

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MADEN ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNDEKİ KİMYASAL RİSK
FAKTÖRLERİNİN BELİRLENİP FİNE-KİNNEY VE TEHLİKE VE
İŞLETİLEBİLİRLİK ANALİZİ (HAZOP) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ:
GÜMÜŞHANE ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS

MEHMET EMRE ERTÜRK

Mayıs 2026
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MADEN ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNDEKİ KİMYASAL RİSK
FAKTÖRLERİNİN BELİRLENİP FİNE-KİNNEY VE TEHLİKE VE
İŞLETİLEBİLİRLİK ANALİZİ (HAZOP) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ:
GÜMÜŞHANE ÖRNEĞİ**

**DETERMINATION OF CHEMICAL RISK FACTORS IN MINE
ENRICHMENT FACILITIES AND ASSESSMENT WITH FINE-KINNEY AND
HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS (HAZOP): GÜMÜŞHANE
EXAMPLE**

YÜKSEK LİSANS

MEHMET EMRE ERTÜRK

**Mayıs 2026
GÜMÜŞHANE**



**GÜMÜŞHANE
ÜNİVERSİTESİ**

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

T.C.

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MADEN ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNDEKİ KİMYASAL RİSK
FAKTÖRLERİNİN BELİRLENİP FİNE-KİNNEY VE TEHLİKE VE
İŞLETİLEBİLİRLİK ANALİZİ (HAZOP) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ:
GÜMÜŞHANE ÖRNEĞİ**

**DETERMINATION OF CHEMICAL RISK FACTORS IN MINE
ENRICHMENT FACILITIES AND ASSESSMENT WITH FINE-KINNEY AND
HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS (HAZOP):
GÜMÜŞHANE EXAMPLE**

YÜKSEK LİSANS

MEHMET EMRE ERTÜRK

DANIŞMAN: DOÇ. DR. SÜLEYMAN ŞÜKÜROĞLU

Mayıs 2026

GÜMÜŞHANE

KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Süleyman ŞÜKÜROĞLU danışmanlığında, **Mehmet Emre ERTÜRK** tarafından hazırlanan “**Maden Zenginleştirme Tesislerindeki Kimyasal Risk Faktörlerinin Belirlenip Fine-Kinney ve Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (Hazop) İle Değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği**” isimli bu çalışma, 20/05/2026 tarihinde yapılan lisansüstü tez savunma sınavı sonucunda **Oy Birliği** ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Elif ÇELENK KAYA (Başkan)

.....
Doç. Dr. Süleyman ŞÜKÜROĞLU (Danışman)

.....
Doç. Dr. Aysel BAŞOĞLU (Üye)

Lisansüstü tez savunma sınavında başarılı bulunarak kabul edilen bu tezin ciltlenmiş hali, /..... /..... tarihli ve / sayılı Enstitü Yönetim Kurulu toplantısında görüşülmüş ve tez yazım kılavuzuna uygun bulunarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Duygu ÖZDEŞ
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Maden Zenginleştirme Tesislerindeki Kimyasal Risk Faktörlerinin Belirlenip Fine-Kinney ve Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) İle Değerlendirilmesi: Gümüşhane Örneği**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, danışmanımın sorumluluğunda hazırladığımı, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmalarını kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

20/05/2026

.....
Mehmet Emre ERTÜRK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi, tecrübe ve rehberliğiyle bana yol gösteren; sabrı, anlayışı ve kıymetli katkılarıyla her aşamada desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Süleyman ŞÜKÜROĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışmamın şekillenmesinde ve akademik gelişimimde önemli katkıları bulunan, değerli görüş ve destekleriyle her zaman yanımda olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU'na şükranlarımı arz ederim. Tez sürecinde yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi İbrahim IRMAK'a da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim; sabırları, anlayışları ve koşulsuz sevgileriyle bu süreci tamamlamamda en büyük paya sahip olan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez sürecinde destekleri, motivasyonları ve dostluklarıyla yanımda olan tüm arkadaşlarıma da içten teşekkür ederim.

Mehmet Emre ERTÜRK

MAYIS - 2026

ÖZET

Madencilik sektörü, kullanılan kimyasal maddeler, ağır ekipmanlar ve proses kaynaklı tehlikeler nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği açısından yüksek riskli sektörlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle cevher zenginleştirme tesislerinde kullanılan kimyasallar; çalışan sağlığı, proses güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli risk faktörleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Gümüşhane ilinde faaliyet gösteren maden zenginleştirme tesisinde kullanılan kimyasal maddelerden kaynaklanan risklerin iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında kondisyoner tankları, kimyasal hazırlama ve transfer sistemleri, karıştırıcı ekipmanlar, vana ve boru hatları ile proses kontrol mekanizmaları incelenmiş; sülfürik asit, sodyum silikat, çinko sülfat, kireç ve çeşitli flotasyon reaktiflerinden kaynaklanabilecek tehlikeler analiz edilmiştir. Araştırmada Fine-Kinney risk analizi yöntemi ile Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) yöntemi birlikte kullanılmıştır. Fine-Kinney yöntemi ile risklerin olasılık, frekans ve şiddet değerleri dikkate alınarak risk skorları belirlenmiş; HAZOP yöntemi ile proseslerde meydana gelebilecek sapmaların nedenleri ve olası sonuçları değerlendirilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda; iletişim eksikliği, kontrolsüz kimyasal akışı, bakım eksiklikleri, otomasyon yetersizlikleri, ekipman arızaları ve operatör kaynaklı hataların yüksek risk seviyelerine neden olduğu belirlenmiştir. Özellikle sülfürik asit ve flotasyon kimyasallarının kullanıldığı proseslerde çalışanların kimyasal maruziyet, cilt ve göz yanıkları ile solunum yolu problemleri açısından ciddi risk altında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca proses sapmalarının ekipman hasarları, çevresel kirlenme ve iş kazalarına neden olabileceği değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda, proses güvenliğinin sağlanabilmesi için otomasyon sistemleri, mühendislik kontrolleri, düzenli bakım uygulamaları, çalışan eğitimleri ve etkin iletişim sistemlerinin birlikte uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte Fine-Kinney ve HAZOP risk analiz yöntemlerinin birlikte kullanılmasının, maden zenginleştirme tesislerinde kimyasal risklerin daha kapsamlı ve sistematik şekilde değerlendirilmesine katkı sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Cevher zenginleştirme, Fine-Kinney, HAZOP, İş sağlığı ve güvenliği, Proses güvenliği

ABSTRACT

The mining sector is considered one of the high-risk sectors in terms of occupational health and safety due to the chemicals used, heavy equipment, and process-related hazards. In particular, the chemicals used in ore processing plants pose significant risk factors in terms of worker health, process safety, and environmental sustainability. The purpose of this study is to assess the risks associated with the chemicals used at a mining processing plant operating in Gümüşhane Province from an occupational health and safety perspective.

As part of the study, conditioning tanks, chemical preparation and transfer systems, mixing equipment, valves and pipelines, and process control mechanisms were examined; hazards that could arise from sulfuric acid, sodium silicate, zinc sulfate, lime, and various flotation reagents were analyzed. The study employed both the Fine-Kinney risk analysis method and the Hazard and Operability Analysis (HAZOP) method. Using the Fine-Kinney method, risk scores were determined by considering the probability, frequency, and severity of risks; the HAZOP method was used to evaluate the causes and potential consequences of deviations that could occur in the processes.

As a result of the analyses conducted, it was determined that communication gaps, uncontrolled chemical flow, maintenance deficiencies, automation shortcomings, equipment failures, and operator errors lead to high risk levels. In particular, it was found that workers in processes involving sulfuric acid and flotation chemicals are at serious risk of chemical exposure, skin and eye burns, and respiratory problems. Furthermore, it was assessed that process deviations could lead to equipment damage, environmental contamination, and workplace accidents.

The study concluded that, in order to ensure process safety, automation systems, engineering controls, regular maintenance practices, employee training, and effective communication systems must be implemented in conjunction. Furthermore, it was determined that the combined use of the Fine-Kinney and HAZOP methods contributes to a more comprehensive and systematic assessment of chemical risks in mineral processing plants.

Keywords: Ore processing, Fine-Kinney, HAZOP, Occupational health and safety, Process safety

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
EKLER DİZİNİ.....	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. İş Sağlığı ve Güvenliği	3
2.2. İş Kazası ve Meslek Hastalıkları	6
2.3. İş Kazası	7
2.4. Meslek Hastalıkları.....	10
2.5. Risk Değerlendirmesi	15
2.5.1. Risk Değerlendirmesi Adımları.....	18
2.6. Risk Değerlendirme Yöntemleri.....	24
2.7. Cevher Zenginleştirme	26
2.7.1. Cevher Zenginleştirme Tesisleri.....	27
2.7.2. Cevher Zenginleştirme Süreçleri	28
2.8. Kimyasal Ayırma Yöntemleri	36
2.8.1. Flotasyon Zenginleştirme.....	38
2.9. Cevher Zenginleştirme Tesislerinde Kullanılan Kimyasal Maddeler	40
2.9.1. Sülfürik Asit (H ₂ SO ₄)	41
2.9.2. AEROPHINE® 3418A Promoter.....	42
2.9.3. Sodyum Silikat (Na ₂ SiO ₃).....	43
2.9.4. Çinko Sülfat (ZnSO ₄)	43
2.10. Cevher Zenginleştirme Tesislerinde Kimyasal Risk Etmenleri.....	44
2.10.1. Kimyasal Maddelerin Sınıflandırılması	45
2.10.2. Kimyasal Risk Etmenlerinin Belirlenmesi	46

2.10.3. Kimyasalların Maruziyet Yolları Ve Sağlık Üzerindeki Etkileri.....	48
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	50
3.1. HAZOP Risk Analizi.....	50
3.1.1.HAZOP Yönteminin Temel Prensipleri	51
3.1.2.HAZOP Uygulama Süreci	54
3.2. Fine Kinney Yöntemi	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	63
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKÇA.....	79
EKLER.....	86
ÖZGEÇMİŞ	95

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Anahtar kelimeler	56
Tablo 2. Fine-Kinney olasılık parametresi skalası	60
Tablo 3. Fine-Kinney frekans parametresi skalası	60
Tablo 4. Fine-Kinney şiddet parametresi skalası	61
Tablo 5. Fine-Kinney risk skor tablosu.....	61
Tablo 6. Hazop ve Fine-Kinney risk analizi no:1	65
Tablo 7. Hazop ve Fine-Kinney risk analizi no:2	67
Tablo 8. Hazop ve Fine-Kinney risk analizi no: 3	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Risk değerlendirme süreci.....	19
Şekil 2. Kırma ve öğütme süreci	30
Şekil 3. Gravite ayırma yöntemi	32
Şekil 4. Jig ayırma yönteminde kullanılan ekipman	32
Şekil 5. Sallantılı masa ayırma yönteminde kullanılan ekipman	33
Şekil 6. Spiral ayırıcılar ile ayırma yönteminde kullanılan ekipmana.	33
Şekil 7. Yoğun ortam ayırma yönteminde kullanılan ekipman.....	34
Şekil 8. Liç üretim yöntemi.....	37
Şekil 9. Hazop ekibinin izleyeceği aşamalar.....	54

EKLER DİZİNİ

Ek 1. Hazop ve Fine-Kinney Risk Analizi.....	86
--	----

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: Santigrat derece
bar	: Basınç birimi (gaz)
EN	: Avrupa Standardı (European Norm)
FFP	: Partikül filtreli yüz maskesi (Filtering Face Piece)
HAZOP	: Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (Hazard and Operability Study)
ISO	: Uluslararası Standardizasyon Örgütü (International Organization for Standardization)
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği
KG	: Kilogram
KKD	: Kişisel Koruyucu Donanım
m	: Metre
mm	: Milimetre
MSDS	: Güvenlik Bilgi Formu (Material Safety Data Sheet)
pH	: Hidrojen iyonu derecesi
ppm	: Milyonda bir birim (Parts Per Million)
PVEID	: Proses Akış Diyagramı

1. GİRİŞ

Madencilik sektörü, ekonomik kalkınmaya sağladığı katkının yanı sıra barındırdığı tehlikeler nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği açısından en riskli çalışma alanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Maden işletmelerinde gerçekleştirilen üretim ve zenginleştirme faaliyetleri sırasında çalışanlar fiziksel, kimyasal ve çevresel birçok tehlikeye maruz kalabilmektedir. Özellikle cevher zenginleştirme süreçlerinde kullanılan kimyasal maddeler, çalışan sağlığı, işletme güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli risklerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle maden zenginleştirme tesislerinde kullanılan kimyasalların oluşturduğu tehlikelerin belirlenmesi ve bu tehlikelere yönelik etkili kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi günümüzde giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Maden zenginleştirme tesislerinde cevher içerisindeki değerli minerallerin ayrıştırılması amacıyla çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Sülfürik asit, sodyum silikat ve çinko sülfat gibi kimyasallar zenginleştirme süreçlerinin önemli bileşenleri arasında yer almakta olup, bu maddelerin depolanması, taşınması ve kullanımı sırasında çeşitli riskler ortaya çıkabilmektedir. Söz konusu kimyasalların toksik, korozyif veya çevreye zararlı özelliklere sahip olması, çalışanların sağlıklarını olumsuz etkileyebildiği gibi işletme faaliyetlerinin güvenliğini de tehdit edebilmektedir. Kimyasallara bağlı olarak meydana gelen sızıntılar, kontrolsüz reaksiyonlar, yangınlar veya uzun süreli maruziyetler iş kazalarına, meslek hastalıklarına ve ciddi çevresel sorunlara yol açabilmektedir.

Madencilik faaliyetlerinde karşılaşılan riskler yalnızca çalışanlarla sınırlı kalmamakta, aynı zamanda çevresel sistemler üzerinde de önemli etkiler oluşturmaktadır. Cevher zenginleştirme işlemleri sonucunda ortaya çıkan atıklar, uygun şekilde yönetilmediği takdirde toprak, su ve hava kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Özellikle kimyasal içerikli atıkların kontrolsüz biçimde çevreye yayılması ekosistem üzerinde uzun süreli ve geri dönüşü zor etkiler oluşturabilmektedir. Bu durum, madencilik faaliyetlerinde çevre yönetimi uygulamalarının ve sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının önemini artırmaktadır. Günümüzde madencilik sektöründe yalnızca üretim verimliliğinin değil, aynı zamanda çevresel performansın da değerlendirilmesi gerekliliği kabul görmektedir.

Kimyasal risklerin etkin şekilde yönetilebilmesi için tehlikelerin sistematik yöntemlerle belirlenmesi ve risk düzeylerinin bilimsel yaklaşımlarla değerlendirilmesi

gerekmektedir. Risk değerlendirmesi çalışmaları, meydana gelebilecek olumsuz olayların önceden öngörülmesine, gerekli önlemlerin planlanmasına ve mevcut güvenlik uygulamalarının geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılan Fine-Kinney ve Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) yöntemleri, kimyasal risklerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesinde önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Söz konusu yöntemler sayesinde risklerin olasılık, şiddet ve maruziyet boyutları değerlendirilebilmekte, proses kaynaklı sapmalar ve potansiyel tehlikeler sistematik biçimde analiz edilebilmektedir.

Madencilik sektöründe güvenli çalışma ortamlarının oluşturulması yalnızca çalışanların korunması açısından değil, aynı zamanda işletmelerin ekonomik sürdürülebilirliği açısından da önem taşımaktadır. İş kazaları, meslek hastalıkları ve kimyasal kaynaklı olaylar üretim süreçlerinde aksamalara, mali kayıplara ve işletme itibarının zarar görmesine neden olabilmektedir. Buna ek olarak, ulusal ve uluslararası mevzuat kapsamında işletmelerin iş sağlığı, güvenliği ve evre koruma yükümlülüklerini yerine getirmeleri beklenmektedir. Türkiye’de yürürlükte bulunan İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, evre Kanunu ve ilgili yönetmelikler ile uluslararası standartlar, kimyasal risklerin kontrol altına alınmasına yönelik önemli düzenlemeler içermektedir. Bu nedenle maden zenginleştirme tesislerinin hem güvenlik uygulamaları hem de mevzuata uyum düzeyleri açısından değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu alışma, Gümüşhane ilinde faaliyet gösteren maden zenginleştirme tesisinde kullanılan kimyasal maddelerin iş sağlığı ve güvenliği açısından oluşturduğu risklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan kimyasalların çalışanlar, işletme süreçleri ve evre üzerindeki olası etkileri incelenmiş; risklerin analiz edilmesinde Fine-Kinney ve HAZOP yöntemlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca kimyasal risklerin azaltılmasına yönelik uygulanabilecek önlemler değerlendirilmiş, mevcut uygulamaların geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Elde edilen sonuçların, maden zenginleştirme tesislerinde risk yönetimi uygulamalarının iyileştirilmesine, çalışan sağlığının korunmasına ve çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. İş Sağlığı ve Güvenliği

İş sağlığı ve güvenliği, çalışanların bedensel, ruhsal ve sosyal yönden iyilik hâllerinin korunmasını amaçlayan; çalışma ortamlarında ortaya çıkabilecek tehlikelerin önlenmesine yönelik politika, uygulama ve koruyucu tedbirlerin bütünü kapsayan disiplinler arası bir alandır. Bu kapsamda temel amaç, çalışanların güvenli ve sağlıklı koşullarda faaliyet göstermelerini sağlamak, iş kazaları ile meslek hastalıklarının oluşumunu önlemek ve çalışma yaşamından kaynaklanabilecek olumsuz etkileri en aza indirmektir (Koçali, 2022). Günümüzde iş sağlığı ve güvenliği, yalnızca çalışanların korunmasına yönelik bir yaklaşım olarak değil, aynı zamanda işletmelerin verimliliğini, sürdürülebilirliğini ve kurumsal performansını etkileyen önemli bir yönetim unsuru olarak değerlendirilmektedir.

İş sağlığı ve güvenliği kavramı tarihsel süreç içerisinde önemli değişim ve gelişim göstermiştir. İlk dönemlerde çalışma yaşamına ilişkin sağlık ve güvenlik uygulamalarına yönelik sistematik düzenlemelerin bulunmadığı, çalışanların çoğu zaman ağır ve sağlıksız koşullarda faaliyet gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenle geçmiş dönemlerde iş kazaları ve meslek hastalıkları yaygın olarak görülmesine rağmen, söz konusu sorunlara ilişkin kurumsal bir farkındalık veya yasal düzenleme bulunmamaktaydı (Çiçek ve Öçal, 2018). Zaman içerisinde üretim yöntemlerinin değişmesi, nüfusun artması ve ekonomik faaliyetlerin çeşitlenmesiyle birlikte çalışma yaşamında karşılaşılan riskler daha görünür hâle gelmiş ve çalışanların korunmasına yönelik yaklaşımlar gelişmeye başlamıştır.

Özellikle Sanayi Devrimi ile birlikte üretim faaliyetlerinin fabrikalarda yoğunlaşması, makine kullanımının yaygınlaşması ve çalışma sürelerinin uzaması, iş kazaları ile meslek hastalıklarının ciddi boyutlara ulaşmasına neden olmuştur. Çalışanlar çoğu zaman yetersiz güvenlik önlemlerinin bulunduğu, fiziksel ve kimyasal risklerin yoğun olduğu ortamlarda görev yapmak zorunda kalmışlardır. Bu süreç, iş sağlığı ve güvenliği alanında yeni düzenlemelerin yapılmasını zorunlu hâle getirmiş ve çalışanların korunmasına yönelik hukuki altyapının oluşmasına zemin hazırlamıştır (Baybora, 2012).

Yüzyılın sonları ile 20. yüzyılın başlarında birçok ülkede işçilerin çalışma koşullarının iyileştirilmesine yönelik yasal düzenlemeler yürürlüğe konulmuş, işçi

haklarını koruyan ilk mevzuatlar oluşturulmuş ve sendikal faaliyetler yaygınlaşmaya başlamıştır. Aynı dönemde iş sağlığı ve güvenliği alanında faaliyet gösteren çeşitli kurum ve kuruluşlar oluşturularak çalışma yaşamında karşılaşılan risklerin azaltılmasına yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Özellikle maden işletmeleri ve sanayi tesislerinde meydana gelen iş kazalarının önlenmesi ile solunum sistemi hastalıkları başta olmak üzere mesleki hastalıkların azaltılmasına yönelik koruyucu uygulamalar ön plana çıkmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında ise iş sağlığı ve güvenliği alanında ulusal ve uluslararası ölçekte daha kapsamlı standartlar geliştirilmiş, birçok ülke mevzuatını güncelleyerek denetim ve kontrol mekanizmalarını güçlendirmiştir. Bu dönemde işyerlerinde risk değerlendirmesi yapılması, tehlikelerin sistematik olarak belirlenmesi ve kişisel koruyucu donanım kullanımının yaygınlaştırılması gibi uygulamalar iş sağlığı ve güvenliği yönetiminin temel unsurları hâline gelmiştir (Baradan, 2006; Cerev ve Köseoğlu, 2018).

Sanayileşme sürecinin hız kazanmasıyla birlikte iş sağlığı ve güvenliğinin önemi daha da artmış, çalışma ortamlarında bulunan tehlikelerin belirlenmesi ve kontrol altına alınması zorunlu bir gereklilik olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle günümüzde işyerlerinde mevcut risklerin etkin biçimde yönetilebilmesi amacıyla faaliyet alanlarına göre tehlike sınıflandırmaları yapılmaktadır (Çiçek ve Öçal, 2016).

Türkiye’de işyerlerinin tehlike düzeyleri, 28602 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Tehlike Sınıfları Listesi Tebliği kapsamında belirlenmektedir. Söz konusu düzenlemeye göre işyerleri; “az tehlikeli”, “tehlikeli” ve “çok tehlikeli” olmak üzere üç farklı sınıfta değerlendirilmektedir. Az tehlikeli işyerleri arasında büro faaliyetleri, eğitim kurumları, bankalar, perakende satış işletmeleri, konaklama ve yeme-içme hizmetleri ile ibadethaneler yer almaktadır (Resmî Gazete, 2013). Tehlikeli sınıfta değerlendirilen işyerleri ise daha yüksek düzeyde risk içeren faaliyetleri kapsamaktadır. Tarım makineleri üretimi yapan işletmeler, motorlu taşıtların bakım ve onarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği işyerleri, petrol ve petrol ürünlerinin taşınmasına yönelik faaliyetler, maden cevherlerinin nakliyesi ve deniz taşımacılığı hizmetleri bu kapsamda değerlendirilmektedir (Resmî Gazete, 2013). Çok tehlikeli sınıfta yer alan işyerleri ise çalışanların yüksek düzeyde risklere maruz kalabildiği faaliyet alanlarından oluşmaktadır. Maden çıkarma ve zenginleştirme faaliyetleri, petrol üretim süreçleri, inşaat sektörü çalışmaları, lastik üretimi, mermer ocakları ile yol ve köprü yapım faaliyetleri bu sınıfta yer alan başlıca çalışma alanları arasında bulunmaktadır (Resmî Gazete, 2013).

Tehlike sınıfı ne olursa olsun, işyerlerinde ortaya çıkabilecek risklerin belirlenmesi ve kontrol altına alınabilmesi için risk değerlendirmesi çalışmalarının sistematik bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu kapsamda işyerlerinde karşılaşılan tehlikeler genel olarak fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal risk etmenleri şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Fiziksel tehlikeler; gürültü, titreşim, radyasyon, aşırı sıcak veya soğuk ortam koşulları, basınç farklılıkları, elektrik kaynaklı riskler ile düşme ve çarpma gibi olaylardan kaynaklanan tehlikeleri kapsamaktadır. Kimyasal tehlikeler ise çalışma ortamında kullanılan veya prosesler sırasında açığa çıkan tozlar, solventler, asitler, alkaliler, toksik gazlar, yanıcı maddeler ve kimyasal buharlar gibi etkenlerden oluşmaktadır. Biyolojik tehlikeler; bakteri, virüs, mantar ve parazit gibi mikroorganizmalar ile bunların neden olabileceği enfeksiyon ve bulaşıcı hastalık risklerini içermektedir. Ergonomik tehlikeler; uygunsuz çalışma pozisyonları, tekrarlayan hareketler, yanlış iş istasyonu tasarımları ve aşırı fiziksel yüklenme sonucu ortaya çıkan kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarıyla ilişkilidir. Psikososyal tehlikeler ise yoğun iş yükü, stres, vardiyalı çalışma, mobbing, iş doyumsuzluğu ve çalışma yaşamından kaynaklanan sosyal baskılar gibi unsurlardan oluşmaktadır.

Bu risk sınıflandırması, iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerinin işyerlerinde mevcut tehlikeleri daha sistematik bir yaklaşımla değerlendirmelerine ve uygun kontrol tedbirlerini belirlemelerine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte her işyerinin faaliyet alanı, üretim yöntemi ve çalışma koşulları farklı olduğundan, uygulanacak iş sağlığı ve güvenliği politikalarının da işyerine özgü risk profiline göre şekillendirilmesi gerekmektedir.

Çok tehlikeli iş kolları arasında yer alan madencilik sektörü, birçok risk etmeninin aynı anda bulunduğu çalışma alanlarından biridir. Özellikle yeraltı madenciliğinde yürütülen faaliyetler sırasında fiziksel, kimyasal, ergonomik ve psikososyal riskler bir arada görülebilmektedir. Son yıllarda madencilik sektöründe yaşanan teknolojik gelişmeler ve üretim kapasitesindeki artışlar, verimliliği yükseltmekle birlikte yeni risklerin ortaya çıkmasına da neden olmuştur. Yeraltı maden işletmelerinde ağır iş makinelerinin yaygın olarak kullanılması, çalışanların özellikle gürültü ve titreşim gibi fiziksel risk etmenlerine maruziyetini artırmaktadır.

Çalışan sağlığının korunması, iş kazalarının önlenmesi ve meslek hastalıklarının azaltılabilmesi için bu risk etmenlerinin mümkün olan en düşük seviyeye indirilmesi gerekmektedir (Toygar ve Orhaner, 2018; Çolak vd., 2018; Erdem vd., 2016). İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında temel yaklaşım, risklerin kaynağında ortadan

kaldırılmasıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda ise mühendislik kontrollerinin uygulanması, çalışma ortamı ölçümlerinin düzenli olarak gerçekleştirilmesi, risk değerlendirmelerinin güncellenmesi, çalışanların bilinçlendirilmesi ve periyodik saha denetimlerinin sürdürülmesi büyük önem taşımaktadır.

2.2. İş Kazası ve Meslek Hastalıkları

Sanayi Devrimi ile birlikte hız kazanan teknolojik gelişmeler, üretim yöntemlerinde ve çalışma yaşamında önemli değişimlerin yaşanmasına neden olmuştur. Endüstriyel üretimin yaygınlaşması, makineleşmenin artması ve iş süreçlerinin giderek karmaşık hale gelmesi, işletmelerin üretim kapasitelerini artırırken çalışanların maruz kaldığı risklerin de çeşitlenmesine yol açmıştır. Özellikle birçok sektörde insan gücünün yerini makine ve otomasyon sistemlerinin alması, üretim verimliliğini artırmasına rağmen iş sağlığı ve güvenliği açısından yeni tehlikelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Çalışanların yeni teknolojilere uyum sağlayamaması, yeterli eğitim ve deneyime sahip olmaması, çalışma ortamındaki tehlikelerin farkında olmaması ve dikkatsiz davranışlarda bulunması iş kazalarının meydana gelmesinde etkili olan başlıca faktörler arasında yer almaktadır.

Günümüzde iş kazaları, yalnızca çalışanların sağlıklarını tehdit eden bir unsur değil, aynı zamanda işletmeler ve ülke ekonomileri açısından önemli sosyal ve ekonomik kayıplara neden olan bir sorun olarak değerlendirilmektedir. İş kazaları sonucunda meydana gelen yaralanmalar, iş gücü kayıpları, üretim aksaklıkları, tedavi giderleri ve tazminat maliyetleri işletmeler üzerinde önemli yükler oluşturabilmektedir. Yapılan araştırmalar, iş kazalarının büyük bir bölümünün güvensiz davranışlar, yetersiz denetim, eksik eğitim ve çalışma ortamındaki risklerin yeterince kontrol altına alınamaması gibi nedenlerden kaynaklandığını göstermektedir.

Çalışma yaşamında karşılaşılan riskler yalnızca iş kazaları ile sınırlı kalmamakta, uzun süreli maruziyetler sonucunda çeşitli meslek hastalıklarının da ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Çalışanların fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal risk etmenlerine sürekli maruz kalmaları; işitme kayıpları, kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, solunum sistemi hastalıkları, cilt hastalıkları ve çeşitli psikolojik sorunlar gibi meslek hastalıklarının gelişmesine zemin hazırlamaktadır. Özellikle sanayi, madencilik, inşaat ve üretim sektörlerinde çalışan bireyler; gürültü, titreşim, toz, kimyasal maddeler ve ağır fiziksel iş yükü gibi faktörlerden dolayı daha yüksek risk altında bulunmaktadır. Meslek hastalıklarının çoğu zaman uzun yıllar içerisinde ortaya çıkması, bu hastalıkların tespitini ve önlenmesini daha da önemli hale getirmektedir.

Bu nedenle iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında yalnızca teknik tedbirlerin alınması ve yasal düzenlemelerin uygulanması yeterli görülmemektedir. Güvenli çalışma kültürünün oluşturulması, çalışanların risk algısının geliştirilmesi ve güvenli davranışların teşvik edilmesi büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda iş sağlığı ve güvenliği alanında ön plana çıkan davranış odaklı yaklaşımlar, çalışanların tutum ve davranışlarını güvenlik perspektifinden değerlendirmekte ve riskli davranışların azaltılmasını hedeflemektedir. Böylece hem iş kazalarının hem de meslek hastalıklarının önlenmesine katkı sağlanmakta, çalışanların sağlık ve güvenlik düzeylerinin sürdürülebilir şekilde geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

2.3. İş Kazası

İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının temel hedefi, çalışanların çalışma yaşamı boyunca karşılaşabilecekleri iş kazaları ve meslek hastalıklarından korunmasını sağlamak, güvenli çalışma ortamları oluşturmak ve çalışan sağlığını sürdürülebilir bir şekilde muhafaza etmektir. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için çalışma ortamlarında mevcut tehlikelerin belirlenmesi, risklerin kontrol altına alınması ve iş kazalarına neden olabilecek unsurların ortadan kaldırılması büyük önem taşımaktadır.

Kaza kavramı genel olarak değerlendirildiğinde; önceden planlanmayan, beklenmeyen bir zamanda meydana gelen, kasıt unsuru içermeyen ve insan, ekipman veya çevre üzerinde olumsuz sonuçlar doğuran olaylar olarak tanımlanmaktadır (Selek, 2018). Kazalar, yalnızca fiziksel yaralanmalara neden olmakla kalmayıp aynı zamanda maddi kayıplara, üretim süreçlerinin aksamasına ve iş gücü kayıplarına da yol açabilmektedir. Bu nedenle çalışma yaşamında meydana gelen kazaların nedenlerinin belirlenmesi ve önlenmesine yönelik tedbirlerin geliştirilmesi iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının temel unsurlarından birini oluşturmaktadır.

Literatürde iş kazasına ilişkin farklı tanımlamalar bulunmakla birlikte, bu tanımların ortak noktası olayın iş ile ilişkili olması ve çalışan üzerinde olumsuz sonuçlar meydana getirmesidir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), iş kazasını; önceden planlanmamış ve beklenmedik şekilde meydana gelen, çoğu zaman yaralanma ile sonuçlanan, makine ve ekipmanlarda hasara neden olabilen veya üretim faaliyetlerinin belirli bir süre kesintiye uğramasına yol açan olaylar şeklinde tanımlamaktadır (Selek, 2018). Bu tanım, iş kazalarının yalnızca çalışan sağlığını değil, işletmenin üretim performansını ve ekonomik yapısını da etkileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ise iş kazasını, işin yürütülmesi sırasında veya işle bağlantılı faaliyetler esnasında meydana gelen, ölüm, yaralanma ya da hastalıkla

sonuçlanabilen olaylar olarak ifade etmektedir (Kılış, 2018). ILO'nun tanımında, iş kazalarının yalnızca ani yaralanmalarla sınırlı olmadığı, çalışan sağlığı üzerinde kısa veya uzun vadeli etkiler oluşturabilecek sonuçları da kapsadığı vurgulanmaktadır.

İş kazalarının nedenlerine ilişkin uluslararası düzeyde gerçekleştirilen araştırmalar, kazaların oluşumunda insan ve mekanik faktörlerin etkisini ortaya koymaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde faaliyet gösteren National Safety Council Committee tarafından yayımlanan rapora göre iş kazalarının %18'i mekanik etkenlerden, %19'u çalışanların güvensiz davranışlarından kaynaklanırken, %63'ü bu iki unsurun birlikte etkisi sonucunda meydana gelmektedir. Benzer şekilde, Pennsylvania Eyaleti Çalışma ve Sanayi Bakanlığı (Department of Labor and Industry of the State of Pennsylvania) tarafından yürütülen bir araştırmada, iş kazalarının %2'sinin güvensiz davranışlardan, %3'ünün mekanik nedenlerden ve %95'inin ise her iki faktörün ortak etkisinden kaynaklandığı belirlenmiştir (Camkurt, 2007).

İş kazalarının nedenlerini açıklamaya yönelik en bilinen yaklaşımlardan biri olan Domino Teorisi, Heinrich tarafından 1930 yılında geliştirilmiştir. Bu teoriye göre iş kazalarının %88'i güvensiz davranışlardan, %10'u güvensiz durumlardan ve %2'si kaçınılmaz nedenlerden meydana gelmektedir (Heinrich, 1931).

Türkiye'de iş kazasının yasal tanımı 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında yapılmıştır. Kanunun 3. maddesine göre iş kazası; işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren ya da çalışanın bedensel veya ruhsal bütünlüğünde kalıcı veya geçici hasar oluşturan olay olarak tanımlanmaktadır. tanım, iş kazalarının yalnızca fiziksel yaralanmaları değil, çalışanların psikolojik sağlıkları üzerinde meydana gelebilecek olumsuz etkileri de kapsadığını göstermektedir.

Diğer taraftan, 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nun 13. maddesinde iş kazasının kapsamı daha ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Buna göre iş kazası;

- Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada,
- İşveren tarafından yürütülen iş nedeniyle ya da sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürüttüğü iş dolayısıyla,
- İşveren tarafından yürütülen iş nedeniyle çalışırken, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderildiğinde geçen sürelerde,
- Emziren kadın çalışanların çocuklarına süt vermek amacıyla ayrılan zaman dilimlerinde

•İşveren tarafından sağlanan bir araçla işe gidiş veya işten dönüş esnasında meydana gelen, çalışanın bedensel veya ruhsal açıdan zarar görmesine neden olan olayları kapsamaktadır (Resmî Gazete, 2006).

Böylece iş kazası kavramı yalnızca işyerindeki faaliyetlerle sınırlandırılmamakta, işin yürütülmesiyle doğrudan ilişkili diğer durumları da içermektedir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında iş kazaları; çalışanların işyerinde bulundukları süre içerisinde, işin yürütülmesi sırasında, işe gidiş ve dönüş süreçlerinde veya işle ilgili eğitim ve görevlendirme faaliyetleri esnasında meydana gelen; çalışanların yaralanmasına, sakatlanmasına veya yaşamını yitirmesine neden olabilen, aynı zamanda makine, ekipman ve üretim sistemlerinde hasar oluşturarak üretim kayıplarına yol açan istenmeyen olaylar olarak tanımlanabilmektedir (Selek, 2018). Bu yönüyle iş kazaları, yalnızca bireysel sağlık sorunlarına neden olan olaylar değil, aynı zamanda işletmelerin ekonomik performansını, üretim sürekliliğini ve toplumsal refahı etkileyen önemli bir iş sağlığı ve güvenliği sorunu olarak değerlendirilmektedir.

Çalışma ortamlarında bulunan fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal risk etmenleri, çalışanların sağlık ve güvenlikleri üzerinde doğrudan ya da dolaylı etkiler meydana getirebilmektedir. Bu risk faktörlerinin bazıları çalışanlarda zehirlenme, meslek hastalığı, işitme kaybı, solunum sistemi rahatsızlıkları ve kas-iskelet sistemi hastalıkları gibi doğrudan sağlık sorunlarına neden olurken; bazıları ise çalışma koşullarını olumsuz etkileyerek iş kazalarının meydana gelme olasılığını artırmaktadır. Özellikle uygun olmayan çalışma ortamları, yetersiz koruyucu önlemler ve kontrol altına alınmamış tehlikeler, çalışanların kaza riskiyle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır.

İş kazalarının ortaya çıkış nedenlerini açıklamak amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardan biri 4M modeli olarak bilinmektedir. Bu model, iş kazalarının oluşumunda etkili olan faktörleri insan (Man), makine (Machine), yönetim (Management) ve çevre/ortam (Media) olmak üzere dört temel başlık altında incelemektedir (Ceylan vd., 2012).

İnsan (Man) faktörü, iş kazalarının oluşumunda en önemli bileşenlerden biri olarak kabul edilmektedir. Çalışanların yeterli bilgi ve deneyime sahip olmamaları, gerekli eğitimleri almamaları, güvenlik kurallarına uymamaları, dikkatsiz veya bilinçsiz davranışlarda bulunmaları kazaların meydana gelmesine zemin hazırlayabilmektedir. Bunun yanı sıra yorgunluk, stres, motivasyon eksikliği ve kişisel hatalar da insan kaynaklı risklerin artmasına neden olmaktadır (Hoyos ve Zimolog, 2014).

Makine (Machine) faktörü, üretim süreçlerinde kullanılan ekipman ve makinelerin güvenlik durumunu ifade etmektedir. Kullanılan makinenin yapılan işe uygun olmaması, koruyucu sistemlerin bulunmaması, teknik arızalar, bakım ve onarım faaliyetlerinin yetersizliği veya ekipmanların hatalı kullanımı iş kazalarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Hoyos ve Zimolog, 2014). Bu nedenle makinelerin düzenli olarak kontrol edilmesi ve güvenli çalışma koşullarının sağlanması büyük önem taşımaktadır.

Yönetim (Management) faktörü, iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinin planlanması, uygulanması ve denetlenmesi süreçlerini kapsamaktadır. İşyerinde etkin bir güvenlik kültürünün oluşturulamaması, yetersiz denetim mekanizmaları, eksik risk değerlendirmeleri, uygun olmayan çalışma prosedürleri ve organizasyonel hatalar kazaların oluşumunda etkili olabilmektedir. Yönetimin iş sağlığı ve güvenliği konusundaki yaklaşımı, çalışanların güvenli davranış geliştirmelerinde belirleyici bir role sahiptir (Hoyos ve Zimolog, 2014).

Ortam/Çevre (Media) faktörü ise çalışma alanının fiziksel ve çevresel koşullarını ifade etmektedir. Yetersiz aydınlatma, uygun olmayan sıcaklık ve nem koşulları, yüksek gürültü seviyeleri, düzensiz çalışma alanları, yetersiz havalandırma ve yanlış çalışma yöntemleri çalışanların güvenliğini olumsuz etkileyerek kaza riskini artırabilmektedir (Hoyos ve Zimolog, 2014). Bu nedenle çalışma ortamının güvenli ve sağlıklı koşullara uygun şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

İş kazalarının nedenlerini ve oluşum mekanizmalarını açıklayabilmek amacıyla farklı araştırmacılar tarafından çeşitli teoriler geliştirilmiştir. Bu teoriler, kazaların yalnızca tek bir nedenden kaynaklanmadığını; insan, ekipman, çevre ve organizasyonel faktörlerin etkileşimi sonucunda meydana geldiğini ortaya koymaktadır (Heinrich, 1941; Albar Özbucak, 2024). Literatürde yaygın olarak kabul gören iş kazası teorileri arasında Kaza/Olay Teorisi, Epidemiyoloji Teorisi, Sistem Teorisi, Kombinasyon Teorisi, Enerji Teorisi, Tek Faktör Teorisi, Çok Etken Teorisi ve Domino Teorisi yer almaktadır. Söz konusu teoriler, iş kazalarının nedenlerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamakta ve kazaların önlenmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesinde önemli birer rehber olarak kullanılmaktadır.

2.4. Meslek Hastalıkları

Uluslararası düzeyde meslek hastalıklarının tanımlanmasına ilişkin en temel düzenlemelerden biri, Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından kabul edilen 155 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Sözleşmesi ile bu sözleşmeye bağlı 2002 tarihli

Protokol'dür. Bu düzenlemelere göre meslek hastalığı; çalışanların iş faaliyetleri sırasında karşılaştıkları risk etmenlerine maruz kalmaları sonucunda ortaya çıkan hastalıkların tamamını ifade etmektedir (ILO, 2013). Benzer şekilde Avrupa Birliği yaklaşımında da meslek hastalıkları, belirli bir mesleğin icrası ile doğrudan veya güçlü bir nedensel ilişki içerisinde bulunan, çoğunlukla tek bir temel etkene bağlı olarak gelişen hastalıklar olarak değerlendirilmektedir (Alagüney ve Yıldız, 2020).

Türkiye'de meslek hastalığı kavramına ilişkin yasal düzenlemeler uluslararası yaklaşımlarla büyük ölçüde uyum göstermektedir. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nda meslek hastalığı, çalışanların mesleki risklere maruz kalmaları sonucu ortaya çıkan hastalık olarak tanımlanmıştır (Özdemir ve Topçuoğlu, 2009; Tozkoparan ve Taşoğlu, 2011; Özdemir ve Serin, 2022).

510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nun 14. maddesinde ise meslek hastalığı; sigortalının yürüttüğü işin niteliğinden kaynaklanan tekrarlayan etkiler veya işin yürütüm şartları nedeniyle meydana gelen geçici ya da kalıcı hastalıklar ile bedensel veya ruhsal engellilik durumları şeklinde ifade edilmektedir.

Genel bir değerlendirme ile meslek hastalıkları; çalışanın yaptığı iş, çalışma ortamı koşulları ve maruz kaldığı risk faktörlerinin etkisiyle gelişen, geçici veya kalıcı sağlık kayıplarına yol açabilen hastalıklar olarak tanımlanabilir. Bu hastalıklar çoğunlukla çalışanların görevlerini yerine getirirken fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik veya psikososyal risk etmenlerine uzun süre ve tekrarlayan biçimde maruz kalmaları sonucunda ortaya çıkmaktadır. İşin niteliğinden kaynaklanan bu sağlık sorunları genellikle yavaş ilerlemekte ve başlangıç dönemlerinde belirgin semptomlar göstermemektedir.

İş kazaları ile meslek hastalıkları arasındaki temel fark, ortaya çıkış süreçlerinde görülmektedir. İş kazaları çoğu zaman ani, beklenmedik ve kısa sürede sonuç doğuran olaylar şeklinde meydana gelirken; meslek hastalıkları uzun yıllar boyunca devam eden maruziyetlerin etkisiyle kademeli olarak gelişmektedir. Bu nedenle meslek hastalıklarının erken evrede tespit edilmesi oldukça güç olabilmekte, belirtiler çoğu zaman maruziyet sona erdikten yıllar sonra ortaya çıkabilmektedir. Özellikle solunum sistemi hastalıkları, işitme kayıpları, kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları ve bazı mesleki kanser türleri uzun latent dönemlere sahip hastalıklar arasında yer almaktadır. Hastalığın ilerlemesiyle birlikte çalışanların iş gücü kaybı yaşaması, yaşam kalitesinin düşmesi ve bazı durumlarda kalıcı sakatlıkların ortaya çıkması söz konusu olabilmektedir.

Meslek hastalıklarının yalnızca çalışan sağlığı üzerinde değil, işletmeler ve ülke ekonomisi üzerinde de önemli etkileri bulunmaktadır. İş gücü kaybı, tedavi giderleri, üretim kayıpları, iş göremezlik ödemeleri ve tazminat yükümlülükleri bu etkilerin başında gelmektedir. Bu nedenle işverenlerin çalışma ortamındaki riskleri kontrol altına alması, çalışanların sağlık gözetimlerini düzenli olarak yaptırması ve gerekli koruyucu önlemleri uygulaması yasal bir sorumluluk olmasının yanında sürdürülebilir iş sağlığı ve güvenliği yönetiminin de temel unsurlarından biridir (Özdemir ve Topçuoğlu, 2009; Tozkoparan ve Taşoğlu, 2011; Özdemir ve Serin, 2022).

Meslek hastalıklarının önlenmesi için çalışma ortamında bulunan risk etmenlerinin sistematik olarak belirlenmesi, düzenli risk değerlendirmelerinin yapılması, ortam ölçümlerinin gerçekleştirilmesi, mühendislik kontrollerinin uygulanması, kişisel koruyucu donanım kullanımının sağlanması ve çalışanların periyodik sağlık muayenelerinin yürütülmesi büyük önem taşımaktadır. Günümüzde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının temel hedeflerinden biri, meslek hastalıklarını ortaya çıktıktan sonra tedavi etmekten ziyade, oluşmadan önce önleyebilmektir.

Türkiye'de meslek hastalıklarının sınıflandırılması, "Çalışma Gücü ve Meslekte Kazanma Gücü Kaybı Oranı Tespit İşlemleri Yönetmeliği" esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda meslek hastalıkları, maruziyet kaynağı ve hastalığın oluşum mekanizması dikkate alınarak beş ana grup altında değerlendirilmektedir:

- A Grubu: Kimyasal maddelere bağlı meslek hastalıkları
- B Grubu: Mesleki cilt hastalıkları
- C Grubu: Pnömonyozlar ve diğer mesleki solunum sistemi hastalıkları
- D Grubu: Mesleki bulaşıcı hastalıklar
- E Grubu: Fiziksel etkenlere bağlı meslek hastalıkları

Bu sınıflandırma, meslek hastalıklarının tanınması, kayıt altına alınması, değerlendirilmesi ve tazmin süreçlerinin yürütülmesinde temel bir çerçeve oluşturmaktadır. Ayrıca farklı sektörlerde karşılaşılan mesleki risklerin belirlenmesi ve uygun koruyucu stratejilerin geliştirilmesi açısından da önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. Günümüz çalışma yaşamında meslek hastalıklarının önlenmesi, çalışan sağlığının korunmasının yanı sıra işletmelerin verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir çalışma ortamlarının oluşturulması açısından da kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Meslek hastalıklarının ortaya çıkmasında etkili olan faktörler, sanayileşme süreci ve teknolojik gelişmelerle birlikte daha karmaşık bir yapıya dönüşmüştür. Özellikle

sanayi devrimi sonrasında üretim faaliyetlerinin hız kazanması, makineleşmenin yaygınlaşması ve yeni üretim tekniklerinin kullanılmaya başlanması, çalışanların maruz kaldığı risk türlerinin çeşitlenmesine neden olmuştur. Günümüzde çalışma ortamlarında kullanılan makine ve ekipmanlar, kimyasal maddeler, fiziksel çevre koşulları ve iş organizasyonuna ilişkin unsurlar çalışan sağlığı üzerinde doğrudan veya dolaylı etkiler oluşturmaktadır. Bunun yanında fizyolojik, psikolojik ve sosyal faktörler de çalışanların sağlık durumunu etkileyerek çeşitli meslek hastalıklarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Bu nedenle meslek hastalıklarının oluşumunda rol oynayan etkenlerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi, etkili koruyucu ve önleyici tedbirlerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Literatürde meslek hastalıklarına neden olan risk etmenleri genel olarak kimyasal, fiziksel, biyolojik ve sosyo-psikolojik faktörler olmak üzere dört temel grupta incelenmektedir (Alagüney ve Yıldız, 2020).

a) Kimyasal Etkenler:

Kimyasal risk etmenleri, meslek hastalıklarının en yaygın nedenleri arasında yer almakta ve birçok sektörde çalışanlar için önemli sağlık tehditleri oluşturmaktadır. Sanayi işletmelerinde gerçekleştirilen üretim faaliyetleri sırasında asitler, bazlar, solventler, ağır metaller, pestisitler, boya ve vernikler, plastik hammaddeleri, gazlar, buharlar ve çeşitli tozlar yoğun olarak kullanılmaktadır. Çalışanlar bu maddelere solunum, deri teması veya sindirim yoluyla maruz kalabilmektedir (Yavuz, 2025; Öztürk ve Baycan, 2026).

Kimyasal maddelerin insan sağlığı üzerindeki etkileri maruziyet süresine, yoğunluğuna ve maddenin özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Yavuz, 2025; Öztürk ve Baycan, 2026). Özellikle asbest, silika tozları, kurşun, cıva ve benzeri toksik maddeler uzun süreli maruziyet sonucunda ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu kapsamda akciğer hastalıkları, mesleki astım, pnömokonyozlar, cilt hastalıkları, sinir sistemi bozuklukları ve çeşitli kanser türleri kimyasal etkenlere bağlı olarak gelişebilen başlıca meslek hastalıkları arasında yer almaktadır (Alagüney ve Yıldız, 2020).

b) Fiziksel Etkenler:

Fiziksel risk etmenleri, çalışma ortamında bulunan ve çalışanların sağlık durumunu olumsuz yönde etkileyebilen çevresel faktörleri kapsamaktadır (Sabır, 2019; Öztürk ve Baycan, 2026). Gürültü, titreşim, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon, aşırı sıcak veya soğuk ortamlar, yetersiz ya da aşırı aydınlatma, yüksek veya

düşük basınç koşulları ile uygun olmayan termal konfor şartları bu grupta değerlendirilmektedir (Sabır, 2019; Öztürk ve Baycan, 2026).

Bu etkenlere uzun süre maruz kalınması çalışanlarda önemli sağlık problemlerine neden olabilmektedir. Örneğin yüksek düzeyde gürültüye maruziyet işitme kaybına, titreşim maruziyeti dolaşım sistemi ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına, radyasyon maruziyeti ise çeşitli doku hasarları ve kanser türlerine yol açabilmektedir. Benzer şekilde aşırı sıcak veya soğuk ortamlarda çalışmak; ısı stresi, sıcak çarpması, hipotermi ve performans kayıpları gibi sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle fiziksel risk etmenlerinin kontrol altına alınması, meslek hastalıklarının önlenmesinde temel uygulamalar arasında yer almaktadır.

c) Biyolojik Etkenler:

Biyolojik risk etmenleri; bakteri, virüs, mantar, parazit ve diğer mikroorganizmalar nedeniyle ortaya çıkan sağlık risklerini ifade etmektedir (Biryol, 2022; Öztürk ve Baycan, 2026). Özellikle sağlık hizmetleri, veterinerlik hizmetleri, laboratuvar çalışmaları, tarım ve hayvancılık faaliyetleri ile atık yönetimi sektörlerinde çalışanlar biyolojik etkenlere daha fazla maruz kalabilmektedir.

Bu mikroorganizmalar çalışanlara doğrudan temas, solunum veya kontamine materyaller aracılığıyla bulaşabilmektedir. Viral hepatitler, tüberküloz, bruselloz, COVID-19 ve çeşitli enfeksiyon hastalıkları biyolojik risk etmenlerine bağlı olarak gelişebilen meslek hastalıkları arasında yer almaktadır (Biryol, 2022). Biyolojik tehlikelerin kontrolü amacıyla hijyen uygulamalarının geliştirilmesi, aşılama programlarının uygulanması, uygun kişisel koruyucu donanımların kullanılması ve enfeksiyon kontrol önlemlerinin eksiksiz olarak yerine getirilmesi gerekmektedir (Biryol, 2022; Öztürk ve Baycan, 2026).

d) Sosyo-Psikolojik Etkenler:

Modern çalışma yaşamında giderek daha fazla önem kazanan sosyo-psikolojik risk etmenleri, çalışanların ruhsal ve sosyal iyilik hâlini etkileyen faktörleri kapsamaktadır (Kandemir, 2017). İş yükünün aşırı olması, uzun çalışma saatleri, vardiyalı çalışma sistemleri, rol belirsizliği, iş güvencesi kaygısı, yetersiz sosyal destek, çalışanlar arasındaki çatışmalar, mobbing ve yönetim kaynaklı baskılar bu grupta değerlendirilmektedir (Kandemir, 2017; Öztürk ve Baycan, 2026).

Sosyo-psikolojik risk etmenleri kısa vadede stres, dikkat dağınıklığı ve motivasyon kaybına neden olurken; uzun vadede anksiyete, depresyon, tükenmişlik sendromu, uyku bozuklukları ve çeşitli davranışsal sorunların gelişmesine yol açabilmektedir. Ayrıca psikososyal stres faktörleri çalışanların iş performansını

düşürmekte, hata yapma olasılığını artırmakta ve dolaylı olarak iş kazalarının meydana gelme riskini yükseltmektedir. Bu nedenle çalışanların ruh sağlığının korunmasına yönelik uygulamalar, günümüzde iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmektedir (Kılış, 2018).

Meslek hastalıkları, çoğu zaman tek bir etkene bağlı olarak değil; kimyasal, fiziksel, biyolojik ve sosyo-psikolojik risk faktörlerinin tek başına veya birlikte etkisi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çalışma ortamlarında bulunan tüm tehlikelerin sistematik olarak belirlenmesi, maruziyet düzeylerinin izlenmesi ve gerekli koruyucu tedbirlerin uygulanması, çalışan sağlığının korunması ve meslek hastalıklarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

2.5. Risk Değerlendirmesi

Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği alanında gerçekleştirilen en önemli yasal düzenlemelerden biri olan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun yürürlüğe girmesiyle birlikte, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesine yönelik yaklaşımlarda önemli bir paradigma değişimi yaşanmıştır. Bu düzenleme öncesinde iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları büyük ölçüde meydana gelen kazalar veya ortaya çıkan meslek hastalıkları sonrasında alınan önlemlere dayanmaktaydı (reaktif yaklaşım). Ancak 6331 sayılı Kanun ile, zarar oluştuğundan sonra müdahale etmeyi esas alan reaktif yaklaşımın yerini, tehlike ve risklerin ortaya çıkmadan önce belirlenmesini hedefleyen proaktif yaklaşım almıştır. Böylece iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında önleyici faaliyetler ön plana çıkarılarak çalışanların sağlık ve güvenliklerinin korunmasına yönelik daha sistematik bir yapı oluşturulmuştur.

Reaktif yaklaşım; iş kazası, meslek hastalığı veya ramak kala olay gibi istenmeyen durumlar meydana geldikten sonra bunların nedenlerini araştırmayı ve benzer olayların tekrarını önlemeye yönelik tedbirler geliştirmeyi esas almaktadır. Buna karşılık proaktif yaklaşım, henüz herhangi bir olumsuzluk yaşanmadan önce çalışma ortamında bulunan tehlikelerin belirlenmesini, bu tehlikelerden kaynaklanabilecek risklerin değerlendirilmesini ve uygun kontrol tedbirlerinin uygulanmasını hedeflemektedir. Günümüzde modern iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin temelini oluşturan bu yaklaşım, çalışanların maruz kalabileceği risklerin en aza indirilmesinde ve güvenli çalışma ortamlarının oluşturulmasında önemli bir rol üstlenmektedir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile işverenlere, işyerlerinde risk değerlendirmesi yapma veya yaptırma yükümlülüğü getirilmiş ve böylece iş sağlığı ve

güvenliği faaliyetlerinin planlı, sürekli ve önleyici bir anlayışla yürütülmesi zorunlu hale getirilmiştir. Bu düzenleme sayesinde işverenlerin yalnızca meydana gelen olaylara müdahale etmeleri değil, aynı zamanda olası tehlikeleri önceden öngörerek gerekli önlemleri almaları da yasal bir sorumluluk haline gelmiştir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 3. maddesinde risk değerlendirmesi; işyerinde mevcut bulunan veya dış çevreden kaynaklanabilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine neden olabilecek faktörlerin ortaya konulması, risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve uygun kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar bütünü olarak tanımlanmaktadır (Resmî Gazete, 2012). Bu tanım, risk değerlendirmesinin yalnızca bir analiz faaliyeti olmadığını; aynı zamanda tehlikelerin belirlenmesinden kontrol önlemlerinin uygulanmasına kadar uzanan kapsamlı bir yönetim süreci olduğunu göstermektedir.

Risk değerlendirmesinin temel amacı, işyerlerinde çalışanların sağlık ve güvenliğini tehdit eden unsurları önceden belirlemek ve gerekli önlemleri alarak iş kazaları ile meslek hastalıklarının meydana gelmesini önlemektir. Bunun yanında risk değerlendirmesi; iş sürekliliğinin sağlanması, üretim kayıplarının azaltılması, işletme verimliliğinin artırılması ve yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesi açısından da önemli faydalar sağlamaktadır. Etkin bir risk değerlendirme süreci sayesinde çalışma ortamındaki fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal tehlikeler sistematik olarak belirlenebilmekte ve bu tehlikelerin çalışanlar üzerindeki olası etkileri değerlendirilebilmektedir (Bostan, 2025).

Risk değerlendirmesinin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için işyerindeki tüm faaliyetlerin ayrıntılı biçimde incelenmesi, kullanılan ekipmanların, çalışma yöntemlerinin ve çevresel koşulların değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca işyerinde meydana gelen iş kazaları, ramak kala olaylar, meslek hastalıkları, çalışan görüşleri ve ortam ölçüm sonuçları da risk değerlendirme sürecine dâhil edilmelidir. Çünkü çalışma ortamları dinamik bir yapıya sahip olduğundan, zaman içerisinde yeni tehlikeler ortaya çıkabilmekte veya mevcut risklerin düzeyleri değişebilmektedir.

Bu nedenle risk değerlendirmesi tek seferlik bir uygulama olarak görülmemeli; işyerindeki değişiklikler, yeni teknolojilerin kullanılması, üretim süreçlerinin güncellenmesi veya meydana gelen iş kazaları sonrasında belirli aralıklarla gözden geçirilerek güncellenmelidir. Düzenli ortam gözetimlerinin yapılması, risklerin sürekli izlenmesi ve kontrol tedbirlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi, risk yönetiminin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır (Çelenk Kaya vd., 2018; Olcay,

2022; Liu vd., 2023). Modern iş sağlığı ve güvenliği yönetim anlayışının temel unsurlarından biri olan risk değerlendirmesi, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesinde en etkili araçlardan biri olarak kabul edilmektedir. Tehlikelerin sistematik biçimde belirlenmesi, risklerin analiz edilmesi ve uygun kontrol önlemlerinin uygulanması sayesinde çalışanların sağlık ve güvenliği korunabilmekte, aynı zamanda işletmelerde güvenlik kültürünün gelişmesine önemli katkılar sağlanabilmektedir.

Risk değerlendirmesi faaliyetlerinin etkin ve kapsamlı bir şekilde yürütülebilmesi için öncelikle farklı bilgi ve deneyimlere sahip kişilerden oluşan bir risk değerlendirme ekibinin oluşturulması gerekmektedir. Risk değerlendirmesi, yalnızca iş güvenliği uzmanı veya işyeri hekimi tarafından gerçekleştirilen bir faaliyet olmayıp, işyerindeki tüm süreçlerin ve çalışma koşullarının birlikte değerlendirilmesini gerektiren ekip çalışmasına dayalı bir süreçtir. Bu nedenle risk değerlendirme ekibinin, işyerindeki faaliyetleri yakından tanıyan ve farklı çalışma alanlarını temsil eden kişilerden oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

Risk değerlendirme ekibi, işyerinde çalışanların sağlık ve güvenliğini tehdit edebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerden kaynaklanabilecek risklerin analiz edilmesi, risklerin kabul edilebilir seviyelere indirilmesine yönelik kontrol tedbirlerinin belirlenmesi ve alınan önlemlerin etkinliğinin değerlendirilmesi gibi önemli görevleri yerine getirmektedir. Ayrıca ekip üyelerinin farklı bakış açılarına sahip olması, çalışma ortamındaki tehlikelerin daha kapsamlı bir şekilde ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır.

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'nin (İSGRD) 6. maddesine göre risk değerlendirmesi çalışmaları, işveren tarafından oluşturulan bir ekip aracılığıyla yürütülmektedir (Resmî Gazete, 2012). Yönetmelik hükümleri doğrultusunda risk değerlendirme ekibinde aşağıdaki kişiler yer almaktadır:

- İşveren veya işveren vekili,
- İşyerinde iş sağlığı ve güvenliği hizmetlerini yürüten iş güvenliği uzmanı,
- İşyeri hekimi,
- İşyerindeki çalışan temsilcileri,
- İşyerinde görev yapan destek elemanları,
- İşyerinin tüm birimlerini temsil edecek şekilde belirlenen, yürütülen faaliyetler ve çalışma süreçleri hakkında bilgi sahibi çalışanlar.

Risk değerlendirme ekibinde yer alan her bir üye, kendi uzmanlık alanı doğrultusunda sürece katkı sağlamaktadır. İşveren veya işveren vekili, işyerindeki faaliyetler ve organizasyon yapısı hakkında bilgi sunarken; iş güvenliği uzmanı ve işyeri

hekimi, tehlikelerin belirlenmesi ve risklerin değerlendirilmesi konusunda teknik destek sağlamaktadır. Çalışan temsilcileri ve destek elemanları ise sahada karşılaşılan riskler hakkında doğrudan bilgi aktararak değerlendirme sürecinin daha gerçekçi ve uygulanabilir olmasına katkıda bulunmaktadır.

Özellikle işyerinin farklı bölümlerinde görev yapan çalışanların risk değerlendirme çalışmalarına dâhil edilmesi, günlük faaliyetler sırasında karşılaşılan tehlikelerin daha doğru şekilde tespit edilmesini sağlamaktadır. Çünkü çalışanlar, yürüttükleri işlerin doğası gereği maruz kaldıkları riskleri ve mevcut çalışma koşullarını en iyi gözlemleyebilen kişiler arasında yer almaktadır. Bu durum, risk değerlendirmesi sonuçlarının doğruluğunu ve uygulanabilirliğini artırmaktadır.

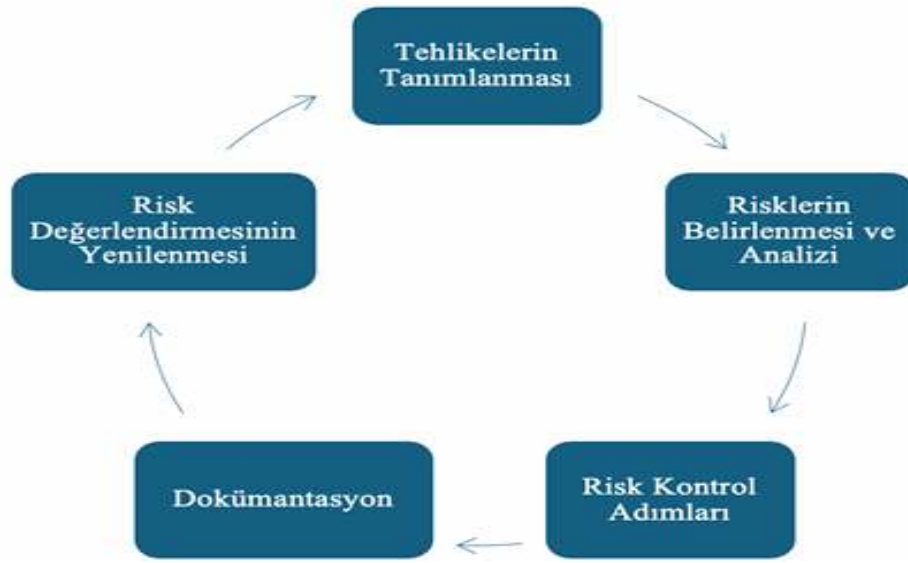
Risk değerlendirme ekibinin doğru şekilde oluşturulması, risk değerlendirme sürecinin başarısını doğrudan etkileyen temel unsurlardan biridir. Farklı disiplinlerden ve çalışma alanlarından kişilerin katılımıyla gerçekleştirilen ekip çalışmaları sayesinde işyerindeki tehlikeler daha etkin şekilde belirlenebilmekte, riskler daha doğru analiz edilebilmekte ve çalışanların sağlık ve güvenliğini korumaya yönelik daha etkili kontrol tedbirleri geliştirilebilmektedir. Bu nedenle risk değerlendirmesi sürecinde ekip yaklaşımının benimsenmesi, iş sağlığı ve güvenliği yönetiminin temel gerekliliklerinden biri olarak kabul edilmektedir.

2.5.1. Risk Değerlendirmesi Adımları

İşyerinde mevcut bulunan veya dış çevreden kaynaklanabilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilmesi ve kabul edilebilir düzeylere indirilebilmesi amacıyla yürütülen planlı ve sistematik çalışmalar risk değerlendirmesi olarak tanımlanmaktadır (Olçay, 2022; Liu vd., 2023). Risk değerlendirmesi, işyerinde çalışanların sağlık ve güvenliğini tehdit edebilecek unsurların önceden tespit edilmesine ve bu unsurlara yönelik uygun kontrol tedbirlerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Çalışma ortamında mevcut tehlikelerin tamamen ortadan kaldırılması ya da ortaya çıkma olasılıklarının azaltılması amacıyla gerçekleştirilen faaliyetler “önleme” olarak ifade edilmektedir. Önleme faaliyetleri kapsamında alınan tedbirlerin riskleri tamamen ortadan kaldırmada yetersiz kalması durumunda ise çalışanların olası zarar görmesini engellemeye veya zarar düzeyini azaltmaya yönelik “koruma” önlemleri uygulanmaktadır. Buna rağmen tehlikelerin etkilerinin tamamen kontrol altına alınamadığı durumlarda ise risk unsuru varlığını sürdürmektedir.

İşyerinde risklerin bulunması; çalışanların sağlık ve güvenliğinin tehlikeye girmesine, iş ekipmanlarının zarar görmesine, üretim süreçlerinin aksamasına ve işletmenin maddi kayıplarla karşı karşıya kalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle olası tehlikelerin yol açabileceği sonuçların önceden öngörülmesi, uygun kontrol tedbirlerinin belirlenmesi ve gerekli uygulamaların zamanında hayata geçirilmesi gerekmektedir. Risk değerlendirmesi çalışmaları, bu sürecin bilimsel ve sistematik bir yaklaşımla yürütülmesini sağlayan temel iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarından biri olarak kabul edilmektedir (Liu vd., 2023; Bostan, 2025). İSGRD 7. Maddesine göre risk değerlendirmesi aşamaları Şekil 1’ de verilmektedir.



Şekil 1. Risk değerlendirme süreci

a) Tehlikenin Tanımlanması :

Risk değerlendirmesi sürecinin ilk aşamasını, işyerinde mevcut bulunan veya dış kaynaklardan ortaya çıkabilecek tehlikelerin sistematik bir yaklaşımla belirlenmesi oluşturmaktadır. Bu aşamada, çalışanların sağlık ve güvenliğini olumsuz etkileyebilecek, yaralanma, hastalık, maddi kayıp veya çevresel zarara neden olabilecek tüm tehlike kaynaklarının kapsamlı biçimde incelenmesi gerekmektedir. Tehlikelerin doğru ve eksiksiz şekilde belirlenmesi, risk değerlendirmesi sürecinin sonraki aşamalarının sağlıklı yürütülebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

İşyerinde bulunan fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal tehlikeler belirlenirken yürürlükte bulunan iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı ile ilgili yönetmelik hükümleri dikkate alınmaktadır. Tehlike tanımlama çalışmalarında iş güvenliği uzmanı, işyeri hekimi, çalışan temsilcileri, teknik personel ve çalışanların

bilgi ve deneyimlerinden yararlanılmakta; iş kazalarına ve meslek hastalıklarına neden olabilecek unsurlar ayrıntılı şekilde değerlendirilmektedir (İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012).

Tehlikelerin belirlenmesi sürecinde işyerine ait geçmiş kayıtlar önemli veri kaynakları arasında yer almaktadır. Daha önce meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıklarına ilişkin kayıtlar, ramak kala olay bildirimleri, ortam ölçüm sonuçları, sağlık gözetim verileri, çalışan anketleri, iş sağlığı ve güvenliği kurul kararları ile denetim raporları, mevcut ve potansiyel risklerin ortaya çıkarılmasında yol gösterici bilgiler sağlamaktadır. Bu veriler sayesinde yalnızca mevcut tehlikeler değil, gelecekte ortaya çıkabilecek riskler de öngörülebilmektedir.

Bununla birlikte, İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'nin 8. maddesi doğrultusunda tehlikelerin belirlenmesi sırasında aşağıdaki hususların da değerlendirilmesi gerekmektedir (İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012):

- İşyeri binası ve eklentileri
- İşyerinde yürütülen faaliyetler ile gerçekleştirilen iş ve işlemler
- Üretim süreçleri ve kullanılan yöntemler
- İş ekipmanları ve teknik sistemler
- Kullanılan ham maddeler, yardımcı maddeler ve kimyasallar
- Atık ve artıkların yönetimine ilişkin faaliyetler
- İşyerinin organizasyon yapısı, görev dağılımı, yetki ve sorumluluklar
- Çalışanların bilgi, deneyim ve görüşleri
- İşe başlamadan önce alınması gereken izin ve yetki belgeleri
- Çalışanların eğitim durumları, yaşları, cinsiyetleri ve sağlık gözetim kayıtları
- Genç, yaşlı, engelli, gebe ve emziren çalışanlar gibi özel politika gerektiren grupların durumu
- İşyerine ilişkin denetim ve teftiş sonuçları
- Yaralanma veya ölümle sonuçlanmayan ancak iş ekipmanlarında ya da işyerinde hasara neden olan olay kayıtları
- Güvenlik Bilgi Formları (MSDS/SDS)
- Ortam ölçümleri ve kişisel maruziyet sonuçları
- Daha önce yapılmış risk değerlendirmesi çalışmaları
- Acil durum planları
- Sağlık ve güvenlik planları ile patlamadan korunma dokümanı gibi işyerine özgü hazırlanması gereken belgeler

Belirtilen bilgi kaynaklarının birlikte değerlendirilmesi, işyerinde bulunan tehlikelerin kapsamlı ve doğru biçimde ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır. Böylece risk değerlendirmesi çalışmalarının daha etkin yürütülmesi, risklerin doğru analiz edilmesi ve uygun kontrol tedbirlerinin belirlenmesi mümkün hale gelmektedir.

b) Risklerin Belirlenmesi ve Analizi:

Risk değerlendirme sürecinin ikinci aşamasını, belirlenen tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilmesi oluşturmaktadır. Bu aşamada, tespit edilen her bir tehlike ayrı ayrı değerlendirilerek söz konusu tehlikenin hangi çalışanları etkileyebileceği, ortaya çıkma olasılığı ve gerçekleşmesi durumunda meydana getirebileceği sonuçların şiddeti incelenmektedir. Böylece işyerinde mevcut risklerin düzeyi belirlenmekte ve önceliklendirme yapılabilmektedir.

İşyerinde birden fazla bina, tesis veya eklenti bulunması durumunda her bölümün faaliyetleri ve çalışma koşulları dikkate alınarak ayrı risk değerlendirmeleri gerçekleştirilmektedir. Bununla birlikte, bölümler arasında faaliyet, ekipman kullanımı veya çalışma süreçleri bakımından doğrudan bir ilişki bulunuyorsa, risklerin birbirini etkileyebileceği göz önünde bulundurularak işyeri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmektedir.

Risk analizi aşamasında, seçilen yöntemle ilgili olarak tehlikeler sistematik şekilde analiz edilmekte ve belirli kriterlere göre derecelendirilmektedir. Bu değerlendirme sonucunda elde edilen risk düzeyleri, uygulanacak kontrol tedbirlerinin öncelik sırasının belirlenmesinde temel ölçüt olarak kullanılmaktadır. Risklerin sınıflandırılmasında yaygın olarak düşük, orta ve yüksek risk kategorilerinden yararlanılmaktadır (Liu, vd., 2023).

Yüksek düzeyli riskler, çalışanların sağlık ve güvenliğini ciddi şekilde tehdit eden ve acil müdahale gerektiren riskler olarak değerlendirilmektedir. Orta düzeyli riskler, belirli bir süre içerisinde kontrol altına alınması gereken riskleri ifade ederken, düşük düzeyli riskler ise mevcut durumda kabul edilebilir olmakla birlikte düzenli olarak izlenmesi gereken riskler olarak tanımlanmaktadır (Tuna, 1999; Liu, vd., 2023).

Risk Kontrol Adımları: Risk kontrol süreci, risk değerlendirmesi sonucunda kabul edilemez düzeyde olduğu belirlenen risklerin ortadan kaldırılması veya kabul edilebilir seviyelere düşürülmesi amacıyla gerçekleştirilen faaliyetleri kapsamaktadır. Bu süreç; planlama, risk kontrol tedbirlerinin belirlenmesi, uygulama ve izleme olmak üzere dört temel aşamadan oluşmaktadır.

Planlama: Risk kontrol sürecinin ilk aşamasında, gerçekleştirilen risk analizi sonuçları dikkate alınarak bir risk kontrol planı hazırlanmaktadır. Hazırlanan bu plan

kapsamında riskler; meydana getirebilecekleri zararların büyüklüğü, etkileyebilecekleri çalışan sayısı ve gerçekleşme olasılıkları göz önünde bulundurularak öncelik sırasına konulmaktadır. Böylece mevcut kaynakların en kritik risklere yönlendirilmesi ve kontrol faaliyetlerinin daha etkin yürütülmesi amaçlanmaktadır.

Risk Kontrol Tedbirlerinin Belirlenmesi: Tehlikelerin tanımlanması ve risklerin önceliklendirilmesinin ardından, bu risklere karşı uygulanacak kontrol tedbirleri belirlenmektedir. Bu aşamadaki temel yaklaşım, riskin tamamen ortadan kaldırılmasıdır. Riskin tamamen yok edilmesinin mümkün olmadığı durumlarda ise risk seviyesinin kabul edilebilir düzeylere düşürülmesi hedeflenmektedir.

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'nin 10. maddesi uyarınca risk kontrol tedbirlerinin belirlenmesinde belirli bir öncelik sırası izlenmektedir (İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012). Bu kapsamda;

- Tehlikenin veya tehlike kaynağının tamamen ortadan kaldırılması,
 - Tehlikeli olanın daha az tehlikeli veya tehlikesiz bir unsur ile değiştirilmesi (ikame),
 - Risklerle kaynağında mücadele edilmesi
- esas alınmaktadır.

Risk kontrol önlemlerinin belirlenmesinden sonra işveren tarafından uygulama planları hazırlanmakta ve yürürlüğe konulmaktadır. Bu planlarda uygulanacak tedbirlerin kapsamı, uygulamadan sorumlu kişiler, uygulama süreleri ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin aşamaları ayrıntılı şekilde belirtilmektedir. Ayrıca risk kontrol çalışmalarında toplu korunma tedbirlerine öncelik verilmesi, kişisel koruyucu donanımların ise diğer kontrol yöntemlerini destekleyici unsur olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Risk Kontrol Tedbirlerinin Uygulanması: Bu aşamada, hazırlanan risk kontrol planında yer alan tedbirler uygulamaya aktarılmaktadır. Belirlenen kontrol önlemlerinin etkin şekilde hayata geçirilmesi, risklerin kabul edilebilir seviyelere düşürülmesinde kritik öneme sahiptir. Uygulama sürecinde risk düzeyleri düzenli olarak gözden geçirilmekte ve gerekli görüldüğünde ek kontrol tedbirleri devreye alınmaktadır.

Uygulamaların İzlenmesi ve Gözden Geçirilmesi: Risk kontrol faaliyetlerinin son aşamasını izleme ve değerlendirme çalışmaları oluşturmaktadır. Bu süreçte alınan önlemlerin etkinliği düzenli olarak takip edilmekte, uygulamalarda ortaya çıkan eksiklikler veya uygunsuzluklar tespit edilerek gerekli düzeltici ve önleyici faaliyetler planlanmaktadır. Ayrıca çalışma koşullarında meydana gelen değişiklikler, yeni

teknolojilerin kullanılması, iş kazaları, ramak kala olaylar veya meslek hastalıkları gibi durumlar risk değerlendirmesinin yeniden gözden geçirilmesini gerektirebilmektedir. Bu nedenle risk kontrol süreci dinamik bir yapıya sahip olup işyerindeki değişimlere bağlı olarak sürekli güncellenmesi gereken bir yönetim faaliyeti niteliği taşımaktadır.

c) Dokümantasyon:

Risk değerlendirmesi sürecinin başlangıcından sonuçlandırılmasına kadar gerçekleştirilen tüm faaliyetlerin, alınan kararların ve hazırlanan planların kayıt altına alınarak belgelenmesi gerekmektedir. Risk değerlendirmesi kapsamında oluşturulan belgelerin kapsamı ve içerik yapısı; işyerinin faaliyet alanı, veri yönetim sistemi, yasal gereklilikler ve ilgili kurumların taleplerine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Hazırlanan risk değerlendirme belgelerinin düzenli ve izlenebilir bir yapıya sahip olması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle dokümanın tüm sayfaları numaralandırılmalı, son sayfası risk değerlendirmesi ekibinde yer alan kişiler tarafından imzalanmalı ve diğer sayfalar paraflanmalıdır. Hazırlanan belgeler işyerinde muhafaza edilmeli, gerektiğinde erişilebilir olmalı ve güncelliği korunmalıdır. Ayrıca teknolojik gelişmelere paralel olarak risk değerlendirmesi belgelerinin elektronik ortamda hazırlanması, saklanması ve arşivlenmesi de mümkündür (Tuna Öztürk, 2020).

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'nin (İSGRD) 11. maddesi uyarınca, risk değerlendirmesi raporunun belirli bilgi ve unsurları içerecek şekilde hazırlanması zorunludur. Bu kapsamda dokümanda; işyerinin unvanı, açık adresi ve işveren bilgileri ile risk değerlendirmesi çalışmalarına katılan kişilerin ad, soyad ve unvanlarına yer verilmelidir. Çalışmayı yürüten ekip içerisinde iş güvenliği uzmanı ve işyeri hekimi bulunması halinde, bu kişilere ait ilgili bakanlık tarafından düzenlenmiş belge bilgilerinin de raporda belirtilmesi gerekmektedir. Bunun yanında çalışmanın gerçekleştirildiği tarih ile risk değerlendirmesinin geçerlilik süresi de belgelendirme içerisinde açık şekilde ifade edilmelidir.

Risk değerlendirmesinin işyerinin farklı bölümleri için ayrı ayrı yapılması durumunda, her bölümün adı ve kapsamı ayrıca belirtilmelidir. Bununla birlikte belirlenen tehlike kaynakları, tespit edilen tehlikeler, bu tehlikelerden kaynaklanan riskler ve risk analizinde kullanılan yöntem veya yöntemler ayrıntılı biçimde dokümanda yer almalıdır. Risk analizi sonucunda elde edilen bulguların, risklerin önem ve öncelik sırasını gösterecek şekilde raporlanması gerekmektedir.

Ayrıca risklerin kontrol altına alınabilmesi amacıyla belirlenen düzeltici ve önleyici faaliyetler, bu faaliyetlerin uygulanmasından sorumlu kişiler, uygulama tarihleri ve uygulama sonrasında ortaya çıkan risk düzeyleri de belgelendirme içerisinde

yer almalıdır. Bu bilgiler, risk değerlendirmesi çalışmalarının izlenebilirliğini artırmakta ve gerçekleştirilen faaliyetlerin etkinliğinin değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır (İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012).

d) Risk Değerlendirmesinin Yenilenmesi:

Risk değerlendirmesi, işyerinin tehlike sınıfına göre belirli aralıklarla yenilenmektedir. Buna göre; çok tehlikeli sınıfta yer alan işyerlerinde iki yılda bir, tehlikeli sınıfta bulunan işyerlerinde dört yılda bir ve az tehlikeli sınıftaki işyerlerinde ise altı yılda bir periyodik olarak güncellenmesi gerekmektedir.

Bununla birlikte, yeni ortaya çıkan risklerin işyerinin bir bölümünü ya da tamamını etkilemesi durumunda risk değerlendirmesi kısmen veya tamamen yenilenmelidir. İSGRD'nin 12. maddesinde risk değerlendirmesinin yenilenmesini gerektiren durumlar düzenlenmiştir (İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012). Buna göre;

- İşyerinin taşınması veya binalarda yapısal değişiklik yapılması,
 - Kullanılan teknoloji, ekipman veya maddelerde değişiklik meydana gelmesi,
 - Üretim yönteminin farklılaşması,
 - İş kazası, meslek hastalığı ya da ramak kala olay yaşanması,
 - Çalışma ortamına ilişkin sınır değerlere yönelik mevzuat değişikliği yapılması,
 - Ortam lmleri ve sağlık gözetimi sonuçlarının gerekli göstermesi,
 - İşyerini etkileyebilecek dış kaynaklı yeni bir tehlikenin ortaya çıkması
- gibi hallerde risk değerlendirmesinin yenilenmesi zorunlu hale gelmektedir.

2.6. Risk Değerlendirme Yöntemleri

Risk değerlendirmesi, günümüzde iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının temel unsurlarından biri olup, tehlike ve risklere karşı yürütülen önleyici faaliyetlerin ilk ve en kritik aşamasını oluşturmaktadır. İşyerlerinde yürütülen faaliyetlerin niteliği ve çalışma koşullarının çeşitliliği nedeniyle çok sayıda tehlike ve risk faktörü ortaya çıkabilmektedir. Bu riskler; iş kazalarına, ekipman hasarlarına, üretim kayıplarına, iş gücü ve zaman kayıplarına yol açabilmekte, daha da önemlisi çalışanlarda yaralanma, kalıcı sakatlık, uzuv kaybı ve ölüm gibi ciddi sonuçlar doğurabilmektedir (Yavuz, 2025; Bostan 2025). Bu nedenle risk değerlendirmesi, güvenli çalışma ortamının oluşturulmasında sistematik ve zorunlu bir süreç olarak ele alınmaktadır.

İşyerlerinde faaliyet alanına ve üretim süreçlerine bağlı olarak farklı risk değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Teknolojik gelişmeler, endüstriyel üretim süreçlerindeki çeşitlenme ve iş kollarının giderek karmaşık hale gelmesi, risklerin daha

ayrıntılı ve doğru biçimde analiz edilmesini zorunlu kılmıştır. Bu durum, tek bir yöntemin tüm işyerleri için yeterli olmamasına yol açmış; farklı işyeri türleri için farklı analiz yaklaşımlarının geliştirilmesini gerekli hale getirmiştir. Günümüzde risk değerlendirmesi amacıyla kullanılan yöntem sayısının 150'nin üzerinde olması, bu çeşitliliğin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Risk değerlendirme yöntemlerinin bu kadar geniş bir yelpazeye sahip olmasının temel nedeni, her işyerinin faaliyet alanı, üretim tekniği, kullanılan ekipmanlar ve çalışma koşullarının farklılık göstermesidir. Bazı işyerlerinde tek bir yöntem yeterli olurken, daha karmaşık üretim yapısına sahip işletmelerde birden fazla yöntemin birlikte kullanılması gerekebilmektedir (Selek, 2018).

Risk değerlendirmesi sürecinde kullanılan başlıca yöntemler arasında;

- Risk Haritası,
- Beyin Fırtınası (Brainstorming),
- Delphi Tekniği,
- Ön Tehlike Analizi (PHA),
- İş Güvenliği Analizi (JSA),
- “Olursa Ne Olur?” yöntemi,
- Kontrol Listeleri ile Ön Risk Analizi (PRA),
- Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA/FMECA),
- Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP),
- Hata Ağacı Analizi (FTA),
- Olay Ağacı Analizi (ETA),
- Kök Neden Analizi (RCA),
- Fine–Kinney,
- İş Etki Analizi (BIA),
- Neden–Sonuç Analizi,
- Güvenlik Denetimi,
- Bow-Tie Analizi,
- Makine Risk Değerlendirmesi,
- İnsan Güvenilirliği Analizi (HRA)
- L ile X tipi karar matrisleri yer almaktadır.

Risk değerlendirme sürecinde en kritik aşamalardan biri, işyerine en uygun yöntemin seçilmesidir. Yanlış veya işyerine uygun olmayan bir yöntemin tercih edilmesi, risklerin hatalı belirlenmesine ve buna bağlı olarak yetersiz önlemlerin

alınmasına neden olabilmektedir. Bu durum hem maddi kayıplara hem de çalışan güvenliği açısından ciddi sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle yöntem seçimi, işyerinin faaliyet yapısı, mevcut tehlike düzeyi ve ihtiyaçları dikkate alınarak uzman değerlendirmesi ile yapılmalıdır (Ceylan ve Başhelvacı, 2013).

Literatürde risk analiz yöntemlerine ilişkin çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında ise Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) ve Fine–Kinney yöntemleri tercih edilmiş olup, söz konusu yöntemlere ilişkin ayrıntılı açıklamalara materyal ve yöntem bölümünde yer verilmiştir.

2.7. Cevher Zenginleştirme

Ekonomik değere sahip olan ve bir ya da birden fazla mineral içeren kayaçlar cevher olarak tanımlanmaktadır. Cevherler, bazı durumlarda doğrudan sanayide kullanılabilen, bazı durumlarda ise çeşitli işlemlerden geçirilerek konsantre hale getirildikten sonra değerlendirilmektedir. Metal üretiminin temel hammaddesini oluşturan cevherler, madencilik faaliyetlerinin en önemli çıktılarından biridir (Hoşten, 2010; Yıldız, 2010).

Cevher zenginleştirme ise doğal yataklardan çıkarılan maden cevherleri içerisinde bulunan ekonomik değere sahip minerallerin ayrıştırılması ve bu minerallerin metal üretimine uygun hale getirilmesi amacıyla gerçekleştirilen mühendislik uygulamalarının bütünüdür (Hoşten, 2010; Yıldız, 2010). Temel amacı, cevher içerisindeki değerli minerallerin oranını artırarak metal geri kazanımını yükseltmek ve sonraki üretim aşamalarının daha verimli şekilde yürütülmesini sağlamaktır. Bu kapsamda fiziksel, kimyasal ve biyoteknolojik yöntemlerden yararlanılmakta olup süreç, madencilik ve metalurji endüstrilerinin en önemli faaliyet alanlarından birini oluşturmaktadır (Gülsoy ve Kangal, 2016).

Doğadan çıkarılan ham cevherler çoğu zaman düşük tenörlü yapıya sahip olup önemli miktarda gang minerali içermektedir. Bu durum, cevherlerin doğrudan metal üretim süreçlerine dahil edilmesini ekonomik açıdan uygun olmaktan çıkarmaktadır. Dolayısıyla cevherin metal içeriğinin artırılması ve istenmeyen bileşenlerin uzaklaştırılması amacıyla çeşitli zenginleştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Kırma ve öğütme işlemleri ile cevher taneleri serbestleşecek boyutlara indirgenirken, eleme ve sınıflandırma işlemleriyle tane boyutlarına göre ayırım gerçekleştirilmektedir. Daha sonraki aşamalarda ise cevherin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak flotasyon, manyetik ayırma, gravite ayırma ve liç gibi yöntemler kullanılarak değerli mineraller konsantre edilmektedir (Ceylan ve Başhelvacı, 2011; Wills ve Finch, 2016).

Kullanılacak yöntemin seçimi; cevherin mineralojik yapısı, tane boyutu dağılımı, fiziksel özellikleri ve ekonomik koşullar dikkate alınarak yapılmaktadır.

Cevher zenginleştirme işlemleri, madencilik sektörünün ekonomik sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Düşük tenörlü cevherlerin değerlendirilmesine olanak sağlaması, mevcut maden rezervlerinden daha yüksek verim elde edilmesine katkıda bulunmaktadır. Zenginleştirme sonucunda elde edilen yüksek tenörlü konsantreler, izabe ve diğer metalurjik işlemlerde daha düşük enerji tüketimi gerektirmekte, işletme maliyetlerini azaltmakta ve üretim verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca cevher içerisindeki atık bileşenlerin önemli bir kısmının üretim öncesinde uzaklaştırılması, taşınacak ve işlenecek malzeme miktarını azaltarak ekonomik avantaj sağlamaktadır (Helvacıoğlu, 2016; Hacıfazlıoğlu ve Şahin, 2023).

Günümüzde cevher zenginleştirme faaliyetleri yalnızca ekonomik fayda sağlamaya yönelik bir uygulama olarak değerlendirilmemekte, aynı zamanda sürdürülebilir madencilik anlayışının temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Doğal kaynakların daha etkin kullanılması, düşük tenörlü rezervlerin ekonomiye kazandırılması ve atık oluşumunun azaltılması gibi avantajlar, zenginleştirme süreçlerinin çevresel açıdan da önemini artırmaktadır. Bununla birlikte su tüketimi, enerji kullanımı ve proses atıklarının yönetimi gibi konular, zenginleştirme tesislerinin çevresel performansını doğrudan etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle modern tesislerde enerji verimliliğini artıran, suyun geri kazanımını sağlayan ve atık oluşumunu azaltan teknolojilerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Hacıfazlıoğlu ve Şahin, 2023).

2.7.1. Cevher Zenginleştirme Tesisleri

Doğal halde bulunan cevherlerin ekonomik açıdan değerlendirilebilir nitelik kazanabilmesi için cevher zenginleştirme tesislerinden yararlanılmaktadır (Hoşten, 2010; Yıldız, 2010). Bu tesislerde amaç, cevher bünyesinde yer alan değerli mineralleri gang minerallerinden ayırarak ürünün tenörünü artırmaktır. Söz konusu ayırma işlemleri fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmekte olup kırma, öğütme, eleme, flotasyon, manyetik ayırma ve gravite ayırma gibi farklı süreçleri kapsamaktadır (Wills ve Finch, 2016; Gökkaya, 2016). Uygulanacak zenginleştirme yöntemi, cevherin mineralojik yapısı ve kimyasal bileşimi dikkate alınarak belirlenmektedir. Örneğin, sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak flotasyon yöntemi tercih edilirken, manyetik özellik gösteren minerallerin ayrıştırılmasında manyetik ayırma yönteminden yararlanılmaktadır (Önal, 2007; Gökkaya, 2016).

Cevher zenginleştirme uygulamaları, düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak değerlendirilebilmesine olanak tanıyarak mevcut maden rezervlerinden daha yüksek düzeyde yararlanılmasını sağlamaktadır (Hoşten, 2010; Yıldız, 2010). Zenginleştirme sonucunda elde edilen yüksek tenörlü konsantreler, sonraki metalurjik işlemlerin verimliliğini artırmakta, enerji tüketimini azaltmakta ve işletme maliyetlerinin düşürülmesine katkıda bulunmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle cevher zenginleştirme teknolojileri, madencilik sektöründe kaynak verimliliğinin artırılması ve üretim süreçlerinin optimize edilmesi açısından önemli bir yere sahiptir (Wills ve Finch, 2016; Gökkaya, 2016).

Cevher zenginleştirme tesisleri yalnızca madencilik faaliyetlerinin ekonomik verimliliğini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli sorumluluklar üstlenmektedir (Hoşten, 2010; Yıldız, 2010). Bu kapsamda atık yönetimi, su geri kazanımı ve kaynakların etkin kullanımı gibi uygulamalar tesis faaliyetlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bununla birlikte, özellikle flotasyon gibi kimyasal süreçler sonucunda ortaya çıkan atık suların arıtılması ve güvenli şekilde depolanması önemli çevresel sorunlar arasında yer almaktadır (Helvacıoğlu, 2016). Bu nedenle günümüzde kurulan modern cevher zenginleştirme tesislerinde, çevresel etkileri azaltmaya yönelik ileri teknolojilerin kullanılması ve sürdürülebilir üretim anlayışının benimsenmesi temel hedefler arasında bulunmaktadır.

2.7.2. Cevher Zenginleştirme Süreçleri

Zenginleştirme yöntemleri, cevherde bulunan minerallerin türüne, farklı fiziksel, kimyasal ve fiziko-kimyasal özelliklerine ve parçacık boyutu dağılımlarına (hangi boyutta serbestleştiklerine) göre seçilir (Karaca, 2010; Wills ve Finch, 2016; Gökkaya, 2016).

Cevher zenginleştirme, düşük tenörlü maden cevherleri içerisindeki ekonomik değere sahip minerallerin ayrıştırılarak değerlendirilebilir hale getirilmesini amaçlayan bir dizi işlemten oluşmaktadır. Bu işlemler genel olarak kırma ve öğütme, fiziksel ayırma, kimyasal zenginleştirme ile atık yönetimi aşamalarını kapsamaktadır (Hoşten, 2010; Yıldız, 2010; Gökkaya, 2016). Sürecin ilk aşamasında cevher, kırma ve öğütme işlemleri yardımıyla daha küçük tane boyutlarına indirgenmekte ve değerli minerallerin serbestleşmesi sağlanmaktadır. Böylece sonraki zenginleştirme işlemlerinin daha etkin şekilde uygulanabilmesi mümkün hale gelmektedir.

Serbestleşen minerallerin ayrılması amacıyla çeşitli fiziksel ayırma yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu yöntemlerde mineraller; yoğunluk, manyetik

duyarlılık veya elektriksel iletkenlik gibi özellikleri esas alınarak birbirinden ayrıştırılmaktadır. Özellikle manyetik ayırma yöntemi, demir içeren minerallerin gang minerallerinden ayrılmasında yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir (Wills ve Finch, 2016).

Cevherin mineralojik ve kimyasal yapısına bağlı olarak kimyasal zenginleştirme yöntemleri de uygulanabilmektedir. Bu kapsamda flotasyon ve liç yöntemleri, endüstride en yaygın kullanılan teknikler arasında yer almaktadır (Wills ve Finch, 2016; Gökkaya, 2016) Flotasyon işlemi, özellikle ince taneli sülfürlü minerallerin yüzey özelliklerinden yararlanılarak ayrılmasını sağlarken; liç, çözücü ekstraksiyon ve elektrokazanım gibi hidrometalurjik yöntemler, metalleri uygun kimyasal çözeltiler yardımıyla geri kazanmayı amaçlamaktadır (Wills ve Finch, 2016).

Zenginleştirme faaliyetlerinin önemli bir diğer boyutu ise oluşan atıkların yönetimi ve çevresel etkilerin kontrol altında tutulmasıdır. Özellikle flotasyon atıkları ile siyanürlü liç işlemleri sonucunda ortaya çıkan atıkların güvenli şekilde depolanması ve bertaraf edilmesi, çevre ve insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle zenginleştirme tesislerinde atık yönetimi uygulamaları, üretim faaliyetlerinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Tüm bu aşamaların etkin biçimde yürütülmesi, hem maden kaynaklarının ekonomik olarak değerlendirilmesine hem de çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Cevher zenginleştirme sürecinde uygulanan temel işlem aşamaları;

a) Kırma ve Öğütme:

Kırma ve öğütme işlemleri, cevher zenginleştirme süreçlerinin başlangıç aşamalarını oluşturan ve cevherin sonraki ayırma işlemlerine hazırlanmasını sağlayan temel mekanik işlemlerdir. Bu işlemlerin temel amacı, cevher içerisindeki değerli minerallerin gang minerallerinden serbestleşmesini sağlayacak uygun tane boyutuna ulaşmaktır (Gökkaya, 2016). Serbestleşme derecesi, zenginleştirme işlemlerinin verimliliğini doğrudan etkileyen önemli parametrelerden biridir.

Kırma işlemi, ocaktan veya madenden çıkarılan iri boyutlu cevher parçalarının çeneli, konik veya darbeli kırıcılar yardımıyla daha küçük boyutlara indirgenmesini kapsamaktadır. Bu aşamada cevher, sonraki işlemlere uygun hale getirilirken aynı zamanda öğütme devresine beslenebilecek boyutlara düşürülmektedir. Kırma sonrasında gerçekleştirilen öğütme işlemi ise cevherin daha ince tane boyutlarına indirgenmesini amaçlamaktadır. Öğütme işlemleri genellikle bilyalı değirmenler, çubuklu değirmenler veya dikey değirmenler kullanılarak yürütülmekte olup, mineral tanelerinin yeterli düzeyde serbestleşmesini sağlamaktadır (Önal, 2007; Gökkaya, 2016).

Kırma ve öğütme aşamalarının etkin şekilde gerçekleştirilmesi, sonraki zenginleştirme yöntemlerinin performansını doğrudan etkilemektedir. Yetersiz serbestleşme değerli minerallerin kaybına neden olabilirken, aşırı öğütme enerji tüketimini artırmakta ve bazı ayırma yöntemlerinin verimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle uygun ekipman seçimi ve optimum tane boyutunun belirlenmesi, cevher zenginleştirme tesislerinin verimli işletilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Kırma ve öğütme sürecine ait görsel şekil 2’ de verilmektedir.



Şekil 2. Kırma ve öğütme süreci

Kırma genellikle birincil (primer), ikincil (sekonder) ve üçüncül (tersiyer) kırma olarak üç aşamada uygulanmaktadır. Birincil kırmada büyük kaya parçaları küçültülerek ikincil kırıcılarla daha küçük boyutlara getirilir, üçüncül kırmada ise öğütmeye uygun tane boyutu elde edilir (Napier-Munn vd., 1996). Öğütme ise, genellikle ıslak ve kuru öğütme olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmaktadır. Islak öğütme, daha az enerji tüketmesi ve daha yüksek verim sağlaması nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Özellikle flotasyon gibi yüzeysel özelliklere dayalı ayırma işlemlerinde daha iyi performans göstermektedir (Yekeler vd., 2022).

Kırma ve öğütme süreçleri, zenginleştirme işlemlerinin en yüksek enerji tüketen aşamaları arasında yer almakta olup, enerji verimliliği madencilik sektöründe önemli bir konu haline gelmektedir. Bu nedenle modern tesislerde, yüksek basınçlı öğütme silindirleri ve ileri teknoloji değirmenler gibi enerji tasarruflu ekipmanlar kullanılmaktadır (Morley, 2010). Cevherin tane boyutunun optimum seviyeye

getirilmesi, metal geri kazanım oranlarını artırırken işletme maliyetlerini düşürmekte ve çevresel etkileri minimize etmektedir.

b) Fiziksel Ayırma Yöntemleri:

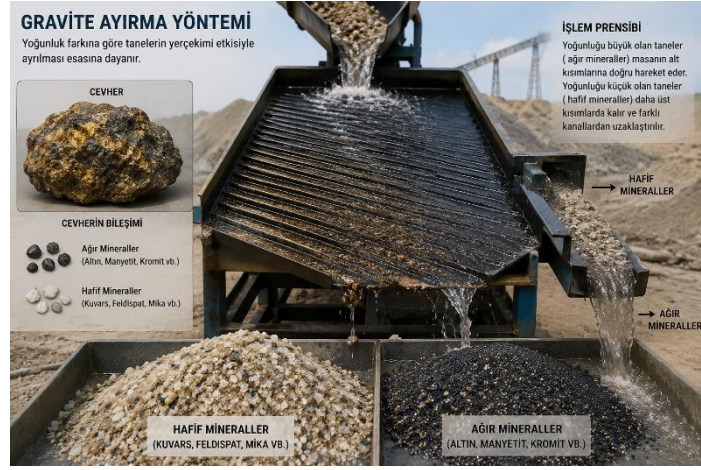
Fiziksel ayırma yöntemleri, cevher bünyesinde bulunan değerli minerallerin gang minerallerinden ayrılmasında, mineraller arasındaki fiziksel özellik farklılıklarından yararlanılan zenginleştirme tekniklerini kapsamaktadır. Bu yöntemlerde ayırma işlemi; yoğunluk, manyetik duyarlılık, elektriksel iletkenlik ve tane boyutu gibi özellikler esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Kimyasal reaktif kullanımının sınırlı olması veya hiç kullanılmaması nedeniyle fiziksel ayırma yöntemleri, cevher zenginleştirme tesislerinde yaygın olarak tercih edilen uygulamalar arasında yer almaktadır.

Fiziksel ayırma yöntemlerinin etkinliği; cevherin mineralojik yapısı, serbestleşme derecesi, tane boyutu dağılımı ve mineraller arasındaki fiziksel özellik farklılıklarının belirginliğine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle cevher karakterizasyon çalışmalarının doğru şekilde yapılması, uygun ayırma yönteminin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Uygulamada daha yüksek kazanım ve verim elde edebilmek amacıyla gravite, manyetik ve elektrostatik ayırma gibi yöntemler çoğu zaman birbirini tamamlayacak şekilde birlikte kullanılmakta ve çok aşamalı zenginleştirme akımları oluşturulmaktadır.

Gravite Ayırma: İri mineral tanelerinin özgül ağırlık farklılıkları nedeniyle akışkan bir ortamda birbirinden ayrıldığı zenginleştirme, ‘gravite zenginleştirme’ olarak bilinir (Karaca, 2010; Er, 2025).

Başka bir ifadeyle gravite ayırma, mineraller arasındaki yoğunluk farklarından yararlanılarak gerçekleştirilen ve tarihsel olarak en eski zenginleştirme yöntemlerinden biri olarak kabul edilen bir fiziksel ayırma tekniğidir (Er, 2025). Bu yöntemde ağır mineraller, hafif minerallere kıyasla farklı hareket davranışı gösterdiğinden ayırıştırma işlemi mümkün olmaktadır. Gravite ayırma işlemlerinde jigler, sallantılı masalar ve spiraller gibi ekipmanlar kullanılmakta olup özellikle altın, tungsten ve kalay gibi yüksek yoğunluğa sahip minerallerin kazanımında etkin sonuçlar vermektedir (Wills ve Finch, 2016).

Gravite ayırma prensibi, mineral tanelerinin su veya hava gibi akışkan bir ortam içerisindeki hareket davranışlarının yoğunluk farklılıklarına bağlı olarak değişmesine dayanır. Bu doğrultuda, tanelerin yerçekimi ve akışkan direnç kuvvetleri altında farklı hızlarda hareket etmesi sağlanarak ayırım gerçekleştirilir. Uygulamada jigler, sallantılı masalar, spiraller ve yoğun ortam ayırıcıları gibi ekipmanlar kullanılarak proses yürütülmektedir (Fuerstenau ve Han, 2003; Er, 2025).



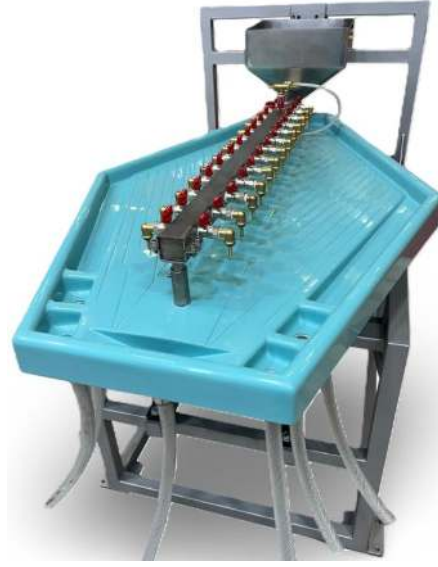
Şekil 3. Gravite ayırma yöntemi

Jig ayırma: Mineral tanelerinin su içerisinde pulsasyon (yukarı-aşağı hareket) etkisiyle farklı yoğunluklarına göre sınıflandırılmasına dayanan bir gravite zenginleştirme tekniğidir. Bu yöntem özellikle iri taneli cevherlerde etkin olup, ağır minerallerin akışkan ortam içerisindeki farklı hareket davranışları sayesinde gang minerallerinden ayrılmasını mümkün kılmaktadır (Er, 2025). Şekil 4’ te Jig ayırma yönteminde kullanılan ekipmana ait görsel verilmektedir.



Şekil 4. Jig ayırma yönteminde kullanılan ekipman (Forui Mining, t.y.)

Sallantılı masa yöntemi: Daha ince taneli malzemelerin eğimli ve titreşimli bir yüzey üzerinde yoğunluk farkına bağlı olarak ayrılmasını sağlayan bir diğer gravite ayırma tekniğidir (Er, 2025). Bu yöntem, özellikle altın, volframit ve kasiterit gibi değerli minerallerin kazanımında yüksek seçicilik sağlaması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 5’ te Sallantılı masa ayırma yönteminde kullanılan ekipmana ait görsel verilmektedir.



Şekil 5. Sallantılı masa ayırma yönteminde kullanılan ekipman (Ünal Mühendislik, t.y.)

Spiral ayırıcılar: Düşük işletme maliyetleri ve yüksek kapasite ile çalışabilme özellikleri sayesinde endüstride yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu sistemler özellikle kömür ve demir cevheri zenginleştirme proseslerinde tercih edilmekte olup, yoğunluk farkına dayalı sürekli bir ayırma mekanizması sunmaktadır. Şekil 6’ da Spiral ayırma yönteminde kullanılan ekipmana ait görsel verilmektedir.



Şekil 6. Spiral ayırıcılar ile ayırma yönteminde kullanılan ekipmana (Alibaba, t.y.).

Yoğun ortam ayırma (Dense Media Separation - DMS) yöntemi: Belirli bir yoğunluğa sahip sıvı veya süspansiyon ortam kullanılarak gerçekleştirilen bir gravite ayırma tekniğidir. Bu yöntemde, ortam yoğunluğundan düşük olan mineraller yüzeye

doğru hareket ederken, daha yüksek yoğunluğa sahip mineraller batma davranışı göstererek ayrıştırılmaktadır (Fuerstenau ve Han, 2003).



Şekil 7. Yoğun ortam ayırma yönteminde kullanılan ekipman (Metallurgist, 15 Mayıs 2026).

Gravite ayırma yöntemi, çevre dostu ve düşük maliyetli bir işlem olması nedeniyle birçok madencilik operasyonunda tercih edilmektedir. Ancak, çok ince taneli minerallerin ayrılmasında verimi düşüktür ve bu yüzden genellikle flotasyon veya manyetik ayırma gibi yöntemlerle birlikte kullanılmaktadır.

Manyetik Ayırma: Manyetik ayırma, minerallerin manyetik özelliklerindeki farklılıklardan yararlanılarak gerçekleştirilen fiziksel bir cevher zenginleştirme yöntemidir. Bu yöntem, özellikle manyetit, hematit, ilmenit, kromit ve volframit gibi manyetik veya paramanyetik karakter gösteren minerallerin, manyetik özellik taşımayan gang minerallerinden ayrılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Gupta ve Yan, 2016; Budak, 2024). İşlemin temel prensibi, minerallerin uygulanan manyetik alana karşı gösterdikleri farklı tepkilere dayanmaktadır. Bu kapsamda mineraller ferromanyetik, paramanyetik ve diyamanyetik özelliklerine göre ayrıştırılabilmekte olup, yöntem özellikle demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde önemli bir kullanım alanına sahiptir (Çelik, 2014).

Manyetik ayırma işlemleri, kullanılan manyetik alan şiddetine bağlı olarak düşük yoğunluklu manyetik ayırma (LIMS) ve yüksek yoğunluklu manyetik ayırma (HIMS) olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Düşük yoğunluklu manyetik ayırma yöntemi, manyetit gibi yüksek manyetik duyarlılığa sahip minerallerin ayrılmasında tercih edilirken; yüksek yoğunluklu manyetik ayırma yöntemi, hematit, ilmenit ve volframit gibi daha düşük manyetik özellik gösteren minerallerin kazanılmasında kullanılmaktadır.

Uygulama şekline göre ise manyetik ayırma işlemleri kuru ve ıslak olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir. Kuru manyetik ayırma genellikle iri taneli cevherlerin zenginleştirilmesinde kullanılırken, ıslak manyetik ayırma yöntemi ince taneli minerallerin ayrılmasında daha yüksek verimlilik sağlamaktadır. Özellikle ince boyutlu cevherlerin işlenmesinde, minerallerin süspansiyon hâlinde hareket etmesi ayırım etkinliğini artırmakta ve daha başarılı zenginleştirme sonuçları elde edilmesine olanak tanımaktadır (Gupta ve Yan, 2016; Burat, 2017; Budak, 2024).

Manyetik ayırma yöntemi, kimyasal reaktif kullanımına ihtiyaç duymaması, düşük işletme maliyetine sahip olması ve çevresel etkilerinin diğer birçok zenginleştirme yöntemine göre daha sınırlı olması nedeniyle madencilik sektöründe yaygın olarak tercih edilmektedir. Süreç boyunca kimyasal madde kullanımının minimum düzeyde olması hem işletme maliyetlerinin azaltılmasına hem de çevresel yükün düşürülmesine katkı sağlamaktadır (Gupta ve Yan, 2016; Burat, 2017, Budak, 2024).

Teknolojik gelişmelerle birlikte manyetik ayırma sistemlerinin etkinliği önemli ölçüde artmıştır. Özellikle yüksek gradyanlı manyetik ayırıcıların (HGMS) ve güçlü manyetik alan oluşturabilen nadir toprak mıknatıslarının kullanılması, düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu teknolojiler sayesinde düşük manyetik duyarlılığa sahip minerallerin ayrılması kolaylaşmakta, böylece zenginleştirme verimi ve metal kazanım oranları yükselmektedir (Çelik, 2014).

Eleme: Cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinde malzemelerin tane boyutlarına göre sınıflandırılmasını sağlayan mekanik bir ayırma yöntemidir. Bu işlem genellikle kırma ve öğütme aşamalarından sonra uygulanmakta olup, farklı boyutlardaki tanelerin birbirinden ayrılarak sonraki proseslere uygun şekilde yönlendirilmesini amaçlamaktadır. Tane boyutuna dayalı bir sınıflandırma işlemi olan eleme, özellikle iri taneli cevherlerin ayrılmasında etkili sonuçlar vermektedir. Buna karşılık, çok ince taneli malzemelerin sınıflandırılmasında eleme işleminin verimi azaldığından, bu tür uygulamalarda hidrosiklonlar veya çöktürmeye dayalı sınıflandırma yöntemleri daha yaygın olarak tercih edilmektedir (Gupta ve Yan, 2016).

Eleme işlemleri uygulama şekline göre kuru eleme ve ıslak eleme olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Kuru eleme yöntemi, çoğunlukla iri boyutlu ve düşük nem içeriğine sahip malzemelerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Islak eleme ise ince taneli, nemli veya yüksek miktarda toz içeren malzemelerin daha etkin şekilde ayrılabilmesi amacıyla su kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Su ilavesi sayesinde

eleme yüzeyinde meydana gelebilecek tıkanmalar azaltılmakta ve ayırma verimi artırılmaktadır (Wills ve Finch, 2016; Gupta ve Yan, 2016).

Cevher hazırlama tesislerinde eleme işlemleri; titreşimli elekler, dairesel hareketli elekler, trommel elekler ve statik elekler gibi farklı ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler arasında titreşimli elekler, yüksek kapasite ve verimlilik sağlamaları nedeniyle en yaygın kullanılan ekipmanlar arasında yer almaktadır. Elek yüzeyine uygulanan titreşim hareketi, malzemenin daha hızlı ilerlemesini ve uygun tane boyutuna sahip parçacıkların elek açıklıklarından geçmesini kolaylaştırarak sınıflandırma performansını artırmaktadır (Wills ve Finch, 2016; Gupta ve Yan, 2016).

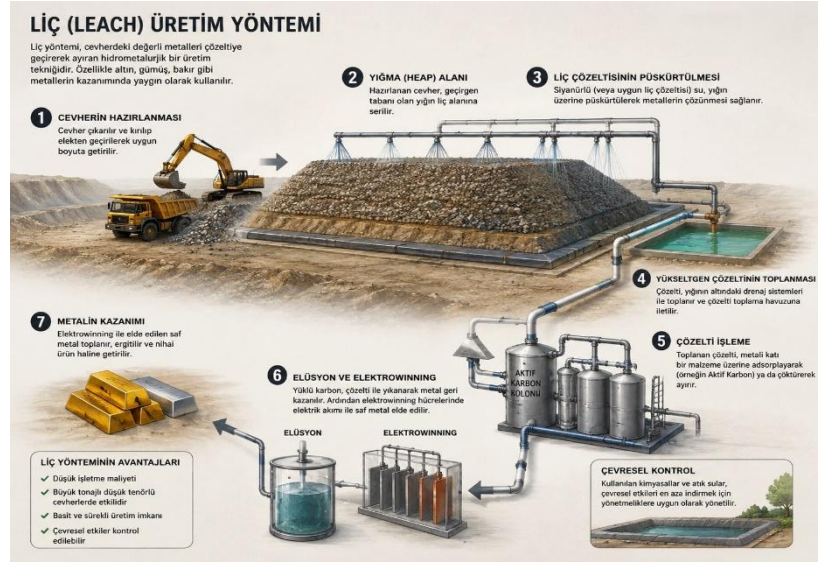
Eleme işlemi, cevher hazırlama süreçlerinde yalnızca bir sınıflandırma yöntemi olmanın ötesinde, tesis verimliliğini doğrudan etkileyen önemli bir operasyon olarak değerlendirilmektedir. Kırma ve öğütme ünitelerine gereksiz yük gitmesini önleyerek enerji tüketiminin azaltılmasına katkı sağlamakta, aynı zamanda farklı tane boyutundaki minerallerin uygun zenginleştirme yöntemlerine yönlendirilmesine olanak tanımaktadır (Wills ve Finch, 2016; Gupta ve Yan, 2016). Günümüzde gelişmiş sensör ve otomasyon sistemleriyle desteklenen modern eleme ekipmanları, proses kontrolünün daha etkin yürütülmesini sağlayarak hem sınıflandırma verimini artırmakta hem de işletme maliyetlerinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır.

2.8. Kimyasal Ayırma Yöntemleri

Kimyasal ayırma yöntemleri, cevher içerisinde bulunan değerli minerallerin çeşitli kimyasal reaksiyonlar veya elektrokimyasal süreçler yardımıyla gang minerallerinden ayrılmasını sağlayan zenginleştirme teknikleridir. Bu yöntemler, özellikle düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak değerlendirilebilmesine olanak tanınması nedeniyle madencilik ve metalurji sektöründe önemli bir yere sahiptir. Altın, bakır, çinko, nikel ve uranyum gibi metallerin üretiminde yaygın olarak kullanılan kimyasal ayırma yöntemleri, fiziksel zenginleştirme teknikleriyle yeterli verim elde edilemeyen cevherlerin işlenmesinde etkili sonuçlar vermektedir (Habashi, 1999; Aydın, vd., 2021).

Kimyasal zenginleştirme süreçleri arasında liç, çözücü ekstraksiyon, iyon değişimi ve elektrokazanım gibi çeşitli yöntemler yer almaktadır (Budak, 2024). Bu yöntemlerin temel amacı, cevher bünyesindeki değerli metal veya mineralleri seçici olarak çözündürmek ve daha sonra uygun işlemlerle geri kazanmaktır. Kullanılacak yöntemin seçimi; cevherin mineralojik yapısına, metal içeriğine ve ekonomik koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Aydın, vd., 2021).

Kimyasal ayırma yöntemleri içerisinde en yaygın uygulamalardan biri olan liç işlemi, değerli metallerin uygun kimyasal çözücüler yardımıyla katı fazdan sıvı faza aktarılması esasına dayanmaktadır. Bu süreçte asitler, bazlar veya kompleks oluşturu kimyasal reaktifler kullanılarak metal iyonlarının çözünmesi sağlanmaktadır. Böylece cevher içerisindeki değerli bileşenler çözelti ortamına alınmakta ve sonraki saflaştırma aşamalarında geri kazanılabilmektedir (Aydın, vd., 2021). Şekil 8’ de liç üretim yöntemine ait görsel verilmektedir.



Şekil 8. Liç üretim yöntemi

Altın ve gümüş üretiminde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri siyanür liçidir (Ahlatçı, vd., 2017). Bu yöntemde siyanür çözeltileri kullanılarak değerli metallerin çözünmesi sağlanmakta ve metal kazanım verimi artırılmaktadır. Bakır, nikel ve benzeri metallerin üretiminde ise genellikle asidik liç yöntemleri tercih edilmektedir (Ahlatçı, vd., 2017). Bu yöntemlerde sülfürik asit gibi kimyasallar kullanılarak metal içeren mineraller çözündürülmekte ve metal iyonları çözelti fazına geçirilmektedir (Marsden ve House, 2006).

Liç işlemi sonucunda elde edilen yüklü çözeltilerden değerli metallerin ayrılması ve saflaştırılması amacıyla çözücü ekstraksiyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, çözelti içerisinde bulunan metal iyonları seçici özellik gösteren organik çözücüler yardımıyla ayrılarak farklı bir faza aktarılmaktadır. Çözücü ekstraksiyon, yüksek seçiciliğe sahip olması ve yüksek saflıkta ürün elde edilmesine olanak sağlaması nedeniyle özellikle bakır, uranyum ve nadir toprak elementlerinin geri kazanımında yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca bu yöntem, sonraki metal kazanım

aşamalarının verimliliğini artırarak proses performansına önemli katkılar sağlamaktadır (Wills ve Finch, 2016; Gupta ve Yan, 2016).

Kimyasal ayırma süreçlerinde kullanılan bir diğer yöntem ise iyon değişimidir. Bu yöntem, çözeltide bulunan metal iyonlarının özel olarak tasarlanmış katyon veya anyon değiştirici reçineler tarafından tutulması ve daha sonra uygun işlemlerle geri kazanılması esasına dayanmaktadır. İyon değişim teknolojisi, özellikle düşük konsantrasyonda bulunan metal iyonlarının seçici olarak ayrılmasında yüksek verim sağlamaktadır. Bu nedenle altın, platin ve diğer değerli metallerin saflaştırılması ve geri kazanılmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Wills ve Finch, 2016; Gupta ve Yan, 2016).

Kimyasal ayırma süreçlerinin son aşamalarından biri olan elektrokazanım yöntemi ise çözeltide bulunan metal iyonlarının elektrik akımı yardımıyla katı metal formunda elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde metal iyonları, elektrolitik hücre içerisinde katot yüzeyinde indirgenerek yüksek saflıkta metal olarak çöktürülmektedir. Elektrokazanım işlemi, özellikle bakır, çinko ve gümüş üretiminde yaygın olarak kullanılmakta olup, yüksek metal saflığı sağlaması nedeniyle hidrometalurjik süreçlerin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır (Habashi, 1999; Gupta ve Yan, 2016).

Kimyasal ayırma yöntemleri, düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak değerlendirilebilmesine olanak sağlaması ve yüksek metal geri kazanım oranları sunması bakımından madencilik sektöründe önemli avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte, süreçlerde kullanılan kimyasal reaktiflerin çevre ve insan sağlığı üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkiler nedeniyle atık yönetimi ve çevresel kontrol uygulamaları büyük önem taşımaktadır. Özellikle siyanür, asitler ve çeşitli organik çözücülerin kullanıldığı proseslerde, oluşan atıkların güvenli şekilde bertaraf edilmesi sürdürülebilir madencilik uygulamalarının temel gerekliliklerinden biri olarak kabul edilmektedir (Wills ve Napier-Munn, 2006).

2.8.1. Flotasyon Zenginleştirilmesi

Flotasyon, gravimetrik yöntemlerle etkin şekilde zenginleştirilemeyen ince taneli cevherlerin, fiziko-kimyasal prensiplerden yararlanılarak köpük fazı aracılığıyla ayrıştırıldığı bir konsantrasyon yöntemidir (Karaca, 2010; Nacak, 2025). Günümüzde flotasyon, minerallerin yüzey özelliklerindeki farklılıklardan yararlanılarak gerçekleştirilen en yaygın cevher zenginleştirme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle bakır, çinko, kurşun, altın ve molibden gibi sülfürlü cevherlerin

yanı sıra feldspat, fluorit ve kömür gibi endüstriyel minerallerin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Akçil vd., 2020; Nacak, 2025).

Flotasyon yönteminin temel prensibi, belirli minerallerin yüzey özelliklerinin kimyasal reaktifler yardımıyla değiştirilerek hava kabarcıklarına tutunmalarının sağlanmasına dayanmaktadır. Bu işlem sırasında cevher-su karışımı içerisine verilen hava kabarcıkları, hidrofobik özellik kazandırılan mineralleri yüzeye taşımakta ve oluşan köpük tabakasında toplanmalarını sağlamaktadır. Hidrofilik özellik gösteren mineraller ise sıvı faz içerisinde kalarak ayrılmaktadır (Nacak, 2025; Özçelik, 2025). Böylece değerli mineraller ile gang mineralleri arasında etkin bir ayırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Flotasyon sürecinde kullanılan kimyasal reaktifler, işlemin başarısını doğrudan etkileyen önemli bileşenlerdir (Nacak, 2025; Özçelik, 2025). Bu reaktifler genel olarak toplayıcılar, köpürtücüler ve bastırıcılar olmak üzere üç temel grupta değerlendirilmektedir. Toplayıcılar, hedef minerallerin yüzey özelliklerini değiştirerek hava kabarcıklarına bağlanmalarını sağlarken; köpürtücüler, köpük tabakasının kararlılığını artırarak minerallerin yüzeye taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Bastırıcılar ise istenmeyen minerallerin yüzdürülmesini engelleyerek seçiciliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır (Bulatovic, 2007).

Flotasyon işlemi, cevherin özelliklerine ve proses gereksinimlerine bağlı olarak farklı yöntemlerle uygulanabilmektedir. Köpüklü flotasyon, metal sülfür cevherlerinin zenginleştirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir (Nacak, 2025; Özçelik, 2025). Kolon flotasyonu ise özellikle düşük tenörlü cevherlerde daha yüksek ayırma verimi ve daha temiz konsantre elde edilmesi amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir (Nacak, 2025; Özçelik, 2025). Ters flotasyon yönteminde ise gang mineralleri köpük fazında toplanırken değerli mineraller çöken fazda bırakılmaktadır. Bu yöntem özellikle demir cevherlerinin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Nacak, 2025; Özçelik, 2025).

Flotasyon yönteminin en önemli avantajlarından biri, düşük tenörlü ve karmaşık yapılı cevherlerden dahi yüksek verimle metal kazanımına olanak sağlamasıdır. Ayrıca yüksek seçicilik özelliği sayesinde birbirine yakın fiziksel özelliklere sahip minerallerin ayrılmasında etkili sonuçlar vermektedir. Bu özellikleri nedeniyle flotasyon, modern cevher hazırlama tesislerinin vazgeçilmez proseslerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, flotasyon işlemlerinde kullanılan çeşitli kimyasal reaktifler çevresel açıdan bazı riskler oluşturabilmektedir. Özellikle proses sularının yönetimi, atık depolama faaliyetleri ve kimyasal kalıntıların kontrolü sürdürülebilir madencilik uygulamaları açısından önem taşımaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde cevher zenginleştirme süreçleri, madencilik sektöründe ekonomik değeri düşük cevherlerin değerlendirilmesine olanak sağlayarak kaynakların daha verimli kullanılmasına katkıda bulunmaktadır. Değerli minerallerin gang minerallerinden ayrılması ve yüksek tenörlü konsantrelerin elde edilmesi, hem metal kazanım veriminin artırılmasını hem de sonraki metalurjik işlemlerin daha ekonomik şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. Bu nedenle cevher özelliklerine uygun zenginleştirme yöntemlerinin seçilmesi, işletme verimliliği, ekonomik sürdürülebilirlik ve çevresel performans açısından büyük önem taşımaktadır.

2.9. Cevher Zenginleştirme Tesislerinde Kullanılan Kimyasal Maddeler

Cevher zenginleştirme tesislerinde minerallerin ekonomik değere sahip bileşenlerinin ayrılması ve veriminin artırılması amacıyla çok sayıda kimyasal madde kullanılmaktadır. Özellikle flotasyon, liç ve çöktürme gibi zenginleştirme yöntemlerinde kullanılan kimyasallar, süreç performansının belirlenmesinde kritik bir role sahiptir. Kullanılan bu maddeler, minerallerin fizikokimyasal özelliklerini değiştirerek ayırma işlemlerinin daha etkin şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır (Nacak, 2025; Özçelik, 2025).

Flotasyon proseslerinde yaygın olarak kullanılan kimyasallar; toplayıcılar, köpürtücüler, bastırıcılar ve pH düzenleyicilerden oluşmaktadır (Nacak, 2025; Özçelik, 2025). Toplayıcılar, belirli minerallerin yüzey özelliklerini değiştirerek hidrofobik özellik kazanmalarını sağlamak ve böylece hava kabarcıklarına tutunarak köpük fazına taşınmalarına yardımcı olmaktadır (Nacak, 2025; Özçelik, 2025). Köpürtücüler ise flotasyon hücrelerinde oluşan hava kabarcıklarının kararlılığını artırarak mineral taşınmasını kolaylaştırmaktadır (Nacak, 2025; Özçelik, 2025). Bastırıcılar, istenmeyen minerallerin yüzdürülmesini engelleyerek prosesin seçiciliğini artırırken, pH düzenleyiciler ortamın kimyasal dengesini kontrol altında tutarak flotasyon veriminin yükseltilmesine katkı sağlamaktadır (Leja, 1982; Bulatovic, 2007; Özçelik, 2025).

Kimyasal zenginleştirme yöntemlerinden biri olan liç işlemlerinde ise cevher içerisindeki değerli metaller uygun çözücüler yardımıyla çözünür hâle getirilmektedir (Nacak, 2025; Özçelik, 2025). Altın ve gümüş üretiminde yaygın olarak kullanılan sodyum siyanür (NaCN), değerli metallerle kompleks bileşikler oluşturarak çözünmelerini sağlamaktadır. Bakır cevherlerinin değerlendirilmesinde ise çoğunlukla sülfürik asit (H_2SO_4) kullanılmakta ve metal iyonlarının çözelti fazına geçirilmesi hedeflenmektedir (Nacak, 2025; Özçelik, 2025). Bu yöntemler, özellikle düşük tenörlü

cevherlerden ekonomik metal kazanımının mümkün hâle gelmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Marsden ve House, 2006; Özçelik, 2025).

Cevher zenginleştirme faaliyetlerinde yalnızca üretim süreçlerinde değil, atık yönetimi aşamalarında da çeşitli kimyasallardan yararlanılmaktadır. Zenginleştirme işlemleri sonrasında ortaya çıkan ince taneli atıkların çöktürülmesi ve proses suyundan ayrılması amacıyla flokülant ve koagülant gibi kimyasallar kullanılmaktadır (Özçelik, 2025). Bu maddeler, askıda bulunan ince partiküllerin bir araya gelerek çökmesini sağlamak ve hem su geri kazanımını kolaylaştırmakta hem de atık depolama süreçlerinin daha etkin yürütülmesine katkıda bulunmaktadır (Marsden ve House, 2006).

Bununla birlikte, cevher zenginleştirme tesislerinde kullanılan kimyasal maddeler çeşitli iş sağlığı ve güvenliği ile çevre risklerini de beraberinde getirmektedir. Özellikle siyanür, sülfürik asit, ksantatlar ve çeşitli organik reaktifler; çalışanlar açısından toksik etkiler oluşturabilmekte, uygun şekilde yönetilmediğinde çevresel kirlenmeye neden olabilmektedirler. Bu maddelere maruziyet; solunum sistemi rahatsızlıkları, cilt ve göz irritasyonları, kimyasal yanıklar ile akut veya kronik zehirlenmelere yol açabilmektedir. Ayrıca kimyasal sızıntılar ve atıkların kontrolsüz şekilde çevreye verilmesi durumunda toprak, yüzey suyu ve yer altı su kaynakları olumsuz etkilenebilmektedir (Lottermoser, 2011). Bu nedenle cevher zenginleştirme tesislerinde kullanılan tüm kimyasalların güvenli depolanması, taşınması ve kullanılması büyük önem taşımaktadır. Kimyasallara ilişkin malzeme güvenlik bilgi formlarının (MSDS) dikkate alınması, çalışanlara gerekli eğitimlerin verilmesi, uygun kişisel koruyucu donanımların kullanılması ve etkili havalandırma sistemlerinin kurulması maruziyet risklerinin azaltılmasında temel uygulamalar arasında yer almaktadır. Ayrıca kimyasal atıkların mevzuata uygun şekilde bertaraf edilmesi, atık su arıtma sistemlerinin etkin çalıştırılması ve çevresel izleme faaliyetlerinin düzenli olarak yürütülmesi sürdürülebilir madencilik uygulamalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır.

2.9.1. Sülfürik Asit (H_2SO_4)

Sülfürik asit (H_2SO_4), kuvvetli asidik özellik gösteren, renksiz, kokusuz ve yüksek derecede korozif yapıya sahip bir mineral asididir. Kimya endüstrisi başta olmak üzere gübre üretimi, metalurji, petrol rafinasyonu ve madencilik gibi birçok sektörde yaygın kullanım alanına sahiptir. Cevher zenginleştirme tesislerinde ise özellikle flotasyon işlemlerinde pH'ın istenen seviyede tutulması, mineral yüzey özelliklerinin

düzenlenmesi ve ayırma performansının artırılması amacıyla tercih edilmektedir (Habashi, 1999).

Sülfürik asidin su ile teması sonucunda yüksek miktarda ısı açığa çıkaran ekzotermik bir reaksiyon meydana gelmektedir. Bu özellik nedeniyle kimyasalın depolanması, taşınması ve proseslerde kullanımı sırasında özel güvenlik tedbirlerinin uygulanması zorunludur. Cilt ve göz ile doğrudan temas etmesi ciddi kimyasal yanıklara yol açabilirken, buharı veya aerosol formunun solunması solunum sistemi üzerinde tahriş edici ve zararlı etkilere neden olabilmektedir (NIOSH, 2023).

Madencilik faaliyetleri ile cevher zenginleştirme tesislerinde sülfürik asidin uygun şekilde kontrol edilmeden kullanılması; proses ekipmanlarında korozyon oluşumu, kimyasal sıçramalar, çalışanların tehlikeli kimyasallara maruz kalması ve çevresel kirlilik gibi önemli iş sağlığı ve güvenliği ile birlikte çevre risklerini de beraberinde getirebilmektedir. Bu nedenle sülfürik asidin kullanıldığı tüm süreçlerde mühendislik kontrollerinin etkin biçimde uygulanması, ekipmanların periyodik bakımının gerçekleştirilmesi, uygun standartlarda kişisel koruyucu donanımların kullanılması ve olası kimyasal kazalara yönelik acil durum planlarının hazırlanarak düzenli olarak güncellenmesi büyük önem taşımaktadır (OSHA, 2024).

2.9.2. AEROPHINE® 3418A Promoter

AEROPHINE® 3418A Promoter, cevher zenginleştirme tesislerinde flotasyon süreçlerinde kullanılan, modifiye ditiofosfinat esaslı ve yüksek seçiciliğe sahip bir kollektör reaktifidir. Bu kimyasal, özellikle altın, gümüş, bakır ve diğer sülfürlü minerallerin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mineral yüzeylerine seçici biçimde adsorbe olarak değerli minerallerin köpük fazına taşınmasını kolaylaştırmakta ve böylece ayırma verimini artırmaktadır. Ürünün temel aktif bileşeni sodyum diizobütil ditiofosfinat olup, flotasyon devrelerinde sağladığı yüksek seçicilik sayesinde elde edilen konsantrenin tenörünün ve proses performansının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Cytec Industries Inc., 2012).

AEROPHINE® 3418A'ya ait güvenlik bilgi formunda, ürünün ciltte tahrişe neden olabileceği, gözlerde ciddi hasar oluşturma riski taşıdığı ve uzun süreli maruziyet durumunda sucul ekosistemler üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle kimyasalın depolanması, taşınması ve proseslerde kullanımı sırasında uygun mühendislik kontrollerinin uygulanması, çalışanların uygun kişisel koruyucu donanımları kullanması ve kimyasalın çevreye kontrolsüz şekilde yayılmasının

önlenmesine yönelik gerekli tedbirlerin alınması iş sağlığı ve güvenliği ile çevre yönetimi açısından da büyük önem taşımaktadır (Cytex Industries Inc., 2012).

2.9.3. Sodyum Silikat (Na_2SiO_3)

Sodyum silikat (Na_2SiO_3), sodyum oksit ve silikanın birleşiminden oluşan, suda çözünür ve alkali özellik gösteren inorganik bir kimyasal bileşiktir. Endüstride yaygın olarak "su camı" adıyla bilinen bu madde; deterjan, seramik, kâğıt ve inşaat sanayilerinin yanı sıra madencilik sektöründe de geniş kullanım alanına sahiptir. Cevher zenginleştirme tesislerinde ise özellikle flotasyon proseslerinde gang minerallerinin bastırılması, ortam pH'ının düzenlenmesi ve mineral yüzey özelliklerinin kontrol edilmesi amacıyla kullanılan temel reaktiflerden biri olarak öne çıkmaktadır (Wills ve Finch, 2016).

Flotasyon uygulamalarında sodyum silikat, silikat esaslı gang mineralleri ile ince taneli kil minerallerinin yüzeylerine adsorbe olarak bu minerallerin köpük fazına taşınmasını engellemekte ve böylece değerli minerallerin daha seçici bir şekilde kazanılmasını sağlamaktadır. Bu seçici bastırma mekanizması sayesinde flotasyon veriminin artırılmasına katkıda bulunmakta ve cevher zenginleştirme süreçlerinde etkili bir depresan reaktifi olarak kullanılmaktadır (Bulatovic, 2007).

İş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirildiğinde, sodyum silikatın yüksek alkalilik özelliği nedeniyle cilt ve göz ile teması tahrişe yol açabilmekte, yüksek konsantrasyonlara veya uzun süreli maruziyete bağlı olarak ise kimyasal yanıklar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle kimyasalın depolanması, çözelti hazırlanması ve dozajlanması sırasında uygun kişisel koruyucu donanımların kullanılması, çalışma alanlarında göz duşu ve acil müdahale ekipmanlarının bulundurulması ile güvenli çalışma prosedürlerinin eksiksiz uygulanması büyük önem taşımaktadır.

2.9.4. Çinko Sülfat (ZnSO_4)

Çinko sülfat (ZnSO_4), çinko, kükürt ve oksijen elementlerinden oluşan, suda yüksek çözünürlüğe sahip inorganik bir tuzdur. Kimya, tarım, ilaç ve madencilik başta olmak üzere birçok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan bu bileşik, cevher zenginleştirme tesislerinde özellikle flotasyon proseslerinde aktivatör ve depresan reaktifi olarak kullanılmaktadır. Flotasyon uygulamalarındaki temel işlevi, minerallerin yüzey özelliklerini değiştirerek ayırma işleminin seçiciliğini ve verimini artırmaktır (Wills ve Finch, 2016).

Flotasyon devrelerinde çinko sülfat, özellikle sfalerit, pirit ve diğer sülfürlü minerallerin ayrıştırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Siyanür ve benzeri bastırıcı reaktiflerle birlikte kullanıldığında, pirit gibi istenmeyen sülfürlü minerallerin yüzdürülmesini baskılayarak değerli minerallerin daha etkin ve seçici bir şekilde kazanılmasına katkı sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde, cevher zenginleştirme proseslerinde ayırma performansını artıran temel flotasyon reaktiflerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Bulatovic, 2007).

İş sağlığı ve güvenliği açısından ele alındığında, çinko sülfatın toz veya çözelti formunda cilt, göz ve solunum sistemi üzerinde tahriş edici etkiler oluşturabileceği bilinmektedir. Yüksek düzeyde veya uzun süreli maruziyet, insan sağlığı üzerinde olumsuz sonuçlara yol açabilmekte; ayrıca çevresel açıdan özellikle sucul canlılar için toksik özellik gösterebilmektedir. Bu nedenle çinko sülfatın depolanması, çözelti hazırlanması ve dozajlanması sırasında uygun kişisel koruyucu donanımların kullanılması, yeterli havalandırma ve mühendislik kontrollerinin sağlanması ile kimyasalın çevreye kontrolsüz yayılımını önleyici tedbirlerin uygulanması büyük önem taşımaktadır (European Chemicals Agency, 2024).

2.10. Cevher Zenginleştirme Tesislerinde Kimyasal Risk Etmenleri

Kimyasal risk etmenleri, endüstriyel işletmelerde kullanılan kimyasal maddelerin çalışan sağlığı, çevre ve işletme güvenliği üzerinde olumsuz etkiler oluşturma potansiyeline sahip unsurları ifade etmektedir. Bu riskler; kimyasalların fiziksel, kimyasal ve toksikolojik özelliklerinin yanı sıra depolama, taşıma, transfer ve kullanım koşullarına bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir. Özellikle cevher zenginleştirme tesislerinde yaygın olarak kullanılan sülfürik asit, sodyum silikat, çinko sülfat gibi çeşitli flotasyon reaktifleri, kimyasal risklerin başlıca kaynaklarını oluşturmaktadır.

Kimyasal proseslerde kullanılan maddeler; korozyif, toksik, yanıcı, parlayıcı ve çevre açısından tehlikeli özellikleri nedeniyle proses güvenliği bakımından önemli riskler barındırmaktadır. Proses parametrelerinin kontrol dışına çıkması, ekipman bütünlüğünün bozulması, kimyasal sızıntılar, yangın ve patlamalar, çalışanların tehlikeli maddelere maruz kalması ile çevresel kirlilik gibi istenmeyen olayların meydana gelmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle kimyasal tehlikelerin sistematik bir yaklaşımla belirlenmesi, risk düzeylerinin değerlendirilmesi ve uygun mühendislik, idari ve kişisel koruyucu önlemlerin uygulanması, cevher zenginleştirme tesislerinde iş sağlığı ve güvenliğinin etkin şekilde sağlanmasının temel unsurlarından biridir (Lottermoser, 2010; ILO, 2015).

Genel olarak değerlendirildiğinde, kimyasal risk etmenleri endüstriyel tesisler, laboratuvarlar ve farklı üretim süreçlerinde kullanılan kimyasalların insan sağlığına, çevreye ve işletme güvenliğine yönelik oluşturduğu tehlikeleri kapsamaktadır. Bu risklerin düzeyi, kimyasal maddelerin fiziksel, toksikolojik ve ekotoksikolojik özelliklerine göre değişiklik gösterebilmekte olup, gerekli kontrol önlemlerinin alınmaması durumunda çalışanlar, işletme ve çevre açısından ciddi sağlık ve güvenlik sorunlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

2.10.1. Kimyasal Maddelerin Sınıflandırılması

Kimyasal maddelerin sınıflandırılması, bu maddelerin fiziksel, kimyasal, toksikolojik ve ekotoksikolojik özellikleri esas alınarak belirli tehlike sınıflarına ayrılması sürecini ifade etmektedir. Söz konusu sınıflandırma sistemi; kimya, mühendislik, çevre bilimleri ve iş sağlığı ve güvenliği alanlarında güvenli çalışma koşullarının oluşturulması ve sürdürülebilmesi açısından temel bir uygulama olarak kabul edilmektedir. Kimyasalların doğru biçimde sınıflandırılması; depolama, taşıma, kullanım ve bertaraf süreçlerinin planlı ve güvenli şekilde yürütülmesini sağlarken, çalışanların maruz kalabileceği risklerin azaltılmasına ve çevresel etkilerin etkin biçimde kontrol edilmesine katkıda bulunmaktadır (United Nations, 2023; ECHA, 2024).

Kimyasal maddeler, fiziksel durumları, kimyasal yapıları ve sahip oldukları tehlike özellikleri dikkate alınarak farklı sınıflar altında değerlendirilmektedir. Fiziksel özelliklerine göre katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç temel gruba ayrılan kimyasalların davranışları ve oluşturabilecekleri riskler bulundukları fiziksel faza göre değişmektedir. Katı maddeler belirli bir şekil ve hacme sahipken, sıvılar içinde bulundukları kabın şeklini almakta, gazlar ise bulundukları ortamın tamamına yayılabilmektedir. Kimyasal yapı bakımından ise maddeler genel olarak organik ve inorganik bileşikler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Karbon temelli bileşikler organik bileşikler grubunda değerlendirilirken, metaller, mineraller ve çeşitli tuzlar çoğunlukla inorganik bileşikler içerisinde yer almaktadır (Brown vd., 2018).

Kimyasal maddeler, tehlike özellikleri esas alınarak da sınıflandırılmaktadır. Bu kapsamda kimyasallar; yanıcı, patlayıcı, toksik, korozif ve çevre açısından tehlikeli maddeler gibi farklı kategoriler altında değerlendirilmektedir. Yanıcı ve patlayıcı özellik gösteren maddeler uygun koşulların oluşması halinde yangın veya patlama riski taşıırken, toksik maddeler kısa ya da uzun süreli maruziyet sonucunda insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Korozif maddeler canlı dokular ile metal

yüzeylerde aşındırıcı etki meydana getirirken, çevre için tehlikeli olarak sınıflandırılan kimyasallar özellikle sucul ekosistemlerde kalıcı ve zararlı sonuçlara neden olabilmektedir (United Nations, 2023; ECHA, 2024).

Kimyasal maddelerin sınıflandırılması ve etiketlenmesine ilişkin uygulamalar uluslararası kabul görmüş standartlar doğrultusunda yürütülmektedir. Bu kapsamda, Birleşmiş Milletler tarafından geliştirilen Küresel Uyumlaştırılmış Sistem (Globally Harmonized System-GHS), kimyasalların tehlike özelliklerine göre sınıflandırılmasını ve kullanıcıların standart bir biçimde bilgilendirilmesini amaçlamaktadır. Avrupa Birliği'nde bu sistem CLP Tüzüğü (Classification, Labelling and Packaging Regulation) kapsamında uygulanırken, Türkiye'de ise Kimyasalların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması Hakkında Yönetmelik ile GHS esaslarına uyumlu bir şekilde yürürlüğe konulmuştur (United Nations, 2023; European Chemicals Agency [ECHA], 2024).

Kimyasal maddelerin doğru şekilde sınıflandırılması ve uygun biçimde etiketlenmesi, güvenli depolama, taşıma, kullanım ve bertaraf süreçlerinin etkin olarak yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Bunun yanında çalışanların kimyasal maddelere maruziyetinin azaltılması, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesi ile çevresel etkilerin en aza indirilmesi açısından da kritik bir işleve sahiptir. Özellikle yanıcı, patlayıcı, toksik ve koroziv özellik taşıyan kimyasalların ulusal ve uluslararası mevzuata uygun şekilde yönetilmesi, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Crowl ve Louvar, 2019).

2.10.2. Kimyasal Risk Etmenlerinin Belirlenmesi

Kimyasal risk etmenlerinin belirlenmesi, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin temel bileşenlerinden birini oluşturmaktadır. Endüstriyel tesislerde, laboratuvarlarda ve farklı üretim süreçlerinde kullanılan kimyasal maddeler; çalışanların sağlığı, çevresel değerler ve proses güvenliği üzerinde çeşitli tehlikeler meydana getirebilmektedir. Bu nedenle kimyasal risklerin sistematik bir yaklaşımla tanımlanması, analiz edilmesi ve uygun kontrol önlemleriyle yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Kimyasal risk değerlendirmelerinde; kimyasal maddelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, toksikolojik profilleri, maruziyet yolları, kullanım miktarları ve çevresel etkileri birlikte dikkate alınarak kapsamlı bir değerlendirme yapılmaktadır (Crowl ve Louvar, 2019).

Kimyasal tehlikelerin belirlenmesi sürecinde, toksik, yanıcı, patlayıcı, koroziv ve çevre açısından zararlı özellik taşıyan maddeler öncelikli olarak değerlendirilmektedir.

Uygun mühendislik ve yönetsel kontrollerin bulunmadığı durumlarda bu tür kimyasallar; iş kazaları, meslek hastalıkları ve çevresel kirlilik gibi önemli olumsuzluklara neden olabilmektedir. Bu kapsamda güvenlik bilgi formlarının (GBF/SDS) incelenmesi, mesleki maruziyet sınır değerlerinin değerlendirilmesi ve çalışma ortamındaki potansiyel tehlike kaynaklarının belirlenmesi, kimyasal risk yönetiminin temel aşamaları arasında yer almaktadır (United Nations, 2023; ECHA, 2024).

Kimyasal risklerin analizinde farklı risk değerlendirme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bunlardan Fine-Kinney yöntemi, tehlikeleri meydana gelme olasılığı, maruziyet sıklığı ve olası sonuçların şiddeti parametrelerini esas alarak sayısal olarak değerlendirmeye olanak sağlamaktadır. HAZOP (Hazard and Operability Study) yöntemi ise proseslerde meydana gelebilecek sapmaları sistematik biçimde analiz ederek bu sapmaların oluşturabileceği tehlikelerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Özellikle madencilik, kimya ve metal sanayisinde yaygın olarak kullanılan bu yöntemler, risklerin öncelik sırasına göre değerlendirilmesi ve uygun kontrol tedbirlerinin belirlenmesinde etkili araçlar olarak kabul edilmektedir (Kinney ve Wiruth, 1976; Kletz, 2009).

Kimyasal maddelerin insan sağlığı üzerindeki etkileri, risk değerlendirme çalışmalarının en önemli bileşenlerinden biridir. Kimyasallara uzun süreli veya yüksek düzeyde maruz kalınması; solunum sistemi hastalıkları, cilt ve göz irritasyonları, nörolojik bozukluklar, üreme sistemi üzerinde olumsuz etkiler ve çeşitli kanser türleri gibi ciddi sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Örneğin, benzen gibi bazı uçucu organik bileşiklerin kanserojen özellik taşıdığı, asbest liflerinin ise akciğer hastalıkları ve mezotelyoma ile güçlü bir ilişki içerisinde olduğu bilinmektedir. Benzer şekilde kurşun, cıva ve kadmiyum gibi ağır metallerin sinir sistemi üzerinde toksik etkilere sahip olduğu ve uzun süreli maruziyet durumunda kalıcı sağlık sorunlarına yol açabildiği bildirilmektedir (IARC, 2024; NIOSH, 2023).

Kimyasal risklerin değerlendirilmesinde yalnızca çalışan sağlığına yönelik etkiler değil, çevresel sonuçlar da dikkate alınmalıdır. Endüstriyel faaliyetler sonucunda oluşan kimyasal atıklar, ağır metaller ve diğer kirleticiler; su, hava ve toprak kalitesini olumsuz yönde etkileyerek ekosistemlerin doğal dengesini bozabilmektedir. Bu kirleticiler, biyolojik birikim ve biyobüyütme süreçleri yoluyla canlı organizmalar üzerinde uzun vadeli çevresel etkiler oluşturabilmektedir. Bu nedenle kirleticiler kaynaklarının belirlenmesi, çevresel izleme çalışmalarının yürütülmesi ve etkin kontrol tedbirlerinin uygulanması, sürdürülebilir çevre yönetiminin temel gereklilikleri arasında

yer almaktadır (Lottermoser, 2010). Sonuç olarak, kimyasal risk etmenlerinin doğru ve sistematik biçimde belirlenmesi; çalışanların sağlık ve güvenliğinin korunması, iş kazaları ile meslek hastalıklarının önlenmesi ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. İşletmelerde düzenli risk değerlendirmelerinin gerçekleştirilmesi, kimyasal maruziyetlerin sürekli izlenmesi, çalışanların kimyasal güvenlik konusunda bilinçlendirilmesi ve kimyasalların ulusal ve uluslararası mevzuata uygun şekilde yönetilmesi, kimyasal kaynaklı tehlikelerin etkin biçimde kontrol altına alınmasına önemli katkı sağlamaktadır.

2.10.3. Kimyasalların Maruziyet Yolları Ve Sağlık Üzerindeki Etkileri

Kimyasal maddelerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde; maddenin fiziksel formu, kimyasal özellikleri, vücuda giriş yolu, maruziyet süresi, maruziyet sıklığı ve bireylerin duyarlılık düzeyi gibi çeşitli faktörler dikkate alınmaktadır. Aynı kimyasal madde, maruziyet koşullarındaki farklılıklara bağlı olarak farklı şiddette sağlık etkileri oluşturabilmektedir. Bu nedenle kimyasal risk değerlendirmelerinde yalnızca kimyasalın tehlike özelliklerinin belirlenmesi yeterli olmayıp, çalışanların maruziyet düzeylerinin de ayrıntılı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir (Özkılıç, 2005).

Kimyasal maddeler insan vücuduna temel olarak solunum, deri teması ve sindirim yoluyla girebilmektedir. Çalışma ortamlarında bulunan toz, gaz, buhar ve aerosoller, solunum yoluyla alınarak başta solunum sistemi olmak üzere çeşitli organ ve sistemler üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra bazı kimyasallar deri yoluyla emilmekte, hijyen kurallarına uyulmaması durumunda ise kontamine gıda ve içecekler aracılığıyla sindirim sistemi üzerinden vücuda ulaşabilmektedir. Maruziyet süresinin uzaması ve maruziyet yoğunluğunun artması, kimyasalların insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin ortaya çıkma olasılığını ve şiddetini artırmaktadır (Bilir ve Yıldız, 2014).

Kimyasal maddelere uzun süreli veya yüksek konsantrasyonlarda maruz kalınması; solunum sistemi hastalıkları, dermatolojik rahatsızlıklar, nörolojik bozukluklar, üreme sistemi üzerinde olumsuz etkiler ve çeşitli kanser türleri gibi ciddi sağlık sorunlarının gelişmesine neden olabilmektedir. Özellikle ağır metaller, uçucu organik bileşikler ve bazı endüstriyel kimyasalların vücutta birikme eğiliminde olmaları, kronik toksik etkilere yol açabilmektedir. Ayrıca çocuklar, yaşlı bireyler ve gebeler, fizyolojik özellikleri nedeniyle kimyasal maddelerin zararlı etkilerine karşı

daha duyarlı risk grupları arasında değerlendirilmektedir (Bilir ve Yıldız, 2014; Süzen, 2017).

Kimyasal maruziyetin en aza indirilmesi amacıyla çalışma ortamlarında uygun mühendislik kontrollerinin uygulanması, etkili havalandırma sistemlerinin kullanılması, uygun kişisel koruyucu donanımların temin edilmesi ve düzenli ortam ölçümlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte çalışanların kimyasal riskler konusunda düzenli eğitimlerle bilinçlendirilmesi, güvenli çalışma prosedürlerinin uygulanması ve kimyasal yönetim sistemlerinin etkin şekilde yürütülmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca çevresel kirlenmenin önlenmesine yönelik tedbirlerin alınması ve güvenli kimyasal yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılması, yalnızca çalışan sağlığının korunmasına değil, aynı zamanda toplum sağlığının geliştirilmesi ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına da önemli katkılar sunmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, madencilik sektöründe faaliyet gösteren bir cevher zenginleştirme tesisinin üretim süreçleri esas alınarak kapsamlı bir risk değerlendirmesi gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, öncelikle üretim sürecine Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) yöntemi uygulanacak, süreç boyunca meydana gelebilecek potansiyel tehlikeler sistematik bir yaklaşımla belirlenerek olası proses sapmaları ayrıntılı biçimde analiz edilecektir. HAZOP analizi sonucunda belirlenen riskler; oluşum nedenleri, olası sonuçları ve mevcut kontrol önlemleri dikkate alınarak kapsamlı şekilde değerlendirilecektir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise aynı üretim sürecine Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemi uygulanacaktır. Bu yöntem kapsamında riskler; gerçekleşme olasılığı, maruziyet sıklığı ve olası sonuçların şiddeti parametreleri esas alınarak sayısal olarak değerlendirilecek ve risk düzeyleri belirlenecektir. Böylece HAZOP ve Fine-Kinney yöntemlerinden elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak incelenecek; her iki yöntemin risklerin belirlenmesi, sınıflandırılması ve önceliklendirilmesi konusundaki yaklaşımları ile ortaya koydukları farklılıklar değerlendirilecektir.

Araştırmada ayrıca belirlenen risklerin üretim süreci, operasyonel faaliyetler ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliği üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak analiz edilecektir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, incelenen tesis koşullarında hangi risk değerlendirme yönteminin daha etkin, uygulanabilir ve karar verme süreçlerine daha fazla katkı sağladığı tartışılacaktır. Bu karşılaştırmalı değerlendirme ile cevher zenginleştirme tesislerinde risk yönetimi uygulamalarına bilimsel bir bakış açısı kazandırılması, risk değerlendirme süreçlerinin daha sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasına katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

3.1. HAZOP Risk Analizi

HAZOP (Hazard and Operability Study), proses sistemlerinde ortaya çıkabilecek tehlikelerin ve işletme sorunlarının sistematik biçimde belirlenmesi amacıyla geliştirilmiş nitel bir risk değerlendirme yöntemidir. Bu yöntem, tasarım veya işletme aşamasında proses parametrelerinde meydana gelebilecek sapmaların nedenlerini, olası sonuçlarını ve mevcut kontrol mekanizmalarının yeterliliğini değerlendirme imkânı sunmaktadır. HAZOP çalışmaları, farklı disiplinlerden uzmanların katılımıyla

gerçekleştirilen ekip tabanlı bir analiz süreci olup, proses güvenliğinin geliştirilmesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Kletz, 2009).

İlk olarak kimya endüstrisindeki karmaşık proseslerin güvenliğini artırmak amacıyla geliştirilen HAZOP yöntemi, zaman içerisinde petrol, doğal gaz, enerji, ilaç, madencilik ve metalurji gibi birçok farklı sektörde uygulanır hale gelmiştir. Yöntemin temel amacı, proses parametrelerinde oluşabilecek sapmaları tespit etmek ve bu sapmaların sistem üzerindeki etkilerini ayrıntılı biçimde değerlendirmektir. Bu doğrultuda, normal çalışma koşullarından sapmaya yol açabilecek durumlar sistematik bir çerçevede analiz edilmektedir (CCPS, 2008).

Analiz sürecinde sıcaklık, basınç, akış, seviye, yoğunluk ve kompozisyon gibi proses değişkenleri esas alınmakta; bu değişkenler “fazla”, “az”, “yok”, “ters”, “erken” ve “geç” gibi rehber kelimeler ile birlikte değerlendirilerek olası sapmalar ortaya konulmaktadır. Her bir sapma durumu için muhtemel nedenler, sonuçlar, mevcut kontrol önlemleri ve gerekli görülen iyileştirme önerileri sistematik olarak belirlenmektedir (Crowl ve Louvar, 2019).

HAZOP yönteminin etkinliği, büyük ölçüde analiz ekibinin bilgi birikimi ve deneyimine bağlıdır. Bu nedenle çalışma ekibi genellikle proses mühendisleri, işletme personeli, bakım çalışanları, iş sağlığı ve güvenliği uzmanları, otomasyon ve kontrol mühendisleri ile ihtiyaç duyulması halinde elektrik ve inşaat mühendisleri gibi farklı disiplinlerden uzmanlardan oluşmaktadır. Bu çok disiplinli yapı sayesinde prosesin farklı açılardan değerlendirilmesi ve potansiyel tehlikelerin daha kapsamlı biçimde ortaya konulması mümkün olmaktadır (Kletz, 2009).

HAZOP yöntemi, proses sapmalarının neden-sonuç ilişkileri çerçevesinde sistematik olarak analiz edilmesini sağlaması nedeniyle proses güvenliği çalışmalarında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle kimyasal maddelerin yoğun olarak kullanıldığı endüstriyel tesislerde, olası kazaların önlenmesi ve güvenli çalışma koşullarının oluşturulması açısından önemli katkılar sunmaktadır (CCPS, 2008; Crowl ve Louvar, 2019).

3.1.1. HAZOP Yönteminin Temel Prensipleri

HAZOP (Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi) yöntemi, endüstriyel süreçlerde güvenliği artırmak ve operasyonel hataları önlemek için belirli kurallar çerçevesinde uygulanır. Bu yöntemin temel kuralları arasında sistematik analiz yapılması, sürecin belirli düğüm noktalarına ayrılması, kılavuz kelimeler (değişim, azalma, artış gibi) kullanılarak sapmaların belirlenmesi, çok disiplinli bir ekip tarafından değerlendirme

yapılması ve oluşabilecek risklerin kayıt altına alınarak önleyici tedbirlerin önerilmesi yer alır (Kletz, 2009). HAZOP analizleri sırasında her sapma, nedenleri, sonuçları ve olası güvenlik önlemleri açısından incelenerek, süreçteki güvenlik açıkları proaktif bir yaklaşımla giderilmeye çalışılır . Yöntemin başarısı, disiplinler arası ekip çalışması, sistemli veri toplama ve analiz etme süreci ve önerilen aksiyonların uygulanabilir olması gibi unsurlara bağlıdır (Crawley ve Tyler, 2019).

HAZOP (Hazard and Operability Study) analizi, sistem ve proses güvenliğinin sağlanması ile çalışan sağlığının korunmasına yönelik olarak geliştirilen proaktif bir risk değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemin temel amacı; tasarım aşamasında veya işletme sürecinde ortaya çıkabilecek sapmaları sistematik biçimde belirlemek ve bu sapmaların doğurabileceği olumsuz sonuçları önceden tespit ederek gerekli önlemlerin alınmasını sağlamaktır (Nolan, 1994).

HAZOP yönteminin başlıca amaçları şu şekilde özetlenebilir:

- Tasarımdan veya proses işleyişinden kaynaklanabilecek olası sapmaların nedenlerini ortaya koymak,
- Bu sapmaların yol açabileceği önemli tehlikeleri ve işletilebilirlik sorunlarını belirlemek,
- Belirlenen tehlike ve sorunlara karşı uygun kontrol ve önleme tedbirlerini kararlaştırmak,
- Alınması önerilen tedbirlerin uygulanmasını sağlamak ve kayıt altına alınarak izlenmesini temin etmek.

HAZOP analizi, bir tesiste yer alan sistem veya ekipmanlardan kaynaklanabilecek potansiyel tehlikelerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Bu yöntemde sistem, bütüncül bir yapı olarak değil; analiz edilebilir alt bölümlere ayrılarak incelenir. “Düğüm (node)” olarak adlandırılan bu bölümlerde, proses parametrelerinde meydana gelebilecek olası sapmalar, önceden belirlenmiş kılavuz kelimeler yardımıyla değerlendirilir. Her bir sapmanın nedenleri, ortaya çıkarabileceği sonuçlar ve mevcut kontrol mekanizmaları ayrıntılı olarak analiz edilir. Böylece üretim sürecinde meydana gelebilecek potansiyel tehlikeler ve riskler belirlenerek bunlara yönelik güvenlik önlemleri geliştirilir. HAZOP yöntemi, özellikle sistemin tasarım aşamasında ve prosesin işletme sürecinde yaygın olarak kullanılan etkili bir analiz aracıdır (Fuentes-Bargues vd., 2017).

HAZOP çalışmasının etkin bir şekilde yürütülebilmesi için sürecin deneyimli bir ekip lideri tarafından koordine edilmesi gerekmektedir. Ekip liderinin iş sağlığı ve güvenliği konusunda uzman ve süreç analizi konusunda tecrübeli olması önem

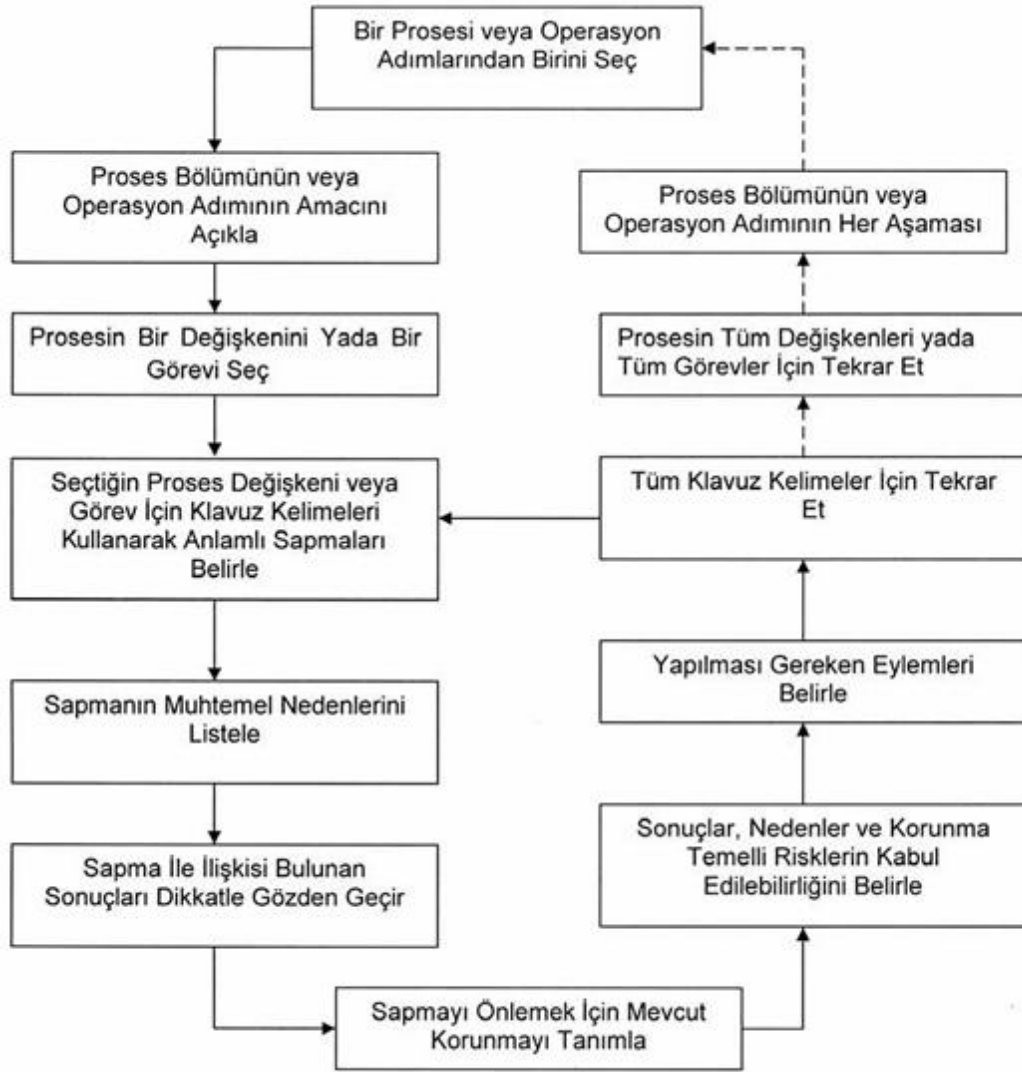
taşımaktadır. HAZOP ekibi genellikle çok disiplinli bir yapıya sahiptir ve tasarım ile işletme süreçlerine hâkim teknik personelden oluşur. Ekip üyeleri, belirlenen sapmaların olası sonuçlarını, nedenlerini, düzeltici faaliyetlerini ve tespit yöntemlerini sistematik biçimde ortaya koymaktadır.

HAZOP ekibi genellikle aşağıdaki görevlerde bulunan kişilerden oluşmaktadır:

- İş Güvenliği Uzmanı
- Fabrika Müdürü
- İşveren veya İşveren Vekili
- Proses/İşletme Mühendisi
- Elektrik Mühendisi
- İnşaat Mühendisi (gerektiğinde)
- Sistem ve Otomasyon Mühendisi

Bu çok disiplinli yapı sayesinde analiz süreci daha kapsamlı yürütülmekte ve farklı uzmanlık alanlarının katkısıyla daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

HAZOP ekibinin risk değerlendirmesi sürecinde takip ettiği adımlar Şekil 9' da verilmektedir.



Şekil 9. HAZOP ekibinin izleyeceği aşamalar (Özkılıç, 2005)

3.1.2. HAZOP Uygulama Süreci

HAZOP (Hazard and Operability Study – Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi), proses sistemlerinde ortaya çıkabilecek tehlikelerin ve işletme sorunlarının sistematik bir yaklaşımla belirlenmesi amacıyla kullanılan yapılandırılmış bir risk değerlendirme yöntemidir. Özellikle kimya, petrokimya, enerji, madencilik ve ilaç gibi endüstrilerde proses güvenliğinin sağlanmasına yönelik olarak yaygın biçimde uygulanmaktadır. HAZOP analizleri, proses parametrelerinde meydana gelebilecek sapmaları tespit ederek bu sapmaların olası nedenlerini, doğurabileceği sonuçları ve mevcut kontrol mekanizmalarının yeterliliğini ayrıntılı şekilde değerlendirmektedir. Bu sayede potansiyel tehlikelerin önceden ortaya konulması ve gerekli iyileştirme ve kontrol önlemlerinin planlanması mümkün hale gelmektedir (Kletz, 2009; Crowl ve Louvar, 2019).

HAZOP uygulama süreci genel olarak aşağıda belirtilen aşamalardan oluşmaktadır:

A) Hazırlık ve Planlama

HAZOP çalışmasının etkin bir şekilde yürütülebilmesi için analiz öncesinde kapsamlı bir planlama sürecinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada öncelikle incelenecek sistem, ekipman veya proses belirlenmekte ve çalışmanın kapsamı netleştirilmektedir. Analizin sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi amacıyla prosese ilişkin teknik dokümanlar, proses akış şemaları, borulama ve enstrümantasyon diyagramları (PveID), işletme prosedürleri ve ekipman bilgileri temin edilmektedir. Ayrıca çalışmanın yürütülmesinden sorumlu olacak HAZOP ekibi oluşturulmakta ve ekip üyelerinin görev ve sorumlulukları belirlenmektedir (Kletz, 2009).

HAZOP çalışmalarında ekip yapısı büyük önem taşımaktadır. Analizin farklı bakış açılarıyla değerlendirilebilmesi için ekip içerisinde proses mühendisleri, işletme personeli, bakım çalışanları, iş güvenliği uzmanları, otomasyon ve kontrol mühendisleri ile gerekli görülen diğer teknik uzmanlar yer almaktadır. Çalışmalar genellikle HAZOP konusunda deneyimli bir ekip lideri veya moderatör tarafından yönetilmektedir. Bu yaklaşım, proses içerisinde yer alan potansiyel tehlikelerin ve işletilebilirlik problemlerinin daha kapsamlı şekilde belirlenmesine katkı sağlamaktadır (CCPS, 2008).

Planlama aşamasında gerçekleştirilen temel faaliyetler aşağıda sıralanmıştır:

- Analiz edilecek sistem veya prosesin belirlenmesi,
- Çalışma kapsamının ve sınırlarının tanımlanması,
- Proses akış diyagramları ve PveID'ler başta olmak üzere teknik dokümanların hazırlanması,
- HAZOP ekibinin oluşturulması,
- Ekip liderinin (moderatörün) belirlenmesi,
- Çalışma takvimi ve analiz oturumlarının planlanması.

B) Sistemin bölümlere ayrılması (Düğümlerin tanımlanması)

Analiz edilen süreç, anlamlı ve yönetilebilir alt bölümlere ayrılarak değerlendirilir. Düğüm noktaları olarak adlandırılan bu bölümler, belirli bir proses ekipmanı veya operasyonel aşamayı temsil eder. Örneğin; reaktörler, ısı değiştiriciler, pompalar ve boru hatları düğüm noktaları olarak ele alınabilir (Kletz, 2009; CCPS, 2008)

Bu aşamada her düğüm için;

- Normal işletme koşulları belirlenir,
- Olası sapmalar analiz edilir,

- Sapmaların nedenleri ve sonuçları değerlendirilir.

Sistemin küçük bölümlere ayrılması, detaylı analiz yapılmasını sağlar ve risklerin gözden kaçmasını önler.

C) Sapmaların belirlenmesi ve neden-sonuç analizi

Bu aşamada, belirlenen düğüm noktalarında olası sapmalar (deviation) analiz edilir. HAZOP yöntemi, sapmaları belirlemek için kılavuz kelimeler (guide words) kullanır. Bu kelimeler, normal çalışma koşullarından sapmaları ifade eder ve olası tehlikeleri sistematik olarak incelemeye yardımcı olur (Kletz, 2009; CCPS, 2008).

Kılavuz kelimeler ve örnekleri;

- Daha fazla: Normalden daha fazla basınç, sıcaklık, akış hızı vb.
- Düşük: Normalden daha düşük basınç, sıcaklık, akış hızı vb.
- Hiç: Sürecin tamamen durması veya akışın kesilmesi.

D) Anahtar kelimeler ve örnekleri

Tablo 1. Anahtar kelimeler

Anahtar Kelime	Tanım
Seviye / Karışım	Bir tank, bunker veya sistem içerisindeki malzeme miktarını (seviye) ve farklı maddelerin belirli oranlarda bir araya getirilmesini (karışım) ifade eder.
Akış	Sıvı, gaz veya granül malzemelerin bir boru, kanal veya sistem içerisindeki hareketini ifade eder.
Yaşlanma (Paslanma)	Malzemelerin zamanla çevresel etkenler (oksijen, nem, sıcaklık vb.) nedeniyle fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulması sürecidir.
Başlat / Durdur	Bir sistemin, makinenin veya prosesin çalışmasını başlatma ve güvenli şekilde durdurma kontrol komutlarını ifade eder.
Viskozite	Bir akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç dirençtir. Yüksek viskozite daha koyu, düşük viskozite daha akışkan sıvıları ifade eder.
Basınç	Birim yüzeye etki eden kuvvet miktarıdır. Akışkan sistemlerde enerji ve hareketi belirleyen temel parametrelerden biridir.
Hız	Bir akışkanın veya parçacığın belirli bir yönde birim zamanda aldığı yol miktarıdır.
İletişim	Sistem bileşenleri arasında veri, sinyal veya bilgi alışverişini sağlayan mekanizmadır (örneğin PLC–sensör iletişimi).
Bakım	Sistemlerin arızalanmasını önlemek, performansını korumak ve ömrünü uzatmak için yapılan periyodik veya arıza giderici işlemlerdir.
Transfer	Bir malzeme, enerji veya bilginin bir noktadan başka bir noktaya taşınması işlemidir (örneğin konveyör ile malzeme transferi).

Her sapma için, nedenleri ve sonuçları analiz edilerek olası riskler belirlenir. Örneğin, "Daha Fazla Basınç" sapması ele alındığında, olası nedenleri valf arızası, pompa hatası veya ısı transferindeki düzensizlikler olabilir. Bunun sonucunda boru hattında patlama, ekipman arızası veya yangın riski ortaya çıkabilir

E) Risklerin Analizi ve Değerlendirilmesi

Belirlenen sapmaların her biri, oluşturabilecekleri sonuçların ciddiyeti ve gerçekleşme potansiyeli açısından değerlendirilmektedir. Bu aşamada sapmaların çalışan sağlığı, çevre, ekipman bütünlüğü ve proses güvenliği üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmektedir. Ayrıca mevcut koruyucu önlemlerin yeterliliği değerlendirilerek ilave kontrol tedbirlerine ihtiyaç duyulup duyulmadığı belirlenmektedir. HAZOP çalışmalarında temel amaç, proses içerisinde yer alan tehlikelerin nedenlerini ve sonuçlarını sistematik olarak ortaya koymak ve risklerin kabul edilebilir seviyelere indirilmesini sağlamaktır (Kletz, 2009; CCPS, 2008).

Risk değerlendirme sürecinde genel olarak aşağıdaki unsurlar dikkate alınmaktadır:

- Sonuç Şiddeti (Severity): Sapmanın gerçekleşmesi durumunda çalışanlar, çevre, ekipman veya üretim süreci üzerinde meydana gelebilecek etkilerin büyüklüğü.
- Gerçekleşme Olasılığı (Likelihood): Belirlenen sapmanın meydana gelme ihtimali.
- Mevcut Koruyucu Önlemler: Tehlikenin oluşmasını önlemek veya etkilerini azaltmak amacıyla mevcut sistemlerde bulunan mühendislik ve idari kontroller.

Risklerin değerlendirilmesinin ardından, belirlenen tehlikelerin kontrol altına alınmasına yönelik öneriler geliştirilmekte ve gerekli iyileştirme faaliyetleri planlanmaktadır. Bu aşama HAZOP çalışmasının en önemli çıktılarından biri olup proses güvenliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır (CCPS, 2008).

F) Önlemler ve Aksiyon Planlarının Geliştirilmesi

HAZOP çalışmaları sonucunda belirlenen risklerin azaltılması veya ortadan kaldırılması amacıyla önleyici ve düzeltici faaliyetler planlanmaktadır. Bu kapsamda önerilen tedbirler genel olarak mühendislik kontrolleri, idari düzenlemeler ve kişisel koruyucu önlemler olmak üzere üç ana grupta değerlendirilmektedir.

- Mühendislik Kontrolleri: Otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi, güvenlik ekipmanlarının kullanılması, proses parametrelerinin izlenmesi, emniyet vanalarının kurulması ve ekipman tasarımının iyileştirilmesi gibi teknik çözümleri kapsamaktadır.

- İdari Kontroller: Çalışma prosedürlerinin güncellenmesi, çalışan eğitimlerinin gerçekleştirilmesi, bakım programlarının uygulanması ve acil durum planlarının hazırlanması gibi organizasyonel önlemleri içermektedir.

- Kişisel Koruyucu Donanımlar: Çalışanların maruziyetini azaltmak amacıyla uygun eldiven, gözlük, yüz siperi, koruyucu giysi ve solunum koruyucu ekipmanların kullanılmasını kapsamaktadır.

Belirlenen önerilerin uygulanması ve etkinliğinin izlenmesi, HAZOP çalışmalarının başarıya ulaşması açısından kritik öneme sahiptir (Crowl ve Louvar, 2019). HAZOP analizi tamamlandıktan sonra, önerilen önlemler raporlanır ve uygulanması için ilgili departmanlara iletilir. Süreçte değişiklikler meydana geldikçe, HAZOP analizinin periyodik olarak güncellenmesi gerekmektedir (Crowl ve Louvar, 2019).

HAZOP yöntemi, endüstriyel tesislerde tehlikeleri önceden belirleyerek güvenliğini artırmaya yönelik etkili bir risk değerlendirme aracıdır. Hazırlık, sistemin bölümlere ayrılması, sapmaların belirlenmesi, risk analizi ve aksiyon planlarının oluşturulması aşamalarından oluşur. Bu yöntem, kazaların önlenmesi, operasyonel verimliliğin artırılması ve yasal uyumluluğun sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle yüksek riskli sektörlerde, HAZOP analizi düzenli aralıklarla tekrarlanarak güvenlik seviyesinin sürekli iyileştirilmesi sağlanmalıdır (Kletz, 2009; CCPS, 2008).

3.2. Fine Kinney Yöntemi

Fine–Kinney yöntemi, iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında yaygın olarak kullanılan nicel risk değerlendirme yöntemlerinden biridir. Yöntemin temelleri Fine tarafından ortaya konulmuş, daha sonra Kinney ve Wiruth tarafından geliştirilerek risklerin sayısal olarak değerlendirilmesine olanak sağlayan sistematik bir yöntem haline getirilmiştir (Fine, 1971; Kinney ve Wiruth, 1976; Öztürk, 2025). Bu yöntem, çalışma ortamında bulunan tehlikelerin önceliklendirilmesi, kontrol tedbirlerinin planlanması ve kaynakların etkin şekilde yönlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Fine–Kinney yönteminin diğer risk değerlendirme yaklaşımlarından ayrılan en önemli özelliği, risk düzeyini belirlerken yalnızca olasılık ve sonuç şiddetini değil, aynı zamanda çalışanların tehlikeye maruz kalma sıklığını da dikkate almasıdır. Bu sayede risklerin daha gerçekçi ve ayrıntılı biçimde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Yöntem, uygulama kolaylığı ve riskleri sayısal olarak ifade edebilmesi nedeniyle farklı sektörlerde yaygın olarak tercih edilmektedir (Aven, 2015; Öztürk, 2025).

Her ne kadar değerlendirme sonuçları belirli ölçüde uzman görüşüne dayandığından öznel unsurlar içerebilse de yöntemin pratik uygulanabilirliği, risklerin önceliklendirilmesine olanak sağlaması, karar verme süreçlerini desteklemesi ve farklı sektörlerde kullanılabilmesi önemli avantajları arasında yer almaktadır (Crowl ve Louvar, 2019; Öztürk, 2025).

Fine–Kinney yönteminde risk düzeyi üç temel parametre kullanılarak belirlenmektedir. Bunlar; olasılık veya ihtimal (O), frekans veya maruziyet sıklığı (F) ve şiddet (Ş) parametreleridir. Her bir parametre için önceden tanımlanmış sözel ifadeler ve bu ifadelere karşılık gelen sayısal değerler bulunmaktadır. Değerlendirilen tehlikeye uygun değerler seçildikten sonra bu parametrelerin çarpılmasıyla risk skoru hesaplanmaktadır (Kinney ve Wiruth, 1976; Öztürk, 2025).

Risk skoru aşağıdaki eşitlik yardımıyla belirlenmektedir:

$$R = O \times F \times \text{Ş} \quad (1)$$

Burada;

O (Olasılık): Tehlikeli olayın meydana gelme ihtimalini,

F (Frekans): Çalışanların tehlikeye maruz kalma sıklığını,

Ş (Şiddet): Tehlikenin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek sonucun ciddiyetini ifade etmektedir.

Olasılık (İhtimal) parametresi, tehlikeli ve/veya istenmeyen bir olayın gerçekleşme ihtimalini ifade eder ve belirli sözel tanımların sayısal karşılıkları ile derecelendirilir. Olasılık değeri belirlenirken mevcut mühendislik kontrolleri, koruyucu sistemler ve çalışma koşullarının tehlikenin meydana gelmesini önlemedeki etkinliği dikkate alınmaktadır. Fine-Kinney yönteminde olasılık değerleri düşük risk düzeyinden yüksek risk düzeyine doğru artan sayısal katsayılar şeklinde tanımlanmıştır. Olasılık düzeyi arttıkça sayısal değer yükselmekte ve risk skoruna etkisi artmaktadır (Kinney ve Wiruth, 1976; Özkılıç, 2005; Öztürk, 2025). Tablo 1’ de Fine-Kinney Olasılık parametresi skalası verilmektedir.

Tablo 2. Fine-Kinney olasılık parametresi skalası

Olasılık	Olasılık Değeri
Beklenir, kesin	10
Oldukça mümkün	6
Seyrek ama olası	3
Düşük olasılık ama mümkün	1
Çok düşük olasılık, beklenmez	0,5
Pratik olarak imkansız	0,2
Neredeyse imkansız	0,1

Frekans (Maruziyet) sıklığı parametresi, çalışanların belirli bir tehlike ile karşılaşma veya bu tehlikeye maruz kalma sıklığını ifade etmektedir. Frekans değerlendirmesinde dikkate alınan husus, yapılan işin tekrar sayısından ziyade çalışanların tehlikeli durumla ne kadar sıklıkla karşı karşıya kaldığıdır. Çalışanların tehlikeye maruz kalma düzeyi arttıkça frekans katsayısı da yükselmekte ve buna bağlı olarak hesaplanan risk puanı artmaktadır. Bu nedenle maruziyet sıklığı, risk değerlendirme sürecinde önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Fine-Kinney yönteminde frekans değerleri, maruziyet düzeyine bağlı olarak belirli katsayılarla ifade edilmekte ve risk skorunun hesaplanmasında kullanılmaktadır. Maruziyet arttıkça frekans değeri yükselmekte ve bu durum toplam risk skorunu doğrudan etkilemektedir (Özkılıç, 2005; Öztürk, 2025). Tablo 2’ de Fine-Kinney Frekans parametresi skalası verilmektedir.

Tablo 3. Fine-Kinney frekans parametresi skalası

Frekans	Frekans Değeri
Sürekli	10
Sık (Günde bir defa)	6
Arasıra (Haftada Bir defa)	3
Sık değil (Ayda bir defa)	2
Seyrek (Yılda bir defa)	1
Çok seyrek (Yılda bir veya daha seyrek)	0,5

Şiddet (Etkilenme / Zarar Büyüklüğü) parametresi, tehlikeli ve/veya istenmeyen bir olayın gerçekleşmesi halinde tehlikenin insan sağlığı, çevre veya varlıklar üzerinde oluşturabileceği olası zarar düzeyini ifade etmektedir. Fine–Kinney yönteminde şiddet değerleri 1 ile 100 arasında derecelendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde tereddüt yaşanması durumunda daha yüksek şiddet değerinin tercih edilmesi önerilmektedir (Özkılıç, 2005; Öztürk, 2025).

Tablo 4. Fine-Kinney şiddet parametresi skalası

Şiddet	Şiddet Değeri
Birçok ölümün yaşandığı bir felaket	100
Birden fazla ölümlü kaza	40
Ölümle sonuçlanabilecek çok ciddi yaralanma	15
Ciddi yaralanma	7
Önemli yaralanma	3
Küçük yaralanma, ilk yardıma ihtiyaç	1

Risk Skorunun Hesaplanması ve Değerlendirilmesi:

Fine-Kinney yönteminde risk skoru, çalışma ortamında belirlenen her bir tehlike için olasılık (O), maruziyet sıklığı/frekans (F) ve gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkacak sonucun şiddeti (Ş) parametrelerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi ve bu değerlerin çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Elde edilen risk puanı, yöntem kapsamında tanımlanan risk sınıflandırma aralıklarına göre yorumlanarak ilgili tehlikenin risk düzeyi belirlenmektedir. Belirlenen risk seviyesine bağlı olarak, iş sağlığı ve güvenliği açısından uygulanması gereken kontrol tedbirleri, düzeltici ve önleyici faaliyetler ile bu faaliyetlerin öncelik sırası planlanmaktadır. Bu yaklaşım, mevcut risklerin önem derecelerine göre önceliklendirilmesini sağlayarak risk yönetimi sürecinin daha etkin ve sistematik bir şekilde yürütülmesine katkıda bulunmaktadır. Tablo 4’ de Fine-Kinney risk skor tablosu verilmektedir.

Tablo 5. Fine-Kinney risk skor tablosu

Risk	Risk Değerlendirme Sonucu
$R > 400$	Çok büyük Risk: Hemen gerekli önlemler alınmalı, sürecin durdurulması düşünülmelidir
$200 \leq R \leq 400$	Esaslı Risk: Hemen önlem alınmalıdır.
$70 \leq R \leq 200$	Önemli Risk: Önlem ihtiyacı vardır.
$20 \leq R \leq 70$	Olası Risk: Süreç gözetim altında uygulanmalıdır
$R < 20$	Önemsiz Risk: Önlem öncelikli değildir.

Fine–Kinney metodunda 70 puan, kritik sınır olarak kabul edilmektedir. Bu değer üzerindeki riskler için düzeltici ve önleyici faaliyetlerin planlanması zorunlu görülmektedir (Kinney, 1976; Öztürk, 2025).

Risk skorlarına göre uygulanması önerilen yaklaşımlar aşağıda özetlenmiştir:

0–20 aralığı: Risk seviyesi düşük olup mevcut kontrol önlemleri yeterli kabul edilebilir. Ancak ileride artış yaşanmaması için mevcut uygulamalar sürdürülmelidir.

20–70 aralığı: Bu aralık uygulamada sık karşılaşılan risk seviyesidir. Riskler eylem planına alınmalı, gerekli teknik iyileştirmeler yapılmalı ve çalışanlara uygun eğitimler verilmelidir.

70–200 aralığı: Bu seviyedeki riskler için mutlaka düzeltici ve önleyici faaliyet planlanmalıdır. Alınacak önlemler, sorumlular ve uygulama takvimi net olarak belirlenmelidir.

200–400 aralığı: Kısa vadeli planlama ile risk azaltılmalı ve birkaç ay içerisinde iyileştirme sağlanmalıdır.

400 ve üzeri: Derhal müdahale edilmesi gereken kritik risk düzeyidir. Çalışma geçici olarak durdurulmalı ve gerekli güvenlik tedbirleri uygulanmalıdır.

Risk azaltma çalışmaları sonucunda çoğunlukla frekans ve şiddet parametreleri sabit kalırken, özellikle olasılık değerinde düşüş sağlanması hedeflenmektedir. Yapılan iyileştirmeler sonrasında risk puanı yeniden hesaplanmalı; eğer skor 70 ve üzerinde kalmaya devam ediyorsa alınan önlemler gözden geçirilerek ek tedbirler planlanmalıdır.

Tüm iyileştirme çalışmalarına rağmen risk seviyesi kabul edilebilir sınırların üzerinde kalıyorsa durum ilgili sorumlulara bildirilmeli ve gerekli aksiyonların alınması sağlanmalıdır. Risk skorunun 400'ün üzerinde kalması halinde konu üst yönetime raporlanarak daha kapsamlı ve yapısal çözümler değerlendirilmelidir. Sürekli iyileştirme yaklaşımı gereği, yapılan her değişiklik sonrasında risk değerlendirmesi güncellenmeli ve süreç periyodik olarak gözden geçirilmelidir (Resmî Gazete Sayı: 28339, 2012).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu genel değerlendirmeler doğrultusunda, çalışma kapsamında belirlenen kimyasal risk faktörleri ve proses kaynaklı tehlikeler aşağıdaki başlıklarda ayrı ayrı incelenmiş; her bir risk unsuru Fine-Kinney ve HAZOP yöntemleri kullanılarak detaylı biçimde değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, hazırlanan risk analiz tabloları esas alınmiş ve mevcut çalışma koşulları, proses yapıları, kullanılan ekipmanlar, çalışan maruziyetleri ile sahadaki mevcut kontrol önlemleri göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca her bir proses aşaması tablo bazlı olarak incelenerek risklerin oluşma nedenleri, mevcut durumları, olası etkileri ve alınması gereken kontrol tedbirleri sistematik bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Böylece tesislerde mevcut risk seviyelerinin belirlenmesi ve uygulanabilir iyileştirme önerilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu alışmada, Gümüşhane ilinde faaliyet gösteren bir cevher zenginleştirme tesisinde kullanılan kimyasal maddelerden kaynaklanan tehlikeler iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmiş, proses kaynaklı risklerin belirlenmesinde Fine–Kinney ve HAZOP yöntemlerinden yararlanılmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda kimyasal maddelerin kullanıldığı proseslerde çalışan sağlığı, evre güvenliği ve proses sürekliliği açısından önemli risklerin bulunduğu belirlenmiştir.

Fine–Kinney yöntemi ile gerçekleştirilen değerlendirmelerde özellikle sülfürik asit, çinko sülfat, sodyum silikat ve flotasyon reaktiflerinin kullanıldığı alanlarda risk seviyelerinin diğer proseslere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, söz konusu kimyasalların korozyif, tahriş edici ve evre açısından tehlikeli özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle kimyasal transfer noktaları, reaktif hazırlama üniteleri ve depolama alanlarında çalışanların doğrudan maruziyet olasılığının yüksek olması, risk seviyelerinin artmasına neden olmuştur. Benzer sonuçlar cevher zenginleştirme tesislerinde gerçekleştirilen çalışmalarda da bildirilmiş olup, kimyasal maruziyetin kontrol altına alınmasının çalışan sağlığı açısından kritik öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır (Wills ve Finch, 2016).

HAZOP analizleri sonucunda ise proses parametrelerinde meydana gelebilecek sapmaların önemli güvenlik riskleri oluşturabileceği belirlenmiştir. Özellikle kimyasal dozajlama hataları, akış değişimleri, ekipman arızaları, pompa ve vana sistemlerinde meydana gelebilecek kontrol kayıpları ile proses koşullarındaki beklenmeyen değişikliklerin hem çalışan güvenliği hem de proses performansı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği değerlendirilmiştir. Reaktif hazırlama ve dozajlama

sistemlerinde meydana gelebilecek kontrolsüz durumların kimyasal sıçramalar, ekipman hasarları ve proses veriminde düşüş gibi sonuçlara yol açabileceği belirlenmiştir. Bu bulgular, proses güvenliği çalışmalarında HAZOP yönteminin etkinliğini ortaya koyan araştırmalarla benzerlik göstermektedir (Kletz, 2009; Crowl ve Louvar, 2019).

Çalışanların kimyasal risklere karşı korunmasında kişisel koruyucu donanımların kullanım düzeyi de değerlendirilmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda koruyucu ekipman kullanımının genel olarak mevcut olduğu, ancak bazı operasyonlarda uygulama farklılıklarının bulunduğu belirlenmiştir. Özellikle kimyasal transfer ve bakım faaliyetleri sırasında uygun kişisel koruyucu donanım kullanımının sürekliliğinin sağlanmasının gerekli olduğu değerlendirilmiştir. Kimyasal dayanımlı eldivenler, yüz koruyucular, gözlükler ve uygun solunum koruyucularının etkin kullanımı, çalışanların maruziyet risklerinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır (NIOSH, 2023).

Araştırma kapsamında çalışma ortamı koşulları da incelenmiş ve bazı proses alanlarında havalandırma sistemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Kimyasal buhar ve aerosollerin oluşabileceği kapalı alanlarda yeterli havalandırmanın sağlanamaması, uzun vadede çalışanların kimyasal maruziyet düzeylerini artırabilecek bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Literatürde de yetersiz havalandırmanın kimyasal maruziyet ve meslek hastalıkları riskini artırdığı belirtilmektedir (Bilir ve Yıldız, 2014).

Bununla birlikte işletmede yürütülen iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının bazı yönlerden olumlu olduğu görülmüştür. Kimyasal maddelere ait güvenlik bilgi formlarının kullanılması, çalışanlara periyodik eğitimler verilmesi ve acil durum ekipmanlarının bulundurulması önemli uygulamalar arasında yer almaktadır. Ancak proses güvenliği yaklaşımının daha sistematik hale getirilmesi, risk değerlendirme çalışmalarının düzenli olarak güncellenmesi ve mühendislik kontrollerinin artırılması gerektiği değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, cevher zenginleştirme tesislerinde kullanılan kimyasal maddelerin çalışan sağlığı ve proses güvenliği açısından önemli riskler oluşturduğu belirlenmiştir. Fine–Kinney ve HAZOP yöntemlerinin birlikte kullanılması sayesinde hem mevcut riskler hem de proses parametrelerindeki olası sapmalardan kaynaklanabilecek tehlikeler kapsamlı şekilde değerlendirilebilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda düzenli risk değerlendirmelerinin sürdürülmesi, proses otomasyonunun geliştirilmesi, mühendislik kontrollerinin artırılması, çalışan eğitimlerinin devam ettirilmesi ve kişisel koruyucu donanım kullanımının etkin biçimde denetlenmesi önerilmektedir.

Tablo 6. HAZOP ve Fine-Kinney risk analizi no:1

HAZOP risk analizi						Fine-Kinney risk analizi			
Sıra no	Anahtar kelime parametre	Kılavuz kelime	Tehlikeli sapma	Tehlikeli sapmanın nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/ Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk skoru
1	Seviye / karışım	Düşük	Kireç bunkerinde (tankında) kireç oranının düşük olması	Yanlış karışım oranı hesaplaması, Seviye tespit sensörünün arızalanması, Kirecin boru yüzeyine yapışması ve topaklanması	Proseste homojen karışım dengesizliği nedeniyle, yaralanma, cilt yanıkları	3	3	2	18
Alınacak önlemler									
- Kireç bunkerinde bulunan patlaçların periyodik olarak çalışır durumda olduğu kontrol edilmeli ve hava vererek tıkanıklıkları açılmalıdır. - Değirmende periyodik olarak numune alınıp pH ölçümleri yapılmalıdır. - Tank içerisinde bulunan gaz dedektörü ile gaz algılanır ve operatör tarafından manuel kireç beslemesi yapılmalıdır. - Personele standartlara uygun KKD EN ISO 374 eldiven ve EN149 FFP2 Maske temini yapılmalıdır.									

Kireç bunkerinde (tankında) kireç oranının düşük olması durumuna yönelik gerçekleştirilen HAZOP ve Fine–Kinney risk değerlendirmelerinde, proses performansını ve işletme güvenliğini etkileyebilecek sapmalar belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda olasılık değeri 3, şiddet değeri 3 ve frekans değeri 2 olarak değerlendirilmiş, buna bağlı olarak risk skoru 18 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, mevcut kontrol önlemlerinin uygulanması halinde riskin kabul edilebilir seviyelerde olduğunu ancak düzenli izleme ve bakım faaliyetlerinin sürdürülmesi gerektiğini göstermektedir.

Analiz sonucunda, yanlış karışım oranı hesaplamaları, seviye sensörlerinin arızalanması ve kirecin transfer hatlarında yapışarak topaklanması başlıca sapma nedenleri olarak belirlenmiştir. Bu durumun flotasyon proseslerinde pH kontrolünün bozulmasına ve homojen karışım dengesinin olumsuz etkilenmesine neden olabileceği değerlendirilmiştir. Kireç dozajındaki yetersizlikler, cevher zenginleştirme performansını düşürebileceği gibi proses kararlılığını da olumsuz etkileyebilmektedir.

Mevcut kontrol önlemleri incelendiğinde, bunker içerisinde bulunan patlaç sistemleri ile hava destekli tıkanıklık giderme uygulamalarının kireç akışının sürekliliğini sağlamada etkili olduğu görülmüştür. Bunun yanında düzenli pH ölçümleri, gaz algılama sistemleri ve operatör kontrollü manuel besleme uygulamaları proses güvenliğine katkı sağlamaktadır. Çalışanlara uygun kişisel koruyucu donanım sağlanması ise bakım ve müdahale faaliyetleri sırasında oluşabilecek kimyasal maruziyetlerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Literatürde cevher zenginleştirme tesislerinde pH kontrolünün flotasyon performansı üzerinde doğrudan etkili olduğu belirtilmektedir. Kireç kullanımındaki düzensizliklerin mineral yüzey kimyasını ve ayırma verimini olumsuz etkileyebileceği ifade edilmektedir (Wills ve Finch, 2016). Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular da proses parametrelerinin kontrol altında tutulmasının hem üretim verimliliği hem de güvenli işletme açısından önemli olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, kireç bunkerinde düşük kireç seviyesi oluşması doğrudan yüksek seviyeli bir iş sağlığı ve güvenliği riski oluşturmamakla birlikte, proses kontrolünün bozulmasına bağlı olarak operasyonel problemlere neden olabilmektedir. Bu nedenle sensörlerin periyodik olarak kontrol edilmesi, transfer hatlarının düzenli temizlenmesi, pH ölçümlerinin takip edilmesi ve bakım faaliyetlerinin aksatılmadan yürütülmesi önerilmektedir.

Tablo 7. HAZOP ve Fine-Kinney risk analizi no:2

HAZOP risk analizi						Fine-Kinney risk analizi			
Sıra no	Anahtar kelime parametre	Kılavuz kelime	Tehlikeli sapma	Tehlikeli sapmanın nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/ Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk skoru
2	Akış	Fazla	Kondisyoner tanka 3418 (Toplayıcı) kimyasal akışın fazla olması	Kimyasalların vanaların açık unutulması, kimyasal vanaların periyodik kontrollerinin yapılmaması, keçelerin kaçırması, vana kaçırması, vana bıçaklarının açılması	Tank içerisinde akışın fazla olması durumunda seçicilik bozulur malzeme köpürmesi artar ve çevre kirliliği oluşur. Cilt yanıkları, körlük ve sinir sistemi çökmesi oluşur.	3	15	3	135
Alınacak önlemler									
- Karışım takip otomasyon sistemi kurulabilir. - Kimyasal akışı takip eden ikinci bir personel bulundurulabilir. - Atık barajına giden atık su boru hattı kullanılabilir. - Vana periyodik kontrolleri düzenli periyotlarda yapılabilir. - Tank içerisine kimyasala duyarlı sensör yerleştirilebilir. - Personele uygun KKD olarak EN ISO 374 standartında eldiven ve EN149 FFP2 standartında maske temini yapılabilir. - Epoksi reçineler ile boru kaplaması yapılabilir.									

Kondisyoner tanka 3418A toplayıcı kimyasalının normal proses değerlerinin üzerinde beslenmesi durumuna ilişkin gerçekleştirilen HAZOP ve Fine–Kinney analizlerinde, proses performansı, çevre güvenliği ve çalışan sağlığı açısından önemli riskler tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmede olasılık değeri 3, şiddet değeri 15 ve frekans değeri 3 olarak belirlenmiş, buna bağlı olarak risk skoru 135 olarak hesaplanmıştır. Bu değer Fine–Kinney yöntemine göre önemli risk seviyesinde olup, mevcut kontrol önlemlerinin geliştirilmesini ve ilave iyileştirme faaliyetlerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır.

HAZOP analizinde söz konusu durum “akış fazla” sapması kapsamında değerlendirilmiştir. Kimyasal besleme vanalarının açık unutulması, vana ve bağlantı elemanlarında meydana gelen sızdırmazlık problemleri, ekipman aşınmaları, vana bıçaklarının hasar görmesi ve yetersiz bakım faaliyetleri sapmanın temel nedenleri olarak belirlenmiştir. Ayrıca operatör hataları ve otomasyon eksiklikleri de fazla kimyasal beslemeye neden olabilecek faktörler arasında değerlendirilmiştir.

3418A toplayıcı reaktifinin aşırı dozajlanması durumunda flotasyon prosesinde seçiciliğin bozulabileceği, köpük miktarının artabileceği ve konsantre kalitesinin olumsuz etkilenebileceği belirlenmiştir. Bunun yanında kimyasalın çevreye yayılması durumunda çevresel kirlenme riski oluşabileceği değerlendirilmiştir. Çalışanların kimyasalla doğrudan temas etmesi halinde cilt tahrişi, ciddi göz hasarı ve sağlık üzerinde olumsuz etkiler meydana gelebileceği bilinmektedir (Cytec Industries Inc., 2012).

Mevcut kontrol önlemleri incelendiğinde otomasyon destekli dozajlama sistemlerinin, sensör tabanlı kimyasal seviye takip sistemlerinin ve düzenli vana kontrollerinin riskin azaltılmasında etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca kimyasal transfer işlemlerinde görev alan çalışanların uygun kişisel koruyucu donanım kullanması maruziyet risklerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Literatürde flotasyon reaktiflerinin kontrolsüz kullanımının proses performansını ve iş güvenliğini olumsuz etkileyebileceği belirtilmektedir. Flotasyon devrelerinde kolektör dozajının proses verimi üzerinde doğrudan etkili olduğu ve aşırı kimyasal kullanımının ayırma performansını düşürebileceği ifade edilmektedir (Wills ve Finch, 2016). Benzer şekilde Bulatovic (2007), flotasyon reaktiflerinin uygun dozaj kontrolü ile kullanılmasının hem proses güvenliği hem de ürün kalitesi açısından önemli olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular da literatürde bildirilen sonuçlarla uyum göstermektedir.

Sonuç olarak, 3418A toplayıcı kimyasalının fazla beslenmesi çalışan sağlığı, evre güvenliği ve proses performansı açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Risk seviyesinin azaltılması amacıyla otomatik dozajlama sistemlerinin geliştirilmesi, kimyasal akış sensörlerinin kullanılması, vana ve bağlantı ekipmanlarının düzenli bakımının yapılması, çalışan eğitimlerinin artırılması ve uygun kişisel koruyucu donanım kullanımının sürekli denetlenmesi önerilmektedir.

Tablo 8. HAZOP ve fine-kinney risk analizi no: 3

HAZOP risk analizi					Fine-Kinney risk analizi				
Sıra no	Anahtar kelime parametre	Kılavuz kelime	Tehlikeli sapma	Tehlikeli sapmanın nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/ Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk skoru
3	Hız	Fazla	Kondisyoner tank karıştırıcısındaki hızın fazla olması	Karıştırıcı motorun aşırı ısınması kontrol sistemi hatası veya yanlış ayarlanması giriş vanasının tam açılması malzeme yoğunluğunun düşük olması	Kondisyoner tank içerisindeki karıştırıcı hızının fazla olması sonucunda köpükleme ve taşma riski tank veya borularında aşırı basınç oluşması tank karışım debisinin fazla olması uzuv kaybı ,ölüm	6	40	2	480
Alınacak önlemler									
- Motor hız göstergesi ve limit alarmı kullanılabilir. - Rutin periyodik bakımları yapılabilir. - Otomatik hız sınırlayıcı ve kontrol sistemi uygulanabilir - Acil durdurma butonu ve emniyetli motor kapakları kullanılabilir. - Hız alarm sistemi ve sesli ve görsel uyarılar eklenebilir - Düzenli eğitim ve tatbikatlar verilebilir. - Taşma ve basınç sensörleri ile entegre sistem oluşturulabilir.									

Kondisyoner tank karıştırıcısındaki hızın normal çalışma değerlerinin üzerine çıkması durumuna yönelik gerçekleştirilen Fine–Kinney ve HAZOP analizlerinde, proses güvenliği ve çalışan sağlığı açısından kritik düzeyde riskler belirlenmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda olasılık değeri 6, şiddet değeri 40 ve frekans değeri 2 olarak belirlenmiş, buna bağlı olarak risk skoru 480 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç Fine–Kinney yöntemine göre çok yüksek risk seviyesini ifade etmekte olup, mevcut durumun iyileştirilmesi için acil önlemler alınmasını gerekli kılmaktadır.

HAZOP analizinde söz konusu durum “hız fazla” sapması kapsamında değerlendirilmiştir. Karıştırıcı motorunda meydana gelebilecek kontrol sistemi arızaları, yanlış hız ayarları, giriş vanalarının kontrolsüz açılması ve karışım yoğunluğundaki değişimler sapmanın temel nedenleri arasında belirlenmiştir. Karıştırıcı hızının kontrolsüz şekilde artması sonucunda tank içerisinde aşırı türbülans oluşabileceği, köpüklenme ve taşma riskinin artabileceği, ayrıca boru ve tank sistemlerinde ilave mekanik yükler meydana gelebileceği değerlendirilmiştir. Bunun yanında kimyasal sıçramalar sonucunda çalışanların kimyasal maruziyete uğrayabileceği ve bakım faaliyetleri sırasında hareketli ekipmanlarla temas edilmesi halinde ciddi yaralanmaların meydana gelebileceği belirlenmiştir.

Flotasyon ve kondisyoner tanklarında karıştırma hızının proses performansı üzerinde doğrudan etkili olduğu bilinmektedir. Karıştırma hızındaki aşırı artışlar, reaktif dağılımını ve köpük oluşumunu olumsuz etkileyerek proses verimliliğinde düşüslere neden olabilmektedir. Bunun yanında ekipmanların tasarım sınırlarının üzerinde çalıştırılması mekanik aşınmayı hızlandırmakta ve ekipman arızalarının meydana gelme olasılığını artırmaktadır (Wills ve Finch, 2016). Benzer şekilde proses güvenliği çalışmalarında, otomasyon sistemlerindeki yetersizliklerin ve bakım eksikliklerinin ekipman kaynaklı kazaların temel nedenleri arasında yer aldığı belirtilmektedir (Crowl ve Louvar, 2019).

Mevcut risklerin azaltılması amacıyla karıştırıcı motorlarında hız göstergeleri ve limit alarm sistemlerinin kullanılması, otomatik hız sınırlayıcı kontrol mekanizmalarının kurulması, taşma ve basınç sensörleri ile entegre çalışan otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca acil durdurma sistemlerinin etkin şekilde çalışır durumda tutulması, ekipmanların düzenli bakımının yapılması ve çalışanlara proses güvenliği konusunda periyodik eğitimler verilmesi risk seviyesinin azaltılmasına önemli katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak kondisyoner tank karıştırıcısında meydana gelebilecek aşırı hız artışlarının yalnızca proses performansını değil, aynı zamanda çalışan güvenliği ve

ekipman bütünlüğünü de olumsuz etkileyebileceği belirlenmiştir. Bu nedenle proses parametrelerinin sürekli izlenmesi, otomasyon sistemlerinin etkin kullanılması ve bakım faaliyetlerinin düzenli olarak gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Fine–Kinney analiz sonuçlarına göre en yüksek risk skorlarının; tesis içerisinde iletişim eksikliği (1440), operatör tarafından sistemin sık sık devreye alınıp durdurulması (720), kondisyoner tanka fazla su verilmesi (720), sülfürik asit akışının fazla olması (600), kimyasal taşıma hattında düşük akış meydana gelmesi (600) ve karıştırıcı hızının aşırı artması (480) durumlarında ortaya çıktığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, proses güvenliği açısından otomasyon sistemleri, haberleşme mekanizmaları ve bakım faaliyetlerinin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle iletişim eksikliği nedeniyle yanlış vana veya pompa operasyonlarının gerçekleştirilmesi, proses adımlarının eşgüdümlü yürütülememesi ve acil durumlara zamanında müdahale edilememesi gibi durumların ciddi iş kazalarına neden olabileceği değerlendirilmiştir. Literatürde de insan faktörü, iletişim eksiklikleri ve yönetsel yetersizliklerin proses kazalarının temel nedenleri arasında yer aldığı belirtilmektedir (Crowl ve Louvar, 2019).

HAZOP analizlerinde ise “akış fazla”, “akış düşük”, “basınç fazla”, “hız fazla”, “viskozite fazla” ve “iletim yok” gibi sapmaların proses güvenliği açısından kritik sonuçlar doğurabileceği belirlenmiştir. Özellikle sülfürik asit ve çinko sülfat gibi kimyasalların kontrolsüz şekilde fazla beslenmesi durumunda tank ve boru sistemlerinde korozyon, taşma, kimyasal sıçrama ve çalışan maruziyeti risklerinin artabileceği değerlendirilmiştir. Sülfürik asit kullanılan proseslerde belirlenen 600 risk skoru, çalışanlar açısından ciddi göz hasarı, cilt yanıkları, solunum yollarında irritasyon ve yüksek maruziyet durumlarında kalıcı sağlık etkileri oluşturabilecek seviyede değerlendirilmiştir. Ayrıca ekipman yüzeylerinde meydana gelebilecek korozyonun proses güvenliği ve ekipman bütünlüğü üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği belirlenmiştir. Literatürde korozif kimyasalların kontrolsüz kullanımının hem proses performansını hem de çalışan güvenliğini olumsuz etkilediği belirtilmekte olup, bu çalışmada elde edilen bulguların literatürde bildirilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür (Crowl ve Louvar, 2019; NIOSH, 2023).

Kondisyoner tank karıştırıcısında hızın normal çalışma sınırlarının üzerine çıkması sonucunda risk skorunun 480 olarak belirlenmesi, mekanik ekipmanlar ve proses kontrol sistemlerinden kaynaklanan risklerin önemini ortaya koymuştur. HAZOP değerlendirmelerinde bu durum “hız fazla” sapması kapsamında incelenmiş ve karıştırıcı hızındaki kontrolsüz artışın proses güvenliği açısından ciddi sonuçlar

doğurabileceği belirlenmiştir. Özellikle tank içerisinde aşırı türbülans oluşması, köpüklenme ve taşma riskinin artması, kimyasal sıçramalar meydana gelmesi ve ekipmanlarda ilave mekanik yüklerin oluşması olası sonuçlar arasında değerlendirilmiştir. Ayrıca bakım veya müdahale faaliyetleri sırasında hareketli ekipmanlarla temas edilmesi durumunda ciddi yaralanmalar meydana gelebileceği belirlenmiştir. Literatürde karıştırma sistemlerinin uygun hızlarda çalıştırılmasının hem proses verimliliği hem de işletme güvenliği açısından kritik öneme sahip olduğu belirtilmektedir (Wills ve Finch, 2016; Crawl ve Louvar, 2019).

Analiz sonuçları, bakım eksiklikleri, vana ve ekipman arızaları, sensör hataları, operatör kaynaklı uygulama hataları ve otomasyon sistemlerindeki yetersizliklerin birçok risk unsurunun temel nedeni olduğunu göstermiştir. Özellikle periyodik bakım faaliyetlerinin aksatılması durumunda motor aşırı ısınmaları, ekipman arızaları, basınçlı hatlarda hasarlar ve kimyasal sızıntıların meydana gelme olasılığının arttığı değerlendirilmiştir. Bunun yanında iletişim eksiklikleri, vardiya devir teslim süreçlerinde yaşanan aksaklıklar ve kontrol sistemleri arasındaki koordinasyon problemlerinin proses güvenliği üzerinde doğrudan etkili olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, iş kazalarının oluşumunda teknik nedenlerin yanı sıra insan faktörünün ve organizasyonel eksikliklerin de önemli rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu durum, iş kazalarının oluşumunda güvensiz davranışlar ve yönetsel eksikliklerin etkisini vurgulayan Heinrich'in Domino Teorisi ile benzerlik göstermektedir (Heinrich, 1931).

Çalışma kapsamında değerlendirilen risklerin kontrol altına alınmasında otomasyon sistemleri, alarm ve sensör uygulamaları, çift vana sistemleri, taşma sensörleri, periyodik bakım faaliyetleri, acil durdurma sistemleri ve kişisel koruyucu donanımların önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Özellikle EN ISO 374 standardına uygun kimyasal dayanımlı eldivenler, EN 166 standardına uygun göz koruyucular ve EN 149 standardına uygun FFP2/FFP3 sınıfı solunum koruyucuların çalışanların kimyasal maruziyetinin azaltılmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, yalnızca kişisel koruyucu donanım kullanımının yeterli olmadığı, risklerin kaynağında kontrol altına alınabilmesi için mühendislik kontrolleri, otomasyon sistemleri ve proses güvenliği uygulamalarının öncelikli olarak değerlendirilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre kondisyoner tank sisteminde belirlenen risklerin önemli bir bölümünün ekipman arızaları, bakım eksiklikleri, otomasyon yetersizlikleri ve insan kaynaklı uygulama hatalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Özellikle proses

parametrelerinin kontrolünü sağlayan sistemlerde meydana gelen aksaklıkların, kimyasal maruziyet, ekipman hasarı, proses verimliliğinde düşüş ve çevresel etkiler gibi sonuçlara neden olabileceği değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında kondisyoner tank sistemine ait toplam 20 farklı tehlikeli sapma belirlenmiş ve bu sapmalar Fine–Kinney yöntemi ile sayısal olarak değerlendirilmiştir. Risk skorlarının 10,5 ile 1440 arasında değiştii görülmüş, sistem içerisinde kabul edilebilir, olası, önemli, yüksek ve çok yüksek seviyede risklerin bulunduğu tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en yüksek risk skorunun tesis içerisinde iletişim eksikliği durumunda ortaya çıktığı belirlenmiştir. İletişim eksikliği nedeniyle yanlış vana ve pompa operasyonlarının gerçekleştirilmesi, kimyasal dozajlama hatalarının oluşması, proses parametrelerinin kontrol edilememesi ve acil durumlara zamanında müdahale edilememesi gibi durumların ciddi sonuçlara yol açabileceği değerlendirilmiştir.

Literatürde proses kazalarının yalnızca teknik arızalardan kaynaklanmadığı, insan faktörü ve organizasyonel eksikliklerin de önemli rol oynadığı belirtilmektedir. Kimyasal proses endüstrilerinde meydana gelen kazaların önemli bir bölümünün iletişim eksiklikleri, prosedür hataları ve yönetsel yetersizliklerle ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Crowl ve Louvar, 2019). Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular da iletişim ve koordinasyon eksikliklerinin proses güvenliği üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir.

Yüksek risk grubunda değerlendirilen diğer tehlikeler arasında kondisyoner tankta sülfürik asit akışının fazla olması, kimyasal taşıma hattındaki akışın azalması, karıştırıcı hızının aşırı yükselmesi, sisteme fazla miktarda su verilmesi ve operatör tarafından sistemin sık sık başlatılıp durdurulması yer almaktadır. Özellikle sülfürik asit akışındaki artışın çalışanlarda ciddi kimyasal yanıklara, göz hasarlarına, solunum yollarında irritasyona ve yüksek maruziyet durumlarında kalıcı sağlık etkilerine yol açabileceği belirlenmiştir. Ayrıca asidin neden olduğu korozyonun tank ve boru sistemlerinde ekipman bütünlüğünü bozarak operasyonel ve çevresel riskleri artırabileceği değerlendirilmiştir. Bu bulgular, korozif kimyasalların proses güvenliği açısından etkin şekilde kontrol edilmesinin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir (Peters ve Timmerhaus, 2003).

Orta risk seviyesinde değerlendirilen tehlikeler incelendiğinde çinko sülfat ve sodyum silikat akışındaki sapmalar, vana operasyonlarındaki düzensizlikler, tank içerisindeki basınç değişimleri ve karıştırıcı hızındaki dalgalanmaların ön plana çıktığı görülmüştür. Bu tür sapmaların proses performansını olumsuz etkileyebileceği, ekipman

ömrünü azaltabileceği ve çalışanların kimyasal maruziyet riskini artırabileceği belirlenmiştir. Flotasyon proseslerinde kullanılan reaktiflerin uygun dozajlarda kullanılmasının hem proses verimliliği hem de ürün kalitesi açısından önemli olduğu literatürde de vurgulanmaktadır (Bulatovic, 2007; Wills ve Finch, 2016).

Düşük risk grubunda yer alan tehlikelerin ise çoğunlukla seviye değişimleri, viskozite farklılıkları, basınç düşüklüğü ve bakım faaliyetleri ile ilişkili olduğu görülmüştür. Bu risklerin doğrudan ciddi yaralanmalara neden olma potansiyeli düşük olmakla birlikte, uzun vadede ekipman performansını ve proses verimliliğini olumsuz etkileyebileceği değerlendirilmiştir. Özellikle viskozite ve seviye değişimlerinin flotasyon performansını etkileyerek konsantre kalitesinde düşüslere neden olabileceği düşünülmektedir. Bu durum, cevher zenginleştirme tesislerinde proses parametrelerinin sürekli izlenmesi ve kontrol altında tutulması gerektiğini göstermektedir (Wills ve Finch, 2016).

Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, risklerin önemli bir bölümünün bakım eksiklikleri, insan kaynaklı hatalar, iletişim yetersizlikleri ve kimyasal dozajlama sistemlerindeki kontrol eksikliklerinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, yalnızca kişisel koruyucu donanım kullanımının yeterli olmadığını; risklerin etkin şekilde yönetilebilmesi için mühendislik kontrolleri, otomasyon sistemleri, düzenli bakım faaliyetleri, çalışan eğitimleri ve etkin denetim mekanizmalarının birlikte uygulanması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, cevher zenginleştirme tesislerinde proses kontrol sistemlerinin güçlendirilmesi, otomasyon altyapısının geliştirilmesi, bakım faaliyetlerinin düzenli yürütülmesi, çalışan eğitimlerinin artırılması ve iletişim mekanizmalarının iyileştirilmesi iş sağlığı ve güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Fine–Kinney yöntemi risklerin önceliklendirilmesine katkı sağlarken, HAZOP yöntemi proses sapmalarının neden ve sonuçlarının sistematik olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bu nedenle iki yöntemin birlikte kullanılmasının cevher zenginleştirme tesislerinde daha kapsamlı ve etkin bir risk yönetimi yaklaşımı sunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Gümüşhane ilinde faaliyet gösteren bir cevher zenginleştirme tesisinde kullanılan kimyasal maddelerden kaynaklanan risk faktörleri, iş sağlığı ve güvenliği perspektifinden kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Araştırmada, Fine-Kinney ve HAZOP risk değerlendirme yöntemleri birlikte uygulanarak proses güvenliği, çalışan sağlığı ve çevresel etkiler bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Bu kapsamda kondisyoner tanklar, kimyasal hazırlama ve transfer sistemleri, karıştırıcı ekipmanlar, vana ve boru hatları ile proses kontrol sistemleri ayrıntılı olarak incelenmiş; proseslerde meydana gelebilecek olası sapmaların nedenleri, muhtemel sonuçları ve bunların oluşturabileceği riskler sistematik bir yöntem izlenerek değerlendirilmiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, cevher zenginleştirme tesislerinde kullanılan sülfürik asit, sodyum silikat, çinko sülfat ve çeşitli flotasyon reaktiflerinin çalışan sağlığı ve proses güvenliği açısından önemli düzeyde risk oluşturduğu belirlenmiştir. Özellikle kimyasal akışın kontrolsüz şekilde artması, vana ve ekipman arızaları, bakım eksiklikleri, otomasyon yetersizlikleri ve iletişim problemlerinin risk seviyelerini önemli ölçüde yükselttiği görülmüştür. Fine-Kinney analiz sonuçlarına göre özellikle iletişim eksikliği, prosesin sık devreye alınıp durdurulması, sülfürik asit akışının fazla olması ve kondisyoner tank karıştırıcısındaki hız artışlarının yüksek risk skorlarına ulaştığı tespit edilmiştir.

HAZOP analizleri kapsamında değerlendirilen “akış fazla”, “akış düşük”, “basınç fazla”, “hız fazla”, “vizkozite değişimi” ve “iletişim yok” gibi proses sapmalarının; tank taşmaları, köpüklenme artışı, kimyasal sıçramaları, aşırı basınç oluşumu, ekipman hasarları, çevre kirliliği ve çalışan maruziyeti gibi ciddi sonuçlara neden olabileceği belirlenmiştir. Özellikle sülfürik asit kullanılan proseslerde meydana gelebilecek kontrolsüz akışların çalışanlarda cilt yanıkları, göz hasarları, solunum yolu problemleri ve toksik maruziyet gibi ciddi sağlık etkilerine yol açabileceği değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen bulguların literatürde yer alan benzer çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür. Karaca (2010), cevher zenginleştirme tesislerinde kimyasal dozajlama sistemlerindeki kontrol eksikliklerinin ciddi iş güvenliği riskleri oluşturduğunu belirtmiştir. Uçurum (2018), flotasyon tesislerinde otomasyon eksiklikleri ve bakım yetersizliklerinin proses güvenliği üzerinde doğrudan etkili olduğunu ifade etmiştir. Özkan ve Benzer (2013) ise karıştırıcı sistemler ve kimyasal transfer hatlarında meydana gelen proses sapmalarının ciddi iş kazalarına neden

olabileceğini vurgulamıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalar ile benzerlik gösterdiği değerlendirilmiştir.

Araştırma sonucunda risklerin büyük bölümünün insan faktörü, ekipman arızaları, bakım eksiklikleri, otomasyon yetersizlikleri ve iletişim problemlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu durum, Heinrich'in Domino Teorisi'nde belirtilen güvensiz davranış ve güvensiz durumların iş kazalarının temel nedenleri arasında yer aldığı yaklaşımıyla benzerlik göstermektedir. Özellikle vardiyalar arası iletişim eksiklikleri, operatör kaynaklı kontrol hataları ve periyodik bakım yetersizliklerinin proses güvenliği üzerinde önemli etkileri olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışma sonucunda yalnızca kişisel koruyucu donanım kullanımının yeterli olmadığı; proses güvenliğinin sağlanabilmesi için mühendislik kontrolleri, otomasyon sistemleri, bakım yönetimi ve çalışan eğitimlerinin birlikte ele alınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çevresel açıdan değerlendirildiğinde, kimyasal içerikli atıkların uygun şekilde yönetilmemesi durumunda çevre ve yeraltı su kaynakları üzerinde ciddi olumsuz etkiler oluşabileceği belirlenmiştir.

Bu doğrultuda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- Kimyasal proseslerde otomasyon sistemleri yaygınlaştırılmalı ve sensör destekli kontrol mekanizmaları kullanılmalıdır.
- Tank, vana, pompa ve boru hatlarında düzenli periyodik bakım ve sızdırmazlık kontrolleri yapılmalıdır.
- Karıştırıcı sistemlerde otomatik hız kontrolü ve acil durdurma sistemleri kurulmalıdır.
- Kimyasal transfer hatlarında taşma, basınç ve gaz algılama sensörleri kullanılmalıdır.
- Sülfürik asit ve benzeri yüksek riskli kimyasalların kullanıldığı alanlarda otomatik kapatma sistemleri kurulmalıdır.
- Çalışanlara proses güvenliği, kimyasal riskler ve acil durum müdahaleleri konusunda düzenli eğitimler verilmelidir.
- Acil durum tatbikatları belirli periyotlarla gerçekleştirilmelidir.
- Vardiyalar arası iletişimi güçlendirmek amacıyla yazılı devir teslim prosedürleri uygulanmalıdır.
- Kimyasal depolama alanlarında ikincil koruma havuzları ve çevresel sızıntı önleme sistemleri oluşturulmalıdır.
- Çalışanlara uygun standartlarda kişisel koruyucu donanım sağlanmalı ve kullanım denetimleri düzenli yapılmalıdır.

- Havalandırma sistemleri iyileştirilmeli ve kimyasal buhar maruziyeti azaltılmalıdır.

- Risk değerlendirme çalışmaları düzenli aralıklarla güncellenmeli ve proses değişikliklerinde yeniden analiz yapılmalıdır.

- Fine-Kinney ve HAZOP yöntemlerinin birlikte kullanılması yaygınlaştırılarak proses kaynaklı risklerin daha kapsamlı değerlendirilmesi sağlanmalıdır.

Sonuç olarak, Fine-Kinney ve HAZOP yöntemlerinin birlikte kullanılması sayesinde maden zenginleştirme tesislerindeki kimyasal risklerin daha sistematik, detaylı ve çok yönlü biçimde değerlendirilebildiği belirlenmiştir. Fine-Kinney yöntemi risklerin önceliklendirilmesini sağlarken, HAZOP yöntemi proses sapmalarının neden-sonuç ilişkilerini ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur. Bu nedenle her iki yöntemin birlikte uygulanmasının maden zenginleştirme tesislerinde iş sağlığı ve güvenliği açısından etkin bir risk yönetimi yaklaşımı sunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- Akçıl, A. U., Tuncuk, A., Candan Tosun, Y., ve Okudan, M. D. (2020). Fiziksel zenginleştirme ve hidrometalurjik yöntemlerle kuvars cevherinden demir uzaklaştırma. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(64), 187–197.
- Ahlatcı, F., Yazıcı, E. Y., Celep, O. ve Deveci, H. (2017). Tiyosülfat ile altın ve gümüş liçinin temelleri – Bölüm I. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 56(3), 117–130.
- Alagüney, M. E., ve Yıldız, A. N. (2020). Meslek hastalıkları temel kavramlar. İçinde A. N. Yıldız ve A. Sandal (Ed.), *İş sağlığı ve güvenliği meslek hastalıkları* (ss. 781–805). Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Albar Özbucak, B. (2024). İş Kazalarının Önlenmesinde Kaza Sebep Teorilerinin Önemi, *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 8(1), 174-182.
- Alibaba. (t.y.). Mining gravity separator processing line spiral. Erişim tarihi: 15 Mayıs 2026.
- Aven, T. (2015). *Risk analysis* (2. Baskı). Wiley.
- Aydın, Ş. B., Oğuz, C.N. ve Gül, A. (2021). Düşük Kalite Kuvars Kumlarının Flotasyon ve Oksalik Asit Liçi ile Zenginleştirilmesi. *Madencilik*, 60(1), 7-20.
- Baradan, S. (2006). Türkiye inşaat sektöründe iş güvenliğinin yeri ve gelişmiş ülkelerle kıyaslanması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 87–100.
- Baybora, D. (2012). İş sağlığı ve güvenliğine genel bakış. İçinde *İş Sağlığı ve Güvenliği*. Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Bilir, N., ve Yıldız, A. N. (2014). *İş sağlığı ve güvenliği*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Biryol, S. (2022). Tıbbi Laboratuvarıda Biyolojik Riskler Tehlikeler ve Önlemler. *Paramedik ve Acil Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 3(1):27-35.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., ve Stoltzfus, M. W. (2018). *Chemistry: The central science* (14. Baskı). Pearson.
- Bostan, F. (2025). Tersanelerdeki kaynaklı imalat işlerinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal risk etmenlerinin belirlenerek iki farklı risk değerlendirme metodu ile değerlendirilmesi: Ordu ili örneği [Yüksek lisans tezi, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].

- Budak, B. (2024). Hematit/limonit içeren bir demir cevherinin zenginleştirme olanaklarının incelenmesi [Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].
- Bulatovic, S. M. (2007). *Handbook of flotation reagents: Chemistry, theory and practice*. Elsevier.
- Burat, F. (2017). Feldispat cevherinin flotasyon ile zenginleştirilmesinde tane boyutu değişiminin etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 205–216.
- Camkurt, M. Z. (2007). İşyeri çalışma sistemi ve işyeri fiziksel faktörlerinin iş kazaları üzerindeki etkisi. *TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi*, 20(6–21), 80–106.
- Casarett, L. J., ve Doull, J. (2019). *Casarett and Doull's toxicology: The basic science of poisons* (9. Baskı). McGraw-Hill Education.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2008). *Guidelines for hazard evaluation procedures* (3. Baskı). Wiley.
- Cerev, G., ve Köseoğlu, Y. (2018). *İş sağlığı ve güvenliği*. Dora Yayıncılık.
- Ceylan, H. (2012). Türkiye’de iş sağlığı ve güvenliği eğitimi: Sorunlar ve çözüm önerileri. *Elektronik Mesleki Gelişim ve Araştırmalar Dergisi*, 1(2), 18–24.
- Ceylan, H., ve Başhelvacı, V. S. (2011). Risk değerlendirme tablosu yöntemi ile risk analizi: Bir uygulama. *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2), 25–33.
- Colak, M., Aygurler, C., ve Cetin, T. (2018). Risk analysis for occupational health and safety in mining sector. *4th Global Business Research Congress*, 7, 285–289.
- Crowl, D. A., ve Louvar, J. F. (2019). *Chemical process safety: Fundamentals with applications* (4. Baskı). Pearson.
- Cytec Industries Inc. (2012). *AEROPHINE® 3418A Promoter Safety Data Sheet (SDS)*.
- Çelenk Kaya, E., Ölmezoğlu İri, N. İ., ve Başkan Takaoğlu, Z. (2018). Risk değerlendirmesi ne kadar önemli? İşveren bakış açısı. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(4).
- Çelik, M. S. (2014). Manyetik ayırmadaki son gelişmeler ve alternatif manyetik ayırıcı tiplerinin tanıtılması. *Madencilik Dergisi*, 53(1), 19–30.
- Çevik, R. (2023). Maden işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin alınmadığına dair tespit davasının hukuki yararı. *Ankara Sosyal Bilimler Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 5(1), 487–540.
- Çiçek, Ö., ve Öçal, M. (2016). Dünyada ve Türkiye’de iş sağlığı ve güvenliğinin tarihsel gelişimi. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 5(11), 106–129.

- Er, H. (2025). Özgül Ağırlık Farklarına Dayalı Farklı Metal Gruplarının Geri Kazanımı İçin Gravite Ayırıcı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Erdem, B., Doğan, T., Duran, Z., ve Özgen, Z. (2016). Maden işyerlerinde kullanılan bazı iş araçlarından kaynaklanan el-kol titreşim maruziyetinin ölçümü ve değerlendirilmesi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 55(2), 23–44.
- European Chemicals Agency. (2024). *Guidance on the application of the CLP criteria*.
- European Chemicals Agency. (2024). *Zinc sulfate*.
- Fine, W. T. (1971). Mathematical evaluations for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3(4), 157–166.
- Forui Mining. (t.y.). Mineral jig ayırıcı/2LTC6109-8T modeli. 15 Mayıs 2026 tarihinde https://www.foruimining.com/tr/%C3%BCr%C3%BCn/2ltc6109-8t-mineral-jig-y%C4%B1r%C4%B1c%C4%B1/?srsltid=AfmBOoqDZLf7b1xX4QHMDpYr7f_n1JB6l1BKfzQGOJx8GN2ml0Ou6qXS adresinden ulaşıldı
- Oro Machinery. (t.y.). Magnesium Extraction Process: 2025 Complete Guide. 15 Mayıs 2026 <https://oromineral.com/magnesium-extraction-process-2025-complete-guide/> adresinden ulaşıldı
- Fuentes-Bargues, J. L., González-Gaya, C., González-Cruz, M. C., ve Bastante-Ceca, M. J. (2017). Comparative analysis of risk assessment methods applied to tunnel construction projects. *Safety Science*, 94, 159–172.
- Fuerstenau, M. C., ve Han, K. N. (Eds.). (2003). *Principles of mineral processing*. SME.
- Resmi Gazete, (2006). Sosyal sigortalar ve genel sağlık sigortası kanunu. *Resmî Gazete*, 31 Mayıs 2006, Sayı: 26200. 16.05.2026 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/> adresinden ulaşıldı
- Resmi Gazete, (2008). Çalışma Gücü ve Meslekte Kazanma Gücü Kaybı Oranı Tespit İşlemleri Yönetmeliği. *Resmî Gazete*, 11.10.2018, Sayı: 27021. 15.05.2026 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/> adresinden ulaşıldı
- Resmi Gazete, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. (2012, 30 Haziran). T.C. Resmî Gazete (Sayı: 28339). 15.05.2026 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/> adresinden ulaşıldı
- Resmi Gazete, (2012). İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi yönetmeliği. *Resmî Gazete*, 28 Aralık 2012, Sayı: 28512. 15.05.2026 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/> adresinden ulaşıldı

- Resmi Gazete, (2013). İş sağlığı ve güvenliğine ilişkin işyeri tehlike sınıfları tebliğinde değişiklik yapılmasına dair tebliğ. *Resmî Gazete*, 29 Mart 2013, Sayı: 28602. 15.05.2026 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/> adresinden ulaşıldı
- Gökkaya, M. (2016). Cevher hazırlama tesislerinde simülasyon programı kullanımı ve örnek bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gupta, A., ve Yan, D. S. (2016). *Mineral processing design and operations: An introduction*. Elsevier.
- Hacıfazlıoğlu, H., ve Şahin, H. (2023). Cevher hazırlama tesislerinden çıkan atıklar ve yönetimi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(1), 119–133.
- Heinrich, H. W. (1931). *Industrial accident prevention: A scientific approach*. McGraw-Hill.
- Helvacıoğlu, M. M. (2016). *Bakır cevher zenginleştirme işletmesinde iş sağlığı ve güvenliğinin değerlendirilmesi* (Uzmanlık Tezi). T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.
- Hoşten, Ç. (2010). Cevher Hazırlama Ve Zenginleştirme Temel İşlemlerinin Tasarımı. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Hoyos C. G. ve Zimolong, B. M. (2014). Occupational safety and accident prevention: behavioral strategies and methods, New York: Elsevier.
- ILO. (2014). *Safety and health at work: A vision for sustainable prevention*. International Labour Office.
- International Agency for Research on Cancer. (2024). *IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans*.
- International Labour Organization. (2015). *Safety and health in opencast mines*. International Labour Office.
- Karaca, E. (2010). *Metalik maden zenginleştirme tesislerinin proses atıklarının atık barajlarında depolanması*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı.
- Kandemir, M. (2017). İş hukuku ve sosyal güvenlik hukuku boyutuyla psikososyal riskler. Legal Yayıncılık.
- Kılıks, İ. (2018). *İş sağlığı ve güvenliği* (3. Baskı). Dora Yayıncılık.
- Kinney, G. F., ve Wiruth, A. D. (1976). *Practical risk analysis for safety management*. Naval Weapons Center.
- Kletz, T. (2009). *HAZOP and HAZAN: Identifying and assessing process industry hazards* (4th ed.). CRC Press.

- Koçali, K. (2022). *Koru kendini bir daha hiçbir ana doğuramaz seni*. Premium E Journal of Social Science.
- Leja, J. (1982). Flotation surfactants. In *Surface Chemistry of Froth Flotation* (pp. 205–339). Springer.
- Liu, R., Liu, H.C., Shi, H. and Gu, X. (2023). Occupational health and safety risk assessment: A systematic literature review of models, methods, and applications, *Safety Science*, 160, p. 106050,
- Lottermoser, B. G. (2010). *Mine wastes: Characterization, treatment and environmental impacts* (3rd ed.). Springer.
- Lottermoser, B. G. (2011). Recycling, reuse and rehabilitation of mine wastes. *Elements*, 7(6), 405–410.
- Manuele, F. A. (2014). *Advanced safety management*. Wiley.
- Marsden, J., ve House, I. (2006). *The chemistry of gold extraction* (2nd ed.). SME.
- Metallurgist, (2015). Dense-Heavy Medium Separation HMS / DMS Process. 15 Mayıs 2026 <https://www.911metallurgist.com/blog/dense-heavy-medium-separation-hms-dms/> adresinden ulaşıldı
- Morley, C. (2006). High pressure grinding rolls: A technology review. *Advances in Comminution*, 15–39.
- Nacak, G. (2025). Kömürün Farklı Flotasyon Makinalarındaki Flotasyon Performanslarının Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim enstitüsü, Konya.
- Napier-Munn, T. J. (1996). *Mineral comminution circuits: Their operation and optimisation*. Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2023). *NIOSH pocket guide to chemical hazards*.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2023). *Sulfuric acid*.
- Nolan, D. P. (1994). *Applications of HAZOP and What-If safety reviews to the petroleum, petrochemical and chemical industries*. Noyes Publications.
- Occupational Safety and Health Administration. (2024). *Sulfuric acid safety and health topics*.
- Olçay, F.Z. (2022). Risk Değerlendirme Metotları. Efe Akademi Yayınları,
- Önal, G. (2007). *Cevher hazırlama ve zenginleştirme*. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.
- Özçelik, S. (2025). Altın İçeren Piritin Yüzey Kimyası ve Flotasyonu. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara.

- Özdemir, F., ve Serin, H. (2022). Çalışan ve sektörlere göre iş kazası ve meslek hastalığı istatistiği üzerine bir araştırma. *Turkish Journal of Forest Science* 6(1) 2022: 275-285.
- Özdemir, Ş., ve Topçuoğlu, H. (2009). İş sağlığı ve güvenliği performans ölçümü ve izleme. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 50(592), 30–33.
- Özkılıç, Ö. (2005). *İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri*. TİSK Yayınları.
- Öztürk Ö. F., ve Baycan F. (2026). İş sağlığı ve güvenliğinde temel risk etmenleri. Canpolat, E. Edt., Duvar Yayınevi, İzmir.
- Öztürk, A.C. (2025). Tersanelerdeki Ergonomik ve Psikososyal Risk Etmenlerinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi ve Örnek Risk Değerlendirme Metodu: Ordu İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim enstitüsü, Gümüşhane
- Sabır, E. C. (2019). *İş sağlığı ve güvenliği*. Çukurova Üniversitesi, ÇİSAM Merkez Yayını.
- Selek, H. S. (2018). *İş sağlığı ve güvenliği temel konular*. Seçkin Yayıncılık.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis* (2nd ed.). ASQ Quality Press.
- Süzen, H. S. (2017). *Toksikoloji*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Toygar, Ş. A., ve Orhaner, E. (2018). Madencilik sektörünün iş sağlığı ve güvenliği politikaları açısından politika haritalama yöntemiyle analizi. *Çalışma ve Toplum*, 58(3), 1253–1286.
- Tozkoparan, G., ve Taşoğlu, J. (2011). İş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ile ilgili işgörenlerin tutumlarını belirlemeye yönelik bir araştırma. *Uludağ Üniversitesi İİBF Dergisi*, 30(1), 181–209.
- Tuna Öztürk, E. (2020). Çevre sağlığı ve güvenliği yönetiminde risk yönetim süreçleri. *İçinde Çevre Sağlığı ve Güvenliği*. Anadolu Üniversitesi.
- Tuna, H. (1999). *İşçi sağlığı ve iş güvenliği el kitabı*. Türk Harb-İş Sendikası.
- United Nations. (2023). *Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS)* (10th rev. ed.).
- Ünal (t.y.). Ünal Mühendislik ve Makina Sanayi: Gemini tipi sallantılı masa: 15 Mayıs 2026 <https://unalmuhendislik.com/urunler/gemini-tipi-sallantili-masa-altin-masasi/>.
- Wills, B. A., ve Finch, J. A. (2016). *Wills' Mineral Processing Technology* (8. baskı). Butterworth-Heinemann.
- Wills, B. A., ve Napier-Munn, T. J. (2006). *Wills' Mineral Processing Technology* (7. baskı). Butterworth-Heinemann.

World Health Organization. (2023). *Chemical safety*.

Yavuz, Ö. (2025). Örtü altı sektöründe kimyasal risk etmenlerin belirlenmesi ve örnek risk değerlendirme metodu uygulaması: Erzurum ili örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gümüşhane.

Yekeler, M., vd. (2022). *Madencilikte cevher hazırlama ve zenginleştirme*. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı.

EKLER

Ek 1. HAZOP ve Fine-Kinney risk analizi

HAZOP Risk Analizi						Fine-Kinney Risk analizi				Alınacak Önlemler
Sıra No	Anahtar Kelime (parametre)	Kılavuz Kelime	Tehlikeli Sapma	Tehlikeli Sapmanın Nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Skoru	
1	Seviye / karışım	Düşük	Kireç bunkerinde (tankında) kireç oranının düşük olması	Yanlış karışım oranı hesaplaması, Seviye tespit sensörünün arızalanması, Kirecin boru yüzeyine yapışması ve topaklanması	Proseste homojen karışım dengesizliği nedeniyle, yaralanma, cilt yanıkları	3	3	2	18	Kireç bunkerinde bulunan patlaçlar periyodik olarak çalışır durumları kontrol edilebilir veya hava vererek tıkanıklığı açabilir. Değirmende periyodik olarak numune alınarak pH ölçümleri yapılabilir. Tank içerisinde bulunan dedektörü ile gaz algılanır ve operatör tarafından manuel kireç beslemesi yapılabilir. Personle standartlara uygun KKD EN ISO 374 eldiven ve EN149 FFP2 Maske temini yapılabilir.

Ek 1. (Devamı)

HAZOP Risk Analizi					Fine-Kinney Risk analizi					Alınacak Önlemler
Sıra No	Anahtar Kelime (parametre)	Kılavuz Kelime	Tehlikeli Sapma	Tehlikeli Sapmanın Nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Skoru	
2	Akış	Fazla	Kondisyoner Tanka 3418 (toplayıcı) kimyasal akışın fazla olması	Kimyasalların vanaların açık unutulması, kimyasal vanalarının periyodik kontrollerinin yapılmaması, bağlantı noktalarında sızdırmazlık keçelerin kaçırması, mekanik hataların olması, operatörün sistemi takip etmemesi, vana sıkışması, vana bıçaklarının aşınması.	Tank içerisinde akışın fazla olması durumunda seçicilik bozulur, malzeme köpürmesi artar ve köpük yapışkanlığı artması nedeni ile çevre kirliliği oluşur, çalışan ile temas etmesi durumunda cilt yanıkları, göz ile temasında geçici körlük, fazla maruziyet durumunda sinir sistemi çökmesi	3	15	3	135	Karışım takip otomasyon sistemi kurulabilir Kimyasal akışı takip eden ikinci bir personel bulundurulabilir Atık barajına giden atık su boru hattı kullanılabilir. Vana periyodik kontrolleri düzenli periyotlarda yapılabilir. Tank içerisine kimyasala duyarlı sensör yerleştirilebilir. Personele standartlara uygun KKD EN ISO 374 eldiven ve EN149 FFP2 Maske temini yapılabilir. Epoksi Reçineler ile boru kaplaması yapılabilir.
3	Akış	Fazla	Kondisyoner Tanka Sülfürik Asit (H ₂ SO ₄) akışın fazla olması	Kimyasalların vanaların açık unutulması, kimyasal vanalarının periyodik kontrollerinin yapılmaması, bağlantı noktalarında sızdırmazlık keçelerin kaçırması, mekanik hataların olması, operatörün sistemi takip etmemesi, vanası kısıması, vana bıçaklarının aşınması,	Sülfürik asitin fazla olması nedeniyle Tank yüzeyinde korozyon oluşturmaları, tank içerisindeki oranının fazla olması durumunda su ile temasında ani kaynama ve sıçrama, prosesin bozulması, Çalışanların kimyasala maruz kalması sonucu deride doku hasarı, solunum yolu zehirlenmesi, göz ile teması durumunda kalıcı görme kaybı, yaralanma, ölüm.	3	100	2	600	Vana takip otomasyonu kurulabilir Periyodik kontrolleri düzenli aralıklarda tekrarlanabilir. Boru üzerine çift vana montajı yapılabilir. Malzeme kurulumu veya tesliminde hatalı olup olmadığı kontrol edilebilir. İkinci bir çalışan dolum esnasında bölgede bulunabilir. Aktif kullanılan vanalar düzenli aralıklarda değişimi yapılabilir. KKD Seçiminde EN ISO 374-1 standartında eldiven, EN166 standartında Gözlük, EN140 standartında yarım yüz maskesi ve EN 14387 standartında E Tipi filtre tipi kullanılabilir.

Ek 1. (Devamı)

HAZOP Risk Analizi						Fine-Kinney Risk analizi				
Sıra No	Anahtar Kelime (parametre)	Kılavuz Kelime	Tehlikeli Sapma	Tehlikeli Sapmanın Nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Skoru	Alınacak Önlemler
4	Akış	Fazla	Kondisyoner Tanka Sodyum Silikat (Na ₂ SiO ₃) akışın fazla olması	Kimyasalların vanaların açık unutulması, kimyasal vanalarının periyodik kontrollerinin yapılmaması, bağlantı noktalarında sızdırmazlık keçelerin kaçırması, mekanik hataların olması, operatörün sistemi takip etmemesi, vana sıkışması, vana bıçaklarının aşınması.	Sodyum silikatın fazla olması nedeniyle Tank yüzeyinde korozyon oluşturması, yoğunluk arttırmasından dolayı motor yükünün artması, Aşırı köpük oluşumu, transfer borusunda tıkanma, prosesin bozulması, Çalışanların kimyasala maruz kalması sonucu solunum yolu zehirlenmesi, cilt yanıkları, ölüm	2	40	2	160	Vana takip otomasyonu kurulabilir (Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik (Madde 8)). Periyodik kontrolleri düzenli aralıklarda tekrarlanabilir (İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği (Madde 7)). Boru üzerine çift vana montajı yapılabilir. (6331 Sayılı Kanun (Madde 4 ve 10)). Malzeme kurulumu veya tesliminde hatalı olup olmadığı kontrol edilebilir. İkinci bir çalışan dolum esnasında bölgede bulunabilir. Aktif kullanılan vanalar düzenli aralıklarda değişimi yapılabilir (İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği). KKD Seçiminde EN ISO 374-1 standartında eldiven, EN166 standartında Gözlük, EN 140 standartında yarım yüz maskesi ve EN 14387 standartında E Tipi filtre tipi kullanılabilir (Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik)

Ek 1. (Devamı)

Sıra No	Anahtar Kelime (parametre)	Kılavuz Kelime	Tehlikeli Sapma	HAZOP Risk Analizi		Fine-Kinney Risk analizi				Alınacak Önlemler
				Tehlikeli Sapmanın Nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Skoru	
5	Akış	Fazla	Kondisyoner Tanka Çinko Sülfat (ZnSO ₄) akışın fazla olması	Kimyasalların vanaların açık unutulması, kimyasal vanalarının periyodik kontrollerinin yapılmaması, bağlantı noktalarında sızdırmazlık keçelerin kaçırması, mekanik hataların olması, operatörün sistemi takip etmemesi	Kondisyoner tank içerisinde çinko sülfatın fazla olması durumunda Çalışanların kimyasala maruz kalması sonucu cilt ve göz tahrişi (yanıkları) solunum yolu zehirlenmesi, yutulması veya ağız teması halinde çinko zehirlenmesi uzun süreli maruziyetlerde bağışıklık sistemi baskılanması, ölüm	2	100	2	400	Vana takip otomasyonu. Periyodik kontrolleri düzenli aralıklarda tekrarlanabilir. Vana önüne chekvalf konulabilir. Boru üzerine çift vana montajı yapılabilir. Malzeme kurulumu veya tesliminde hatalı olup olmadığı kontrol edilebilir. İkinci bir çalışan dolum esnasında bölgede bulunabilir. Aktif kullanılan vanalar düzenli aralıklarda değişimi yapılabilir. KKD seçiminde eldivenler için EN ISO 374 standartında, göz koruyucular için EN 166 standartında, partikül maskeleri için EN 149 – FFP2/FFP3 standartında, yarım yüz maskesi ve filtreler için EN 140 ve EN 143 standartında, KKD ler kullanılabilir.
6	Yaşlanma (paslanma)	Fazla	Sülfürik asit (H ₂ SO ₄) tankında paslanmanın fazla olması	Kimyasalların aşındırıcı etkisinden dolayı yüzeylerde paslanma, flanş arızası, yetersiz veya yanlış havalandırma, uygun olmayan metal ile etkileşime girmesi sonucu hidrojen gazı oluşurması	Sülfürik asit tankının korozyon sonucu tank bütünlüğünün bozulması, kimyasalların sızmasından dolayı çalışanların kimyasallara maruziyeti sonucu solunum yolu zehirlenmesi, cilt yanıkları, yaralanma, ölüm.	1	100	1	100	Tank altına koruyucu Toplayıcı muhafaza yapılabilir. Tank taşma veya delinme durumlarında toplayıcı kanal yapılabilir. Tank yüzeyi vinylester reçine ve elyaf ile kaplanarak kırılğan yapısı azaltılabilir.

Ek 1. (Devamı)

HAZOP Risk Analizi						Fine-Kinney Risk analizi				
Sıra No	Anahtar Kelime (parametre)	Kılavuz Kelime	Tehlikeli Sapma	Tehlikeli Sapmanın Nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Skoru	Alınacak Önlemler
7	Başlat/durdur	Fazla	Operatörün sistemi sıklıkla devreye alıp durdurması	Elektrik akımının yeterli beslenmemesi, Mekanik bakımların zamanında yapılmaması, Operatörün hatası, Malzeme akışının fazla olması	Sistemi sık başlatma ve durdurma yapılması durumunda, pompa hatası, asit sızıntısı, elektrik sisteminin aşırı ısınma sonucu yangın, yaralanma, cilt yanıkları, ölüm	6	40	3	720	Sistemi sürekli besleyen jeneratör aktif çalışabilir. Düzenli mekanik bakım yapılabilir. Yardımcı bir personel kullanılabilir. Organizasyonel tedbirlerin alınması ve çalışanların görevlendirilmesi. Sisteme malzeme seviye sensörü yerleştirilebilir.
8	Başlat/durdur	Fazla	Kondisyoner tank tahliye boru hattındaki küresel vananın sürekli devreye alınıp durdurulması	Periyodik bakımlarının yapılmaması, vana üzerinde malzemenin korozyon ile aşınması, yanlış vana seçimi, operatör hatası, vana sıkışması, sızdırmaz conta seçimi, operatör ventili açmama, seviye sensörü kararsızlığı	Vana aç kapanın fazla olması durumunda, asit sızıntısı, yaralanma, cilt yanıkları,	3	40	3	360	Vana önüne çekvalf konulması, otomasyon sistemi oluşturulabilir. Risklerin kaynağında yok edilmesi ve toplu korunma önlemlerine öncelik verilmelidir. Tanka şamandıra konulabilir.
9	Akış	Yok	Kondisyoner tank girişinde kimyasal akışının olmaması	Periyodik bakımlarının yapılmaması, vana üzerinde malzemenin zamana bağlı korozyon ile aşınması, yanlış vana seçimi, operatör hatası, vana sıkışması, sızdırmaz conta kaçakları, emniyet ventili açmaması	Vana kapalı tutulması durumunda motor sargılarının yanması sonucu kısa devre/elektrik kaçağı, cilt yanıkları, titreşim kaynaklı makine hasarı, yaralanma, ölüm	1	100	2	200	Seviye sensörü ve düşük seviye alarm sensörü bulundurulabilir. Pompa için kuru çalışma koruması sağlanabilir. Motor aşırı akım rölesi bulundurulabilir. Vana konum göstergesi (açık/kapalı) gösterge paneli yapılabilir. Sistemi kontrol eden kumanda paneli kullanılabilir.

Ek 1. (Devamı)

HAZOP Risk Analizi						Fine-Kinney Risk analizi				Alınacak Önlemler
Sıra No	Anahtar Kelime (parametre)	Kılavuz Kelime	Tehlikeli Sapma	Tehlikeli Sapmanın Nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Skoru	
10	Akış	Düşük	Kimyasal taşıma boru hattında akışın düşük olması	Uzun süre aynı hattın kullanılması sonucu yaşlanma, flanş hatası, Conta (Gasket) uyumsuzluğu, korozyon ve metal yorgunluğu, flanş civata gevşemesi, yanlış montaj, kırılma.	Boruda sızıntı olması nedeni ile kondisyoner tanka giden kimyasal oranı düşer konsantre dengesi bozulması sonucu boru sızıntı noktalarında çevre kirliliği, çalışan teması durumunda cilt yanıkları, solunum sistemi zehirlenmesi, yaralanma, fazla maruziyet sonucu ölüm	3	100	2	600	Hattın düzenli aralıklarla periyodik bakımları yapılabilir. Boru atık kanalı içerisinde bulundurulabilir. Sistem devreye alınmadan test edilebilir.
11	Akış	Fazla	Kondisyoner tank fazla miktarda su gönderilmesi	Vanaların açık unutulması, vanalarının periyodik kontrollerinin yapılmaması, bağlantı noktalarında sızdırmazlık keçelerin kaçırması, mekanik hataların olması, operatörün sistemi takip etmemesi, vana sıkışması, vana bıçaklarının aşınması, Seviye sensörü arızası veya kalibrasyon hatası, Otomatik kapatma sisteminin bulunmaması.	Kondisyoner tanka fazla su gönderilmesi nedeni ile taşma meydana gelmesi, çevre kirliliği, su taşması sonucu kondisyoner tank üzerindeki motora su ulaşması sonucu motor ve pompa arızası, elektrik çarpması, yaralanma,	6	40	3	720	Dolum esnasında 1 kişi sürekli bölgede bulunmalıdır. Tank içerisindeki şamandıra yeterli seviyede dolumu kesmelidir.
12	Viskozite	Fazla	Kondisyoner tankta viskozitenin fazla olması	Su vanasının açık unutulması, kimyasal veya cevherin yanlış dozajlanması, vanalarının ve pompalarının periyodik kontrollerinin yapılmaması, bağlantı noktalarında sızdırmazlık keçelerin kaçırması, mekanik hataların olması, operatörün sistemi takip etmemesi, vana sıkışması, vana bıçaklarının aşınması, seviye sensörü arızası veya kalibrasyon hatası, Otomatik kapatma sisteminin bulunmaması.	Kondisyoner tank içerisindeki viskozitenin fazla olmasından dolayı karıştırıcı pompa zorlanması sonucu yanması, tank içerisinde tortu birikmesi, borularda tıkanıklık, sıçraması halinde ağır metal teması nedeni ile cilt yanıkları, yaralanma	3	15	2	90	Pompalarının ve vanaların periyodik bakımlarının zamanında yapılabilir. Otomatik dozaj kontrolü yapılabilir. Proses kontrol ve güvenlik sistemleri oluşturulabilir. Personel için uyarı alarm ışıkları veya sesli ikaz sistemi yapılabilir.

Ek 1. (Devamı)

HAZOP Risk Analizi						Fine-Kinney Risk analizi				Alınacak Önlemler
Sıra No	Anahtar Kelime (parametre)	Kılavuz Kelime	Tehlikeli Sapma	Tehlikeli Sapmanın Nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Skoru	
13	Viskozite	Düşük	Kondisyoner tankta viskozitenin düşük olması	Kimyasal veya cevherin yanlış dozajlanması, vanalarının ve pompalarının periyodik kontrollerinin yapılmaması, mekanik hataların olması, operatörün sistemi takip etmemesi, vana sıkışması, Seviye sensörü arızası veya kalibrasyon hatası, pompanın hatası	Kondisyoner tank içerisindeki viskozitenin düşük olmasından dolayı karıştırıcı pompa devir artışı sonucu yanması, tank içerisinde tortu birikmesi, yoğun akışkan dolayısı ile sıçraması halinde ağır metal teması nedeni ile cilt yanıkları, yaralanma	3	15	2	90	Seviye sensörü kullanılabilir. Otomatik dozaj kontrolü yapılabilir. Proses güvenlik sistemleri, Personel için uyarı alarm ışıkları veya sesli ikaz sistemi yapılabilir. Karıştırıcı veya pompa, vanalarının periyodik kontrollerinin zamanında yapılması sağlanmalıdır. Aktif numune alımı yapılabilir.
14	Basınç	Düşük	Kondisyoner tankta basıncın düşük olması	Basınç pompasının arızalanması veya durması, Giriş vanasının yanlış pozisyonunda veya kısmen kapalı olması, Tankta hava boşluğu veya sistem sızıntısı Pompa kapasitesinin yetersiz olması veya akış kısıtlaması	Kondisyoner tank içerisindeki basıncın düşük olması sonucu Tortu birikimi nedeniyle tank ve borularda tıkanma, Pompa ve karıştırıcı üzerinde aşırı yüklenme Kaynaklı ısınma, sistemin durması veya aksaması, çalışanla temas sonucu cilt yanıkları, yaralanma	3	7	0,5	10,5	Otomatik pompa ve alarm sistemi kurulabilir. Yedek pompa veya vana kontrol sistemi kurulabilir. Proses güvenliğinde yedeklilik (redundancy) ilkesi oluşturulabilir. Basınç ve seviye sensörleri ile rutin izleme yapılabilir. Operatör uyarıları ve rutin kontrol prosedürleri yayınlanabilir. Çalışanların bilgilendirilmesi ve eğitimi verilebilir. Periyodik vana ve pompa bakımı yapılabilir. Kompresör sistemi yedekli çalıştırılabilir.

Ek 1. (Devamı)

Sıra No	HAZOP Risk Analizi					Fine-Kinney Risk analizi				
	Anahtar Kelime (parametre)	Kılavuz Kelime	Tehlikeli Sapma	Tehlikeli Sapmanın Nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Skoru	Alınacak Önlemler
15	Basınç	Fazla	Kondisyoner tankta basıncın fazla olması	Kompresörün orantısız çalışması,giriş vanasının yanlış açılması hava borusunda tıkanma veya akışın kısıtlanması,	Kondisyoner tank içerisindeki basıncın yüksek olması sonucu tank veya borularda aşırı basınç sonucu çatlama taşma,tank bütünlüğünün bozulması sonucu sızıntı kimyasal sıçrama sonucu cilt ve göz yanıkları, patlama, yaralanma, ölüm.	3	100	1	300	Rutin sensör kontrolü yapılabilir. Bakım programı oluşturulabilir. Operasyon uyarıları yapılabilir. Yedek basınç sensörü yapılabilir. Otomatik uyarı sistemi kurulabilir. Acil durum prosedürü oluşturulabilir
16	Hız	Düşük	Kondisyoner tank karıştırıcısındaki hızın düşük olması	Karıştırıcının motorunun arızalanması veya yavaş çalışması, elektrik kesintisi veya enerji düşüklüğü, kontrol sistemi hatası, pompa veya girişin tıkalı olması, sensör hatası, personel hatası	Kondisyoner tank içerisindeki karıştırıcı hızının düşük olması sonucu tortu birikmesi, proses kesintisi, karışımın bozulması, personel müdahale sırasında yanlış manevra sonucu ezilme, yaralanma, duraklama sebebi ile kimyasal temas sonucu cilt yanıkları	6	15	2	180	Rutin bakımların yapılması. Motorun otomasyon sistemine bağlanabilir ve/veya yedek motor bulundurulabilir. Jeneratör sistemi aktif besleme yapabilir. Acil durum prosedürü hazırlanabilir.
17	Hız	Fazla	Kondisyoner tank karıştırıcısındaki hızın fazla olması	Karıştırıcı motorun aşırı ısınması kontrol sistemi hatası veya yanlış ayar giriş vanasının tam açılması malzeme yoğunluğunun düşük olması	Kondisyoner tank içerisindeki karıştırıcı hızının fazla olması sonucunda köpükleme ve taşma riski, tank veya borularda aşırı basınç oluşması, tank karışım debisinin fazla olması, sıçrama sonucu personele teması halinde cilt ve göz yanıkları karıştırıcı ile temas sonucu yaralanma, uzuv kaybı, ölüm	6	40	2	480	Motor hız göstergesi ve limit alarmı kullanılabilir.
					Emniyetleri motor kapakları kullanılabilir.					
					Rutin periyodik bakımları yapılabilir.					
										Otomatik hız sınırlayıcı ve kontrol sistemi uygulanabilir.
										Acil durdurma butonu konulabilir.
										Hız alarm sistemi ve sesli ve görsel uyarılar eklenebilir.
										Düzenli eğitim ve tatbikatlar verilebilir.
										Taşma ve basınç sensörleri ile entegre sistem oluşturulabilir.

Ek 1. (Devamı)

Sıra No	HAZOP Risk Analizi					Fine-Kinney Risk analizi				Alınacak Önlemler
	Anahtar Kelime (parametre)	Kılavuz Kelime	Tehlikeli Sapma	Tehlikeli Sapmanın Nedenleri	Tehlikeli Sapmanın Sonuçları/Etkileri	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Skoru	
18	İletişim	Hiç	Tesis içerisinde iletişimin olmaması	Telsiz telefon arızası, elektrik kesintisi, kontrol odası bağlantı kopması, gürültü nedeniyle iletişim kurulamaması vardiya devir teslim eksikliği	İletişim eksikliği nedeni ile yanlış vana pompa çalıştırılması eş zamanlı operasyon bozulması kimyasal dozaj hatası taşma veya basınç artışı acil durum geç fark edilmesi yaralanma, ölüm	6	40	6	1440	Telsiz sistemi kurulabilir. Yazılı prosedürler yayınlanabilir. Vardiya devir teslim formları oluşturulabilir. Günlük saha toplantıları yapılabilir. Bağımsız acil anons hattı kurulabilir. Görsel ışıklı ve seli alarm sistemi kurulabilir. Düzenli acil durum tatbikatı yapılabilir. Gürültü azaltıcı KKD (TS EN 352-3) Baret monte kulaklık kullanılabilir.
9	Bakım	Yok	Kondisyoner tank bakımlarının yapılmaması	Planlı bakım programının olmaması yetersiz teknik personel üretim baskısı nedeniyle bakım ertelenmesi operatör hatası	Bakımın eksik olması durumunda karıştırıcı hatası, motorların aşırı ısınması sonucu yangın, tank içi malzeme çökmesi, tank bütünlüğünün bozulması çalışan ile teması halinde kimyasal sıçrama sonucu cilt yanıkları basınçlı hat patlaması sonucu yaralanma, ölüm	0,5	100	0,5	25	Periyodik bakımlarının zamanında yapılabilir. Planlı bakım sistemi kurulabilir. Kritik ekipman yedeklemesi yapılabilir. Sızdırmazlık ve conta periyodik olarak değiştirilebilir. Acil durum için müdahale planları uygulanabilir. Rulman ömür takibi ve dayanım testleri yapılabilir
20	Transfer	Düşük	Tanklar arası transferin düşük olması	Pompa arızası, hattın tıkanması, vananın kısmen kapalı olması, katı yoğunluğunun artması, boru içi tortu birikmesi	Bakımın eksik olması durumunda karıştırıcı hatası, rulman bağlantı kırılmaları, flanşların sızdırması, motorların yanması, tank içi malzeme çökmesi, tank bütünlüğünün bozulması, çalışan ile teması halinde kimyasal sıçrama sonucu cilt yanıkları, sürekli arıza sonucu kas-iskelet sistemi zorlanması, yaralanma	3	15	2	90	Hat içi basınç alarmı sistemi kurulabilir. Periyodik hat temizliği veya hat yenilenmesi yapılabilir. Vana otomasyon sistemi yapılabilir

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet Emre ERTÜRK

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Gümüşhane Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği

Yüksek Lisans Öğrenimi : Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetler ve Yayınlar :

İş Deneyimi
Stajlar : Gümüştaş Madencilik

Projeler : -

Çalıştığı Kurumlar : Alagöz Madencilik
Kolin İnşaat
Uluova İnşaat
Gümüştaş Madencilik

Tarih : 20.05.2026