canlı dokuda yıkıma veya geri dönüşü olmayan değişikliklere neden olur. Bazı biyolojik olmayan yüzeylerle (metaller gibi) temas halinde, aşındırıcı maddeler malzemeyi tahrip edebilir. Bunlardan bazıları dokuyu aşındırabilir.

Hassaslaştırıcılar tipik olarak maruz kalan deneklerin büyük bir kısmında alerjik reaksiyonlara neden olur. Hassaslaştırıcı aşırı duyarlılığı ömür boyu sürer ve daha sonra maruz kalındığında kötüleşir. Yüksek düzeyde maruz kalma nedeniyle ortaya çıkabilir. Laboratuvar dışında, hassaslaştırıcının daha düşük konsantrasyonları alerjiyi şiddetlendirebilir.

Kanserojenlerin insanlarda kansere neden olma açısından yüksek risk taşıdığı düşünülmektedir. Kanserojen tanımı için kriterler kurumlar arasında biraz farklılık gösterir. Örnekler arasında kloroform, kromik asit, dioksan, formaldehit, nikel klorür ve potasyum dikromat bulunur.

Toksinler belirli konsantrasyonlarda yutulması, cilt teması veya solunması yoluyla ölüme neden olabilir. Bazı ülkeler bu kategoriyi belirtmek için zehir terimini kullanır. Bu tür kimyasallar hayati hücresel süreçlere müdahale edebilir veya hayati dokulara veya organlara zarar verebilir. Toksik kabul edilen bir toksinin konsantrasyonları, atamayı yapan kuruma göre biraz değişebilir. Metanol zehirlidir; kromik asit, osmiyum tetroksit ve uranil nitrat oldukça toksiktir.

Yanıcı ve yakıcı maddelerin farklı parlama noktaları vardır. Parlama noktası, bir ateşleme kaynağının varlığında buharların tutuşacağı sıcaklıktır ve bir maddenin kendiliğinden tutuşacağı sıcaklık değildir. Yanıcı maddeler, belirli bir sıcaklıkta veya üzerinde parlama noktaları sergiler. Parlayıcılar, belirli sıcaklıkların altında parlama noktalarına sahiptir ve rutin laboratuvar çalışmalarında yanıcı maddelere göre daha yüksek risk taşırlar. Yanıcı ve yakıcı maddeleri depolarken asıl endişe, elektrikli cihazların etrafında buhar birikmediğinden emin olmaktır.

Koruma türleri ve seviyeleri tipik olarak bir üniversitenin veya kurumun güvenlik ofisi tarafından yasaklanacaktır. Üniversite tarafından sağlanan düzenli güvenlik eğitimi kursları almak çok önemlidir. Ayrıca laboratuvar personeli ve liderliği, meslektaşlarına her zaman doğru ekipmanı kullanmalarını veya uygun güvenlik önlemlerini almalarını hatırlatarak birbirlerine yardımcı olmalıdır. Kontrolün kritik bir bileşeni, malzemelerin doğru şekilde etiketlenmesidir. Etiketler aşağıdakileri içermelidir:

- Kimyasalların adı ve bir karışım ise, tüm bileşenlerin adları,
- Üreticinin adı ve adresi,
- Satın alınan veya yapılan tarih,
- Biliniyorsa son kullanma tarihi,
- Tehlike uyarıları ve güvenlik önlemlerini içermelidir.

Laboratuvar kapılarında ve laboratuvar içinde tabela gerekli olabilir. Bunlar tehlike türlerini tasvir edebilir. Diğer işaretler, acil durumlarda kurumun güvenlik ofisi için güvenlik protokollerini ve acil durum irtibat bilgilerini hatırlatabilir. Toksik bileşiklerin yutulması, solunması veya emilmesi potansiyel bir tehlikedir. Laboratuvarda herhangi bir şey yenmemeli, içilmemeli ve sigara içilmemelidir. Eldivenleri çıkardıktan sonra rutin olarak ellerin sık sık yıkanması tipik olarak tavsiye edilir. Laboratuvar çalışanları laboratuvar önlüğü, uzun pantolon ve yakın parmaklı ayakkabı giymelidir. Genellikle normal gözlükler yetersiz koruma sağlar ve gözün kenarlarını koruyan bir bileşene sahip güvenlik gözlükleri önerilir. Önlükler, gözlükler, eldivenler ve solunum maskeleri, çok zehirli kimyasallarla çalışmak veya duman seviyelerinin tehlikeli olabileceği durumlarda kullanılan ek KKD'lerdir. Laboratuvar boyunca uygun hava akışı önemli olduğundan, laboratuvar mühendislik ve tasarımında havalandırma bir öncelik olmalıdır. İdeal olarak, biri genel hava sirkülasyonu ve diğeri tehlikeli dumanların yerel olarak uzaklaştırılması için olmak üzere iki ayrı havalandırma sistemi kullanılır. İkincisi, en iyi şekilde, dışarıya havalandırılan özel bir davlumbaz ile elde edilir. Oda havasının tüm hacmi ideal olarak saatte 4-12 kez değiştirilmelidir. Bu hava, önemli miktarlarda tehlikeli buharlar içermemelidir. Dumanların kokusu alınabiliyorsa, güvenlik ofisi personeli genellikle durumu değerlendirmek için ölçüm cihazlarına sahip olmalıdır ve tehlikeli dumanları önleme veya hafifletme konusunda uzmanlık sağlayabilir.

Laboratuvar kimyasallarının çoğu geleneksel dolaplarda güvenle saklanabilir. Bir kabın düşmesi veya kırılması durumunda maruz kalma riskini azaltmak için tehlikeli

sıvılar tezgâh yüksekliğinin altında saklanması daha iyidir. Yüksek kenarlı bir kova veya tepsi gibi ikincil bir kaba yerleştirilmeleri gerekebilir. Özel olarak tasarlanmış asit dolapları, güçlü mineral asitlerin çoğu kabından çıkan dumanı tutmak için kullanılır. Yanıcı maddeler için özel saklama dolapları, kabin içinde bir yangını kontrol altına alacak şekilde tasarlandıklarından düşünülmelidir. Radyoaktif kimyasallar diğer reaktiflerden ayrı olarak saklanmalıdır. Tehlikeli maddeleri depodan çalışma tezgâhına taşırken, cam kaplar iki elle, bir el kavanoz veya şişeyi destekler şekilde taşınmalıdır. Amaç, tehlikeli maddelerin laboratuvar dışındaki ortama ulaşmasını engellemektir. Bir dökülmeye müdahale, tehlikenin doğasına, dökülmenin hacmine ve personelin niteliklerine bağlı olacaktır.

4.4. Ergonomik Tehlikeler

Ergonomi, çalışma ortamındaki insan ve makineler arasındaki etkileşimi açıklayan bilimsel bir alandır. Tehlikeler arasında tekrarlayan hareketler, savunmasız kişilerin ani aşırı güçlere maruz kalması ve uygun olmayan çalışma duruşları yer alır. Mekanik riskler tendinit, tenosinovit, karpal tünel sendromu ve diğer sinir bozuklukları dâhil olmak üzere çeşitli kas-iskelet sistemi bozukluklarına yol açabilir. Otomasyonun daha fazla standardizasyon için manuel görevleri kapsaması ve kas-iskelet sistemi bozuklukları riskini azaltması düşünülmelidir. Laboratuvar iş istasyonları, yeni görevlere, ekipmana veya insanlara uyacak şekilde değiştirilebilmeleri için modüler ve esnek olmalıdır.

- Bacaklarınız geride değilken uygun bükme tekniğini kullanın.
- Nesneleri kaldırırken belinizi bükmek yerine tüm vücudunuzu çevirin.
- Bir nesneyi taşırken veya kaldırırken iki elinizi de kullanın ve onu bir kol mesafesinden ziyade vücudunuza yakın tutun.
- Mola verin ve görevleri periyodik olarak değiştirin.
- Mümkün olduğunca rahat veya gevşemiş bir fleksiyon derecesini koruyun.
- Bir görevi yerine getirirken (örneğin yazma veya bilgisayar kullanma) kollarınızı dinlendirirken, bunu rahat veya yastıklı bir yüzey üzerinde yapın.
- Ergonomik sandalye ve ayak desteği kullanın.

- İş istasyonunu, ekipman ve malzemelere kolayca erişilebilecek şekilde düzenleyin.

5. SONUÇ

Örnek bir malzeme sentezi olarak poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezi için olursa ne olur senaryolarının geliştirilmesi sürecinde, genel işlemler ve proses koşulları olursa ne olur senaryolarının geliştirildiği sentez adımları olarak analiz edilmiştir. Bir işgücünün çıktısı tamamen üretim sürecinin ne kadar güvenli olduğuna bağlıdır, bu da güvenlik yönetiminde performansı artıran işçi güvenlik uygulamalarının analiz edilmesini gerekli kılar. Bir sentez laboratuvarında tehlike analizi yapmak, büyük olasılıkla sentezlenecek ürünün daha yüksek verim ve istenilen saflıkta olmasıyla sonuçlanacaktır. Daha güvenli ve daha etkili bir proses sentez prosedürlerini iyileştirerek genel süreçlerin daha iyi olmasına olanak sağlayacaktır. İlgili çalışmadaki malzemenin sentez sürecindeki mevcut tehlikelerin, farklı sentez yöntemleriyle kapsamlı bir şekilde tanımlanması, değerlendirilmesi ve ilerlemesi için oldukça önemlidir. Polimer teknolojisinin endüstriyel ölçekte geliştirilmesi adına poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit sentezi için güvenli ve sürdürülebilir çabalara katkı sağlamak için sentez aşamalarını ve bu aşamalarla ilişkili risk seviyelerini laboratuvar ortamlarında anlamak gerekir. Ayrıca, sentez süreci için olası sonuçları tahmin ve analiz etmek çeşitli uygulamalar için önem arz etmektedir.

Olursa ne olur analizinin sonuçlarından elde edilen tavsiyelerin bir parçası olarak, laboratuvar işlemleri için farklı koşulların, mevcut koruma önlemlerinin ve deneysel ayarların ayrıntılı bir şekilde gözden geçirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu analizin kullanımı başarılı bir deneysel kurulumu sağlamak ve böylece sentezi daha güvenli ve verimli bir şekilde yürütmek adına katkı sağlayacaktır. Bir laboratuvar ortamında güçlü bir güvenlik planı, önleme, azaltma ve müdahale gibi güvenlik üçlüsünün tüm unsurlarını içermelidir. Güvenlik olaylarının ele alınmasında öncelik dökülme, patlama ve yangın gibi istenmeyen olayların önlenmesidir. Bu tür olayların önlenmesi için, sentez sürecindeki kaçak reaksiyon potansiyeli, yanıcı toz varlığı ve toksik gaz oluşumu gibi tehlikeler sentez adımları boyunca tanımlanmalıdır. Dökülme, patlama ve yangın gibi istenmeyen bir olay meydana gelirse, olayın sonucunu en aza indirmek için hafifletici sistemler kullanılmalıdır. Tehlikelerin belirlenmesi, genellikle sürece dâhil olan kimyasal maddelerin malzeme güvenlik bilgi formu (MSDS) gözden geçirilmesiyle önleyici tedbirler uygulanabilir. Ancak, poli(2-aminoetil metakrilat)-aşılı manyetik bentonit gibi

yeni malzemeler için tüm tehlike bilgilerini içermeyeceğinden MSDS bilgileri yeterli olmayabilir. Bundan dolayı, MSDS'lere danışmaya ek olarak, benzer malzemelerde karşılaşılan olaylar, kimyasal yapı ve metodik tehlike tanımlama testleri dikkate alınmalıdır. Bundan sonraki adımlarda, reaksiyon ısısı, sıcaklık, ilgili malzemenin termal kararlılığı ve toksik veya kararsız yan ürün oluşumu gibi koşulların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu tehlikelerin önlenebilmesi için, mühendislik kontrolleri, daha güvenli tasarımalar, KKD'ler ve idari kontroller gibi tedbirler alınabilir. Bir laboratuvar ortamında mühendislik kontrollerini uygulamak oldukça zor olabilir, bu nedenle eğitim, denetim, en iyi çalışma uygulamaları ve idari kontrollere öncelik verilmelidir. Laboratuvar ortamında uygulanabilecek hafifletici önlemlerden bazıları, eğitim, sensörler, çevreyi tanıma, havalandırma ve alarm sistemleri ve tahliye planlarıdır. Eğer önemli bir tehlike mevcut olduğunda acil müdahale planları çok önemlidir ve bu planlar sentez başlatılmadan önce yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Albrechtsen, E., Solberg, I., Svensli, E., 2019. The application and benefits of job safety analysis. ***Safety Science***, **113:** 425-437.

Alli, B.O., 2008. ***Fundamental Principles of Occupational Health and Safety***. Geneva, Switzerland. 199.

Anonim, 2013. ***Identifying and Evaluating Hazards in Research Laboratories***. American Chemical Society, Washington, DC. 132.

Ateş, Ş., 2020. Asfalt Laboratuvarlarında ***Alınması Gereken İş Sağlığı Ve Güvenliği Tedbirleri Ve İsfalt Örneği*** (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Yeniyüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Atılmış, H., 2019. ***Bor İşletmelerinde Kullanılan Makina Ve Ekipmanların İş Sağlığı Ve Güvenliği Kapsamında İncelenmesi*** (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Blessed, D., Prince, O., Desmond, O., 2022. Occupational hazards associated with traffic warden in port harcourt metropolis, rivers state, Nigeria. ***Asian Journal of Research in Nursing and Health***, **5** (4): 21-34.

Brock, T.H., 2018. Nanomaterials in Occupational Health and Safety, Chap. 18. ***Nanoscience and Nanotechnology: Advances and Developments in Nano-sized Materials*** (Editor: Marcel Van de Voorde). De Gruyter, Deutsch. 360.

Bulut, B., 2016. ***Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Patoloji Laboratuvarı'nın İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Risk Değerlendirmesi*** (Uzmanlık Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Trabzon.

Dodo, S.M., Abdulkadir, S.A., Furo, B.D., 2018. Hazard identification, risk assessment and control in laboratory of food safety and quality. ***Nigeria Journal of Engineering Science and Technology Research***, **4** (2): 8-19.

Escobar-Hernandez, H.U., Shen, R., Papadaki, M.I., Powell, J.A., Zhou, H.C., Wang, Q., 2021. Hazard evaluation of metal−organic framework synthesis and scale-up: A laboratory safety perspective. ***ACS Chemical Health & Safety***, **28:** 358−368.

Ferdous, R., Khan, F., Sadiq, R., Amyotte, P., Veitch, B., 2009. Handling data uncertainties in event tree analysis. ***Process Safety and Environmental Protection***, **87** (5): 283-292.

Finster, D.C., 2017. ***Safety in Academic Chemistry Laboratories***. Washington, USA. 76.

Gedeon, G., 2022. ***Hazards of Chemicals and Gases***. Department of Energy Publication, New York, USA. 43.

Golbabai, F., Haydarnzhad, N., Sharfi, K., Shaahamdi, F., Hanifi, S.M., Harati, B., 2015. Occupational exposure risk assessment of engineered nanomaterial's by CB nano tool in a nano, research laboratory. ***Technical Journal of Engineering and Applied Sciences***, **5** (3): 133-138.

Gul, M., Mete, S., Serin, F., Celik, E., 2021. Fine–Kinney Occupational Risk Assessment Method and Its Extensions by Fuzzy Sets: A State-of-the-Art Review, Chap. 1. ***Studies in Fuzziness and Soft Computing*** (Editor: Janusz Kacprzyk). Springer Nature, Switzerland. 398.

Hadj-Mabrouk, H., 2017. Preliminary hazard analysis (PHA): New hybrid approach to railway risk analysis. ***International Refereed Journal of Engineering and Science***, **6** (2): 51-58.

Handy, R., Whitt, M., Rodriguez, M., Jackson, M.J., 2010. Environmental and Occupational Health Issues with Nanoparticles, Chap. 9. ***Emerging Nanotechnologies for Manufacturing*** (Editor: Waqar Ahmed and Mark J. Jackson). William Andrew Applied Science Publishers, USA. 250.

Iavicoli, I., Fontana, L., Pingue, P., Todea, A.M., Asbach, C., 2018. Assessment of occupational exposure to engineered nanomaterials in research laboratories using personal monitors. ***Science of the Total Environment***, **627:** 689–702.

Khan, F.I., Abbasi, S.A., 1998. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. ***Journal of Loss Prevention in the Process Industries***, **11** (4): 261-277.

Kharzi, R., Chaib, R., Verzea, I., Akni, A., 2020. A safe and sustainable development in a hygiene and healthy company using decision matrix risk assessment technique: A case study. ***Journal of Mining and Environment***, **11** (2): 363-373.

Kustono, D., Puspitasari, P., Al Irsyad, M., Nursabrina, A., Adesta, E.Y.T., 2021. Identification of occupational accident risks in nanomaterial laboratories in higher education based on human factors. ***International Mechanical Engineering Technologies and Applications***, **2** (1): 79-83.

Lakhe, P., Prehn, E.M., Habib, T., Lutkenhaus, J.L., Radovic, M., Mannan, M.S., Green, M.J., 2019. Process safety analysis for $Ti_3C_2T_x$ MXene synthesis and processing. ***Industrial & Engineering Chemistry Research***, **58:** 1570-1579.

Lee, J., Mahendra, S., Alvarez, J.J., 2010. Nanomaterials in the construction industry: A review of their applications and environmental health and safety considerations. ***ACS Nano***, **4** (7): 3580-3590.

Liu, H.-C., Liu, L., Liu, N., 2013. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. ***Expert Systems with Applications***, **40** (2): 828-838.

McShane, B., 2005. ***Nanotechnology: An Assessment of Current Occupational Health and Safety Issues*** (Yüksek Lisans Tezi). Rochester Institute of Technology, Environmental Management & Safety, Rochester, New York.

Mocellin, P., De Tommaso, J., Vianello, C., Maschio, G., Saulnier-Bellemare, T., Virla, L.D., Patience, G.S., 2022. Experimental methods in chemical engineering: Hazard and operability analysis—HAZOP. ***The Canadian Journal of Chemical Engineering***, **100:** 3450-3469.

Moran, L., Masciangioli, T., 2010. ***Chemical Laboratory Safety and Security: A Guide to Prudent Chemical Management***. Washington, DC. 246.

Niven, K., McLeod, R., 2009. Offshore industry: management of health hazards in the upstream petroleum industry. ***Occupational Medicine***, **59:** 304–309.

Ostraat, M.L., Swain, K.A., Krajewski, J.J., 2008. SiO_2 aerosol nanoparticle reactor for occupational health and safety studies. ***Journal of Occupational and Environmental Hygiene,*** **5:** 390–398.

Rendon, F.P., Muñoz, F., Avila, A., 2014. Carbon nanotubes risks, safety and occupational health at research laboratories. ***IEEE 9th IberoAmerican Congress on Sensors,*** **1:** 1-5.

Savolainen, K., Pylkkänen, L., Norppa, H., Falck, G., Lindberg, H., Tuomi, T., Vippola, M., Alenius, H., Hämeri, K., Koivisto, J., Brouwer, D., Mark, D., Bard, D., Berges, M., Jankowska, E., Posniak, M., Farmer, P., Singh, R., Krombach, F., Bihari, P.,

Kasper, G., Seipenbusch, M., 2010. Nanotechnologies, engineered nanomaterials and occupational health and safety – A review. ***Safety Science***, **48:** 957–963.

Silva, F., Arezes, P., Swuste, P., 2015. Risk assessment in a research laboratory during sol–gel synthesis of nano-TiO_2. ***Safety Science,*** **80:** 201–212.

Singh, D., Marrocco, A., Wohlleben, W., Park, H.R., Diwadkar, A.R., Himes, B.E., Lu, Q., Christiani, D.C., Demokritou, P., 2022. Release of particulate matter from nano-enabled building materials (NEBMs) across their lifecycle: Potential occupational health and safety implications. ***Journal of Hazardous Materials***, **422:** 126771.

Sivakumar, I., Arunachalam, K.S., Solomon, E.G.R., 2012. Occupational health hazards in a prosthodontic practice: Review of risk factors and management strategies. ***Journal of Advanced Prosthodontics***, **4:** 259-265.

Stebounova, L.V., Morgan, H., Grassian, V.H., Brenner, S., 2012. Health and safety implications of occupational exposure to engineered nanomaterials. ***WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology***, **4:** 310-321.

Tait, F.N., 2019. ***Occupational Safety and Health Status in Medical Laboratories in Kajiado County, Kenya (2017-2018)*** (Yüksek Lisans Tezi). Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Kenya.

Vishwakarma, V., Samal, S.S., Manoharan, N., 2010. Safety and risk associated with nanoparticles - A review. ***Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering***, **9** (5): 455-459.

Vyzaite, G., Dunnett, S., Andrews, J., 2006. Cause–consequence analysis of non-repairable phased missions. ***Reliability Engineering & System Safety***, **91** (4): 398-406.

Waghmode, L.Y., Patil, R.B., 2013. An overview of fault tree analysis (fta) method for reliability analysis. ***Journal of Engineering Research and Studies***, **4** (1): 6-8.

Warheit, D.B., Sayes, C.M., Reed, K.L., Swain, K.A., 2008. Health effects related to nanoparticle exposures: Environmental, health and safety considerations for assessing hazards and risks. ***Pharmacology & Therapeutics***, **120:** 35–42.

Yokel, R.A., MacPhail, R.C., 2011. Engineered nanomaterials: exposures, hazards, and risk prevention. ***Journal of Occupational Medicine and Toxicology***, **6:** 7.

ÖZ GEÇMİŞ

Elazığ'da İlk, Orta ve Lise eğitimlerini tamamladı. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nü okuduktan sonra yine Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2019 yılında girdiği Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı Tezsiz Yüksek Lisans programından 2020 yılında mezun oldu. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora eğitimine başladı ve 2020 yılında mezun oldu. 2021 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans eğitimine başladı ve 2021 yılından itibaren Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORİJİNALLİK RAPORU

Tarih: 23/12/2022

Tez Başlığı / Konusu:

Malzeme Sentezi Yapılan Araştırma Laboratuvarlarının İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi: Örnek Bir Malzeme Sentezi Uygulaması

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 101 sayfalık kısmına ilişkin, 23/12/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı **%4 (yüzde dört)** dür.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:
- Materyal ve yöntem hariç,
- Kaynaklar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Eşleme boyutunu 7 kelimeyle sınırlayın)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Şakir YILMAZ
23/12/2022

Adı Soyadı: Şakir YILMAZ

Öğrenci No: 20910001279

Anabilim Dalı: İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı

Programı: İş Sağlığı ve Güvenliği/Yüksek Lisans

Statüsü: ☒ Yüksek Lisans ☐ Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Doç. Dr. Adem ZENGİN

ENSTİTÜ ONAY
UYGUNDUR