

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİNDEN BİRİ OLAN MİKRO ARK
OKSİDASYON (MAO) İŞLEMİNDE KARŞILAŞILAN RİSK FAKTÖRLERİNİN
BELİRLENMESİ VE ÖRNEK BİR RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS

Esra ÇIRAK

ŞUBAT-2026
GÜMÜŞHANE



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

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİNDEN BİRİ OLAN MİKRO ARK
OKSİDASYON (MAO) İŞLEMİNDE KARŞILAŞILAN RİSK FAKTÖRLERİNİN
BELİRLENMESİ VE ÖRNEK BİR RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ**

**DETERMINATION OF RISK FACTORS ENCOUNTERED IN THE MICRO
ARC OXIDATION (MAO) PROCESS ONE OF THE SURFACE COATING
METHODS AND AN EXAMPLE RISK ASSESSMENT ANALYSIS**

YÜKSEK LİSANS

Esra ÇIRAK

**ŞUBAT-2026
GÜMÜŞHANE**



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİNDEN BİRİ OLAN MİKRO ARK
OKSİDASYON (MAO) İŞLEMİNDE KARŞILAŞILAN RİSK FAKTÖRLERİNİN
BELİRLENMESİ VE ÖRNEK BİR RİSK DEĞERLENDİRME ANALİZİ

DETERMINATION OF RISK FACTORS ENCOUNTERED IN THE MICRO
ARC OXIDATION (MAO) PROCESS ONE OF THE SURFACE COATING
METHODS AND AN EXAMPLE RISK ASSESSMENT ANALYSIS

YÜKSEK LİSANS

Esra ÇIRAK

Danışman: Prof. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU

ŞUBAT-2026
GÜMÜŞHANE

KABUL VE ONAY

Prof. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU danışmanlığında, **Esra ÇIRAK** tarafından hazırlanan “**Yüzey Kaplama Yöntemlerinden Biri Olan Mikro Ark Oksidasyon (MAO) İşleminde Karşılaşılan Risk Faktörlerinin Belirlenmesi ve Örnek Bir Risk Değerlendirme Analizi**” isimli bu çalışma, **20/02/2026** tarihinde yapılan lisansüstü tez savunma sınavı sonucunda **Oy Birliği** ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL (Başkan)

.....
Prof. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU (Danışman)

.....
Dr. Öğr. Üyesi Emine ÇORUH (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 “**Yüzey Kaplama Yöntemlerinden Biri Olan Mikro Ark Oksidasyon (MAO) İşleminde Karşılaşılan Risk Faktörlerinin Belirlenmesi ve Örnek Bir Risk Değerlendirme Analizi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

20/02/2026

.....

Esra ÇIRAK

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İŞ Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıŐtır.

Tez çalışmam boyunca bana yol gösterici olan ve her daim sabırla desteğini benden esirgemeyen, tez çalıŐmama yapmıŐ olduğu değerli katkılarından dolayı çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROğLU'na, ayrıca bu çalışmayı yapmamda çok büyük katkısı olan ve kıymetli desteklerini hiç esirgememiŐ olan değerli hocam Doç. Dr. Süleyman ŞÜKÜROğLU'na teŐekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, sabır ve anlayıŐlarıyla bu süreci tamamlamamda en büyük paya sahip olan aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tez sürecinde, destekleri ve motivasyonlarıyla yanımda olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Esra ÇIRAK
GÜMÜŞHANE - 2026

ÖZET

Son çeyrek yüzyılda endüstriyel uygulamalarda gerçekleşen teknolojik ilerlemeler yüksek verimin elde edilmesi için sistemlerin hafifliğine ve kullanılan mühendislik malzemelerinin çalışma ömrünün uzatılması üzerine odaklanmaktadır. Bu nedenle otomotiv ve havacılık sanayisi başta olmak üzere uzay ve savunma sanayisinde, denizcilik uygulamaları gibi birçok endüstriyel alanda Alüminyum, Magnezyum, Titanyum gibi hafif metalik mühendislik malzemeleri ve alaşımları kullanılmaktadır. Bu metalik malzemeler ve alaşımlarının sahip olduğu düşük yoğunluk, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, özgül sertlik ve kırılgenlik, büyük elektriksel iletkenlik, mükemmel elektromanyetik koruma, yüksek sönümlenme, geri dönüşüm yeteneği, biyouyumluluk, biyolojik bozula bilirlilik ve toksik olmama gibi olağanüstü özelliklerinin yanında mekanik ve tribolojik özelliklerinin aşırı yükler altında düşük olması, düşük tokluğa ve agresif çalışma ortamlarında zayıf korozyon direncine sahip olmaları endüstriyel uygulamalarda kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Bu dezavantajları gidermek ve malzemelere daha iyi özellikler kazandırabilmek için yüzeylerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Mikro Ark Oksidasyon (MAO) yöntemi hafif metalik malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanan elektrokimyasal bir kaplama yöntemidir. Bu yöntem ile elektrolitik çözelti içerisindeki taban malzeme üzerinde yüksek aşınma ve korozyon direncine sahip, adhezyonu yüksek kararlı seramik kompozit kaplamalar büyütülmektedir. Bu tez çalışmasında, yüzey kaplama sistemlerinden biri olan MAO yöntemi sırasında karşılaşılan risk etmenlerinin belirlenmesi, belirlenen tehlike ve risklerin etki düzeyleri ile uygun düzenleyici-önleyici faaliyetler, iş sağlığı ve güvenliği risk analizi metotlarından Fine-Kinney ile değerlendirilecektir. Değerlendirmeler sonucu elde edilen veriler ile iş sağlığı ve güvenliği alanında mevcut düzenleyici ve önleyici faaliyetlere ek olarak yeni faaliyetler eklemeyi planlamakta, maruziyetlerin mevcut bilinen etkilerinden farklı olarak diğer etkilerini araştırmak, konu ile alakalı yeni görüşler, yeni çözüm önerileri oluşturarak literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrokimyasal kaplama, Fine-Kinney, İş güvenliği, Mikro ark oksidasyon (MAO)

SUMMARY

Over the past quarter century, technological developments in industrial applications have focused on reducing system weight and extending the service life of engineering materials to achieve higher efficiency. Consequently, lightweight metallic materials and alloys such as aluminum, magnesium, and titanium are widely used in various sectors, including automotive, aviation, space and defense industries, and maritime applications. These materials possess remarkable properties such as low density, a high strength-to-weight ratio, specific stiffness, fracture toughness, high electrical conductivity, excellent electromagnetic shielding capability, high damping capacity, recyclability, biocompatibility, biodegradability, and non-toxicity. However, their relatively low mechanical and tribological performance under extreme loads, limited toughness, and poor corrosion resistance in aggressive environments restrict their broader industrial use.

To overcome these limitations, surface modification techniques are required to enhance material performance. Micro-Arc Oxidation (MAO) is an electrochemical coating technique developed to improve the surface properties of lightweight metallic materials. Through this method, stable ceramic composite coatings with high wear resistance, corrosion resistance, and strong adhesion are formed on the substrate within an electrolytic solution.

In this thesis, risk factors associated with the MAO surface coating process will be identified and evaluated using the Fine-Kinney method, an occupational health and safety risk analysis approach. The study aims to determine the impact levels of potential hazards and develop appropriate preventive measures. The findings are expected to contribute to occupational health and safety practices and provide new insights and recommendations for the literature.

Keywords: Electrochemical coating, Fine-Kinney, Occupational safety, Micro arc oxidation (MAO)

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	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
2.1.1. İş sağlığı ve Güvenliği Kavramı ve Tarihsel Gelişimi	4
2.1.2. Amaç ve Önemi	5
2.1.3. Risk Etmenleri	6
2.1.3.1. Fiziksel Risk Faktörleri.....	9
2.1.3.2. Kimyasal Risk Faktörleri	13
2.1.3.3. Ergonomik Risk Faktörleri	14
2.1.3.4. Psikososyal Riskler	16
2.1.4. İş kazası ve Meslek Hastalıkları	18
2.1.5. Risk Değerlendirilmesi	20
2.1.6. Risk Değerlendirme Metodjileri	21
2.1.6.1. Bazı Risk Değerlendirme Metotları	23
2.2. Mikro Ark Oksidasyon (MAO)	32
2.2.1. Mikro Ark Oksidasyon (MAO) Tanımı.....	35
2.2.2. Mikro Ark Oksidasyon Özellikleri	35
2.2.3. Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Uygulama Alanları	36
2.2.4. Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Avantaj ve Dezavantajları	37
2.2.5. Mikro Ark Oksidasyon Sisteminde İş Süreçleri	38
2.2.5.1. Hazırlık Aşaması.....	39
2.2.5.2. Torna Tezgâhı	39

2.2.5.3. Freze Tezgahı.....	41
2.2.5.4. Giyotin Makası.....	42
2.2.5.5. Tel Erozyon.....	43
2.2.5.6. Radyal Matkap	44
2.2.5.7. Temizlik Aşaması	46
2.2.5.8. Mekanik Temizlik Yöntemleri.....	46
2.2.5.9. Kimyasal Temizlik Yöntemleri.....	46
2.2.5.10.Elektrolit Hazırlığı	50
2.3. Literatür Taraması.....	55
2.3.1.Risk Faktörleri Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	55
2.3.2.Mikro Ark Oksidasyonu ile Yapılan Çalışmalar	57
3. MATERYAL VE YÖNTEM	60
3.1. Araştırmanın Amacı.....	60
3.2. Araştırma Yapılan Kurum Hakkında Bilgi	60
3.3. Araştırma Yöntemi.....	60
3.4. Verilerin Toplanması	61
4. BULGULAR	62
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
5.1. Sonuçlar	65
5.2. Öneriler	66
KAYNAKÇA.....	68
EKLER.....	78
ÖZGEÇMİŞ	90

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Sınır değerler (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013).....	10
Tablo 2. Bazı çalışma türlerinde termal konfor sınır değerleri (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013).....	12
Tablo 3. Karar matrisi örneği (Risk Değerlendirmesi)	23
Tablo 4. Olasılık derecelendirme skalası	25
Tablo 5. Şiddet derecelendirme skalası.....	25
Tablo 6. L tipi matris risk skor tablosu	26
Tablo 7. Fine-Kinney Olasılık parametresine ait ölçek	30
Tablo 8. Fine-Kinney Frekans parametresine ait ölçek.....	31
Tablo 9. Fine-Kinney Şiddet ölçeği	31
Tablo 10. Fine-Kinney Risk skor tablosu	32
Tablo 11. Hazırlık aşaması – makine kullanımına bağlı yüksek riskler	63
Tablo 12. Fiziksel etmenler – gürültü, titreşim ve ergonomi.....	63
Tablo 13. Elektrik kaynaklı riskler.....	64
Tablo 14. Kimyasal işlemler – depolama ve kullanım riskleri	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Risk değerlendirmesinin beş aşaması (Kabakulak, 2019)	22
Şekil 2. Kontrol listesi örneği (Ofislerde Risk Değerlendirmesi Rehberi, ÇSGB)	24
Şekil 3. Hata ağacı sembolleri (Risk Değerlendirmesi)	27
Şekil 4. MAO sistem ünitesinin şematik gösterimi	34
Şekil 5. Torna tezgâhının kısımları	40
Şekil 6. Freze tezgâhı	41
Şekil 7. Giyotin makası	43
Şekil 8. Tel erozyon	44
Şekil 9. Radyal matkap	45
Şekil 10. Zımpara kâğıdı numarası ile tane boyutu arasındaki ilişki	48
Şekil 11. Farklı zımparalama ekipmanları	48
Şekil 12. Elektroliz prosesi	52
Şekil 13. Elektrot yüzeyindeki dielektrik filmde gerçekleşen akım-voltaj değişimi (Yerokhin vd., 1999)	53
Şekil 14. MAO sisteminde oluşan mikro boşalmalar (Demirci, 2014)	54

EKLER DİZİNİ

Ek-1. Fine-Kinney risk analizi tablosu.....	78
---------------------------------------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternatif Akım
Al	: Alüminyum
ALMAG-AL	: Mikro Ark Oksidasyon Teknolojisi
ASB	: Anodik Spark Biriktirme
ASHRAE	: Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri
CEILING	: Azami Sınır
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
ÇSGB	: Çalışma Sosyal Güvenlik Bakanlığı
DC	: Direkt, Sürekli Akım
EEC	: Elektrodaktili-ektodermal displazi yarık sendromu
EU	: Avrupa Birliği
HAV	: El-Kol Titreşimi
HAVS	: Titreşim nedeniyle el-bilek sorunları
HAZOP	: Tehlike ve İşletebilirlik Yöntemi
Hz	: Frekans
ILO	: Uluslararası Çalışma Örgütü
İSG	: İş Sağlığı Güvenliği
KEPLA-COAT	: Avrupa Mikro Ark Oksidasyon Teknolojisi
MAO	: Mikro Ark Oksidasyon
MDO	: Mikro Spark-Deşarj Oksidasyon
Mg	: Magnezyum
PEO	: Plazma Elektrolitik Oksidasyon
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
STEL	: Kısa Süreli Mazuriyet Sınır Değeri
T	: Zaman
Ti	: Titanyum
TS	: Türkiye Standartları
TWA	: Zaman Ağırlıklı Ortalama
V	: Voltaj
Vd	: Ve Diğerleri

1. GİRİŞ

Risk faktörleri, sanayide kullanılan mühendislik malzemelerinin üretim ve yüzey işlem süreçlerinde çalışanların maruz kalabileceği tehlikelerin belirlenmesi açısından kritik bir kavramdır. Sanayinin ilerlemesiyle birlikte, aşınma, korozyon ve yüksek sıcaklık gibi zorlu çalışma koşulları, hem malzeme performansını artırmaya yönelik yüzey mühendisliği uygulamalarını yaygınlaştırmış hem de bu süreçlerde ortaya çıkan iş sağlığı ve güvenliği risklerini gündeme getirmiştir. Bu bağlamda kullanılan kaplama teknolojileri, sağladıkları teknik avantajlara rağmen elektriksel, kimyasal ve operasyonel risk faktörleri barındırabilmektedir.

Modern üretim teknolojileri, malzemelerin mekanik, termal ve kimyasal dayanım gereksinimlerini artırırken; bu gereksinimleri karşılamak amacıyla geliştirilen yüzey iyileştirme yöntemleri yeni risk türlerini de beraberinde getirmektedir. Özellikle yüksek enerji girdisiyle çalışan yüzey kaplama süreçlerinde, çalışanların elektriksel tehlikelere, kimyasal maruziyetlere ve ekipman kaynaklı risklere açık hâle gelmesi söz konusudur.

Bu çerçevede öne çıkan Mikro Ark Oksidasyon (MAO) yöntemi, yaklaşık 55 yıl önce Sovyetler Birliği'nde geliştirilmiş ve zamanla sanayi uygulamalarında yaygınlaşmıştır (Arslan, 2007). Alüminyum (Al), magnezyum (Mg) ve titanyum (Ti) gibi hafif metal alaşımlarında seramik kaplamalar oluşturmak amacıyla kullanılan MAO süreci; yüksek voltaj altında gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonlara ve plazma mikro deşarjlarına dayanmaktadır (Yerokhin vd., 1999; Yerokhin vd., 2003; Hussein vd., 2013; Qi vd., 2023).

Al, Mg ve Ti alaşımları; düşük yoğunlukları, yüksek özgül dayanımları ve üretim kolaylıkları nedeniyle birçok endüstriyel alanda tercih edilmektedir (Froes, 2015; Qi vd., 2023). Ancak bu malzemelerin düşük yüzey sertliği ve yetersiz aşınma direnci gibi tribolojik dezavantajları, yüzey iyileştirme işlemlerini zorunlu kılmaktadır (Zhang vd., 2006; Wang vd., 2015). MAO yöntemi, bu teknik sınırlamaları aşmada etkili bir çözüm sunarken; aynı zamanda yüksek voltaj, elektrolit kullanımı ve mikro ark oluşumları nedeniyle önemli risk faktörlerini de içermektedir.

MAO sürecinde karşılaşılan başlıca risk faktörleri; yüksek elektrik gerilimi kaynaklı elektrik çarpması riski, elektrolitlerin kimyasal özelliklerinden doğan maruziyet tehlikeleri, mikro ark deşarjları sonucu oluşabilecek yüzey çatlakları ve ekipman aşınmaları olarak sıralanabilir. Proses parametrelerinin (voltaj, akım türü, frekans,

elektrolit bileşimi ve konsantrasyonu) kontrolsüzlüğü, bu risklerin şiddetini artırabilmektedir (Yerokhin vd., 2003; Whang vd., 2004).

Literatürde MAO yönteminin tribolojik ve korozyon direncine olan katkıları ayrıntılı biçimde ele alınmış olmasına karşın, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında risk faktörlerinin sistematik olarak değerlendirilmesine yönelik çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, MAO yöntemi sürecinde ortaya çıkan risk faktörlerini belirlemeyi ve Fine–Kinney yöntemi kullanılarak bu risklerin analizini yapmayı amaçlamakta; elde edilen bulgular doğrultusunda önleyici ve düzenleyici tedbirlere ilişkin öneriler sunmayı hedeflemektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. İş Sağlığı ve Güvenliği

İş sağlığı ve güvenliği (İSG), Türkiye’de ve dünya genelinde giderek artan bir öneme sahiptir. Günlük hayatta iş kazaları ve ramak kala olaylar yaşanmakta; bu kazalar her yıl ölümlere ve kalıcı yaralanmalara yol açmaktadır. İş kazalarının azaltılması amacıyla çalışanların eğitimi zorunlu hâle getirilmiş, teknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı ve yenilikçi eğitim yöntemleri uygulanmaya başlanmıştır.

İş sağlığı ve güvenliği, tüm meslek gruplarında çalışanların sağlık ve iyilik hâlini en üst düzeyde desteklemeyi amaçlayan; iş sırasında karşılaşılabilecek risklere karşı önleyici tedbirleri ve müdahaleleri kapsayan bir alan olarak tanımlanmaktadır (Uşkun, 2022). Çalışma hayatı bireylerin sağlık durumu ve yaşam kalitesi üzerinde doğrudan etkilidir. Küreselleşme, dijitalleşme ve esnek çalışma biçimlerinin yaygınlaşması, iş ve yaşam dengesini etkilerken; çalışanların kendi sağlıklarını yönetme sorumluluğunu da artırmaktadır. Bu durum, iş yerlerinde İSG uygulamalarının etkinliğini daha da önemli hâle getirmektedir (Ehmann vd., 2021).

Güvenlik kültürü, iş yerlerinde olumlu güvenlik sonuçlarının elde edilmesinde temel bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Denetleyici kurumlar ve yöneticiler, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında güvenlik kültürüne giderek daha fazla önem vermektedir. Bu nedenle, farklı sektörlerde İSG müdahalelerine yönelik kanıta dayalı yaklaşımların yaygınlaştığı görülmektedir (Claxton vd., 2022). Teknolojik gelişmeler ve İSG yönetim sistemleri güvenliği artırsa da kalıcı ve etkili sonuçlar için güvenlik kültürünün oluşturulması ve geliştirilmesi temel bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır (Kim vd., 2016).

Uluslararası Çalışma Örgütü’nün (ILO) İSG kılavuzunda, etkili bir İSG yönetim sistemi için politika, organizasyon, planlama, uygulama, değerlendirme ve iyileştirme gibi temel bileşenler tanımlanmıştır. Bunun yanı sıra risk yönetimi, kaza incelemeleri, eğitim, denetim, ilk yardım ve çalışanlara danışmanlık gibi unsurların da İSG yönetiminin ayrılmaz parçaları olduğu belirtilmektedir (ILO, 2001).

İSG alanında risk faktörlerinin anlaşılması, çalışanların güvenli davranışlarını destekleyerek iş kazalarının ve yaralanmaların önlenmesine katkı sağlar. İş sağlığı ve güvenliği; tehlikeli davranışların azaltılmasını, güvensiz çalışma koşullarının ortadan kaldırılmasını ve güvenli bir çalışma ortamının oluşturulmasını hedeflemektedir (Kanten,

2013). Günümüzde, kazaların yalnızca bireysel nedenlerle değil, organizasyonel faktörlerle de ilişkili olduğu kabul edilmekte; bu nedenle güvenlik kültürü, büyük ölçekli kazaların ve felaketlerin önlenmesinde önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Tetzlaff vd., 2021).

Sonuç olarak iş sağlığı, çalışanların fiziksel, zihinsel ve sosyal iyilik hâlinin korunmasına yönelik önlemleri kapsamakta; risk analizleri, ergonomik düzenlemeler ve çalışan katılımı bu sürecin temel unsurlarını oluşturmaktadır. Etkin İSG uygulamaları, yalnızca çalışanların sağlığını korumakla kalmamakta, aynı zamanda işletmelerin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini de artırmaktadır.

2.1.1. İş sağlığı ve Güvenliği Kavramı ve Tarihsel Gelişimi

İş sağlığı ve iş güvenliği, birbirini tamamlayan ve ayrılmaz bir bütün oluşturan kavramlardır. Her iki alanın temel amacı, mesleki riskleri ortadan kaldırmak ve çalışanların sağlıklarını ile yaşamlarını korumaktır (Başaga ve Çelik, 2016). Türkiye’de bu kavram, 2003 yılında yürürlüğe giren 4857 sayılı İş Kanunu ile, uluslararası standartlarla uyumlu biçimde “iş sağlığı ve güvenliği” adı altında ele alınmaya başlanmıştır. Başlangıçta “işçi sağlığı” olarak kullanılan ifade, ILO ve DSÖ gibi uluslararası kuruluşların etkisiyle zaman içinde kapsamı genişletilerek bugünkü anlamını kazanmıştır (Ayma, 2019).

İş sağlığı ve güvenliği, çalışma sürecinde ortaya çıkabilecek kazalar ve risklerden korunmaya yönelik bilimsel, hukuki ve sistematik faaliyetleri ifade eder (Çakıroğlu, 2007). Bu kapsamda iş sağlığı ve güvenliği, çalışanların fiziksel ve zihinsel bütünlüğünü korumaya yönelik zorunlu önlemleri içeren, yaşam ve sağlık hakkının iş yaşamındaki yansıması olarak kabul edilen temel bir hak niteliği taşımaktadır (Balkır, 2012). Aynı zamanda işletmeler açısından da verimlilik, rekabet gücü ve sürdürülebilirlik ile doğrudan ilişkilidir. Güvenli çalışma ortamları, çalışan motivasyonunu ve bağlılığını artırarak işletme performansına olumlu katkı sağlamaktadır (Doğan, 2024).

İş sağlığı ve güvenliğinin (İSG) temel amacı, iş kazaları ve meslek hastalıkları meydana gelmeden önce proaktif bir yaklaşımla riskleri ortadan kaldırmak veya kabul edilebilir seviyelere indirmek üzere toplu koruma önlemlerinin etkin biçimde planlanması ve uygulanmasıdır. Buna karşılık, herhangi bir kaza ya da olayın gerçekleşmesi durumunda ise, önceden hazırlanmış acil durum ve eylem planları çerçevesinde reaktif önlemlerin hızla devreye sokulması ve olayın kaynağında kontrol altına alınması hedeflenmektedir (Şüküroğlu vd., 2022). Bu bütüncül yaklaşım sayesinde işletmenin sürekliliği sağlanmakta, çevresel etkiler en aza indirilmekte, çalışanların sağlık ve

güvenliği korunmakta ve sonuç olarak iş verimliliğinde artış sağlanmaktadır (Ayna, 2019).

İş sağlığı ve güvenliği alanında eğitimin önemi büyüktür. Eğitim faaliyetleri sayesinde iş kazaları ve meslek hastalıklarının görülme sıklığı azaltılabilmektedir. Temel İSG eğitimleri, çalışanların riskler konusunda bilinçlenmesini sağlarken, işverenlere de güvenli çalışma ortamı oluşturma konusunda rehberlik etmektedir (Gökçe, 2020; Ergüt, 2015).

İş sağlığı ve güvenliğinin tarihsel gelişimi incelendiğinde, ilk düzenlemelere Antik Çağ'a kadar uzanan bir süreçte rastlanmaktadır. Hammurabi Kanunları, iş güvenliğine ilişkin ilk yazılı örnekler arasında kabul edilmektedir. Modern anlamda iş sağlığının kurucusu ise, 18. yüzyılda meslek hastalıklarını sistematik biçimde ele alan Bernardino Ramazzini olmuştur (Çiçek vd., 2016). Sanayi Devrimi sonrasında artan iş kazaları ve meslek hastalıkları, özellikle Avrupa'da ve ABD'de yasal düzenlemelerin hız kazanmasına yol açmış; 1919 yılında ILO'nun kurulmasıyla iş sağlığı ve güvenliği uluslararası bir boyut kazanmıştır.

Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliği alanındaki düzenlemeler, Osmanlı Devleti'nde Tanzimat Dönemi ile birlikte kurumsal bir nitelik kazanmaya başlamıştır. Dilaver Paşa Nizamnamesi (1865) ve Maden Nizamnamesi (1869), iş güvenliğine ilişkin ilk yazılı düzenlemeler arasında yer almaktadır. Cumhuriyet döneminde ise 1921 tarihli Ereğli Havza-i Fahmiyesi Kanunu ile maden işçilerinin korunmasına yönelik önemli adımlar atılmıştır. 2003 yılında yürürlüğe giren 4857 sayılı İş Kanunu ve 2012 yılında kabul edilen 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile Türkiye'de İSG alanı bağımsız ve bütüncül bir yasal çerçeveye kavuşmuştur. Bu düzenlemelerle risk değerlendirmesi, önleyici yaklaşım ve çalışan katılımı esas alınmış; İSG uygulamaları uluslararası standartlarla uyumlu hâle getirilmiştir (Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, 2016).

2.1.2. Amaç ve Önemi

İş sağlığı ve güvenliğinin temel amacı, çalışanların yaşamlarını, fiziksel ve zihinsel sağlıklarını korumak ve güvenli bir çalışma ortamı oluşturmaktır. Bu doğrultuda iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesi, üretim süreçlerinin güvenliğinin sağlanması ve risklerin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Güvenli çalışma koşulları, çalışanların motivasyonunu ve iş tatminini artırırken, nitelikli iş gücü kaybını ve ekonomik zararları azaltmaktadır. Literatürde, Türkiye'de iş kazaları ve meslek hastalıklarının önemli bir toplumsal ve ekonomik sorun olduğu vurgulanmaktadır.

İş sağlığı ve güvenliği, çalışma ortamında sağlık ve güvenliği tehdit eden unsurların önceden belirlenmesini, gerekli önlemlerin alınmasını ve çalışanların fiziksel ve psikolojik açıdan korunmasını amaçlamaktadır (Cervatoğlu, 2003). Serin ve ark. (2015), bu uygulamaların temel hedefini çalışanları iş kazaları ve meslek hastalıklarından korumak olarak ifade etmektedir. Gökçe (2020) ise proaktif yaklaşımlarla risklerin ortaya çıkmadan önce önlenmesinin önemine dikkat çekmektedir.

Şenol vd. (2019), iş sağlığı ve güvenliğinin çalışanların, işletmenin ve üretimin korunması olmak üzere üç temel amaca sahip olduğunu belirtmektedir. Bu çerçevede, tehlikelerin azaltılması, iş sürekliliğinin sağlanması ve verimliliğin artırılması öncelikli hedefler arasında yer almaktadır.

İş sağlığı ve güvenliği, yalnızca yasal bir zorunluluk değil; çalışanların yaşam hakkını korumayı amaçlayan bütüncül bir yaklaşımdır. İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi, yaşam ve güvenliğin temel bir hak olduğunu vurgulamakta; iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları da bu hakkın iş yaşamında korunmasını hedeflemektedir.

Son yıllarda iş sağlığı ve güvenliğine verilen önemin teknik, ekonomik ve sosyal nedenlerle arttığı görülmektedir (Baybora, 2019; Güler, 2011; Gerek, 2006). Teknolojik gelişmeler, üretim süreçlerinde yeni riskler doğururken; vardiyalı çalışma ve yoğun üretim iş gücü kayıplarına yol açabilmektedir. Türkiye’de iş kazalarının yaygınlığı ve ölüm oranlarının yüksekliği, iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin önemini açık biçimde ortaya koymaktadır (ILO, 2009).

2.1.3. Risk Etmenleri

Mikro Ark Oksidasyon (MAO) ya da literatürde yaygın adıyla plazma elektrolitik oksidasyon metal yüzeyde oksit-seramik kaplama oluşturmak için elektrolit ortamında yüksek elektrik alan altında gerçekleşen ve yüzeyde mikro-ark/plazma deşarjlarının görüldüğü bir yüzey kaplama işlemidir. Sürecin doğası gereği yüksek gerilim–yüksek akım, elektrolit kimyası, gaz çıkışı ve yoğun ısı açığa çıkması gibi unsurlar aynı anda bulunduğundan, MAO uygulamaları iş sağlığı ve güvenliği açısından “birden çok tehlike kaynağının kesiştiği” prosesler arasında değerlendirilir. Literatürde MAO/PEO’nun, geleneksel anodizasyona kıyasla daha yüksek elektriksel rejimde çalıştığı; yüzeyde deşarjların oluştuğu, elektrolit, gaz zarfı ve oksit tabakanın birlikte rol oynadığı açıkça vurgulanır. Bu teknik çerçeve, risk etmenlerinin de çoğunlukla elektriksel, termal, kimyasal ve proses kaynaklı maruziyet başlıklarında kümelenildiğini göstermektedir (Simchen, 2020; Sikdar vd., 2021; Li vd., 2025).

Elektriksel risk etmenleri MAO prosesinin en kritik başlığıdır. İşlem, parça–elektrolit–karşı elektrot sisteminde güçlü bir elektrik alanla yürütülür; deşarj karakteri ve kaplama oluşumu doğrudan uygulanan gerilim/akım rejimiyle ilişkilidir (Sikdar vd., 2021; Simchen, 2020). Bu nedenle enerji beslemesinin açıkta kalması, yetersiz topraklama, izolasyon zafiyeti, kaçak akım ve bakım sırasında enerjinin güvenli biçimde kesilmemesi gibi durumlar elektrik çarpması ve ikincil yaralanmalar (düşme, çarpma) için temel risk etmenleri hâline gelir. MAO’da ayrıca ark benzeri deşarjların bulunduğu proses doğası, yanlış bağlantı, uygunsuz kablolama veya arızalı güç kaynağı koşullarında ark flaşı/yanık riski bağlamında da ayrıca ele alınmalıdır; burada riskin büyüklüğü yalnızca gerilimle değil, hatalı çalışma, bakım uygulamaları ve koruyucu donanımın yeterliliğiyle de artar (Sikdar vd., 2021).

Termal ve fiziksel risk etmenleri ise, deşarjların oluşturduğu lokal yüksek sıcaklık bölgeleri, elektrolit banyosunun çalışma sıcaklığı, sıçrama ve buharlaşma dinamikleri üzerinden ortaya çıkar. Proses sırasında yüzeydeki mikro-arklar ve yoğun enerji girdisi, ekipmanda sıcak yüzeyler ve sıçrama/buğu oluşumu gibi maruziyet yollarını artırır; bu durum sıcak elektrolit sıçramasıyla deri-göz yaralanmaları ve sıcak yüzey temasıyla yanık riskini yükseltir (Simchen, 2020; Sikdar vd., 2021). Sürecin görsel olarak “kıvılcım/deşarj” içermesi aynı zamanda optik radyasyon (parlama) ve gürültü maruziyetini de gündeme getirir; özellikle kapalı hacimli veya zayıf havalandırılmış alanlarda bu etkiler daha belirgin hâle gelebilir (Sikdar vd., 2021).

Kimyasal risk etmenleri, MAO elektrolitlerinin çoğunlukla sulu ve alkalın karakterli olması, işlem sırasında aerosolleşme/buğu oluşması ve kimyasal hazırlık–doldurma–boşaltma adımlarında doğrudan temas ihtimalinin bulunmasıyla ilişkilidir. MAO/PEO literatürü, elektrolitin proses performansı açısından belirleyici olduğunu ve farklı elektrolit bileşimlerinin kullanıldığını ayrıntılı biçimde ortaya koyar; bu çeşitlilik, işyeri açısından kimyasal envanterin genişlemesi ve maruziyet senaryolarının çoğalması anlamına gelir (Simchen, 2020; Sikdar vd., 2021). Alkalın elektrolitlerle çalışmada cilt ve göz irritasyonu/kimyasal yanık riski, kimyasal hazırlama sırasında dökülme-sıçrama riski ve uygun depolama/etiketleme yapılmadığında uyumsuz kimyasalların etkileşimi gibi etmenler kritikleşir. Ayrıca prosesin doğası gereği banyodan çıkan aerosoller, solunum yoluyla maruziyet ihtimalini artırabilir; bu nedenle havalandırma, kapalı sistem tasarımı ve kişisel koruyucu donanımın seçimi risk yönetiminin ayrılmaz parçasıdır.

Proses kaynaklı bir diğer önemli risk etmeni gaz oluşumu ve basınç/yanıcılık senaryolarıdır. Elektrolitik reaksiyonlar ve yoğun deşarj rejimi, gaz çıkışı ve köpürme gibi fenomenleri destekleyebilir; bu durum özellikle kapalı kaplar, yetersiz havalandırma

ve ateşleme kaynaklarının bulunduğu düzeneklerde ikincil risklere zemin hazırlar (Simchen, 2020; Sikdar vd., 2021). Buna ek olarak, işlem sonrası durulama, pasivasyon, kurutma gibi yardımcı adımlar; kayma-düşme (ıslak zemin), ergonomik zorlama (ağır parça/askı sistemleri), kesilme-sıkışma (fiktür ve kaldırma ekipmanı) gibi klasik üretim risklerini MAO hattına taşır. Dolayısıyla MAO’da risk etmenlerinin yalnızca “tank içi proses” ile sınırlı olmadığı, hammadde/kimyasal kabulünden atık yönetimine kadar tüm iş akışında değerlendirilmesi gerektiği kabul edilmelidir.

Bu noktada örnek bir risk değerlendirme yaklaşımı, Türkiye’de yürürlükte olan risk değerlendirmesi düzenlemesinin öngördüğü adımlarla (tehlikelerin tanımlanması, risklerin analiz edilmesi, kontrol tedbirlerinin belirlenmesi, dokümantasyon ve periyodik gözden geçirme) uyumlu biçimde kurgulanabilir (ÇSGB, 2012). Uygulamada, makine/proses güvenliği literatüründe de yaygın olan “makinenin sınırlarının belirlenmesi–tehlikelerin belirlenmesi–risk tahmini ve risk azaltma” mantığı MAO hattına uyarlanır; proses sınırları belirlenirken ekipman konfigürasyonu, çalışma modları (normal çalışma, ayar, temizlik, bakım), kimyasal hazırlama alanı ve atık/arıtım noktaları ayrı ayrı ele alınır (ÇSGB, 2025). Örneğin MAO tankında parça bağlama ve çalıştırma adımında başat tehlike elektriksel temas ve sıçrama/yanık iken; elektrolit hazırlama adımında başat tehlike kimyasal temas ve dökülme; bakım/temizlikte ise enerji izolasyonu yapılmadan müdahale, kilitleme–etiketleme eksikliği ve kapalı alan/kimyasal buğu maruziyeti öne çıkar. Bu tehlikeler belirlenip mevcut kontroller (mühendislik kontrolleri, idari kontroller, KKD) analiz edildikten sonra, risk puanlamasında 5x5 matris ya da Fine–Kinney gibi yöntemler seçilebilir; metal/imalat uygulamalarında bu yöntemlerin pratikte kullanıldığı ve sonuçlarının karşılaştırmalı biçimde raporlandığı çalışmalar bulunmaktadır (Aker ve Över Özçelik, 2020).

Örnek bir senaryoda “elektrolit hazırlama sırasında alkalın kimyasalın dökülmesi ve sıçrama ile göz yaralanması” tehlikesi için mevcut kontroller (kimyasal gözlük/siperlik, sıçrama önleyici kapak, uygun aktarım pompası, dökülme kiti ve eğitim) gözden geçirilir; risk kabul edilebilir değilse öncelik mühendislik kontrolüne verilir (kapalı transfer, otomatik dozaj, ikincil sızdırmazlık, lokal emiş), ardından idari kontroller (SDS erişimi, çalışma talimatı, yetkilendirme, acil duş–göz yıkama testleri) ve en son KKD optimizasyonu uygulanır. Benzer şekilde “proses sırasında elektrik çarpması” için risk azaltma, enerji izolasyonu ve kilitleme–etiketleme prosedürleri, kaçak akım rölesi/topraklama doğrulaması, izole kabin ve erişim kontrolü gibi teknik önlemlerle temellendirilir; bakım faaliyetleri ayrı bir çalışma izni rejimiyle yönetilir. Bu yaklaşım, risk değerlendirmesinin yalnızca puanlama değil, tehlikeyi kaynağında azaltmayı

hedefleyen sistematik bir kontrol hiyerarşisi içinde ele alınması gerektiği ilkesine dayanır (ÇSGB, 2012; 2025).

2.1.3.1. Fiziksel Risk Faktörleri

İş sağlığı ve güvenliği alanında temel kavramlardan biri olan risk, çalışanların istenmeyen sonuçlarla karşılaşma olasılığı olarak tanımlanmaktadır (Gökçe, 2020; Özbilgin, 2012). Dünya Sağlık Örgütü ise riski, “olumsuz bir sonucun meydana gelme olasılığı ya da bu olasılığı tetikleyen etken” şeklinde ifade etmektedir (Kocabaş vd., 2018). Çalışma ortamlarının sürekli değişmesi ve üretim süreçlerinin karmaşıklaşması, çalışanların maruz kaldığı risk türlerini artırmakta ve çeşitlendirmektedir (Deniz, 2021).

Fiziksel risk faktörleri, iş yerindeki ortamın fiziksel koşullarından kaynaklanan ve çalışan sağlığını doğrudan etkileyebilen unsurları kapsamaktadır. Gürültü, titreşim, aşırı sıcak veya soğuk, yetersiz aydınlatma, radyasyon ve basınç gibi etmenler fiziksel risk faktörleri arasında yer almaktadır. Bu risklerin etkisi, maruz kalma süresi ve şiddetine bağlı olarak çalışanlarda işitme kaybı, kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, dolaşım bozuklukları ve genel sağlık sorunlarına yol açabilmektedir (Sabır, 2019; Çakıroğlu, 2007).

İşveren, çalışanların sağlık ve güvenliğini korumakla yükümlü olup, çalışma ortamında mevcut olan fiziksel risk faktörlerini belirlemek ve bu risklere karşı gerekli önlemleri almak zorundadır (Çağrı, 2021). Standartlara uygun olmayan iş yerlerinde, fiziksel risklerin etkisini azaltabilmek için öncelikle risklerin sistematik biçimde tespit edilmesi, ardından mühendislik önlemleri, organizasyonel düzenlemeler ve kişisel koruyucu donanımların kullanılması gerekmektedir (Bilgiç ve Çimen, 2019).

İSG önlemlerinin alınmasının işletmeye olan faydalarını şu şekilde sıralanabilir: Tehlikesiz bir ortamda çalışmak çalışanların işe olan tatmini artırmaktadır ve bu durum onların iş verimine olumlu yansımaktadır. Verimin artması işletmelerin kârlılığını artırarak doğrudan ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır (Çakıroğlu, 2007: 23).

Gürültü: Gürültü, hoş olmayan ve rahatsız edici bir ses olarak tanımlanabilir. Yüksek ses düzeyine maruz kalmak, ülkemizde yaygın olan iş yerlerinden kaynaklanan tehlikelerden biridir. Çalışanlar için maruz kalma oranının artması, kalıcı ya da geçici işitme kayıplarına yol açabilir. Dünyada ve ülkemizde, sanayinin gelişimi ve makinelerin kullanımının artması, birçok sağlık ve güvenlik tehdidini artırmıştır. Farklı sektörlerde çalışan insanlar, yaptıkları işin özelliklerine bağlı olarak sağlık ve güvenliklerini tehdit eden risklerle karşı karşıyadırlar. Bu risklerden biri gürültüdür (Özmen, 2014). Gürültü, insanlara zararı olan ve hoş olmayan sesler olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre, gürültü

iş ve işçi sağlığı açısından hem iç hem de dış ortamda zarar verici ve sağlık açısından sorun yaratabilecek bir durumdur. Bu teoriler ve varsayımlar ışığında gürültünün insanların konforunu olumsuz etkilediği öngörülmektedir (Soylu ve Gökkuş, 2016). Gürültü hem fiziksel hem de psikolojik açıdan çeşitli etkilere neden olduğu görülmektedir. Fiziksel etkileri arasında işitme kaybı veya işitme eşiğinin değişmesi, kulak ağrısı, mide bulantısı, kaslarda gerilme, yükselen kan basıncı, kalp atışları ve kan dolaşımında değişiklikler, göz bebeğinin büyümesi gibi durumlar yer alırken; psikolojik olarak da, sinir bozukluğu, korku, huzursuzluk, yorgunluk, zihinsel yavaşlama ve uyku problemi gibi sorunlara yol açabilir (Evren, 2016).

Gürültü düzeyinin insan ve toplum sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğu için bunun kontrol altında tutulması önemlidir. Çalışanların kişisel koruyucu ekipman kullanarak ve dinlenme sürelerine dikkat ederek gürültü maruziyetini azaltmaları gerekmektedir. Gürültü ile ilgili yasal düzenlemeler, belirli sınır değerler ve ölçüm standartları oluşturulmuştur. İnsan kulağı, 0 ile 140 dB(A) aralığındaki sesleri hissedebilmektedir. Gürültü yönetmeliğine göre maruziyet sınır değerleri ise çizelge 6'da belirtilmektedir. 80 dB(A) basıncındaki gürültü için maruziyet süresi en fazla 8 saattir. Ses basıncı arttıkça maruziyet süreleri azaltılmalıdır. Tablo 1' de gürültü düzeyine karşılık gelen çalışma süreleri verilmiştir.

Tablo 1. Sınır değerler (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013)

En Yüksek Gürültü Düzeyi (dB(A))	80	90	95	100	105	110	115
Çalışma Süresi (Saat/Gün)	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125

Çalışanların gürültü ile ilgili tehlikelerden korunmasına dair düzenlemenin beşinci maddesinde, maruziyetin sınır değerleri ve maruziyet eylem değerleriyle ilgili bilgiler yer almaktadır.

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği temelinde, sağlık kuruluşlarındaki kapalı alanlarda ses seviyeleri için belirlenen sınır değerleri şöyledir; dinlenme ve tedavi odalarında kapı ve pencereler kapalı olduğunda 25 dB(A), pencereler açık olduğunda ise 35 dB(A) olmalıdır. Diğer hastane bölümleri, örneğin poliklinikler, kapalı pencerede 35 dB(A) ve açıkken 45 dB(A) ile sınırlandırılmıştır (ÇOB, 2010). Bu limitlerin aşılması hem sağlık çalışanlarının hem de hastaların sağlığını korumak açısından büyük bir önem taşımaktadır.

Bir çalışanın gürültüye maruz kalma miktarı, belirlenen sınır değerini geçmemelidir. Eğer bu değer aşıyorsa, durumu tespit etmeli ve gerekli tedbirleri acilen

almalıyız. İşin doğası gereği gürültülü ortamlarda çalışıldığında riski azaltmak için, yüksek gürültü seviyesine sahip olan işlerin daha az gürültülü seçeneklerle değiştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, gürültüyü kaynağında azaltmak için perdeleme gibi önlemler alınmalı, çalışanların koruyucu ekipman kullanmaları sağlanmalı, dinlenme sürelerine özen gösterilmeli ve düzenli sağlık kontrolleri yapılarak sürekli izleme sağlanmalıdır.

Aydınlatma: Çalışanların sağlığını korumak için önemli fiziksel koşullardan biri iyi aydınlatmadır. Aydınlatmanın en temel görevi, yapılan işin net bir şekilde görünmesidir (Evren, 2016). Aydınlatma, bir alana düşen ışık miktarı olarak tanımlanmakta ve birimi lüks olarak belirlenmektedir (Evren, 2016). İş yerlerinde doğru aydınlatma, iş verimliliği üzerinde önemli bir etkisi olan bir unsurdur. Öncelikle, yapılan işin tüm detaylarını görebilmek için aydınlatma zorunludur. İş sağlığı ve güvenliği açısından sağlayacağı avantajlar arasında, uygun aydınlatmanın işin kalite standartlarına uymasını sağlaması, hata oranlarını azaltması, iş kazalarını engellemesi, çalışanların sağlığını koruması, motivasyonu artırması ve yorgunluk ile dikkatsizliği engellemesi yer alır. Ayrıca, iyi aydınlatma koşullarında çalışanların göz sağlığı da korunmuş olur. Yetersiz aydınlatma altında çalışmak, kaza riskini artırabilir ve verimliliği düşürebilir. Aydınlatmanın amacı, insanların çevresindeki nesnelere kolaylıkla görebilmesini, ortamın güvenli ve konforlu olmasını sağlamak ve bu durumu sürdürebilmektir (Keşçi, 2020).

Titreşim: Çalışma alanında, çalışanların güvenliğini ve sağlığını tehdit eden unsurlardan biri titreşimdir. Bu durum, işin verimliliğini ve kalitesini de olumsuz etkileyebilir. Neredeyse tüm endüstri sektörlerinde titreşim yaratan makineler ve ekipmanlar kullanılmaktadır (T.C. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı). Titreşim, bir mekanik sistemdeki salınım hareketlerini tanımlayan bir terimdir. Bu, potansiyel enerjinin kinetik enerjiye ve bunun tersinin gerçekleşmesi olayıdır. Titreşimi etkileyen ana unsurlar; frekansı, şiddeti ve yönüdür. Endüstride çok sayıda titreşim kaynağı olmasına rağmen, iyi dengelenmemiş ve çalışan makineler genellikle titreşim üretir (Evren, 2016).

Titreşim, ses dalgaları gibi belirli sayıda tekrarlayan dalgalar olarak tanımlanır. Ancak, sesin havadan aktarılmasıyla titreşimin vücudun katı kısımlarından geçmesi arasındaki fark önemlidir. İş sağlığı ve güvenliği açısından titreşimin amacı, kullanılan aletlerin çalışanlara kısa veya uzun süreli maruziyetleri durumunda etkilerini azaltmak ve çalışanların sağlıklı bir çalışma ortamında görev yapmalarını sağlamaktır (Mert, 2020).

İnsanlar, titreşim nedeniyle düşük frekanslarda sarsılma hissederken, yüksek frekanslarda karıncalanma veya yanma hissi yaşayabilir. Titreşimin insan vücudunda fizyolojik, psikolojik ve patolojik etkileri vardır. Klinik bulgular incelendiğinde, titreşimli

el aleti kullanan işçilerin ellerinde kan dolaşımını sorunları, aşırı duyarlılık ve ardından uyuşma gibi belirtiler görülmektedir. Eğer maruz kalma devam ederse, omuz bölgesinde ağrı, yorgunluk ve soğuğa karşı daha fazla hassasiyet yaşanabilir (Evren, 2016).

Termal konfor: Bir iş ortamında termal konfor denildiğinde, burada mevcut olan sıcaklık, nem oranı, hava akışı ve radyant ısı gibi unsurların ön plana çıktığını belirtmek gerekir. Yani termal konfor, bir işyerinde çalışanların sıcaklık, nem ve hava akışı gibi koşullarda hem fiziksel hem de zihinsel aktivitelerini yürütürken hissettikleri rahatlığı ifade eder (Evren, 2016).

Termal konfor, çalışanların iş ortamlarında görevlerini yerine getirirken bedensel ve zihinsel olarak nasıl hissettiklerinin bir göstergesidir. ASHRAE, termal konforu kişisel bir deneyim olarak tanımlar ve bireyin termal çevre ile etkileşiminden kaynaklanan memnuniyet olarak açıklar. Eğer termal konfor sağlanamazsa, çalışanlarda dikkat dağınıklığı gibi istenmeyen durumlar meydana gelebilir ve bu da iş verimini olumsuz yönde etkileyebilir. Termal konfor yalnızca çevresel veya kimyasal faktörlere bağlı değildir; aynı zamanda bireyin kendi özellikleriyle de ilgilidir. Bir kişinin algıları, fizyolojisi, metabolizması, psikolojisi ve diğer etkiler termal konforu doğrudan etkilemektedir (Mert, 2020).

Termal konfor koşullarının bozulması, insan sağlığı ve güvenliği üzerinde olumsuz etkilere yol açar. Sıcak havalarda sinir sistemi etkilenebileceği gibi, kas gücünde azalma, artan nabız, aşırı yorgunluk, ağrılı kas krampları, baş ağrısı, mide rahatsızlıkları ve uykusuzluk gibi problemler ortaya çıkar. Soğuk havadaysa, ayaklarda şişme, kızarıklık, yanma hissi ve eklem romatizması gibi sıkıntılar yaşanabilir. Bu nedenle, uygun olmayan termal konfor koşulları çalışma hızını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda iş kazalarının görülme oranını artırır (Evren, 2016).

Termal riskler nedeniyle ortaya çıkan sağlık problemleri, erken teşhis ve müdahale ile kolaylıkla önlenilecek meslek hastalıkları arasında bulunur. Etkili çalışma ortamları, ancak termal konfor sağlandığı alanlarda mümkün olur (Coşkun Beyan vd. , 2017).

Çalışanlar için ideal termal konfor sağlayan ortama termal konfor bölgesi denir. Termal konforu etkileyen 4 ana parametre için ideal değerler tablo 2’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Bazı çalışma türlerinde termal konfor sınır değerleri (T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2013)

Çalışma Şekli ve İş Yüğü	Hava Sıcaklığı (oC)			Bağıl Nem (%)			Hava Akım Hızı (m/sn)
	min	opt	maks	min	opt	maks	maks
Ofis İşİ	18	21	24	30	50	70	0.1

Tablo 2. (Devamı)

Oturarak Hafif İş	18	20	24	30	50	70	0.1
Ayakta Hafif İş	17	18	22	30	50	70	0.2
Ağır İş	15	17	21	30	50	70	0.4

2.1.3.2. Kimyasal Risk Faktörleri

Herhangi bir belirli kimyasal bileşimi olan katı, sıvı, gaz veya aerosol biçimindeki maddelere kimyasal madde denir. Kimyasal madde, sabit bir kimyasal bileşimi ve kendine özgü özellikleri olan bir madde türüdür. Fiziksel ayırma yöntemleri kullanılsa bile, bu kimyasal bağlar bozulmadan bileşenlerine ayrılamaz. Doğada bulunan, üretilen, bir işlem sırasında oluşan veya bir işlem sonucunda atık olarak ortaya çıkan her çeşit element, bileşik ya da karışım bu tanım altında yer almaktadır (Altın, 2018).

Toz: Toz, havada belirli bir süre kalabilen değişik boyutlardaki katı parçacıklar olarak tanımlanır. Bu parçacıklar, çeşitli organik ve inorganik maddelerin aşınması, parçalanması, öğütülmesi ya da yanması ile meydana gelir. Tozların boyutları genellikle 1 µm ile 100 µm arasında değişebilir ve kimyasal özellikleri, onları oluşturan maddelerin yapısına benzer (Kaplan vd., 2016).

İş yerindeki hava akışı, çalışanların sağlığı ve verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışanların yüksek bir tempoda çalışabilmesi ve bu hızda devam edebilmesi için temiz bir çalışma ortamı sağlamak hayati öneme sahiptir. İş yerindeki hava kirliliği, çalışanların yeterli oksijen almasını zorlaştırabilir. Bu da çalışanların çabuk yorulmasına ve iş performanslarının düşmesine sebep olabilir. Ayrıca, yetersiz havalandırma sistemleri nedeniyle ortaya çıkan kirli hava, çalışanların dikkatinin dağılmasına yol açarak işlerine yoğunlaşmalarını güçleştirebilir. Kirli hava, çalışanlarda olumsuz tutumlar ve dikkatsizliklerin artmasına neden olabilir, bu da iş kazalarının yaşanma olasılığını yükseltebilir (Keşçi, 2020).

Tehlikeli Kimyasal Madde: ILO tarafından yapılan sınıflandırmalardan bir ya da daha fazlasını içeren maddeler ve karışımlar, ayrıca bu sınıflandırmaların dışında kalan kimyasal, fiziko-kimyasal veya toksikolojik özelliklere sahip olan ve işçilerin sağlık ve güvenliğini etkileyen, işyerlerinde bulunma ya da kullanma şekliyle risk taşıyan maddeler ile mesleki maruziyet sınır değerleri belirlenmiş olan maddeler de tehlikeli maddeler grubuna dahildir (Altın, 2018).

Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 30. maddesine dayanılarak hazırlanmış olup, işyerlerinde kullanılan kimyasal maddelerin çalışanların sağlık ve güvenliği üzerindeki risklerinin önlenmesini amaçlamaktadır. Yönetmelik, kimyasal

maddelerin üretimi, kullanımı, depolanması, taşınması ve atıklarının bertarafı dâhil olmak üzere tüm süreçleri kapsamakta; bu süreçlerde ortaya çıkabilecek tehlikelerin sistematik biçimde kontrol altına alınmasını hedeflemektedir (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2023).

Yönetmelikte kimyasal madde; doğal ya da sentetik kaynaklı olsun, üretim veya kullanım sürecinde ortaya çıkan ve atıkları da kapsayan her türlü element, bileşik veya karışım olarak tanımlanmıştır. Kimyasal maddelerle çalışmalarda temel yaklaşım, çalışanların mesleki maruziyet sınır değerlerinin aşılmaması, biyolojik sınır değerlerin izlenmesi ve maruziyetin sağlık gözetimi yoluyla kontrol edilmesidir. Bu kapsamda işverenlerin, işyerinde kullanılan kimyasallara ilişkin güncel ve Türkçe Güvenlik Bilgi Formlarını temin etme ve çalışanların erişimine sunma yükümlülüğü bulunmaktadır.

Yönetmelik, tehlikeli kimyasal maddeleri; fiziksel, kimyasal veya toksikolojik özellikleri nedeniyle çalışanların sağlık ve güvenliği açısından risk oluşturan maddeler olarak ele almakta ve bu maddelerle çalışılan işyerlerinde risk değerlendirmesinin zorunlu olduğunu vurgulamaktadır. Risk değerlendirmesi; kimyasal maruziyetin türü, düzeyi ve süresi dikkate alınarak yetkili laboratuvarlarca yapılan iş hijyeni ölçümleriyle desteklenmelidir. Ayrıca bakım, onarım, kurulum, işletmeye alma ve devre dışı bırakma gibi faaliyetler sırasında ortaya çıkabilecek kimyasal maruziyetlerin de risk değerlendirmesi kapsamına dâhil edilmesi gerekmektedir.

Son olarak Yönetmelik, işverenlerin kimyasal risklerin yönetilmesine yönelik rehber ve metotlardan yararlanabileceğini; bu rehberlerin çalışan sayısı, işyerinin tehlike sınıfı ve sektör özellikleri dikkate alınarak hazırlanabileceğini düzenlemektedir. Bu yönüyle düzenleme, kimyasal maddelerle çalışılan işyerlerinde önleyici yaklaşımı esas alan ve uygulamayı yönlendiren bir iş sağlığı ve güvenliği çerçevesi sunmaktadır.

Kimyasallar, potansiyel tehlikelerine göre fiziksel olarak katı, sıvı veya gaz halinde üç farklı formda bulunabilir. Kimyasal maddenin özellikleri, maruziyetin gücü ve süresi, bireyin sağlığı ve duyarlılığı gibi faktörlere bağlı olarak, kimyasalların vücuda üç ana yolla girebildiği bilinmektedir. Bunlar, solunum yolu, cilt emilim yolu ve sindirim yoludur (Kavaklı Vatansever ve Ateş, 2018).

2.1.3.3. Ergonomik Risk Faktörleri

Ergonomi kavramı, kökenini Yunanca “iş” anlamına gelen *ergon* ile “kural” veya “öğreti” anlamındaki *nomos* sözcüklerinden almakta olup, çalışma ortamının ve işin, insanın fiziksel ve zihinsel özelliklerine uygun şekilde düzenlenmesini amaçlayan bir bilim dalı olarak tanımlanmaktadır (Ören, 2020). Ergonomi, bireylerin antropometrik

ölçülerini, fizyolojik kapasitelerini, ruhsal durumlarını ve sosyal ilişkilerini dikkate alarak, insan ile iş arasındaki uyumu sağlamayı hedeflemektedir.

Ergonomi bilimi, insan–iş–çevre etkileşimini bütüncül bir yaklaşımla ele almakta; çalışanların tolerans sınırlarını belirleyerek işlerin insanlara, insanların da işlerine uyumunu artırmaya yönelik çözümler sunmaktadır. Günümüzde ergonominin amacı yalnızca iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemekle sınırlı olmayıp, aynı zamanda üretim süreçlerinin sürekliliğini sağlamak, verimliliği artırmak ve çalışanların iş ortamında fiziksel ve psikolojik açıdan daha iyi hissetmelerine katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda ergonominin temel hedefleri; çalışma koşullarının iyileştirilmesi, üretkenliğin artırılması ve güvenliğin sağlanması şeklinde sıralanmaktadır (Selek, 2022).

Ergonomik risk faktörleri, çalışma sırasında ortaya çıkan ve çoğunlukla uzun vadede etkisini gösteren risklerdir. Yanlış duruş (postür), tekrarlayan hareketler, statik yüklenme, aşırı kuvvet kullanımı ve uzun süre aynı pozisyonda çalışma, ergonomik risklerin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Bu riskler, özellikle kas-iskelet sistemi hastalıklarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Ofis ortamlarında en sık rastlanan meslek hastalıkları arasında bel, boyun ve sırt ağrıları ile üst ekstremiteler rahatsızlıkları bulunmaktadır (Kahraman, 2013).

Ergonomik risklerin azaltılabilmesi için çalışma ortamında uygun tasarımların yapılması büyük önem taşımaktadır. Bel destekli sandalyelerin kullanılması, ekran yüksekliğinin göz hizasında ayarlanması, ayak desteklerinin sağlanması ve düzenli aralıklarla hareket edilmesi gibi önlemler, çalışanların kas-iskelet sistemi üzerindeki yükü azaltarak meslek hastalıklarının önlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu süreçte işverenlerin uygun ergonomik koşulları sağlaması, çalışanların ise bilinçlenerek iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına aktif katılım göstermesi gerekmektedir.

Çalışma ortamlarında titreşim, basınç ve çeşitli elektriksel kaynaklar nedeniyle statik elektrik alanlarına maruz kalılabilmektedir. Her ne kadar bu tür ortamlarda ciddi radyasyon riski bulunmasa da ergonomik açıdan uygun olmayan aydınlatma, sıcaklık ve gürültü koşulları çalışanlarda baş ağrısı, yorgunluk, dikkat dağınıklığı ve performans düşüklüğü gibi sorunlara yol açabilmektedir. Yetersiz aydınlatma göz yorgunluğunu artırırken, uygun olmayan sıcaklık ve gürültü düzeyleri hem fiziksel hem de zihinsel rahatsızlıkları tetikleyebilmektedir.

Ergonomik risk faktörleri, özellikle sağlık sektöründe daha belirgin biçimde ortaya çıkmaktadır. Sağlık çalışanlarının fiziksel kapasiteleri ile yaptıkları iş arasındaki uyumsuzluk, işle ilişkili kas-iskelet sistemi hastalıklarının görülme sıklığını artırmaktadır. Sağlık çalışanlarında en yaygın görülen rahatsızlıkların başında bel ağrıları

gelmektedir. Hastaların kaldırılması, taşınması veya düşmelerinin engellenmeye çalışılması sırasında kas, tendon, eklem ve bağ dokularında ciddi zorlanmalar meydana gelebilmektedir. Diş hekimleri, mesleklerinin gerektirdiği uzun süreli sabit ve öne eğik duruşlar nedeniyle boyun ve omuz bölgesinde yoğun kas-iskelet sorunları yaşarken; laboratuvar çalışanları ise mikroskop başında uzun süre uygunsuz pozisyonlarda çalışmaları nedeniyle özellikle boyun ve üst ekstremité rahatsızlıkları ile karşılaşmaktadır (Akarsu ve Güzel, 2016).

Sonuç olarak ergonomik risk faktörleri, iş sağlığı ve güvenliği açısından göz ardı edilmemesi gereken, uzun vadede ciddi sağlık sorunlarına yol açabilen unsurlar arasında yer almaktadır. Ergonomik düzenlemelerin yapılması, çalışanların bilinçlendirilmesi ve iş ortamlarının insan odaklı tasarlanması hem çalışan sağlığının korunması hem de iş verimliliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

2.1.3.4. Psikososyal Riskler

Psikososyal riskler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik risklerin aksine, tespit edilmesi ve anlaşılması çok daha zor olan risklerdir. Gözle görülmemesi, bu tür risklerin tanımlanmasını güçleştirir. Bu yüzden, riskin ne anlama geldiğinin bilinmesi ve tanımlanması, psikososyal risklerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Türk Dil Kurumu'na göre, risk, “Zarara uğrama tehlikesi, riziko” anlamına gelmektedir. Dünya Sağlık Örgütü ise riski, “Sonucun olumsuz olma olasılığı veya bu olasılığı artıran faktör” şeklinde tanımlamaktadır (Özkılıç, 2014: 19-20).

Psikososyal kavramına bakıldığında, bu terimin psiko ve sosyal kelimelerinin bir araya gelmesinden oluştuğu anlaşılmaktadır. Psiko, bireyin zihinsel durumunu ifade ederken, sosyal kelimesi özellikle mesleki durumla ilgili karşılıklı ilişkileri göstermektedir. Psikososyal riskler ise, “Öncelikle bireyin psikolojik durumu ile iş yerindeki etkileşimlerinden kaynaklanan ve ruhsal sağlığına zarar verebilecek olan riskler” olarak tanımlanabilir (Kandemir, 2017: 25-27). Bu perspektiften bakıldığında, mesleki kaynaklı psikolojik riskler, çalışanların zihinsel sağlığına ve fizyolojik bütünlüğüne zarar verme potansiyeli taşıyan riskler olarak değerlendirilebilir. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) de benzer bir yaklaşım sergilemiş ve psikososyal riskleri; “İş tatmini, iş organizasyonu ve yönetimi, çevresel ile örgütsel koşullar ve işçilerin uzmanlık düzeyleri ile gereksinimleri arasındaki etkileşimde ortaya çıkma olasılığı bulunan olumsuz durumlar” olarak tanımlamayı tercih etmiştir (ILO, 2018). Bu konuyla ilgili olarak Türkiye'de birçok araştırma gerçekleştirilmiş ve çeşitli tanımlara ulaşılmıştır. Örneğin, İlhan, psikososyal riskleri “İşin düzenlenmesi, işin tasarımı ve

yönetimi, ayrıca bunların yapıldığı sosyal ve çevresel koşulların psikolojik, sosyal ya da fiziksel zarar verebilecek özellikleri" şeklinde tanımlamıştır. Bu nedenle, iş ve meslek kaynaklı psikososyal risklerin strese yol açtığı ve bunun sonucunda psikososyal tehlikelerin ortaya çıkabileceği ifade edilebilir (İlhan, 2016). Akyaçın da psikososyal riskleri "İşin tasarımı, organizasyonu ve yönetimiyle ilişkili olduğu kadar, işin ekonomik ve sosyal yönleriyle de bağlantılı olup, sonucunda gerilim seviyesini artıran ve zihinsel ile fiziksel sağlık sorunlarına yol açan unsurlar" olarak tanımlamaktadır (Akyaçın, 2016: 142).

Tanımlamaların gösterdiği gibi, psikososyal risklere yol açan çeşitli öğeler mevcuttur. Ayrıca, bu öğelerin çoğu sıklıkla bir arada görünmektedir. Bu durum, hangi öğenin psikososyal risklere ne kadar katkıda bulunduğunu belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Ancak, iş güvencesinin olmaması, yoğun iş yükü, çalışma şartları, çalışma ortamındaki eksiklikler, çalışma süreleri, uygulanan güvenlik önlemlerinin yetersizliği, çalışanlar arasındaki ilişkiler, iş yerindeki roller, maaşlar, vardiya koşulları, esnek çalışma ve mobbing gibi birçok psikososyal risk faktörünün varlığı bilinmektedir (Akyaçın, 2016: 142-143).

Stres ve Tükenme: Stresi tanımlamak, insanların enerji ve keyif kaybına yol açan bir gerilim durumu olarak mümkündür. Bu duygunun oluşması, yalnızca hayatımızdaki büyük olaylardan değil, günlük yaşantımızdaki ufak olaylardan da kaynaklanabilir. Tükenme durumu ise, düşünce ve hislerde yaşanan bozulmalarla, bireysel tatminsizliklerin ortaya çıkmasıyla, iş performansının düşmesiyle ve sosyal ilişkilerin zayıflamasıyla karakterize edilen bir ruh halidir. İş yerinde stresin nedenleri arasında şu unsurlar bulunabilir;

- ✓ İş yerinde bulunan zorluklar,
- ✓ Sağlık yöneticileri tarafından çalışanlara verilen alakasız iş yükleri,
- ✓ Sağlık çalışanlarının hastalar tarafından rahatsız edilmesi durumu,
- ✓ Sağlık çalışanlarına eklenen fazla sorumluluklar,
- ✓ İş deneyiminin yetersiz olması,
- ✓ İş yerindeki olumsuz çalışma koşulları,
- ✓ Sağlık çalışanları arasındaki iletişim sorunları ve anlaşmazlıklar,
- ✓ Çalışma grubu ve meslektaşlarının sürekli değişmesi,
- ✓ Personel sayısının yetersiz oluşu,

Mobbing (Bezdirme): Çalışma alanında, yöneticiler veya diğer çalışanlar tarafından bir süre boyunca düzenli olarak meydana gelen zorbalık, iş motivasyonunu azaltmak, iş

üzerindeki baskıyı artırmak ve bireyin kişiliğine saldırmak gibi kasıtlı ve kötü niyetli eylemler mobbing terimiyle tanımlanabilir (Tümer, 2014). Ancak, bir çalışanın iş yerinde maruz kaldığı her olumsuz davranışın mobbing olarak nitelendirilmesi yanlış bir yaklaşımdır. İş yerindeki olumsuz davranışların mobbing olarak kabul edilebilmesi için belirli özellikler taşımaları gerekmektedir;

- ✓ Olayın çalışanın bulunduğu iş yerinde meydana gelmesi zorunludur,
- ✓ Kötü niyetli davranışların sürekli ve kasıtlı olarak gerçekleşmesi gerekir,
- ✓ Bu davranışların amacı, çalışanın işten soğuması ve tükenmişlik hissi yaratmak olmalıdır,
- ✓ Kişiliğine yönelik saldırılar, açık veya gizli bir şekilde gerçekleştirilebilir,
- ✓ Çalışana uygulanan saldırının sonucunda, kişinin sağlığı ya da mesleki güvenirliliği zarar görmelidir.

2.1.4. İş kazası ve Meslek Hastalıkları

Günümüzde şirketler, ekonomik sürdürülebilirliklerini sağlamak, rekabet avantajlarını korumak ve büyümelerini devam ettirebilmek için çok sayıda riskle karşı karşıya kalmaktadır. Bu risklerin başında, çalışanların güvenliği ve üretim süreçlerinin sürekliliğini tehdit eden iş kazaları ve meslek hastalıkları gelmektedir. İşletmeler, kârlarını artırmanın yanı sıra çalışanlarını koruyarak işletme güvenliğini sağlamakla da yükümlüdürler (Horozoğlu, 2017). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde iş kazalarının yol açtığı maddi ve manevi kayıplar, ekonomik kalkınma çabalarının önünde önemli bir engel oluşturmaktadır (Güney, 2009).

İş sağlığı ve güvenliği alanında temel kavramlardan biri iş kazasıdır (Gökçe, 2020). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 3. maddesine göre iş kazası; iş yerinde veya işin yürütümü sırasında meydana gelen, ölüme neden olan ya da çalışanın bedensel veya ruhsal bütünlüğünü bozan olaylar olarak tanımlanmaktadır. İş kazaları çoğunlukla yapılan işin niteliğinden, çalışma koşullarından ve dikkatsizlik gibi insan faktörlerinden kaynaklanmaktadır (Arıtan ve Ataman, 2017). İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının temel amacı da çalışanları iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı korumak ve güvence altına almaktır.

Kaza kavramı, Türk Dil Kurumu tarafından istem dışı gelişen ve kişi, nesne veya araçlara zarar veren olaylar şeklinde tanımlanırken; Dünya Sağlık Örgütü kazayı, ani gelişen ve yaralanma, maddi hasar ya da ölüme sonuçlanabilen olay olarak açıklamaktadır (Yıldız, 2019). İş kazası ise, iş yerinde gerçekleşen ve çalışanın bedensel ya da ruhsal zarar görmesine yol açan özel bir kaza türü olarak değerlendirilmektedir.

Uluslararası Çalışma Örgütü, iş kazalarını beklenmedik ve önceden planlanmamış, belirli bir zarara yol açan olaylar şeklinde tanımlamaktadır (Selek, 2022). Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'na göre de çalışanın yaptığı işin niteliği veya işin doğasından kaynaklanan nedenlerle meydana gelen bedensel ya da ruhsal zararlar iş kazası kapsamında değerlendirilmektedir (ÇSGB, 2006).

Bir olayın iş kazası sayılabilmesi için; kazanın sigortalı çalışanın iş yerinde gerçekleşmesi, işveren tarafından verilen görev sırasında meydana gelmesi, işverenin çalışana başka bir yere göndermesi esnasında yaşanması, emziren kadın çalışanın süt izni sırasında oluşması veya işe gidiş-gelişlerde işveren tarafından sağlanan araçta meydana gelmesi gibi koşulların sağlanması gerekmektedir.

İş kazalarından farklı olarak meslek hastalıkları, genellikle ani değil, uzun süreli maruziyetler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar iş kazaları her zaman tamamen önlenemese de meslek hastalıklarının büyük ölçüde önleyici tedbirlerle engellenebileceği kabul edilmektedir. Meslek hastalıkları; tek bir zararlı etkene maruz kalma sonucu ortaya çıkabileceği gibi, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve psikososyal birçok faktörün birleşimiyle de gelişebilmektedir. Çalışanın beslenme ve hijyen alışkanlıkları, fiziksel duyarlılığı, çevresel koşullar, psikolojik durumu, sigara ve alkol kullanımı gibi bireysel etkenler de bu süreci etkileyebilmektedir (Seyhan, 2013).

Meslek hastalıklarının tespitinde sürveyans sistemi önemli bir yere sahiptir. Bu sistem sayesinde veriler düzenli biçimde toplanmakta, analiz edilmekte ve gerekli önleyici adımlar atılabilmektedir. Bir çalışana meslek hastalığı tanısının konulması, yalnızca bireysel değil, aynı iş ortamında çalışan tüm bireyler açısından da kritik öneme sahiptir (Çoşkun vd., 2015; 2016). Ancak meslek hastalıkları, çoğu zaman gizli seyretmekte ve ancak bilinçli tarama ve izleme faaliyetleriyle ortaya çıkarılabilmektedir. Düzenli sağlık kontrolleri ve çevresel ölçümler, hastalık belirtileri ortaya çıkmadan önce risklerin tespit edilmesini mümkün kılmaktadır.

Buna rağmen, meslek hastalıklarının bildirilmesi konusunda hem çalışanlar hem de işverenler çeşitli çekinceler taşımaktadır. Çalışanlar, işten çıkarılma veya kariyer kaybı korkusuyla bildirimden kaçınabilirken; işverenler ise tazminat, yatırım yükümlülüğü ve cezai sorumluluk endişesiyle meslek hastalıklarını gizleme eğilimi gösterebilmektedir. Bu durum, Türkiye'de ve dünyada meslek hastalıklarının gerçek boyutunun tam olarak belirlenememesine yol açmaktadır (Berk vd., 2011).

Yasal tanımlara göre bir hastalığın meslek hastalığı olarak kabul edilebilmesi için; çalışanın yaptığı işe özgü olması, tekrarlayan maruziyetler sonucu ortaya çıkması, işyeri koşullarından kaynaklanması, geçici ya da kalıcı etkilerinin bulunması ve çalışanın

fiziksel ya da ruhsal sağlığını etkilemesi gerekmektedir (Selek, 2022). Meslek hastalıkları çoğunlukla uzun bir zaman dilimi sonunda ortaya çıkarken, iş kazaları ani ve beklenmedik şekilde gerçekleşmektedir (Sümer, 2021). Bu yönüyle her iki kavram, iş sağlığı ve güvenliği sisteminin birbirini tamamlayan temel unsurları olarak değerlendirilmektedir.

2.1.5. Risk Değerlendirilmesi

Risk değerlendirmesi, iş yerinde mevcut olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine neden olan unsurların analiz edilmesi, risklerin büyüklüklerine göre sınıflandırılması ve uygun kontrol önlemlerinin belirlenmesi amacıyla yürütölen sistematik çalışmaların bütünüdür (İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, 2012). Bu süreç, modern iş sağlığı ve güvenliği anlayışında önleyici yaklaşımın temel araçlarından biri olarak kabul edilmektedir (Aven, 2016).

Geleneksel ve reaktif yaklaşımlarda, iş kazaları ve meydana gelen sistem hataları sonrasında yapılan incelemeler ön plandayken; proaktif yaklaşımda, henüz kaza meydana gelmeden önce potansiyel tehlikelerin belirlenmesi, risk analizlerinin yapılması ve güvenlik kültürünün geliştirilmesi esas alınmaktadır. Proaktif risk yönetimi anlayışı, yalnızca teknik önlemleri değil, aynı zamanda yönetim sistemlerinin etkinliğini ve organizasyonel süreçleri de kapsayan bütüncöl bir yaklaşımı gerektirmektedir (Reason, 1997; Reniers vd., 2016).

Risk değerlendirmesi sürecinde ilk aşama, tehlikelerin sistematik biçimde tanımlanmasıdır. Bunu, risklerin meydana gelme olasılığı ile yol açabileceği sonuçların şiddetinin değerlendirilmesi izlemektedir. Bu aşamada amaç, risklerin bireysel ve toplu olarak ne düzeyde tehlike oluşturduğunu ortaya koymak ve önceliklendirmektir. Risk değerlendirmesi, risklerin tamamen ortadan kaldırılmasından ziyade, kabul edilebilir sınırlar içerisinde yönetilmesini hedefler (ISO 31000, 2018). Bu yaklaşım, aşırı kontrol uygulamalarından kaçınılmasını ve kaynakların en kritik risk alanlarına yönlendirilmesini sağlamaktadır (Marhaviyas vd., 2011).

Risk değerlendirme süreci statik değil, dinamik bir yapı göstermektedir. Üretim süreçlerinde, kullanılan ekipmanlarda veya iş organizasyonunda meydana gelen değişiklikler, mevcut risklerin yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Yeni bir proje başlangıcı, işletme birleşmeleri, devirler veya önemli yeniden yapılanmalar risk değerlendirmelerinin güncellenmesini gerektirir. Özellikle yüksek riskli sektörlerde, sürekli izleme ve periyodik değerlendirme büyük önem taşımaktadır (Amir vd., 2014; European Agency for Safety and Health at Work [EU-OSHA], 2018).

Literatürde farklı sektörler için çeşitli risk değerlendirme yöntemlerinin uygulandığı görülmektedir. Bu kapsamda Kaş (2015), metal sektöründe soğuk şekillendirme proseslerinde 3T risk analizi yöntemini kullanarak iş sağlığı ve güvenliği tehlikelerini değerlendirmiş; analiz sonuçlarına dayanarak önleyici ve iyileştirici faaliyetleri içeren bir eylem planı geliştirmiştir. Çalışmada ayrıca Fine–Kinney yöntemiyle yapılan değerlendirmelerde, frekans parametresinin risk puanları üzerindeki etkisi ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Fine–Kinney yönteminin analitik karar verme teknikleriyle birlikte kullanılması, risk önceliklendirmesinde daha hassas sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Kokangül vd., 2017).

Benzer şekilde Yurttaş (2015), yeraltı madenciliği gibi yüksek risk içeren bir alanda L tipi matris yöntemi ile risk analizi gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, belirlenen risklerin uygun mühendislik ve organizasyonel önlemlerle kabul edilebilir seviyelere indirilebileceği ortaya konulmuştur. Bu tür uygulamalar, risk değerlendirmesinin sektörel özelliklere göre uyarlanmasının önemini göstermektedir (Bahr, 2015; Zeng vd., 2005).

Uluslararası düzeyde ise risk değerlendirme süreçleri, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO, 2013), meslek hastalıklarının ve iş kazalarının önlenmesinde risk değerlendirmesinin temel bir araç olduğunu vurgulamakta; bu sürecin çalışan katılımı ve sürekli iyileştirme ilkeleriyle desteklenmesi gerektiğini belirtmektedir.

Sonuç olarak risk değerlendirmesi, yalnızca yasal bir yükümlülük değil; sürdürülebilir üretim, iş sürekliliği ve güvenli çalışma ortamlarının oluşturulması açısından stratejik bir yönetim aracı olarak değerlendirilmelidir.

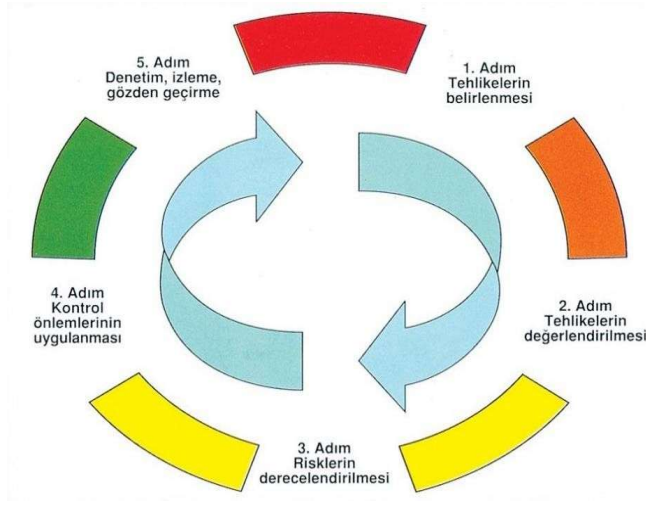
2.1.6. Risk Değerlendirme Metodolojileri

Risk değerlendirme yöntemleri, farklı alanlarda riskleri belirlemek, incelemek ve yönetmek amacıyla uygulanan düzenli yöntemlerdir. Risk değerlendirmesi için kullanılan metodolojileri, bir kuruluştaki olası tehlikeleri tespit etmek, incelemek ve bu tehlikelerin etkilerini azaltmak için düzenli bir şekilde uygulanan yaklaşımlardır. Farklı alanlar ve gereksinimlere göre birçok yöntem oluşturulmuştur. Günümüzde çeşitli yöntemler, iş yerlerindeki riskleri değerlendirmek için kullanılmaktadır. Çalışma alanlarının farklılaşması ve risklerin artması, çeşitli risk analiz yöntemlerinin ortaya çıkmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu yöntemlerin sayısının 200'den fazla olduğu bilinmektedir. Uygulanan risk analiz yöntemi, ilgili çalışma alanına uygun olmalıdır. Bazı durumlarda ise tek bir yöntem yeterli olmayabilir. Bu gibi durumlarda birden fazla yöntem

kullanılmalıdır (Selek, 2016). Risk değerlendirme yöntemleri üç ana gruba ayrılır. Bunlar:

- ✓ *Nitel*: Kalitatif risk değerlendirme yöntemleri,
- ✓ *Nicel*: Kantitatif risk değerlendirme yöntemleri,
- ✓ *Karma*: Hem Nitel hem de Nicel unsurlar içeren yöntemlerdir.

6331 numaralı Yasanın “İşverenin genel yükümlülüğü” başlıklı 4“üncü maddesi birinci fıkrasının (c) fıkrası uyarınca işverenler risk değerlendirmesi yapmak/yaptırmak ile mükelleftirler. Matematiksel teoremler kullanılarak ris değerinin bulunduğu kantitatif değerlendirme ve tehlikenin olma ihtimali ile gerçekleşmesi halinde neticenin ciddiyet derecesinin sayısal sonuçlarının mantıksal yorumlarıyla yapılan kalitatif değerlendirme olmak üzere, iki ana risk değerlendirme metodu mevcuttur (Şimşek ve ark., 2020). Tahlili yapılacak durumlara her iki yöntem de beraber kullanılabilir. Nicel risk analizinde, riskin hesaplanmasında sayısal yöntemler kullanılır. Olasılığı ve sonuçlarının etkileri sayısal değerlerle ifade edilir. Bu değerler, çeşitli metotlar ile analiz edilip risk skorları saptanır. Nitel risk analizlerinde ise, risk hesaplanırken sayısal değerler değil tanımlayıcı değerler kullanılmaktadır. Şekil 1’ de risk değerlendirmesinin 5 temel basamağı gösterilmektedir.



Şekil 1. Risk değerlendirmesinin beş aşaması (Kabakulak, 2019)

Şekil 1’de gösterilen risk değerlendirmesinin beş aşaması, iş sağlığı ve güvenliği yönetiminin sürekli ve döngüsel bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. İlk aşamada tehlikelerin belirlenmesiyle işyerinde çalışanları etkileyebilecek tüm risk kaynakları tanımlanır. İkinci aşamada bu tehlikelerin yol açabileceği riskler, olasılık ve şiddet açısından değerlendirilerek öncelik sırası oluşturulur. Üçüncü aşamada risklerin kabul edilebilir olup olmadığı belirlenir ve gerekli önlemlerin gerekliliği netleştirilir. Dördüncü aşama, belirlenen riskleri ortadan kaldırmak ya da kabul edilebilir düzeye indirmek

amacıyla teknik, organizasyonel ve kişisel koruyucu önlemlerin uygulanmasını kapsar. Son aşamada ise alınan önlemler denetlenir, süreç izlenir ve gözden geçirilerek risk değerlendirmesinin güncelliği sağlanır. Bu yapı, risk yönetiminin tek seferlik değil, sürekli iyileştirmeye dayalı bir yaklaşım olduğunu vurgulamaktadır.

2.1.6.1. Bazı Risk Değerlendirme Metotları

Karar Matrisi: Birçok kişi tarafından sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem, Amerika Birleşik Devletleri Askeri standartlarına göre, sistem güvenliği ihtiyaçlarını karşılamak için oluşturulmuştur. İki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. Karar matrisinin örneği Şekil 3'te görüldüğü gibi, dikeydeki olasılık değerleri ile yataydaki şiddet değerinin çarpımı risk skorunu verir (Şimşek vd., 2020). Skoru 15 veya daha yüksek olan durumlar için acil önlemler alınması şarttır.

Tablo 3. Karar matrisi örneği (Risk Değerlendirmesi)

ŞİDDET X OLASILIK	5- Çok Ciddi	4- Ciddi	3-Orta	2-Hafif	1-Çok Hafif
5-Çok Yüksek	YÜKSEK 25	YÜKSEK 20	YÜKSEK 15	ORTA 10	DÜŞÜK 5
4- Yüksek	YÜKSEK, 20	YÜKSEK 16	ORTA 12	ORTA 8	DÜŞÜK 4
3- Orta	YÜKSEK 15	ORTA 12	ORTA 9	DÜŞÜK 6	DÜŞÜK 3
2- Küçük	ORTA 10	ORTA 8	DÜŞÜK 6	DÜŞÜK 4	DÜŞÜK 2
1-Çok Küçük	DÜŞÜK 5	DÜŞÜK 4	DÜŞÜK 3	DÜŞÜK 2	DÜŞÜK 1

Tablo 3’de yer alan karar matrisi, risk değerlendirmesinde olasılık (O) ve şiddet (Ş) değişkenlerinin birlikte ele alınarak risk skorunun belirlendiğini göstermektedir. Matriste risk skoru, olasılık ile şiddetin çarpımı ($R = O \times \text{Ş}$) esas alınarak hesaplanmakta ve ortaya çıkan değerler riskin önem düzeyine göre sınıflandırılmaktadır. Yüksek olasılık ve yüksek şiddetin kesiştiği alanlar “yüksek risk” olarak değerlendirilirken, bu riskler için acil ve önleyici tedbirlerin alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Orta düzeydeki riskler kontrol altına alınması gereken alanları ifade ederken, düşük riskler izlenmesi yeterli olan durumları temsil etmektedir. Bu karar matrisi, risklerin önceliklendirilmesini

kolaylaştırarak iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında sistematik ve tutarlı bir karar alma süreci oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Kontrol listesi: Kontrol listesi yöntemle, işletmenin ekipmanlarının eksiklikleri ve düzgün çalışıp çalışmadığı tespit edilebilir (Özkılıç, 2005). İki aşamadan oluşmaktadır; tesisin uygunluğunu ve standartların doğruluğunu kontrol edecek özel sorular hazırlanarak, eksikler belirlenir, alınması gereken önlemler ortaya konur ve öneriler sunulur. En etkili değerlendirme, organizasyon hakkında bilgi sahibi ve deneyimli kişiler tarafından hazırlanan kontrol listeleri ile gerçekleştirilir. Risk değerlendirme sürecinde, ilk olarak kontrol listesiyle yapılan değerlendirme sonrası belirlenen riskler için farklı yöntemler, ikincil risk değerlendirmesi olarak uygulanabilir. Şekil 2’te bir örnek kontrol listesi bulunmaktadır.

Konu Başlığı	Kontrol Listesi	Evet 	Hayır 	Alınması Gereken Önlem	Sorumlu Kişi	Tamamlama Çağı Tarih
GENEL ALANLAR	Tüm alanlarda yeterli aydınlatma sağlanmış ve aydınlatmalar çalışır halde bulunmakta mıdır?			Arızalı lambalar değiştirilmeli, Gün ışığının kontrolü amacıyla pencereler için ayarlanabilir perdeler sağlanmalıdır.	Bakım Müdürü	31.08.2016
	Ofiste temizlikten sorumlu kişi/kişiler belirlenmiş mi? Temizlik yapılan alanda kaymayı önlemek için gerekli önlemler alınmakta mıdır?			Çalışma yapılan alanlarda, uyarı levhaları vb. konulmalıdır.	Temizlik Personeli	İşlem Sırasında
ELEKTRİK	Sabit kurulumlar ve tesisatın, düzenli şekilde yetkili kişiler tarafından bakımı yapılmakta mıdır?					
	Elektrik/sigorta kutuları kilitlemiş, yetkisiz kişilerin erişimleri önlenmiştir.			Tüm Elektrik / sigorta kutularına kilit takılmalı, Sorumlu Atanmalıdır	Bakım Müdürü	26.08.2016
Ekranlı Araçlarla Çalışma	Ofiste kullanılan ekranlı araçlar uygun yerlere yerleştirilmiş midir?			Ekranlı aracın ekranındaki parlama ve yansımalar, bu araçların pencereye bakması engellenerek veya aydınlatmanın ekran arkasından alınması sağlanarak önlenmelidir.	İdari İşler Müdürü	15.08.2016

Şekil 2. Kontrol listesi örneği (Ofislerde Risk Değerlendirmesi Rehberi, ÇSGB)

Şekil 2’te yer alan kontrol listesi, risk değerlendirmesi sürecinde belirlenen tehlikelerin sistematik ve izlenebilir biçimde yönetilmesini amaçlayan uygulamaya dönük bir araçtır. Kontrol listesi aracılığıyla mevcut durum “evet/hayır” şeklinde değerlendirilmekte, tespit edilen eksiklikler için alınması gereken önlemler açıkça tanımlanmaktadır. Ayrıca her bir önlem için sorumlu kişinin ve tamamlanma tarihinin belirtilmesi, risk yönetiminde hesap verebilirliği ve sürecin etkin takibini sağlamaktadır. Bu yapı, risk değerlendirmesinin yalnızca tehlike tespitiyle sınırlı kalmayıp, düzeltici ve önleyici faaliyetlerin planlanması ve uygulanmasına doğrudan katkı sunduğunu göstermektedir.

L Tipi Matris Analiz: Çalışma alanlarının, üretim ve iş güvenliğini sürdürülebilir kılabilmesi güvenli bir ortamda mümkün olmaktadır. Bu durum, iş güvenliği konusunda

uzmanlaşmış kişilerin katkılarıyla gerçekleşir. İş güvenliği uzmanları, iş yerlerinde kontrol listeleri ve risk değerlendirmeleri hazırlayarak tehlikeli durumları risklere dönüştüren koruyucu ve önleyici önlemleri uygularlar.

Tam olarak ne zaman, nasıl ya da hangi şekilde ortaya çıkacağı bilinmeyen durumlara risk denir. Risklerin incelenmesinde hem nicel hem de nitel yöntemler kullanılmaktadır. Risk değerlendirmesinin temel amacı, işletmenin hedeflerine ulaşmasını engelleyen unsurların ortadan kaldırılması, alınacak önlemlerin belirlenmesi ve hayata geçirilmesidir (Selçuk ve Selim, 2018). L tipi matris yöntemi, neden-sonuç analizi için tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde risk değeri, olayın oluşturacağı olasılık bileşenini ifade eder. Şiddet ve olasılık bileşenleri, 1 ile 5 arasında sayısal değerler olabilir. Risk değerleri de 1 ile 25 arasında değişiklik gösterir (Soykan, 2018).

Tablo 4. Olasılık derecelendirme skalası

Tanım	Düzye Ölçeği
Hemen hemen hiç	1 (Çok düşük)
Çok az (yılda bir kez)	2 (Düşük)
Az (yılda bir kez)	3 (Orta)
Sıklıkla (ayda bir)	4 (Yüksek)
Çok sıklıkla (haftada bir, her gün)	5 (Çok Yüksek)

Tablo 5 değerlendiricilerin kullanması gereken şiddet derecelendirme ölçeğini (düzye ölçeği ve sayısal ifadelerin karşılıkları), Tablo 4 ise değerlendiricilerin kullanmaları gereken olasılık skalasını (düzye ölçeği ve sayısal ifadelerin karşılıkları) göstermektedir.

Tablo 5. Şiddet derecelendirme skalası

Tanım	Düzye Ölçeği
İş saati kaybı yok, ilk yardım gerektiren	1 (Çok hafif)
İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi, ilk yardım gerektiren	2 (Hafif)
Hafif yaralanma, yatarak tedavi gerektiren	3 (Orta)
Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi meslek hastalığı	4 (Ciddi)
Ölüm, sürekli iş göremezlik	5 (Çok Ciddi)

Tablo 4’te, bir tehlikenin gerçekleşme ihtimali, sıklık esas alınarak beşli bir ölçek üzerinden derecelendirilmiştir. Olasılığın çok düşükten çok yükseğe doğru sınıflandırılması, risk değerlendirmesinde nesnel ve karşılaştırılabilir bir puanlama yapılmasını sağlamaktadır. Özellikle “ayda bir” ve daha sık meydana gelen durumların yüksek risk grubuna yaklaşması, önleyici tedbirlerin önceliklendirilmesine katkı

sunmaktadır. Bu ölçek, risk skorunun hesaplanmasında olasılık bileşeninin standartlaştırılmasına yardımcı olarak karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır.

L tipi matris yöntemiyle risk skorları "Risk = Şiddet (Ş) x Olasılık (O)" formülü kullanılarak hesaplanır (Özkılıç, 2005). Tablo 6 kabul edilebilir risk seviyelerinin belirlenmesinde önem taşır. Bu çerçevede, 1 puan yeşil (önemsiz), 2-6 puan yeşil (kabul edilebilir), 8-12 puan sarı (orta seviye), 15-20 puan kırmızı (yüksek seviye) ve 25 puan kırmızı (kabul edilemez seviye) olarak sınıflandırılmaktadır (Keskin vd., 2020; Özkılıç, 2005).

Tablo 6. L tipi matris risk skor tablosu

ŞİDDET X OLASILIK	5- Çok Ciddi	4- Ciddi	3-Orta	2-Hafif	1-Çok Hafif
5-Çok Yüksek	YÜKSEK 25	YÜKSEK 20	YÜKSEK 15	ORTA 10	DÜŞÜK 5
4- Yüksek	YÜKSEK, 20	YÜKSEK 16	ORTA 12	ORTA 8	DÜŞÜK 4
3- Orta	YÜKSEK 15	ORTA 12	ORTA 9	DÜŞÜK 6	DÜŞÜK 3
2- Küçük	ORTA 10	ORTA 8	DÜŞÜK 6	DÜŞÜK 4	DÜŞÜK 2
1-Çok Küçük	DÜŞÜK 5	DÜŞÜK 4	DÜŞÜK 3	DÜŞÜK 2	DÜŞÜK 1

Tablo 6’da yer alan L tipi matris risk skor tablosu, riskin olasılık ve şiddet bileşenlerinin çarpımı esas alınarak sayısal olarak ifade edilmesini sağlamaktadır. Matriste, olasılık ve şiddet düzeyleri arttıkça risk puanının yükseldiği açık biçimde görülmektedir. Yüksek olasılık ile çok ciddi şiddetin kesiştiği alanlar en kritik riskleri temsil ederken, bu riskler için derhal önlem alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Düşük olasılık ve düşük şiddet düzeylerinde yer alan riskler ise izleme ve kontrol altında tutma yaklaşımıyla yönetilebilir. Bu matris, risklerin önceliklendirilmesini kolaylaştırarak iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında sistematik ve tutarlı kararlar alınmasına katkı sağlamaktadır.

Selçuk ve Selim (2018), mücevher endüstrisinde L tipi matris yöntemini uygulamışlardır. Araştırmanın amacı, atölyede çalışanların maruz kalabilecekleri tehlikeler hakkında bilgi vermek ve güvenli bir çalışma alanı yaratmaktır. Başar (2019)

ise, Tavas Bahçeköy Olivin üretim tesisinde iş güvenliği ile ilgili tehlikeleri L Tipi Matris yöntemi kullanarak incelemiştir. Ünverdi ve Çetinyokuş (2021), bir devlet kurumunda bulunan asbest uygulama merkezi ve SEM laboratuvarında L tipi matris metodu ile risk değerlendirmesi gerçekleştirmişlerdir. İş çalışması neticesinde toplam 13 risk belirlenmiş olup bu risklerden sadece %7,6'sının kabul edilebilir düzeyde olduğu, alakalı birimlerin riskli olduğu saptanmıştır.

Hata Türleri Etkileri Analizi (FMEA): Otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan FMEA, asansör, mobilya, metal imalatı gibi sektörlerde de rağbet görmektedir. İş Sağlığı ve Güvenliği çalışmaları ve kalite süreçlerinde, risklerin nasıl bertaraf edileceği veya önleneceği, yapılan işe yönelik meydana gelebilecek tehlikelerin ortadan kaldırılmasını hedefler. Diğer yöntemlerden ayrıldığı en belirgin özelliği, fark edilme faktörünün risk öncelik sayısının tespitinde kullanılmasıdır. Bu sayede tehlikelerden kaynaklanabilecek risklere, daha önceden tedbir alınabilir (Devren, 2016).

Sembol	İşaret edilen	İşlev
	Temel olay	Temel olay veya hata
	Gelişmemiş olay	Gelişmemiş durum
	Olay	Daha temel olaylardan oluşan olay
	Durumsal olay	Normal şekilde oluşabilecek olay
	VE kapısı	C çıktı olayı eğer bütün girdi olayları (A ve B) aynı anda oluşuyorsa oluşur.
	VEYA kapısı	C çıktı olayı eğer herhangi bir girdi olayı oluşursa meydana gelir.
	Transfer sembolü	Ağacın başka bir yerde daha ileri noktaya geliştiğini gösterir.

Şekil 3. Hata ağacı sembolleri (Risk Değerlendirmesi)

Hata Ağacı Analizi Metodu (FTA): Hata ağacı yöntemi, sistem hataları ve bu hataların sistem ile bileşenleri üzerindeki istenmeyen olaylar arasındaki ilişkileri gösteren mantıksal diyagramlarla analiz gerçekleştirmektedir. Bu yaklaşım, tüm dengeli mantık temelindedir. İstenmeyen olaylar, daha önce belirlenmiş olaylarla hatalar arasındaki neden-sonuç ilişkilerini ifade eder. FTA, bir işletmede gerçekleştirilen faaliyetlerle ilişkili önemli hataların ya da büyük hataların nedenleri ve potansiyel karşı tedbirlerinin şematik sunumudur. Sistem analizi, hata ağacının inşa edilmesi ve değerlendirilmesi aşamalarını içerir (Öz vd., 2018). Şekil 3'te hata ağacında kullanılan semboller gösterilmektedir.

Şekil 3’te yer alan hata ağacı sembolleri, risk değerlendirmesinde olası bir istenmeyen olayın neden–sonuç ilişkileri içinde sistematik olarak analiz edilmesini sağlamaktadır. Temel olay, analiz edilen ana hata ya da kazayı temsil ederken; gelişmemiş, durumsal ve alt olay sembolleri, bu sonucun ortaya çıkmasına katkı sağlayan ara nedenleri göstermektedir. Ve ve veya kapıları ise olayların hangi mantıksal koşullar altında birleşerek sonuca yol açtığını ortaya koymaktadır. Transfer sembolü, analiz edilen hata ağacının başka bir bölümle bağlantısını ifade ederek karmaşık sistemlerde bütüncül değerlendirmeye imkân tanımaktadır. Bu semboller, risklerin kök nedenlerinin anlaşılmasını ve önleyici tedbirlerin doğru noktaya yönlendirilmesini kolaylaştırmaktadır.

Fine Kinney Risk Metodu: Yöntem içerisinde üç tane risk faktörü birbiriyle çarpılarak bir risk puanı (R) oluşturulmaktadır; bu faktörler Frekans (F), Olasılık (O) ve Şiddet (Ş) olarak adlandırılmaktadır.

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

Fine-Kinney risk analizi yönteminde, risk puanı “frekans”, “olasılık” ve “şiddet” parametrelerine karşılık gelen sayılar çarpılarak hesaplanır. Bu risk skoruna dayanarak gerekli önlemler alınır. Uzmanlar arasında oluşan farklı görüşler nedeniyle bulanık mantık yaklaşımı son zamanlarda daha çok tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir (Özkılıç, 2005).

Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemi, G.F. Kinney ve A.D. Wiruth tarafından geliştirilen ve ilk kez “Practical Risk Analysis for Safety Management” başlıklı çalışmada sistematik biçimde ortaya konulan bir yaklaşımdır. Söz konusu çalışma, risklerin pratik ve uygulanabilir bir çerçevede analiz edilmesini amaçlayan erken dönem iş sağlığı ve güvenliği literatürünün önemli örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Yöntem, literatürde zamanla geliştiricilerinin soyadlarıyla anılmaya başlanmış ve Fine-Kinney yöntemi olarak yaygınlık kazanmıştır (Fine ve Kinney, 1971).

İş sağlığı ve güvenliği alanında kullanılan risk değerlendirme yöntemlerinden biri olan Fine-Kinney metodu; bir tehlikenin meydana gelme olasılığı, çalışanın bu tehlikeye maruz kalma sıklığı ve tehlikenin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek sonuçların şiddeti olmak üzere üç temel parametreyi esas almaktadır. Bu parametrelerin sayısal olarak derecelendirilmesiyle risk puanı hesaplanmakta ve riskler karşılaştırılabilir hâle getirilmektedir. Bu yönüyle yöntem, risklerin sistematik biçimde önceliklendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Fine-Kinney yöntemi, nitel (kalitatif) temelli bir yaklaşım sunmakla birlikte, kullanılan sayısal ölçekler sayesinde yarı nicel bir yapı da kazanmaktadır. İşletmenin mevcut çalışma koşulları ile birlikte olası kaza ve maruziyet senaryolarının eş zamanlı değerlendirilmesi, yöntemin daha gerçekçi ve uygulanabilir sonuçlar üretmesini sağlamaktadır. Yöntemin diğer risk değerlendirme tekniklerinden ayrılan en belirgin özelliği, çalışanların tehlikelere hangi sıklıkta maruz kaldığını doğrudan dikkate almasıdır. Bu durum, özellikle sürekli veya tekrarlayan maruziyetlerin söz konusu olduğu iş ortamlarında riskin daha doğru biçimde temsil edilmesine katkı sağlamaktadır.

Fine-Kinney metodunun uygulanmasının görece kolay olması, riskleri ayrıntılı biçimde puanlayarak sınıflandırabilmesi ve farklı tehlikeler arasında karşılaştırma imkânı sunması, yöntemin hem akademik çalışmalarda hem de uygulamada yaygın biçimde tercih edilmesine neden olmuştur. Türkiye’de de iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında sıkça kullanılan bu yöntem, risklerin önceliklendirilmesi ve alınacak önlemlerin planlanması sürecinde iş müfettişleri ve iş güvenliği uzmanları tarafından önerilen yöntemler arasında yer almaktadır (ÇSGB, 2012; Bilir, 2016).

Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemi, risklerin puanlanmasını, risk olasılığını, maruz kalma sıklığını ve riskin yol açabileceği zarar seviyesini sayısal değerler ile çarparak bir sonuç elde eder. Kısacası, risk puanı; olasılık, sıklık ve şiddetin çarpımıdır (Fine ve Kinney, 1971).

Olasılık: Fine Kinney yönteminin uygulanması sırasında karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, olasılık faktörünün doğru bir şekilde anlaşılması ve bunun sonucunda yanlış risk puanlarının elde edilmesidir. Örneğin, Stankovic olasılığı, bir kaza ya da hasarın gerçekleşme ihtimali olarak tanımlamaktadır. Kinney ve diğerleri tarafından daha kapsamlı bir şekilde açıklansa da, Stankovic’in tanımı ile benzerlik göstermektedir. Literatürde buna yakın birçok tanım daha mevcuttur. Bu tanımlardaki ana sorun, olasılık faktörünün yanlış yorumlanmasıdır. Bu tanımlarda olasılık ve frekans faktörleri ayrı ayrı modellenmektedir; ancak böyle olursa risk puanı gerektiğinden daha az hesaplanacaktır. Bu sorun, aslında Kinney ve diğerlerinin olasılık ile frekans faktörleri arasındaki ilişkiyi net bir şekilde açıklamamalarından kaynaklanmaktadır. Aslında bu yöntemi ilk keşfeden Fine, olasılık faktörünü şöyle tanımlamıştır: Olasılık, riskli bir hareket ya da durum olduğunda bir kaza ya da zararın meydana gelme ihtimalidir (Birgören, 2017).

Olasılık Ölçeği: Bir olayın “beklenmedik ve tahmin edilemez ancak uzaktan mümkün” olduğu durum için olasılık parametresine 1, “gelecekte tahmin edilebilecek” bir durum için 10 ve “neredeyse imkânsız” bir olay için 0.1 değerleri atanarak referans

noktaları belirlenmiştir Referans noktaları koyu harflerle belirtilmiştir. Tablo 5, Olasılık ölçeğini göstermektedir (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017).

Tablo 7. Fine-Kinney Olasılık parametresine ait ölçek

Olasılık	Değer
Yüksek Kuvvetli İhtimal	10
Kuvvetli İhtimal	6
Seyrek Ancak Muhtemel	3
Oldukça Düşük İhtimal	1
Zayıf İhtimal	0,5
Pratik Olarak İmkansız	0,2
Neredeyse İmkansız	0,1

Tablo 7’de yer alan olasılık parametresi ölçeği, bir tehlikenin gerçekleşme ihtimalini sayısal katsayılar üzerinden daha hassas biçimde ifade etmeyi amaçlamaktadır. Olasılığın yüksek kuvvetli ihtimalden neredeyse imkânsız duruma kadar kademelendirilmesi, risk hesaplamalarında farklı senaryolar arasında ayrıntılı karşılaştırma yapılmasına imkân tanımaktadır. Bu ölçek, özellikle Fine–Kinney gibi sayısal risk değerlendirme yöntemlerinde olasılık bileşeninin daha duyarlı şekilde analiz edilmesine katkı sağlamaktadır.

Frekans: Frekans, bir tehlikeli olayın meydana gelme sıklığını ifade eder. Bu tür olaylar, kazaların başlamasına yol açabilecek istenmeyen durumlar olarak tanımlanır. Frekansın tespit edilmesi, ilgili faaliyete dair gözlemler, deneyimler ve bilgi birikimine dayanır.

Literatürde frekans, maruziyet terimiyle de anılmaktadır ve bu, tehlikeli olayların ne sıklıkta yaşandığı anlamına gelir. Örneğin, belirli bir işçi haftada ortalama bir kez koruyucu gözlük kullanmadan kaynak yapıyorsa, bu durumda tehlikeli olayın istatistiksel frekansı 1/7 olur; yani bu işçi 7 günde bir bu tehlikeyle karşılaşmaktadır.

Kinney yöntemi ile frekans, bir tehlikenin ne kadar sık ortaya çıktığını gösterir. Olasılık ise tehlikeli bir olayın sonucunda ortaya çıkan zararların (maddi hasar, yaralanma ya da ölüm) meydana gelme ihtimalini belirtir. Bu durumda frekans belirlenirken, tehlikeye, olasılık belirlenirken ise tehlikeli olayın doğurduğu zarara odaklanılır.

Frekans Ölçeği: Bir tehlikeli duruma ne kadar sık maruz kalırsanız, risk o kadar yükselir. Bu nedenle, frekans ölçeği oluşturulurken, yılda bir gerçekleşen maruziyete 1 değeri, sürekli gerçekleşen maruziyete ise 10 puanı verilmiştir.) Tablo 8, frekans ölçeğini göstermektedir (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017).

Şiddet: Yaralanmalar ve maddi zararlar, olası bir olayın en yaygın sonuçları arasında yer alır. Bu durum, kazayla ilgili tüm koşulların değerlendirilmesine ve geçmişteki kaza deneyimlerine dayanmaktadır (Fine, 1971). Şiddet, meydana gelebilecek

bir olayın muhtemel sonuçlarından biridir. Örneğin, bir işçinin elektrik panosunda çalışırken elektrik akımına kapılması sonucu yaralanma veya ölüm riski bulunmaktadır.

Tablo 8. Fine-Kinney Frekans parametresine ait ölçek

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

Kinney yöntemine göre, kazanın türüne bağlı olarak şiddet parametresi, ölüm, yaralanma, ilk yardım, maddi hasar gibi seçeneklerden biri ile belirlenir.

Şiddet Ölçeği: Gerçekleşen olayın sonucu (şiddet) şu şekilde ölçeklendirilmiştir: 100 dolarlık bir maddi zarar veya küçük bir ilk yardım durumu için 1 puan, milyonlarca dolarlık maddi kayıp veya çok sayıda ölüm için 100 puan verilmektedir. Ara değerler ise, maddi zarar ile insan sağlığı üzerindeki sonuçların eşleştirilmesiyle atanmıştır. Tablo 9, şiddet ölçeğini göstermektedir (Oturakçı ve Dağsuyu, 2017).

Tablo 9. Fine-Kinney Şiddet ölçeği

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

Risk Skoru: Fine-Kinney metodunda, risk skoru olasılık, sıklık ve şiddet faktörlerinin çarpımıyla elde edilir. Risk skorunu hesaplamamızın amacı, riskleri büyüklüklerine göre sıralamak ve düzeltme faaliyetlerine öncelik vermektir. Herhangi bir kurumun kaynakları sınırlıdır; bu yüzden önlemleri mantıklı bir şekilde sıralamak son derece önemlidir. Bu yöntemi ilk geliştiren Fine, kaza önleme için sağlanan faydanın belirlediğimiz kriterlerden düşük olması durumunda, bu metotla belirlenen diğer yüksek riskli tehlikeleri hafifletmek amacıyla kaynakların (para vb.) kullanılmasının güvenliğe daha fazla katkıda bulunacağını önermektedir (Fine, 1971).

Risk Puanı Ölçeği: Risk puanı, olasılık, sıklık ve şiddetin çarpımıyla oluşturulur. Kinney ve Wiruth'un deneyimlerine ve mevcut standartlara dayanarak, 20'ye kadar risk puanları kabul edilebilirken, 400'den fazla risk puanı olan durumlar için acil müdahale

veya işin durdurulması gerektiğini ifade etmektedir. Ara değerler de tekrar deneyimlere göre belirlenmiştir. Risk puanı ölçeği Tablo 10'da yer almaktadır (Kinney ve Wiruth, 1976).

Tablo 10. 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.
$70 \leq R < 200$	Önemli Risk: Önlem ihtiyacı vardır.
$20 \leq R < 70$	Olası Risk: Süreç gözetim altında uygulanmalıdır.
$R < 20$	Önemsiz Risk: Önlem öncelikli değildir.

Tablo 10'da yer alan risk skoru ölçeği, hesaplanan risk değerlerinin önceliklendirilmesi ve yönetim kararlarına dönüştürülmesi amacıyla sınıflandırıldığını göstermektedir. Çok yüksek ve yüksek risk düzeyleri, derhal veya kısa vadede müdahale gerektiren kritik durumları ifade ederken; önemli ve olası riskler, kontrol altında tutulması ve planlı iyileştirme yapılması gereken alanları temsil etmektedir. Kabul edilebilir risk düzeyi ise mevcut önlemlerle tolere edilebilen durumları belirtmekte, ancak izleme ve gözden geçirme gerekliliğini ortadan kaldırmamaktadır. Bu ölçek, risk yönetiminde kaynakların etkin kullanılmasına ve müdahale önceliklerinin netleştirilmesine katkı sağlamaktadır.

2.2. Mikro Ark Oksidasyon (MAO)

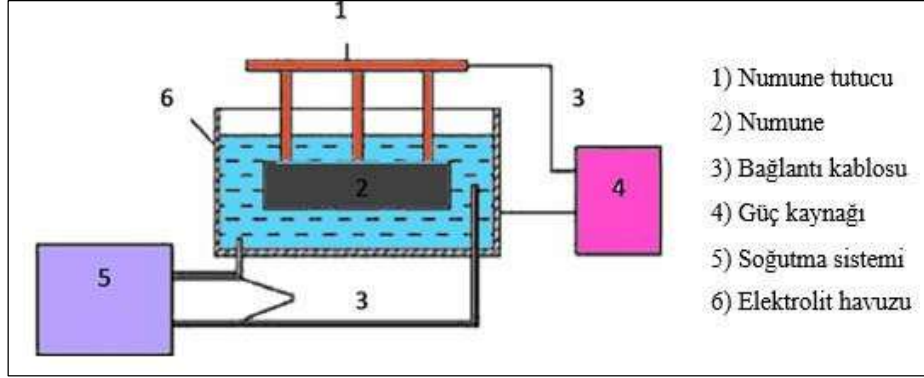
Mikro ark oksidasyon (MAO), aynı zamanda plazma elektrolitik oksidasyon (PEO) olarak adlandırılır, metal yüzeyinde kalın ve dayanıklı bir seramik koruma katmanı oluşturma işlemidir. Bu katman, yüzeye iyi bir şekilde yapışmış ve gözenekli bir yapıdadır (Nie ve ark.1999). Bu yöntem, çeşitli adlarla anılmaktadır; bunlar arasında Mikro Ark Oksidasyon (MAO), Mikro Plazma Oksidasyon (MPO), Mikro Spark-Deşarj Oksidasyon (MDO), Plazma Elektrolitik Oksidasyon (PEO) ve Anodik Spark Biriktirme (ASB) yer almaktadır. Titanyum ve onun alaşımlarının yüzeyinde doğal olarak meydana gelen bir oksit tabakası mevcuttur. Ancak, biyomalzeme uygulamaları için çoğu zaman bu oksit tabakasının ya ince olması ya da adezyon gücünün yeterli olmaması nedeniyle sorunlar yaşanmaktadır. Bu tür durumlarda, yüzeyi daha kalın, daha stabil, yüksek adezyon gücüne sahip ve biyouyumlu bir oksit tabakasıyla kaplamak gereklidir. Biyomalzemelerde, kaplamaların numunenin şeklinin veya özelliklerinin değişmesine neden olmaması, aşınma ve korozyona dayanıklı olması ve düşük sürtünme katsayısına sahip olması önemlidir. CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) ve PVD (Fiziksel Buhar

Biriktirme) gibi yaygın yöntemler, düzgün ve sağlam kaplamalar oluşturabilse de yüksek maliyetleri ve ek olarak genellikle vakum ihtiyaçları dolayısıyla kullanımları daha sınırlıdır. Diğer taraftan, Sol-Jel kaplama ve daldırma yöntemleri alternatifler sunmasına rağmen, MAO yöntemi, daha avantajlı ve etkili seçeneklerden biri olarak öne çıkmaktadır. Mikro ark oksidasyon (MAO) işlemi, temelinde anodik oksitlenme prensibine dayanır ve yaklaşık 50 yıl önce Sovyetler Birliği tarafından alüminyum yüzeylere oksit kaplama ile ilk kez uygulanmaya başlanmıştır. Öncelikle askeri alanlarda ve sonrasında akademik araştırmalarda bir yüzey değiştirme tekniği olarak kullanılmıştır. 1980'lerin sonları ve 1990'ların başlarında dünya genelinde popülerlik kazanan MAO yöntemi, günümüzde de etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu mikro ark oksidasyon tekniği, titanyum, titanyum alaşımları ve diğer hafif metallerin (Al, Mg gibi) aşınma ve korozyon direncini artırmak ve yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için tercih edilen bir yöntemdir. Ayrıca, çevreye dost ve maliyet açısından etkili bir yöntem olmasıyla dikkat çeken umut verici bir yüzey modifikasyon tekniğidir (Qaid ve diğerleri 2019).

MAO işlemi, hafif metaller ve alaşımlar için uygulaması son derece basit olan yeni bir kaplama yöntemidir. Bu prosedür, temel malzemelerin yüzeyine oksit kaplamaların eklenmesine dayanır. İşlem, elektrolit banyosunda bulunan çözünmüş tuzlarla gerçekleşir ve yüksek voltaj ile akım davranışını birleştirir. Bu nedenle, her geçen gün hızla gelişmektedir. MAO ile üretilen oksitlerin çevreye duyarlı olması, sertliği, aşınma ve korozyon direnci ve esas malzeme ile olan yüksek yapışma özelliği, bu kaplama yöntemini son yıllarda hızla gelişen ve sürekli ilerleyen bir teknoloji haline getirmiştir. Yüksek aşınma direnci ve sertliği nedeniyle, pek çok kaplama yöntemi ile karşılaştırılabilir özellikler taşımaktadır. Kaplama öncesi hazırlıkların kolaylığı, işlemin hızla tamamlanmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda, seyreltik ve toksik olmayan elektrolite ihtiyaç duyduğundan, bu süreç oldukça güvenlidir. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, maliyeti düşük olan üretim yöntemleri arasında yer almaktadır. Başka bir avantajı da karmaşık yüzey geometrilerine sahip örneklerin tüm yüzeylerinin aynı kalınlık ve özellikte sert, aşınmaya ve korozyona dayanıklı kaplamalarla kaplanabilmesidir. Bu durum, yüzeyin yalnızca belirli bölümlerinin hedef alındığı kaplama yöntemlerine kıyasla avantaj sağlamaktadır (Demirci 2014).

Şekil 4' de MAO ünitesinin şematik temsilinin yer aldığı görülmektedir. Metal, yüzeyinde kararlı bir oksit tabakası oluşturularak atmosfer şartlarında güç kaynağına anot olarak bağlanır. Genellikle paslanmaz çelikten yapılmış olan tank, elektrolit havuzu olarak bulunur ve devreyi tamamlamak için katot görevi görür. Elektrolit çözelti homojenliğini sağlamak üzere bir karıştırıcı kullanılabilir. Soğutma sistemi, örneğin

yüzeyinde plazma oluşumu nedeniyle elektrolitin sıcaklığını düşürmek amacıyla devreye girer ve sistemin en iyi sıcaklıkta çalışmasına yardımcı olur. Elektrolitin soğutulması, uzun süreli kullanım açısından büyük öneme sahiptir.



Şekil 4. MAO sistem ünitesinin şematik gösterimi

Şekil 4’ da MAO sistem ünitesi, prosesin temel bileşenlerini gösterecek şekilde şematik olarak sunulmaktadır. Sistemde numune, elektrolit havuzu içerisinde numune tutucuya bağlanmakta ve bağlantı kabloları aracılığıyla güç kaynağına iletilen elektrik enerjisi sayesinde kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir. Elektrolit havuzu ve soğutma sistemi, proses sırasında oluşan ısıyı kontrol altında tutarak kararlı bir çalışma ortamı sağlamaktadır. Bu bütüncül yapı, MAO işleminin kontrollü, güvenli ve tekrarlanabilir biçimde yürütülmesine olanak tanımaktadır.

Tüm bu bilgiler incelendiğinde, MAO tekniğinin diğer yüzey modifikasyon yöntemlerine göre daha avantajlı, ekonomik, hızlı ve pratik bir seçenek olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, MAO tekniği ile aşınma ve korozyon direnci yüksek, güçlü yapışma kuvvetine sahip sert kaplamalar elde etmek mümkündür (Dou vd. 2019).

Titanyum ve alaşımlarında oksit veya katkı oksit kaplama için MAO tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle elde edilen kaplamanın kalınlığı, mikro yapısı, gözeneklilik özellikleri, faz yapısı ve bileşim, birçok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler arasında elektrolit içeriği, alt malzemenin bileşimi, akım ve voltaj yoğunluğu, frekans, akım modu ve işlem süresi yer almaktadır. MAO işleminde tek kutuplu AC ve DC, bipolar akım modları dahil olmak üzere çeşitli akım modları kullanılmaktadır. DC kaynak kullanıldığında, basit şekilli parçalar ve ince kaplamalar elde edilebilmektedir. Darbeli DC kaynağı ile kaplama bileşimi ve yapısı üzerinde kontrol sağlanırken, AC kaynağı kullanıldığında ise ark kesintileri ile süreç yönetilebilmektedir (Ghasemi vd. 2010).

MAO işlemiyle hafif metaller üzerine yapılan kaplamalarda, üç farklı katman oluşmaktadır: bir gözenekli dış tabaka, bir ara tabaka ve kaplama ile numune arasında tutunmayı sağlayan ince bir katman. Yüzeyde geniş gözenekli bir tabaka meydana gelirken, ara yüzeyde daha sıkı gözenekli yapılar gelişmekte ve yüzeydeki gözenekli katman korozyona karşı direnci artırmaktadır (Sankara Narayanan vd., 2014). Eğer titanyum alaşımlarının yüzeyine yeterli potansiyel uygularsanız, numune yüzeyinde oksit film kaplaması meydana gelir ve zamanla bu kaplamanın kalınlığı artar. Kısa bir süre içinde, numune yüzeyinde oksit tabakası oluşmakta ve malzeme ile elektrolit arasındaki gerilim (voltaj) hızla yükselmektedir. Böylelikle, kaplama belirlenen süre içinde numune yüzeyinde voltajı artırarak devam eder. MAO işlemi, esasen sırasıyla füzyon, ergime, yeniden katılaşma, difüzyon ve son olarak bir tür sinterleme olarak adlandırılan katı ve yoğun oksit filmlerini içermektedir (Hussein, Northwood vd., 2013).

2.2.1. Mikro Ark Oksidasyon (MAO) Tanımı

Mikro Ark Oksidasyon (MAO), metal yüzeyinde kalın ve sert bir oksit katmanı oluşturmak için yüksek voltajdaki bir elektrolit çözeltisinde mikro ark (mikro plazma deşarjı) meydana getiren bir kaplama yöntemidir. Bu teknik, aynı zamanda aşınma ve korozyona karşı da dayanıklıdır. MAO işlemi değişik terimlerle tanımlanabilir. Bu terimler arasında, kıvılcımlı anodik oksidasyon, anodik kıvılcımlı biriktirme, mikro ark anodik oksidasyon, mikro plazma anodik oksidasyon, mikro plazma oksidasyon, plazma elektrolitik oksidasyon ve elektrop plazma oksidasyon bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde birçok patentli işlem mevcutken, Avrupa'da KEPLA-COAT, İsrail'de ise ALMAG-AL isimli kendi MAO teknolojilerini geliştirmişlerdir. Bununla birlikte, Çin, Japonya ve Avustralya da MAO teknolojisine katkıda bulunmuştur (Hussein vd., 2010).

2.2.2. Mikro Ark Oksidasyon Özellikleri

MAO kaplamaları, Al, Ti ve Mg gibi hafif metallerin korozyon ve aşınmaya karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla sıkça kullanılmaktadır. Elektrolit ve altlık materyal arasındaki yüzeyde meydana gelen mikro ark deşarjları, yerel yüksek sıcaklık ve basınç artışlarına neden olur. Bu yüksek sıcaklık ve basınçla birlikte oksitler, malzeme yüzeyinde önce erir, ardından hızlı bir şekilde soğuyarak katılaşır. Elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan kaplama, malzemenin nihai özelliklerini doğrudan etkiler. Kaplamanın porozite barındırması, korozif maddelerin porlara girmesine neden olur; bu durum, korozyon direncinin azalmasına, rijitliğin düşmesine ve sertlik ile aşınma dayanımının zayıflamasına yol açar. Diğer taraftan, porların birbirleriyle bağlantılı

olması, yağlayıcılar, boyalar, sol-jeller ve polimerlerin mikroporları istenilen özelliklerle doldurmasına olanak tanır (Jiang ve vd., 2010).

MAO uygulamaları ile ilgili olarak, birçok değişkenin sonuçlar üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Son araştırmalar, darbe süresinin kaplama katmanının özellikleri üzerinde de bir etkisi olduğunu göstermektedir (Gebarowski ve Pietrzyk, 2013).

Sertlik ve Aşınma Direnci: MAO kaplamalarının yüksek sertlik özellikleri sayesinde aşınmaya karşı oldukça etkili koruma sağladığı görülmektedir. Özellikle alüminyum alaşımlarında oluşturulan bu kaplamalar, büyük oranda kristal yapı içerir ve bu da mekanik dayanıklılığı artırmaktadır.

Korozyon Direnci: Bu kaplamalar, metal yüzeyleri dış etkenlerden koruyarak korozyon direncini önemli ölçüde yükseltmektedir. Bir örnek olarak, titanyum implantlar üzerinde yürütülen araştırmalar, MAO kaplamalarının biyouyumluluğu ve korozyon direnci ile implant performansını geliştirdiğini göstermektedir.

Isı ve Kimyasal Dayanıklılık: MAO işlemi ile oluşturulan oksit katmanları, yüksek ısıya ve kimyasal etkilere dirençlidir. Bu özellikleri, zorlu çalışma koşullarında kullanılmasını sağlar.

2.2.3. Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Uygulama Alanları

Mikro ark oksidasyon yöntemi, otomotiv ve uzay sektörleri gibi birçok alanda, genel makin üretimi, motor üretimi, hidrolik sektörü ve tekstil endüstrisi içinde pek çok uygulama bulmaktadır.

Mikro ark oksidasyon işlemi, geleneksel anodik oksidasyon yöntemleriyle kaplanamayan yüksek silisyumlu alüminyum alaşımlarının ve magnezyum alaşımlarının kaplamasında kullanılabilir. Ayrıca, bu işlem mükemmel bir boya tabanı görevi görmektedir. Mikro ark oksidasyonla üretilen kaplamalar, yüksek sıcaklıklara dayanıklı olduklarından uzay araçları ve roketler için koruyucu özellik gösterir. Bu tür kaplamalar, mükemmel dielektrik özellikleri sayesinde yalıtkan ortamlarda da kullanılabilir. Ayrıca, farklı renkteki kaplamalar, bu yöntemin mimarlık alanında da uygulanma potansiyelini göstermektedir (Özkara, 2006).

Başka uygulamalar, kimyasal, mekanik, termal, elektrik-elektronik ve bu dört alandan birinin birleşimini gerektiren durumlar olarak düşünülebilir. Aşağıda, mikro ark oksidasyon işlemiyle elde edilen oksit kaplamaların bu tür uygulama alanlarında kullanılmasına olanak tanıyan özellikleri belirtilmiştir (Özkara, 2006).

Kimyasal Kullanımlar: Orta sıcaklıklara ve güçlü asitler ile bazlara dayanıklıdır. Bu nedenle kimya ve gıda sektörlerinde yer bulabilir.

Mekanik Kullanımlar: Oksit tabakasının sertliği 1300 kg/mm²'nin üzerindedir. Bu yüksek sertlik, kayma, aşındırıcı ve erozyona karşı dayanıklılığı artıran bir unsurdur. Ayrıca, düşük sürtünme katsayısı, sınır yağlama koşullarında kullanılmasını mümkün kılar.

Termal Kullanımlar: Oksit tabakasının ısı iletkenliği, diğer metallere oranla daha düşüktür. Bu durum, ısı dağılımının dengeli olmasını sağlamak ve termal şok dayanıklılığını artırmak için kullanılabilir.

Elektrik ve Elektronik Kullanımlar: Oksit tabakası, elektrik ve elektronik bileşenlerde yalıtkan bir film olarak görev yapar. Mikro ark oksidasyon işlemi, iç yüzeylerin sert kaplama işlemi (oyuk, silindirik ve konik alanlar) için uygundur (Xin vd., 2006).

2.2.4. Mikro Ark Oksidasyon İşleminin Avantaj ve Dezavantajları

Mikro ark oksidasyon ile ilgili daha önce yapılmış araştırmalara dayandığında, bu işlemin birçok faydasının yanı sıra bazı olumsuz yönleri de olduğu görülmüştür. Mikro ark oksidasyon sürecinin diğer yüzey kaplama tekniklerine kıyasla pek çok avantajı bulunmaktadır. Örneklerin ön hazırlık aşamaları daha az karmaşık olduğundan, bu teknik seri üretime çok uygundur. Bu yöntem, alüminyum, magnezyum ve titanyum gibi metallerin yanı sıra niyobyum, zirkonyum, tantal, tungsten ve çinko gibi geniş bir malzeme yelpazesine de uygulanabilir. Mikro ark oksidasyon için gereken elektrolitler ise kolayca hazırlanabilir, uygun maliyetlidir ve çevreye dosttur (Yu vd., 2015). MAO işleminin sağladığı faydalar şunlardır;

- ✓ Kullanılan elektrolitler bu süreçte doğaya dost, kolayca hazırlanabilen ve ekonomik çözeltilerdir.
- ✓ Alüminyum, titanyum, niyobyum, magnezyum ve zirkonyum gibi hafif metaller üzerinde uygulanabilmesi, diğer kaplama tekniklerine göre avantaj sağlar.
- ✓ MAO yöntemi, ön hazırlık veya son düzeltme aşamalarına ihtiyaç duymaz.
- ✓ Diğer geleneksel anodik oksidasyon tekniklerinde görülen yanma durumu, MAO yöntemi ile ortaya çıkmaz.
- ✓ Bu işlemlerle, yüksek sertlikte kaplamalar elde etmek mümkündür. Koruma sağlanan bu alaşım türleri, korozyon ve aşınma direnci açısından da oldukça etkileyicidir.
- ✓ Bu yöntem, karmaşık yüzey yapısına sahip olan malzemelerin yüzeyinde homojen ve eşit kalınlıkta kaplamaların oluşumunu sağlar (Tatar, 2015).

Mikro ark oksidasyon işleminin dezavantajlarına değinilecek olunursa; uygulamanın özelliklerine bağlı olarak, genellikle 1000 V ve 1 MW gücünde bir enerji

gerekmektedir. Bu yüksek enerji, kaplanacak malzemenin türü ve boyutuna bağlı olarak, tehlikeli olabilecek bir durum yaratabilir. Ayrıca, MAO yöntemi kullanıldığında, bu yüksek elektrik enerjisi malzeme yüzeyinde ısı enerjisine dönüşmektedir ve bu ısınma nedeniyle işlem sırasında kullanılan solüsyon da ısınır. Bu solüsyonu soğutmak ve belli bir sıcaklıkta tutmak için güçlü soğutucular tercih edilmektedir. Ancak, soğutma işlemi için gereken enerji maliyetleri artırır ve bu durum yüksek enerji gereksiniminin bir başka olumsuz yönüdür.

MAO işlemiyle elde edilen seramik kaplamaların özellikleri katmanlara göre değişiklik göstermektedir. Kaplama sonucunda ana malzemeye en yakın katman, en iyi özellikleri taşıırken; dokunun dış katmanları ise daha kırılğan ve aşınmaya karşı daha az dirençlidir. En sağlam yüzeyi açığa çıkarmak ve sürtünme katsayısını düşürmek için pürüzleri gidermek istendiğinde, bu işlemler ek maliyetler doğuracaktır (Tatar, 2015).

2.2.5. Mikro Ark Oksidasyon Sisteminde İş Süreçleri

Mikro Ark Oksidasyon (MAO) süreci, metal yüzeyler üzerinde yüksek voltaj uygulanması yoluyla seramik benzeri oksit kaplamaların oluşturulmasını sağlayan, elektrokimyasal ve plazma temelli karmaşık bir yüzey modifikasyon yöntemidir. Bu süreçte metal yüzey, uygun bir elektrolit ortamında anot olarak davranmakta; uygulanan yüksek gerilimler sonucunda yüzey ile elektrolit arasında mikro ark deşarjları meydana gelmektedir. Oluşan bu mikro deşarjlar, lokal olarak son derece yüksek sıcaklıklara ulaşılmasına neden olmakta ve literatürde bu sıcaklıkların yaklaşık 6.000–10.000 K aralığında olabileceği bildirilmektedir (Yerokhin vd., 1999; Hussein vd., 2013). Bu yüksek enerji ortamı, metal yüzeyde sert, aşınmaya ve korozyona dayanıklı oksit tabakalarının oluşumunu mümkün kılmaktadır.

MAO işlemi sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar, yoğun elektriksel alanlar ve elektrolit içindeki kimyasal reaksiyonlar, süreci iş sağlığı ve güvenliği açısından potansiyel olarak riskli hâle getirmektedir. Özellikle yüksek voltaj uygulamaları elektrik çarpması riskini artırmakta; mikro ark deşarjları ve sıcak yüzeyler ciddi termal yanık tehlikelerine yol açabilmektedir. Bunun yanı sıra, MAO sürecinde kullanılan elektrolitlerin çoğunlukla alkali veya reaktif kimyasal özellikte olması, kimyasal sıçrama, soluma ve cilt teması gibi riskleri de beraberinde getirmektedir.

Bu bağlamda, MAO sistemleri için sistematik bir risk analizinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Risk analizi süreci; işlem sırasında ortaya çıkabilecek elektriksel tehlikelerin, yüksek sıcaklığa bağlı fiziksel risklerin ve kimyasal maruziyetlerin tanımlanmasını, değerlendirilmesini ve bu risklerin kabul edilebilir seviyelere

indirilebilmesi için gerekli teknik, idari ve kişisel koruyucu önlemlerin belirlenmesini kapsamaktadır. Etkin bir risk değerlendirme yaklaşımı hem çalışan güvenliğinin sağlanmasına hem de MAO prosesinin sürdürülebilir ve kontrollü bir şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır.

Kaplama usulünde seyreltik ve zehirli olmayan elektrolit kullanılması, usulün emniyetli olmasını temin etmektedir. Ayrıca kaplama işleminden önce yapılması gereken ön hazırlıkların kolay olması kaplama vaktini kayda değer oranda kısaltmaktadır.

Mikro Ark Oksidasyonu (MAO) işlemine başlamadan önce, numunelerin doğru bir şekilde hazırlanması son derece önemlidir. İlk olarak, hammadde veya önceden işlenmiş parçalar, MAO işlemine uygun boyutlarda kesilmelidir. Kesim işlemi, yüzeyin bütünlüğünü bozmadan ve mikroyapıya zarar vermeden yapılmalıdır. Daha sonra, örnekler, kaplama işlemi sırasında elektrolitik hücrede düzgün bir şekilde yer alabilmeleri için istenen şekil ve boyutlara getirilir. Bu aşamada, kenarların temizlenmesi ve yüzey pürüzlülüğünün azaltılması gibi hazırlık işlemleri gerçekleştirilerek, MAO için en iyi yüzey koşulları sağlanır.

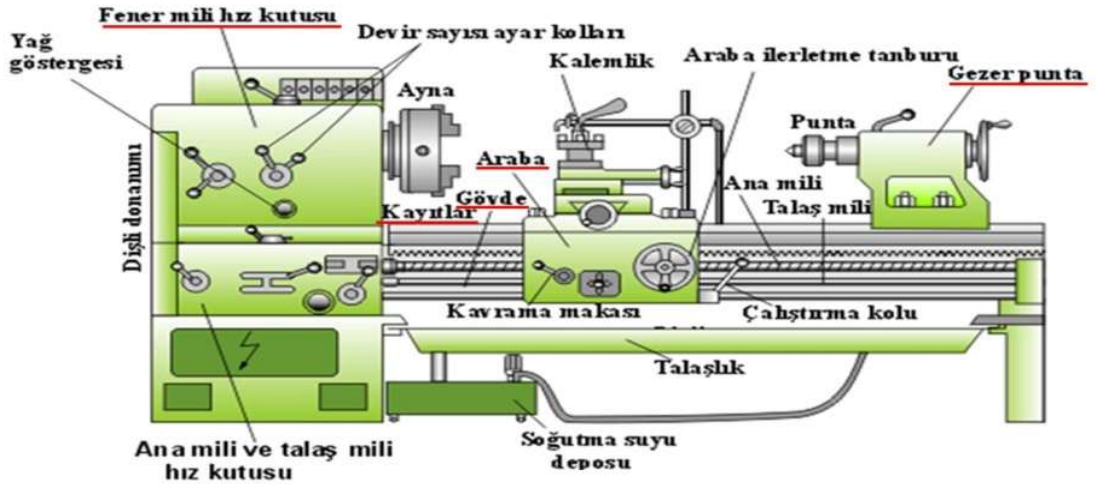
2.2.5.1. Hazırlık Aşaması

MAO işlemi öncesinde, numunelerin işlem için uygun boyut ve yüzey kalitesine sahip olması gereklidir. Bu nedenle hazırlık aşamasında aşağıdaki adımlar uygulanır:

Numunelerin Kesilmesi: MAO işlemine tabi tutulacak numuneler, ana malzemeden uygun yöntemlerle (örneğin testereli kesim, tel erozyon vb.) kesilerek elde edilir. Kesim işlemi sırasında malzeme yapısının bozulmaması için uygun kesim parametreleri kullanılır. Hazırlık aşamasında kullanılan iş ekipmanları,

2.2.5.2. Torna Tezgâhı

Torna, silindir ya da konik şekillerin işlenmesi için kullanılan bir makinedir. Bu cihazlar, düzgün bir yüzey ve hassasiyet sağlamak amacıyla tercih edilir. Tornada, iş parçası döner ve kesici aletlerle etkileşime girerek şekillendirme işlemi gerçekleştirilir. Örnekler genellikle yuvarlak ve silindirik formlarda olduğundan, bu makineler bu tür yüzeylere uygun bir şekilde çalışır (Hosseini ve Rahimi 2014).



Şekil 5. Torna tezgâhının kısımları

Şekil 5'te torna tezgâhının ana kısımları ve bu kısımlar arasındaki işlevsel ilişki şematik olarak gösterilmektedir. Tezgâh; fener mili kutusu, ana mil, araba ve kalemlik, gövde ve kızaklar, puntalar ile tahrik ve dişli sistemlerinden oluşmaktadır. Bu bileşenler, iş parçasının döndürülmesi, kesici takımın kontrollü hareketi ve işleme hassasiyetinin sağlanması amacıyla birlikte çalışmaktadır. Torna tezgâhının bu yapısı hem işleme doğruluğunu hem de güvenli çalışmayı doğrudan etkileyen temel unsurları ortaya koymaktadır.

Torna tezgâhı, iş parçasına dönerken, kesici bir aletle sürekli olarak talaş çıkararak istenen şekil vermek amacıyla kullanılan bir makinedir. Farklı türlerde ve boyutlarda üretilir (masa tornası, ayaklı torna, revolver torna gibi). Bir torna tezgâhının iş yapabilme kapasitesi açısından en önemli ölçüleri, punta yüksekliği ve iki punta arasındaki maksimum mesafedir. Bu ölçümler, tornanın işleyebileceği malzemenin çapını ve uzunluğunu belirler. Bir torna tezgâhının en önemli boyutları ile ana parçaları şekil 5 'de gösterilmektedir.

Tehlikeler/Riskler:

- ✓ Talaş fırlaması: Makine çalışırken metal parçalar hızla dışarı fırlayabilir, bu da ciddi yaralanmalara yol açabilir.
- ✓ Kesici alet ile temas: Dikkatsizlik veya yanlış ayar durumunda operatörün kesici aletle teması, ağır yaralanmalara sebep olabilir.
- ✓ Yanlış montaj: Malzemenin tornada hatalı bir şekilde yerleştirilmesi, parçaların zarar görmesine ya da fırlamasına neden olabilir.
- ✓ Dönen parçalara kıyafet, el veya saçın takılması,
- ✓ Uçuşan metal parçaları,

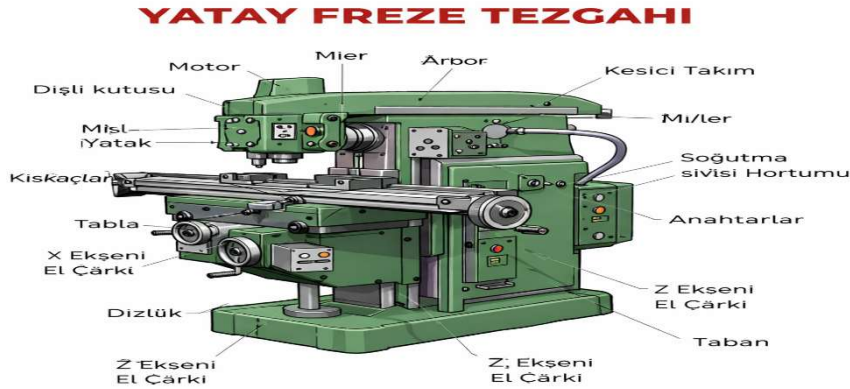
- ✓ Kesici aletin veya iş parçasının gevşeyip dışarı fırlaması,
- ✓ Yüksek ses ve titreşim.

Önlemler:

- ✓ Gevşek giysi, takı ve eldiven takılmamalı,
- ✓ Gözlük ve yüz siperliği kullanılmalı,
- ✓ İş parçası ve alet sağlam bir şekilde yerleştirilmeli,
- ✓ Parça koruyucular kullanılmalı,
- ✓ Eğitim almış personel tarafından çalıştırılmalı.

2.2.5.3. Freze Tezgahı

Frezeler, endüstriyel alet imalatında 19. yüzyılın sonunda ortaya çıkan bir tür makinedir. Bu makinelerin çalışma mantığı, dönen bir kesici aletin yardımıyla iş parçasından malzeme çıkararak şekil vermektir (delme, yüzey işleme, açma gibi) (Brown vd., 1914).



Şekil 6. Freze tezgâhı

Tehlikeler/Riskler:

- ✓ Kesici aletin kırılması: Özellikle yüksek hızda çalışan freze makinelerinde, kesici aletin aşırı ısınma veya malzemenin sertliği yüzünden kırılma ihtimali vardır.
- ✓ Operatörün yaralanması: Yüksek hızda dönen aletler, yanlış kullanıldığında ciddi yaralara yol açabilir.
- ✓ Yüzeyin hatalı işlenmesi: Makine ayarları gerektiği gibi yapılmadığında, istenilen geometrik doğruluk sağlanamaz.
- ✓ Keskin takıma temas neticesinde el zedelenmeleri,
- ✓ Talaş sıçraması.
- ✓ İş parçasının sabitlenmemesi sebebiyle fırlaması,

✓ Gürültü ve tozlanma.

Önlemler;

✓ İş parçası mengene veya fikstüre tamamen bağlanmalı.

✓ Koruyucu gözlük takılmalı.

✓ Freze bıçağı kontrol edilmeli.

✓ Takım değişimi sırasında makine durdurulmalı.

2.2.5.4. Giyotin Makası

Giyotin makas, metal levha ve plakaların doğru, düzgün ve hassas biçimde kesilmesi amacıyla kullanılan endüstriyel bir kesme makinesidir. Makine, üst ve alt bıçaklar arasında uygulanan doğrusal kesme hareketiyle çalışmakta olup, adını çalışma prensibinde kullanılan kesici bıçak sisteminin giyotin mekanizmasına benzerliğinden almaktadır. Bu mekanizma sayesinde metal malzeme, yüksek kesme kuvveti altında kontrollü bir şekilde ayrılabilir (Kalpakjian ve Schmid, 2014).

Giyotin makaslar; otomotiv sanayi, inşaat sektörü, makine imalatı ve genel metal işleme alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle sac metal kesim işlemlerinde tercih edilmesinin temel nedeni, yüksek kesme doğruluğu, tekrarlanabilirlik ve seri üretime uygunluk sağlamasıdır. Hidrolik, mekanik veya pnömatik sistemlerle çalışabilen bu makineler, farklı kalınlık ve özellikteki metal plakaların işlenmesine olanak tanımaktadır (Groover, 2020).

Bununla birlikte, giyotin makasların kesici bıçaklarının açık ve hareketli olması, kullanım sırasında el ve parmak yaralanmaları, ezilme ve kesilme gibi ciddi iş kazası risklerini de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle giyotin makasların kullanımı sırasında uygun koruyucu sistemlerin bulunması, makine kullanım talimatlarına uyulması ve çalışanların gerekli iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini almış olması büyük önem taşımaktadır. Yapılan sektörel değerlendirmelerde, metal kesme makinelerinde meydana gelen iş kazalarının önemli bir bölümünün yetersiz eğitim ve koruyucu önlem eksikliğinden kaynaklandığı vurgulanmaktadır (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2019).



Şekil 7. Giyotin makası

Tehlikeler/Riskler:

- ✓ Ellerin veya parmakların kesilmesi.
- ✓ Kesici kenarlar yüzünden elde yaralar.
- ✓ Malzeme kesim sırasında fırlayabilir.

Önlemler:

- ✓ Elli koruyan ekipman kullanılmalı.
- ✓ Kesim yapılırken eller, kesim yerinden uzakta tutulmalı.
- ✓ Makine koruyucu bir kapakla donatılmalı.
- ✓ Sac taşırken eldiven takılmalı.

2.2.5.5. Tel Erozyon

Tel erozyon (Wire Electrical Discharge Machining – WEDM), gelişen teknolojiyle birlikte makine sanayisinde kullanılan yüksek mukavemetli, sert ve işlenmesi güç yeni malzeme türlerinin ortaya çıkması sonucunda, geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda tercih edilen modern ve hassas bir üretim tekniğidir. Bu yöntemde malzeme, mekanik temas olmaksızın, elektriksel deşarjlar yoluyla kontrollü biçimde işlenmektedir (Ho ve Newman, 2003).

Tel erozyon işleminde, genellikle pirinç veya bakır kaplı ince bir tel elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkları sayesinde, lokal olarak yüksek sıcaklıklar meydana gelmekte ve bu sıcaklık etkisiyle malzeme yüzeyinden mikroskobik parçacıklar koparılarak şekillendirme gerçekleştirilmektedir. İşlem sırasında elektrot tel ile iş parçası arasında doğrudan temas bulunmaması, yöntemin özellikle sertleştirilmiş çelikler, titanyum alaşımları ve süper alaşımlar gibi zor işlenebilir malzemelerde yüksek hassasiyetle kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Kalpakjian ve Schmid, 2014).

Tel erozyon tekniği; kalıpcılık, havacılık, otomotiv ve savunma sanayii gibi yüksek tolerans gerektiren sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek elektrik enerjisi kullanımı, soğutma sıvıları ve işlem sırasında açığa çıkan metal buharları nedeniyle tel erozyon makinelerinin kullanımında elektriksel tehlikeler, yanık riski ve iş hijyeni açısından maruziyet riskleri söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle, tel erozyon işlemlerinin iş sağlığı ve güvenliği açısından sistematik bir risk değerlendirmesi kapsamında ele alınması gerekmektedir (Groover, 2020).



Şekil 8. Tel erozyon

Tehlikeler/Riskler:

- ✓ Elektrik akımına dair tehlikeler.
- ✓ Yanıcı sıvıların varlığı yangın tehlikesi yaratır.
- ✓ Bıçak gibi keskin kenarlar.
- ✓ Duman ve gazların ortaya çıkması.

Önlemler

- ✓ Elektrik sistemleri sık sık gözden geçirilmelidir.
- ✓ Yangın söndürme cihazları bulundurulmalıdır.
- ✓ Hava sirkülasyonu sistemi aktif olmalı.
- ✓ Koruyucu gözlük ve eldiven giyilmelidir.

2.2.5.6. Radyal Matkap

Matkap (delgi), iki ana kesme kenarına sahip olan ve temel olarak delik delme, havşa açma ve genişletme işlemlerinde kullanılan bir kesici takım türüdür. Matkaplar, dönme hareketi ile birlikte aksel ilerleme sağlayarak malzeme üzerinden talaş kaldırma

prensibine göre çalışmaktadır. Delme işlemi sırasında oluşan talaş, matkap gövdesi üzerinde yer alan spiral (helisel) kanallar aracılığıyla kesme bölgesinden uzaklaştırılmakta; bu sayede hem kesme bölgesinde ısınma azaltılmakta hem de takımın kırılma riski düşürülmektedir (Kalpakjian ve Schmid, 2014).

Spiral kanallar aynı zamanda kesme bölgesine soğutma sıvısının iletilmesini kolaylaştırarak, kesici takımın ömrünü uzatmakta ve delik yüzey kalitesini artırmaktadır. Matkaplar; metal işleme, makine imalatı, otomotiv ve inşaat sektörlerinde yaygın olarak kullanılmakta olup, özellikle talaş tahliyesinin yetersiz olduğu durumlarda takım aşınması ve kırılma riskleri artmaktadır (Groover, 2020).

Matkap kullanımında, dönmekte olan kesici uçlarla temas, talaş sıçraması ve elektrikli ekipman kaynaklı riskler nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği açısından çeşitli tehlikeler söz konusudur. Bu nedenle, matkapla yapılan işlemlerde uygun kişisel koruyucu donanım kullanımı, iş parçasının güvenli biçimde sabitlenmesi ve makine koruyucularının devrede olması büyük önem taşımaktadır (Stephenson ve Agapiou, 2016).



Şekil 9. Radyal matkap

Şekil 9’da gösterilen radyal matkap, delme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan elektrikli el aletidir. Döner hareketle çalışan bu ekipman, farklı uçlar yardımıyla metal, ahşap ve benzeri malzemelerin işlenmesini mümkün kılmaktadır. Matkapın güvenli ve verimli kullanımı; uygun uç seçimi, sabit ve dengeli tutuş ile elektriksel ve mekanik güvenlik önlemlerinin alınmasına bağlıdır.

2.2.5.7. Temizlik Aşaması

MAO işlemine başlamadan önce malzemenin yüzeyindeki kir, yağ, oksit ve diğer yabancı maddelerin tamamen temizlenmesi gereklidir. Bu, elektrolit ile etkili bir temas sağlamayı ve düzgün, homojen bir kaplamanın oluşumunu garanti altına almayı sağlar.

2.2.5.8. Mekanik Temizlik Yöntemleri

Mekanik temizlik: Zımpara, taşlama veya kumlama işlemleri ile yüzeyde bulunan kalıntılar ve oksit tabakaları temizlenir. Bu işlem, yüzey pürüzlülüğünü artırarak kaplamanın daha iyi tutunmasını sağlar. Bu aşama, yüzeydeki büyük kirleri, pas ve oksitleri ortadan kaldırmak için kullanılır.

Zımparalama / Taşlama: Yüzeydeki sert oksitler ve kirlere, el zımparası, taşlama makineleri veya otomatik zımpara sistemleri ile temizlenir.

Kumlama (Grit blasting) / Bilyalı Temizleme (Shot blasting);

✓ Metal yüzeylerin mekanik olarak pürüzlendirilmesi ve kirlere arındırılması amacıyla uygulanır.

✓ Özellikle alüminyum alaşımlarında yüzeyi aktive etmek için tercih edilmektedir.

Ekipmanlar

✓ Taşlama makinesi

✓ Zımpara diskleri

✓ Kumlama kabini

✓ Kompresör sistemi

✓ Koruyucu ekipman (gözlük, maske, eldiven)

2.2.5.9. Kimyasal Temizlik Yöntemleri

Kimyasal temizlik: Kimyasal temizlik de alkol ve aseton ile yıkanır saf su ile durulanır ve kurulanır. Parçalar, yağları temizlemek için alkaline çözeltilerde (örneğin NaOH bazlı banyolar) yıkanır. Bu aşamada yüzeydeki yağ, gres ve ince parçacıklar kimyasal yollarla temizlenir.

Alkali Temizlik (Yağ alma): Parçalar genellikle sodyum hidroksit (NaOH) ya da benzeri alkali çözeltilerde yağlardan arındırılır.

Ultrasonik Temizlik: Bu yöntem özellikle hassas parçalar için uygundur. Parçalar, bir sıvı içinde yüksek frekanslı ses dalgalarına maruz bırakılır. Bu teknik, mikroskobik kirlere ve parçacıkların temizlenmesinde son derece etkilidir.

Yüzeydeki mikroskobik kirlere temizlenmesi için yüksek frekanslı ses dalgalarıyla desteklenmiş sıvı temizlik banyoları kullanılır.

Ekipmanlar:

- ✓ Kimyasal banyo tankları (asitleme ve yağ alma banyoları)
- ✓ Ultrasonik temizleme cihazları
- ✓ Isıtıcı paslanmaz çelik tanklar
- ✓ Havalandırma sistemleri

Su ile Durulama ve Kurutma: Kimyasal temizlik sonrası parçalar, iyonize su ile durulanarak kimyasal kalıntılardan arındırılır. Daha sonra, kaplama kalitesini korumak için hızla kurutulması gerekir.

Ekipmanlar:


- ✓ Saf su veya deiyonize su banyoları
- ✓ Sıcak hava kurutucuları veya fırınlar
- ✓ Basınçlı hava tabancaları (nem ve sıvıların uzaklaştırılması için)

MAO işleminin verimliliği ve kaplama kalitesi, temizlik aşamasının dikkatlice yapılmasına bağlıdır. Yüzeyde en küçük bir kir veya yağ kalıntısının kalması, elektrokimyasal reaksiyonun dengesini bozarak kaplama hatalarına yol açabilir.

Farklı zımparalama cihazları Zımparalama süreci, örneğin yüzeyinde bulunan pürüzlerin kaldırılması, düz bir yüzey oluşturulması ve ardından gerçekleştirilecek olan MAO kaplama işleminin hazırlanmasını sağlamaktır. Zımpara makineleri, yüzeyi düzleştirmek için abrasif malzemelerle kaplı bir tekerlek veya bant kullanarak aşındırma işlemi yapar. Bu yöntem, genellikle metal veya seramik yüzeylerde tercih edilir. Büyük pürüzler gidermenin ardından zımparalama aşamasına geçilir (Li vd., 2015).

Zımpara ve polisaj işlemleri aşama aşama uygulanır ve her aşamada daha ince aşındırıcı maddeler tercih edilir. Bu durum, her aşamada oluşan çizik ve bozulmaları en aza indirmeye yardımcı olur. Zımpara işleminin başında 10-100 µm arasında olan pürüzlülük seviyesi, 1 µm'ye kadar düşürülebilir. Sonrasında, numuneye ayna gibi bir parlaklık kazandırmak için polisaj yapılır ve düzleştirme işlemi öncesinde son parlaklık ve düzgünlük sağlanır (Salman vd., 2016).

Zımpara, SiC ve Al₂O₃ gibi sert ve aşındırıcı taneciklerin suya dayanıklı kâğıt ya da kumaş üzerine yapıştırılmasıyla yapılır. Zımparaların numarası, bu taneciklerin boyutuna bağlıdır ve taneciklerin elendiği elek açıklığına göre belirlenir. Zımpara kağıdının numarası, içindeki aşındırıcı tane sayısı ile bağlantılıdır. Tane boyutu küçüldükçe, bir inç kareye düşen tane sayısı artar. Bu durumda, zımpara numarası yükseldikçe, aşındırıcı partiküllerin boyutları küçülür ve zımpara daha ince hale gelir (Salman vd., 2016).

KABA	Zımpara Tane No	Tane Boyutu (μm)
	80	210-177
	150	105-88
	180	88-74
	240	53-45
	320	37-31
	400	31-27
	600	22-18
	800	15-11
İNCE		

Şekil 10. Zımpara kâğıdı numarası ile tane boyutu arasındaki ilişki

Şekil 10’da zımpara kâğıdı numarası ile aşındırıcı tane boyutu arasındaki ters yönlü ilişki gösterilmektedir. Zımpara numarası arttıkça tane boyutu küçülmekte; bu durum yüzeyin kaba işleme aşamasından ince yüzey finisajına doğru ilerlediğini ifade etmektedir. Düşük numaralı zımparalar daha büyük tanelerle hızlı malzeme kaldırma sağlarken, yüksek numaralı zımparalar yüzey pürüzlülüğünü azaltarak daha düzgün ve hassas bir yüzey elde edilmesine imkân tanımaktadır.

Zımparalama işlemi kalın zımparalardan ince zımparalara doğru, 60, 80, 120, 150, 180 ve 240 numaralı zımpara kağıtları kullanılarak gerçekleştirilir. Numunenin ısınmasını önlemek ve kopan parçacıkların yüzeyde çizik oluşturmaması için, su kullanılır ya da zımparalama esnasında su akışı altında işlem yapılır. İnce zımparaya geçilen zaman, numune 90 derece çevrilmeli ve dış kenarlarından merkeze doğru hareket ettirilmelidir. Numunenin 90 derece döndürülmesi, önceki zımparanın izlerinin silindiğini anlamayı kolaylaştırır. Zımparalama süresi, önceki zımparanın çizikleri yok etme süresinden daha uzun olmalıdır. Zımparalama işlemi esnasında yüzeye fazla baskı yapılmamalıdır. Bunun aksi halinde, numunedeki çizikler artacak ve zımparalamanın etkisi azalacaktır.



Şekil 11. Farklı zımparalama ekipmanları

Şekil 11’de farklı zımparalama ekipmanları gösterilmektedir. Bu ekipmanlar, numune hazırlama sürecinde yüzey pürüzlülüğünün kontrollü biçimde azaltılması ve homojen bir yüzey elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Elle zımparalamadan yarı

otomatik ve tam otomatik sistemlere kadar uzanan bu çeşitlilik, işlem hassasiyetinin, tekrarlanabilirliği ve operatör etkisinin kontrol altına alınmasına olanak sağlamaktadır.

Elle Zımparalama;

Tanımı: Operatör yüzeyi temizlemek için el ile zımpara kâğıdı ya da zımpara süngeri kullanır. Zımparalar, makinelerde kullanılanlar kadar sağlamdır. Zımparalamak için elde tutulabilir boyutlarda kesilerek kullanılır (Sofuoğlu, 2004).

Riskler / Tehlikeler;

Ciltte alerji ve tahriş: Zımpara tozu ya da temas ile elde kızarma, kuruluk ve kaşıntı meydana gelebilir.

Parmaklarda kesikler ve yaralar: Metal yüzeylerin keskin olması ya da zımparanın fazla baskı ile sürülmesinden kaynaklanır.

Alınacak Önlemler

- ✓ Kesilmeye karşı dayanıklı koruyucu eldiven kullanılmalıdır.
- ✓ Toz maskesi ve gözlük tercih edilmelidir.
- ✓ Eldivenin uzun süreli temas durumunda değişmesi gereklidir.
- ✓ İyi havalandırılmış bir alanda çalışma yapılmalıdır.

Zımpara Makinesi ile Zımparalama

Elektrikli veya pnömatik zımpara makineleri ile yüzey temizliği sağlanmaktadır. Cilalama işleminden önce parça ve tabla yüzeylerinin düzeltme ve perdah işlemleri için farklı tip ve özelliklere sahip zımparalama makineleri kullanılmaktadır. Bu makinelerde, kesici malzeme olarak çeşitli nitelikte zımpara levhaları yer alır (Sofuoğlu,2004).

Riskler;

Titreşim nedeniyle el-bilek sorunları (HAVS): Uzun süreli kullanımda sinir sıkışması ya da kas-iskelet sorunları yaşanabilir.

Zımpara Makinenin Risk Faktörleri;

✓ *Yüzey aşındırma:* Aşırı zımparalama, numunenin istenen boyutlardan daha küçük olmasına neden olabilir.

✓ *Çapak ve kırıklar:* Zımparalama esnasında keskin kenarlar veya çapaklar oluşabilir. Bu durum hem iş parçasına hem de operatöre zarar verebilir.

Alınacak Önlemler:

- ✓ Titreşimi azaltan eldiven kullanılmalıdır.
- ✓ Elektrik güvenliği kontrolleri (kablo, fiş, topraklama) düzenli olarak yapılmalıdır.
- ✓ Koruyucu gözlük, kulaklık ve toz maskesi takılmalıdır.
- ✓ Makineyi sabitleyerek ve iki el ile tutarak çalışmak önemlidir.

- ✓ Çalışmadan önce makine boşa çalıştırılarak kontrol edilmelidir.

2.2.5.10.Elektrolit Hazırlığı

MAO tekniğinde kaplama süreci önce uygun bir elektrolit seçimi ile başlar. Uygun elektrolit belirlendikten sonra, akım yoğunluğu en uygun değere ayarlanır. Kaplama süreci başladıktan sonra, alt malzeme yüzeyinde oksit film tabakası oluştuğça voltaj değeri başlangıçta hızla artar, ardından artış hızı yavaşlar ve daha sonra voltaj artışı durur. Kritik voltaj oranı; metal elektrolit eşleşmesine bağlıdır ve elektrot yüzeyindeki kıvılcım boşalmasının etkisiyle değişir.

MAO yöntemi, metalin elektrolit banyo içinde çözülmüş tuzlar bulunan bir ortamda plazma deşarjı ile kaplanması işlemidir. Elektrokimyasal olaylar, yüksek voltaj ve akım davranışları, kaplamaların yapısını büyük ölçüde etkileyerek fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişim yaratmaktadır. MAO işlemi sayesinde, ana malzemenin yüzeyinde çevre dostu, yüksek yapışma gücüne sahip, çok sert, iyi aşınma ve korozyon direncine sahip oksit kaplamalar üretilmektedir. Ayrıca, bu kaplamalar uygun elektriksel özellikler ve yüksek termal stabilite sunar (Darband vd. 2017).

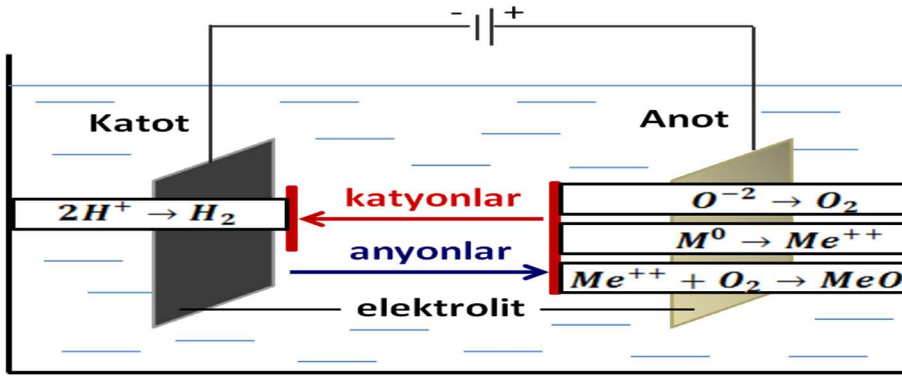
MAO işlemi sırasında, yüksek voltajın etkisiyle oksit kaplama elektrolit çözeltisinde ortaya çıkmaktadır. Bu yüksek voltaj malzeme yüzeyinde sıcaklık artışına yol açar ve bu artış sonuç olarak elektrolit çözeltinin bozulmasına ve özelliklerini yitirmesine sebep olur. Bunu önlemek amacıyla çözeltinin sürekli olarak soğuk tutulması gerekir. (Darband vd. 2017).

MAO kaplamaların mikroyapısal nitelikleri, elektrolit çözeltisi ile birlikte kullanılan Voltaj (V), Frekans (Hz) ve Zaman (t) gibi çalışma koşullarına bağlı olarak değişir. Bu kaplamaların yüzeyleri genellikle merkezleri deşarj kanalları tarafından oluşturulan volkanik yapıdadır ve malzeme yüzeyindeki oksit kaplama kalınlıkları 5 ile 200 µm arasında farklılık gösterebilir. Genel olarak, kaplama arayüzü, alt tabakaya iyi bir yapışmayı sağlayan zikzak bir şekilde oluşmaktadır. MAO yönteminde kaplama işlemi, çözülmüş tuzlar içeren bir elektrolit banyosunda yer alan metal etrafında plazma deşarj sürecini içerir. Bu deşarjlar sonucunda, taban malzemenin yüzeyinde kalın, eşit ve gözenekli bir oksit film tabakası meydana gelir. Ayrıca, plazma deşarjları kaplamaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde de önemli bir etki yapmaktadır (Hussain vd. 2010; Darband vd. 2017).

MAO işlemi sonrası yüzeyde büyütülen oksit tabakası 3 bölgeden meydana; Porozlu dış bölge, fonksiyonel ana bölge, ince geçiş bölgesi'dir.

Dış bölge, düşük sıcaklıklarda gerçekleşen kimyasal tepkimelerin sonuçlarının birikmesiyle oluşur ve nihai atıkların burada meydana gelmesi nedeniyle bu katman oldukça gözeneklidir. Bu nedenle, "poroz bölge" olarak tanımlanır. Bu alan oldukça kırılımandır ve sertliği iç bölgelerle karşılaştırıldığında daha azdır. Yüzeyden zımparalama veya parlatma gibi işlemler bu tabakanın kolaylıkla ayrılmasına olanak tanır. Poroz dış bölgenin hemen altındaki "fonksiyonel ana bölge" ise toplam tabaka kalınlığının büyük bir kısmını kapsar. Bu alan, kaplamanın işlevsel özelliklerini belirleyen temel kısımdır ve sertliği oldukça yüksektir. Fonksiyonel bölgenin altında, MAO kaplamanın başlangıcı olan ince bir geçiş bölgesi yer alır; bu bölge amorf özellikler taşır (Yerokhin vd., 1999; Demirci, 2014).

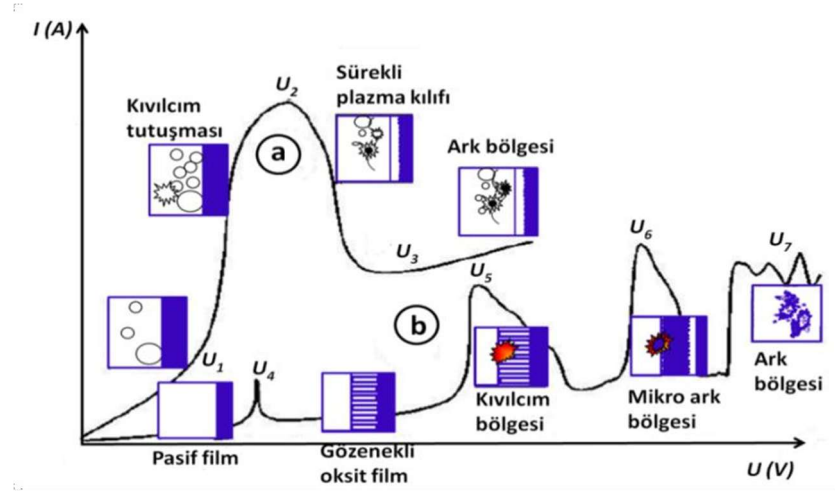
MAO (Mikro Ark Oksidasyon) işlemi genellikle bazik özellikteki bir elektrolit karışımı kullanılarak gerçekleştirilir. Bu elektrolit karışımı, sodyum fosfat, sodyum silikat ve potasyum hidroksit gibi bileşenleri içerebilir. MAO prosesinin oluşum süreci incelendiğinde, bu işlemin iki temel aşamadan oluştuğu görülmektedir. İlk aşamada, sıvı ortamda iş parçası ile karşı elektrot arasında farklı elektrot potansiyellerinin uygulanmasıyla elektroliz gerçekleşir. İkinci aşamada ise, iş parçasının yüzeyinde meydana gelen elektrik deşarjları devreye girer ve bu deşarjlar yüzeydeki mikroyapısal değişimleri başlatır (Demirci, 2014). Uygulanan gerilim belirli bir kritik seviyeyi geçtiğinde deşarj, metal/elektrolit arayüzünde gerçekleşir. Elektrolit olarak kullanılan sıvının içine iki elektrot yerleştirildiğinde ve bu elektrotlar arasında potansiyel bir fark uygulandığında, oluşan elektrik alanı ile çözültideki pozitif iyonlar elektrik alanıyla aynı yönde, negatif iyonlar ise ters yönde hareket eder. Şekil 11'de görüldüğü gibi, gaz halindeki oksijenin serbest kalması, metal oksidasyonun anodik yüzeyde meydana gelmesine sebep olur. Aynı zamanda elektrolitin kimyasal aktivitesine bağlı olarak, oksidasyon süreci yüzeyde çözümlere veya oksit film katmanlarının oluşmasına yol açar; gaz halindeki hidrojenin serbest kalması ve/veya katyon redüksiyonu ise katodik yüzeyde görülmektedir. Elektrolit olarak kullanılacak sıvı ile elektrot kombinasyonu ve polarizasyon ayarlarına bağlı olarak, elektrotun etrafında sürekli ve homojen bir parıltı oluşur. Bu parıltı zamanla değişerek kısa süreli mikro deşarjlara dönüşebilir.



Şekil 12. Elektroliz prosesi

Şekil 12’te elektroliz prosesi şematik olarak gösterilmektedir. Elektrolit ortamında uygulanan elektrik enerjisiyle katotta indirgenme, anotta ise yükseltgenme reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bu süreçte katyonlar katoda, anyonlar anoda doğru hareket ederek kimyasal reaksiyonları mümkün kılmaktadır. Elektroliz, elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürüldüğü temel bir elektrokimyasal mekanizma olarak birçok yüzey kaplama ve malzeme işleme prosesinin temelini oluşturmaktadır.

Şekil 13, iki farklı akım-voltaj grafiğini göstermektedir. A tipi akım-voltaj grafiği, metal-elektrolit sistemini anodik ya da katodik yüzeyde gaz oluşumuyla birlikte ifade etmektedir. B tipi akım-voltaj grafiğinde ise oksit tabakasının meydana geldiği durum gözler önüne serilmektedir. 0-U1 aralığında, ohm kanununa uygun bir davranış sergilenmektedir. Voltajda meydana gelen en küçük bir artış, kritik voltaj sınırının altında kaldığı sürece önemli bir değişikliği tetiklemez. U1-U2 bölgesinde, A tipi bir sistemde potansiyeldeki artış, akım dalgalanmasına yol açan parlamalarla birleşmektedir. Akımdaki artış, elektrot yüzeyinde oluşan gaz tepkimesi ürünlerinin (O₂ ya da H₂) kısmi koruyucu etkisi ile sınırlıdır. Elektrotun elektrolit ile etkileşimde olduğu alanlarda akım yoğunluğu artış göstermeye devam etmekte ve bu durum, elektrotun temasındaki elektrolitin yerel olarak kaynamasına yol açmaktadır. Bu aralık korozyon potansiyeline eşdeğer olup, pasif tabakanın çözünmesiyle ilerlemektedir. Akım U2 seviyesine ulaştığında, elektrot, düşük elektriksel iletkenliğe sahip sürekli bir gaz buhar plazmasıyla sarılı olmaktadır. Neredeyse tüm voltaj, bu ince elektrot üzerindeki alana düşer ve burada elektrik alanı kuvveti, 106 ile 108 V/m arasında bir değere ulaşır. Bu da buhar kılıfı içinde iyonizasyon sürecinin başlamasına sebep olur. İyonizasyon, dağılmış gaz kabarcıkları içerisinde küçük kıvılcıklar olarak ortaya çıkar ve daha sonra buhar plazmasının kılıfına yayılır. U2-U3 aralığındaki buhar kılıfının hidrodinamik dengesi nedeniyle akımda bir azalma görülmekte ve U3 noktasından sonra parlamalar yoğun kıvılcım haline dönüşmektedir (Yerokhin ve diğerleri 1999).



Şekil 13. Elektrot yüzeyindeki dielektrik filmde gerçekleşen akım-voltaj değişimi (Yerokhin vd., 1999)

Şekil 13'te, elektrot yüzeyinde oluşan dielektrik oksit filminin kalınlaşmasına bağlı olarak akım-voltaj davranışındaki evrim gösterilmektedir. Başlangıçta pasif ve gözenekli oksit film oluşumu ile akım sınırlı kalırken, uygulanan gerilimin artmasıyla dielektrik film yerel olarak delinmekte ve kıvılcım deşarjları ortaya çıkmaktadır. Daha ileri aşamalarda mikro ark ve ark bölgelerine geçilerek plazma karakterli deşarjlar gelişmekte, bu durum kaplama büyümesi ve faz dönüşümleri üzerinde belirleyici olmaktadır. Grafik, MAO/PEO sürecinde elektrikselsel rejimin kaplama mekanizmasını doğrudan yönlendirdiğini ortaya koymaktadır (Yerokhin vd., 1999).

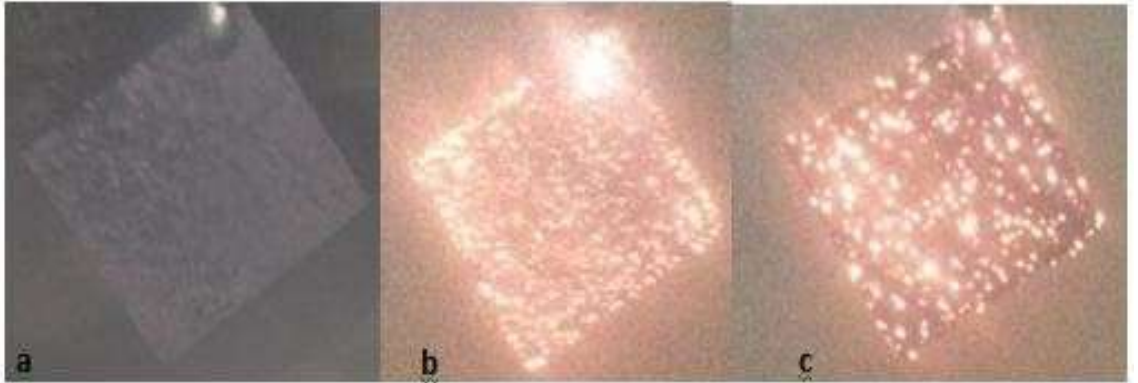
B tipi sistemde, evvela U4 noktasında daha evvelden mevcut edilgen film katmanı çözülmeye başlamakta ve daha sonra ise U4-U5 aralığında gözenekli oksit film tabakası oluşmaya başlar. U5 noktasında oksit film içindeki elektrik alan gücü film tabakasının bozulduğu kritik bir değere varmış olur. Bu sırada parıldayan küçük kıvılcımlar belirir. U6 noktasında ısıl iyonlaşmanın da yardımıyla daha yavaş ve daha büyük kıvılcımlar meydana gelir. U6-U7 bölgesinde ısıl iyonlaşma, gelişen oksit film içinde oluşan negatif yük tarafından kısmen durdurulur. Bu da boşalma gecikmesine yol açar. Bu tesir ise mikroarkların sürekliliğini tayin eder. Bu mikroarklar vasıtasıyla film katmanı giderek erir ve elektrolit içinde bulunan elementlerle alaşımlanmış olur. U7 bölgesinin üstünde film içerisinden metal yüzeyine nüfuz eden mikroark boşalmaları oluşur ve çok güçlü kıvılcımlara dönüşür (Yerokhin vd. 1999).

Uygun elektrolit seçildikten ve akım yoğunluğu belirli bir değere ayarlandıktan sonra, MAO prosesinde kaplama ana metal yüzeyinde oluşum başlarken voltaj değeri ilk aşamada hızlı bir artış gösterir; sonra bu artış yavaşlar ve en sonunda durur. Elektrik

akımındaki kritik voltaj oranı, elektrot yüzeyinde meydana gelen kıvılcım boşalmasına bağlı olarak değişir ve bu oran metal ile elektrolitin etkileşimine bağlıdır. Prosesin başlangıç aşamasında, elektrodu çevreleyen beyaz, homojen bir ışık oluşur (U5). İşlem ilerledikçe bu beyaz ışık hızlı bir şekilde hareket eden sarı kıvılcımlara dönüşür (U6). Son olarak, birkaç kırmızı ark yavaşça yüzey üzerinde hareket eder (U7).

MAO İşlem Parametreleri: İşlem esnasında kullanılan elektrik parametreleri (voltaj, akım yoğunluğu, frekans) önemlidir. Genellikle yüksek voltaj ve düşük akım, sert kaplamaların oluşmasını sağlar. Ayrıca, işlem süresi ve sıcaklığı oksit tabakasının kalınlığını ve sertliğini etkileyen diğer faktörlerdir.

Mikro Ark Deşarjları: Yüksek voltaj uygulandığında, elektrolit çözeltisi ve metal yüzeyi arasında plazma deşarjları oluşur. Bu deşarjlar mikro arklara dönüşerek yüzeyde sert oksit tabakalarının meydana gelmesine neden olur. Mikro arklardan yayılan ısı, oksit tabakasının mikroyapısal özelliklerini etkiler. Yüksek sıcaklıklar, oksit tabakasının sertlik ve dayanıklılığını artırır (Polat, 2009). Yüzeye yüksek voltaj gönderildiğinde mikro arklar meydana gelir ve bu süreçte seramik bir kaplama oluşur. Yüksek voltaj kullanıldığı için elektrik çarpma tehlikesi mevcuttur. Uygulama sırasında ısı oluşur, bu da yangın veya yanık tehlikesi yaratabilir. Bunun yanı sıra, bazı durumlarda gaz salınımı (örneğin ozon ya da diğer yan ürünler) olabilir; bu da uzun süreli maruz kalma sonucunda solunum problemlerine sebep olabilir.



Şekil 14. MAO sisteminde oluşan mikro boşalmalar (Demirci, 2014)

Şekil 14’de MAO sistemi sırasında yüzeyde meydana gelen mikro boşalmaların farklı evreleri gösterilmektedir. Başlangıç aşamasında yüzeyde sınırlı ve düzensiz deşarjlar gözlenirken, proses ilerledikçe mikro boşalmaların sayısı ve yoğunluğu artmakta ve yüzeye daha homojen biçimde dağılmaktadır. Bu mikro boşalmalar, oksit tabakanın oluşumu ve kalınlaşmasında temel rol oynayarak kaplama yapısının morfolojisini ve özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Demirci, 2014).

- ✓ Proses başlangıcından 5 dk sonrası (a)
- ✓ Proses başlangıcından 15 dk sonrası (b)
- ✓ Proses başlangıcından 25 dk sonrası (c)

Soğutma ve Son İşlemler: İşlem tamamlandıktan sonra kaplama hala sıcaktır ve soğutma işlemi gerektirir. Soğutma işlemi, oksit tabakasının özelliklerini koruyarak mekanik ve kimyasal dayanıklılığı artırır. Ayrıca kaplamaların son işlemde temizlenmesi ve yüzeylerinin düzgün hale getirilmesi de oldukça önemlidir. Kullanılan su ya da çözücüler, eğer atık yönetimi düzgün bir şekilde yapılmazsa, çevre ve insan sağlığı açısından tehlikeler yaratabilir. Temizleme işlemi sırasında yüzeydeki kimyasallara maruz kalma riski vardır.

2.3. Literatür Taraması

2.3.1. Risk Faktörleri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Chivu ve Babis (2018) gerçekleştirdikleri araştırmada arka plan gürültüsü seviyesini değerlendirdi. Tornalı işlemler sırasında elde edilen gürültü seviyesi 64,7 dB(A) olarak belirlenmiş ve bu değer, ölçülen seviyeden daha düşük olduğundan, dikkate alınmamıştır. Ancak Yapılan ölçümlerin analizi sonucunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- ✓ Şaft hızı, ölçülen gürültü düzeyini etkilemede önemli bir faktördür.
- ✓ Gürültü seviyesi, hız ile doğru orantılıdır.
- ✓ Kesici takımın besleme değerine bağlı olarak, ölçülen gürültü seviyesi değişiklik göstermektedir; 0,48 mm/dönme besleme hızı için daha yüksek bir gürültü seviyesi kaydedilmiştir.
- ✓ Yük modu ve daha düşük hızlar söz konusu olduğunda, gürültü seviyesi boşa moduna göre yaklaşık 2 dB daha fazladır.

Pettersson vd. (2012), ağır mühendislik sektöründe, el-kol titreşiminin (HAV) ve gürültüye maruz kalmanın işitme kaybı riskini nasıl etkilediğine odaklanan bir çalışma yürütmüştür. HAV ve gürültüye maruz kalmanın birleşik etkisi, işitme kaybı yaşama olasılığını artırır. Bu bulgu, HAV ve gürültü maruziyetinin birlikte değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Virkkunen vd., (2005)'in yaptığı bir araştırmada, gürültü seviyesinin sürekli olarak 85 dB (A) ve üzerinde (85-100 dB (A)) bulunan çalışanların koroner kalp hastalığına yakalanma riskinin uzun süreli etkileri incelenmiştir. 18 yıl süren takipte, diğer risk faktörleri ile birlikte yapılan istatistiksel analizde, ortalama sistol kan basıncı ve kolesterol düzeylerinde anlamlı artışların meydana geldiği belirtilmiştir. Kempen ve

arkadaşlarının gerçekleştirdiği meta analiz çalışmasında, 1970 ile 1999 yılları arasında yapılmış 43 epidemiyolojik araştırmanın sonuçları bir araya getirilmiştir. Bu meta analiz, mesleki gürültü ile hava trafiği gürültüsünün hipertansiyon üzerindeki etkileri ile ilgili anlamlı veriler ortaya koymuştur. Kesitsel çalışmalar, trafik gürültüsüne maruz kalmanın miyokard enfarktüsü ve iskemik kalp hastalığı riskini artırdığını göstermektedir.

Pettersson vd. (2014)'in yaptığı çalışmada, gürültüye maruz kalan işitme kaybı yaşayan erkek ve kadınlar arasında, Raynaud fenomeninin ortaya çıkma tehlikesini titreşime maruz kalma ile bağlantılı olarak incelemiştir. İşitme kaybı yaşayan gürültülü ortamlarda çalışan kişiler arasında, günlük vibrasyonlu el aletlerini kullananların, vibrasyonlu el malzemeleri kullanmayanlara göre beyaz parmak gelişimi açısından iki kat daha fazla rapor verdiklerini belirtmişlerdir.

Daniell vd. (2006)'nın yaptığı çalışmada, modern sektörlerde gürültü kaynaklı işitme kaybının en sık görülen bir iş riski olduğunu ifade etmiştir. Gürültüyle ilgili patolojilerin 10-15 yıl boyunca devam eden maruziyetlerde işitme kaybının arttığını gözlemlemişlerdir, fakat bu sürenin ötesinde kayıpların yavaşladığına dikkat çekmişlerdir. Bu durumu ise sensorinöral işitme kaybının neden olduğunu belirtmişlerdir.

Kurban vd. (2016)'nın yaptığı çalışmada, üç adet küçük ve orta boyutlu mobilya atölyesinde yapılmıştır. Bu atölyelerdeki işçilerin maruz kaldığı gürültü, titreşim ve odun tozu seviyeleri, daire testere, planya, zımpara ve freze makineleri kullanılarak ölçülmüştür. Ölçmelerin sonuçları, gürültü seviyelerinin 91 ile 96 dB(A) arasında değiştiğini ve bu seviyelerin yasal sınır olan 87 dB(A)'yi aştığını göstermektedir. El ve kol titreşimi ölçümleri ise 2,48 ile 6,97 m/s² arasında belirlenmiştir ve bu değerler, uyarı sınırı olan 2,5 m/s²'yi geçmiştir. Ayrıca, toz maruziyeti 12 ile 16 mg/m³ arasında bulunmuş ve sınır değer olan 5 mg/m³'ten oldukça yüksek tespit edilmiştir. Çalışma, işçilerin kişisel koruyucu ekipmanla donatılmaları, toz emme sistemlerinin kurulması ve periyodik sağlık kontrollerinin yapılması gibi öneriler getirmiştir.

Aritan ve Can (2024) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, doğaltaş ocakları ve fabrikalarında çalışan operatörlerin maruz kaldığı titreşim ve gürültü seviyelerini incelemiştir. Ocaklardaki matkap operatörlerinde tespit edilen tüm vücut titreşimi 4,8 m/s², gürültü seviyesi ise 89,3 dB(A) olarak ölçülmüştür. Fabrikalarda ise S/T makineleri 90,6 dB(A), ebatlama makineleri ise 85,5 dB(A) gürültü seviyesine ulaşmıştır. Ayrıca, bazı ocaklarda gerçekleştirilen el-kol titreşimi ölçümleri, günlük maruziyet eylem değeri olan 2,5 m/s²'yi geçmiştir. Araştırma, bu maruziyetleri azaltmak için alınabilecek önlemleri ele almıştır.

Kimyasal risk faktörleri ve bunların iş sağlığı ile çevre sağlığı üzerindeki etkileri üzerine yapılan ana araştırmalar, bu alandaki bilimsel bilgilerin gelişmesine önemli katkılarda bulunmuştur. Bilim insanları, Irwin L. Rosenstock gibi isimler, 1980'lerde ve 1990'larda kimyasal maddelere maruz kalmanın meslek hastalıklarıyla ilişkisini araştırarak, iş yerlerinde kimyasal risklerin daha iyi nasıl kontrol edilebileceğine dair çözümler sunmuşlardır. Özellikle American Conference of Governmental and Industrial Hygienists (ACGIH) gibi kuruluşlar, iş sağlığı ve güvenliği için kimyasal maruziyet limitlerini belirleyerek bu alanda önemli standartların oluşmasına yardımcı olmuştur. Ayrıca, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), kimyasal maddelere maruz kalmanın işçilerin sağlıkları üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak amacıyla kapsamlı araştırmalar gerçekleştirmiş ve toksikoloji ile ilgili veriler sunmuştur. Bu tür önemli araştırmalar, kimyasal risklerin etkilerini kavramak için ilk adımları atmış ve günümüzdeki güvenlik düzenlemeleriyle maruziyet limitleri ve toksikolojik değerlendirme sistemlerinin temelini oluşturmuştur.

2.3.2. Mikro Ark Oksidasyonu ile Yapılan Çalışmalar

Literatürde, MAO/PEO işlemi sonucunda oluşan bu tür mikro yapılar, genellikle kaplama süreci sırasında meydana gelen mikro deşarjların bir sonucu olarak açıklanmaktadır (Shi vd., 2009; Şüküroğlu, 2017). Tarakçı, çalışmasında saf alüminyum ile ağırlıkça %0,5–1–2–4–7–15 Mg içeren ikili Al–Mg alaşımlarını kullanarak, 120 dakika süreyle PEO kaplama işlemi uygulamıştır. Yapılan karakterizasyonlar sonucunda, %4 Mg içeren Al–Mg alaşımlarında elde edilen kaplamalarda α -Al₂O₃ fazının varlığı tespit edilmiştir. Buna karşılık, Mg oranının artmasıyla birlikte %7 ve %15 Mg içeren alaşımlar üzerinde oluşturulan kaplamalarda α -Al₂O₃ fazının oluşmadığı ve kaplama sertliğinde belirgin bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Bununla birlikte, incelenen tüm alaşımlarda kaplamalar içerisinde müllit ve γ -Al₂O₃ fazlarının varlığı belirlenmiştir. Alaşım bileşimindeki Mg miktarının artmasına bağlı olarak kaplamalardaki müllit fazı oranının azaldığı, buna paralel biçimde yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve sertlik değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu etkinin özellikle %4 ile %15 Mg aralığında bulunan alaşımlar üzerinde oluşturulan kaplamalarda daha belirgin olduğu ifade edilmiştir (Tarakçı, 2011).

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, sahip oldukları yüksek mekanik ve fiziksel özelliklere rağmen, yüzeylerinde doğal olarak oluşan oksit tabakasının agresif ortamlarda kararlılığını yitirmesi nedeniyle korozyon ve aşınmaya karşı yeterli dayanım gösterememektedir. Bu durum, özellikle zorlu çevre koşulları ve yüksek mekanik yükler

altında alüminyum esaslı malzemelerin kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır (Şüküroğlu, 2016). Bu sınırlamaları aşmak ve alüminyumun avantajlı özelliklerini koruyarak yüzey performansını artırmak amacıyla, literatürde çeşitli yüzey iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında bilyeli dövme ve soğuk haddeleme gibi mekanik işlemler, ısı işlemler, vakum kaplama teknikleri, toz boya uygulamaları, fiziksel ve kimyasal buhar biriktirme yöntemleri (PVD ve CVD), elektrolitik esaslı MAO kaplamalar ile darbeli elektrot kaplama prosesleri yer almaktadır (Şüküroğlu, 2016).

Liu vd. (2025) 8 g/l NaSiO₃ ve 3 g/l KOH içeren bir çözelti ile %1,08, %2,97 ve %7,04 Mg oranına sahip Al-Mg alaşımlarını 30 dakika boyunca MAO yöntemi ile kaplamışlardır. Kaplama işlemi, iki farklı voltajda gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, voltajın artmasıyla kaplama hızının da yükseldiği görülmüştür. İkinci aşamada ise voltajın azalmasıyla kaplama hızı düşmüştür. Alaşımda bulunan Mg miktarındaki artışın kaplama kalınlığına önemli bir etkisi olmamıştır. %7 Mg içeren alaşım üzerinde yapılan kaplamanın yüzeyinin elektrokimyasal olayların heterojen olduğu gözlemlenmiştir. Yüzeyin pürüzlülüğü, Mg miktarındaki artışla azalmıştır. En düşük sürtünme katsayısı, %3 Mg bulunduran alaşımda üretilen kaplamada tespit edilmiştir. Mg oranındaki artışla birlikte kaplama yapısında α -alümina, γ -alümina ve Al-Si-O fazlarının arttığı gözlemlenmiştir. Hua ve arkadaşları ise çalışmalarında, 7075 alüminyum alaşımı üzerinde sabit voltajda akım yoğunluğunun ve katot/anot akımı oranlarının kaplama üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 15A/7dm² akım yoğunluğunda 120 dakika süresince kaplama yapılmıştır. Elde edilen kaplama, 60 mikron kalınlığında ve 4200 HV sertliğinde bir yapıdır. Deşarj kanallarının sayısının, akım yoğunluğuyla doğrudan ilişkil olduğu tespit edilmiştir. İlk 35 dakikada kaplama yapısında α -Al₂O₃ fazı bulunmazken, 53 dakikadan sonra gözlemlenmiş ve kaplama kalınlığı arttıkça bu fazın da arttığı belirtilmiştir (Wu, 2003).

Elektrolite partikül ilavesi, MAO işlemi sırasında oksidasyon esnasında akım yoğunluğunun belirli bölgelerde lokal olarak yoğunlaşmasını engelleyerek, akımın yüzey boyunca daha dengeli ve kontrollü bir biçimde dağılmasına katkı sağlamaktadır. Bu etki, kaplama sürecinde mikro deşarjların daha homojen gerçekleşmesine olanak tanımakta ve yüzey morfolojisinin düzenlenmesini desteklemektedir. Nitekim literatürde, partikül ilavesi yapılmaksızın gerçekleştirilen MAO kaplamalara kıyasla, elektrolit içerisine partikül eklenmesiyle daha düzgün, yoğun ve homojen kaplama yapılarının elde edildiği rapor edilmiştir (Şüküroğlu vd., 2021).

Nie vd. (1999) araştırmalarında, AA6082 alaşımına uygulanan mikroark oksit kaplamanın kalınlığının mekanik özellikler üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kalınlığın

mekanik özellikleri belirgin bir şekilde iyileştirdiği bulunmuştur. Ayrıca yapışma, sürtünme kayma ve darbe aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Yüksek kalınlığa sahip kaplamalar, tribolojik performans açısından en iyi sonuçları kayma, sürtünme ve darbe testlerinde vermiştir; buna karşın ince kaplamalar ise ilginç bir şekilde darbe ve düşük kayma testlerinde etkili olmuştur. Orta kalınlıktaki kaplamalar ise tüm tribolojik deneylerde görece daha düşük performans sergilemiştir. Kaplamaların kesit sertliğinin kalınlık ile değiştiği gözlemlenmiştir. En yüksek sertliğin (2400 HV) yerinin, kaplama kalınlığının artmasıyla ara yüzeyden uzaklaştığı tespit edilmiştir. Sertlikteki azalma, maksimum değerden kaplama yüzeyine doğru ölçülmüştür. Bunun hem faz yapı değişiklikleriyle hem de kaplama gözenekliliğindeki benzer artışlarla ilgili olabileceği belirtilmiştir. Alümina tabakasında kontrollü gözenekliliğin, kırılmada azalma ve gerilimin hafifletilmesi açısından olumlu bir katkı sağlayabileceği öngörülmüştür.

Y. K. Wang vd. (2015), elektrolit eriyiği içerisine eklenen $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ve SiC tozunun MAO kaplamalarına tesirini araştırmışlardır. Al-Cu-Mg (2024) alaşımı sathında oluşturulan seramik kaplamalar incelenmiştir. Yapılan ilavelerin kaplama niteliğine olumlu etkisi gözlemlenmiş ve en mühim etkinin $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ilave edilen elektrolitte olduğu belirlenmiştir. $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ katkılı elektrolit, kaplamalarda Al_2O_3 faz gelişimini iyileştirmiş, iç yoğun alanın tüm yüzeye oranını yükseltmiş ve kaplamanın aşınma dayanımını geliştirmiştir. SiC tozunun ilavesi ise kaplama katmanındaki O ve Si elementlerinin varlığını çoğaltmıştır.

Son zamanlarda üzerinde yaygın çalışmaların yapıldığı uzay endüstrisinde de MAO uygulama çalışmaları yapılmaktadır. Uzay mekiği, dişliler, yapı elemanları, yataklar ve tekerlek, iniş dişlisi bileşenleri örnek olarak verilebilir. Pervane, çıkırcık vinçleri, kılavuz trabzanlar, zincir ve gemi bölmesi bağlamalarındaki çalışmalar ise denizcilikteki çalışmalara örnek olarak verilebilir. Supap, pompa, hidrolik ve pnömatik (havayla çalışan) sistemler, daldırılmalı yağ pompaları kimya mühendisliği ve MAO işleminin birleşimine örnek gösterilebilecek sistemlerdir. İnsanlık için en önemli çalışmaların bulunduğu tıp endüstrisinde ise kemik protezleri, tıbbi karışımlar, turbo-moleküler pompalar MAO işleminin uygulama alanlarındandır (Gnedenkov, 2001).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Amacı

Önerilen tezin amacı, yüzey mühendisliğinde hafif metalik malzemelerin (Al, Mg, Ti vb.) yüzey özelliklerini iyileştirmek, tribolojik ve korozyon direncini arttırmak amacıyla uygulanan elektrokimyasal bir kaplama yöntemi olan Mikro Ark Oksidasyon (MAO) yönteminde karşılaşılan tehlike ve risklerin belirlenmesi, belirlenen tehlike ve risklerin etki düzeyleri ile uygun düzenleyici-önleyici faaliyetleri iş sağlığı ve güvenliği risk analizi metotlarından Fine-Kinney ile belirleyip, iş sağlığı ve güvenliği alanında önlemler alınmasında yeni fikirler sunmayı ve benzer çalışmalara alanla ilgili yeni görüş açıları oluşturmayı amaçlamaktadır.

3.2. Araştırma Yapılan Kurum Hakkında Bilgi

Yapılacak çalışmada gerekli olacak ölçüm cihazları ve ekipmanlar Gümüşhane Üniversitesi laboratuvarlarında mevcuttur. Uygun cihazlar ve ekipmanlar Gümüşhane Üniversitesi bünyesinden temin edilip kullanılacaktır.

3.3. Araştırma Yöntemi

Bu çalışma, nitel ve nicel yaklaşımların birlikte kullanıldığı betimsel bir risk değerlendirme araştırması niteliğindedir. Araştırmada, iş sağlığı ve güvenliği alanında özellikle endüstriyel proseslerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemi temel analiz aracı olarak tercih edilmiştir. Fine-Kinney yöntemi; tehlikelerin gerçekleşme olasılığı (Probability – P), tehlikeye maruz kalma sıklığı (Frequency – F) ve meydana gelebilecek zararın şiddeti (Severity – S) parametrelerinin çarpımı esasına dayanmakta olup, riskin nicel bir skor üzerinden önceliklendirilmesine imkân sağlamaktadır. Bu yönüyle yöntem, özellikle çok sayıda tehlike kaynağının bir arada bulunduğu karmaşık üretim ve yüzey kaplama proseslerinde risklerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Araştırmada Fine-Kinney yöntemine ek olarak, risklerin görsel ve sınıflandırılmış biçimde değerlendirilmesini desteklemek amacıyla L tipi risk matrisi (5×5 matris yöntemi) de kullanılmıştır. L tipi matris yaklaşımı, tehlikelerin olasılık ve şiddet ekseninde konumlandırılarak risk seviyelerinin kabul edilebilirlik sınırları içerisinde yorumlanmasını sağlamaktadır. Bu çerçevede Fine-Kinney yöntemi ile elde edilen nicel

risk skorları, L tipi matris sınıflandırmalarıyla birlikte ele alınarak risklerin önem derecesi ve müdahale öncelikleri daha bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

MAO sürecine ait her bir iş adımı ayrı ayrı incelenmiş; hazırlık, temizlik, kimyasal temizlik, kaplama ve genel çalışma alanı faaliyetlerinde ortaya çıkabilecek tehlikeler sistematik biçimde tanımlanmıştır. Her aşamada mevcut mühendislik, idari ve kişisel koruyucu önlemler dikkate alınarak risk analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada risk değerlendirmesi iki farklı senaryo üzerinden yürütülmüştür. İlk senaryoda mevcut durum risk analizi yapılmış; ikinci senaryoda ise mevcut kontrol önlemlerinin bulunmadığı varsayılarak olası durum risk analizi uygulanmıştır. Bu karşılaştırmalı yaklaşım sayesinde, uygulanan kontrol önlemlerinin riskleri azaltmadaki etkinliği Fine–Kinney risk skorları ve L tipi matris sonuçları üzerinden değerlendirilmiş ve elde edilen bulguların yorumlanması mümkün hâle getirilmiştir.

3.4. Verilerin Toplanması

Numune hazırlama işlemlerinde metalik numunelerin torna, tel erezyon veya şerit testere ile kesilme, kesilen numunelerin radyal matkapta delinme ve kaplama için yüzeylerinin sırası ile 400, 800, 1000, 1200 tane boyutlu SiC zımparalarla temizlenme işlemleri detaylı incelenerek oluşabilecek fiziksel, biyolojik ve ergonomik tehlike ve riskler belirlenecektir. Her bir işlem adımı, olası fiziksel, kimyasal ve ergonomik tehlike ve riskler açısından değerlendirilmiştir. Fiziksel riskler, kesici ve delinme aletlerinden kaynaklanabilecek yaralanmalar, gürültü ve titreşim etkileri ile yüksek hızda dönen makineler nedeniyle oluşabilecek sıyrık ve ezilmeleri kapsamaktadır. Kimyasal ve biyolojik riskler ise, kaplama ve yüzey temizleme işlemleri sırasında ortaya çıkabilecek metal tozları, solvent buharları ve partiküllerin solunum veya cilt yoluyla etkilerini içermektedir. Ergonomik riskler ise tekrarlayan hareketler, uzun süreli ayakta çalışma ve uygunsuz postür nedeniyle kas-iskelet sistemi üzerindeki olumsuz etkiler olarak tanımlanmıştır. Veri toplama sürecinde elde edilen bulgular risklerin olasılık ve şiddeti temelinde sayısal tablolarla değerlendirilmiş ve her bir risk için önleyici tedbirler ile kontrol yöntemleri belirlenmiştir. Ayrıca, kişisel koruyucu donanım kullanımı, iş talimatlarına uyum ve çalışma alanı düzeni gibi faktörler de analiz kapsamına dahil edilmiştir. Bu yaklaşım, metalik numune hazırlama süreçlerindeki tüm potansiyel risklerin sistematik ve güvenli bir şekilde ortaya konmasını sağlamaktadır.

4. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında Mikro Ark Oksidasyon (MAO) işlemine ait iş adımları ayrıntılı biçimde incelenmiş ve Fine–Kinney risk değerlendirme yöntemi kullanılarak mevcut ve olası durumlara ilişkin risk skorları hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, MAO sürecinin farklı aşamalarında ortaya çıkan tehlikelerin risk düzeyleri bakımından belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur.

Risk değerlendirme tablosuna göre, özellikle kaplama numunesi hazırlık aşamasında kullanılan torna tezgâhı, çalışan sağlığı ve güvenliği açısından öne çıkan risk kaynaklarından biridir. Makine kullanımı konusunda çalışanların yeterli bilgi ve deneyime sahip olmaması durumunda, kesilme, sıkışma ve uzuv kaybı gibi ciddi yaralanmaların meydana gelebileceği belirlenmiştir. Bu tehlikeye ilişkin olasılık, frekans ve şiddet parametrelerinin çarpımı sonucunda elde edilen risk skorunun yüksek düzeyde olduğu ve bu riskin “esaslı risk” kategorisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Bulgular, kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanımına ilişkin eksikliklerin de önemli bir risk faktörü olduğunu göstermektedir. Özellikle torna tezgâhı ve benzeri mekanik ekipmanlarla çalışılan aşamalarda KKD kullanılmaması; göz, el ve vücut yaralanmalarına yol açabilecek bir tehlike olarak değerlendirilmiştir. Bu durum için hesaplanan risk skorunun, esaslı risk düzeyine kıyasla daha düşük olmakla birlikte “olası risk” grubunda yer aldığı belirlenmiştir.

MAO sürecinde tanımlanan diğer iş adımlarında ise risklerin büyük ölçüde orta ve düşük risk seviyelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu aşamalarda mevcut kontrol önlemlerinin, riskin şiddetini ve gerçekleşme olasılığını belirli ölçüde azalttığı; ancak kontrol önlemlerinin tamamen ortadan kalktığı varsayımsal senaryoda risk skorlarının anlamlı biçimde yükseldiği saptanmıştır. Bu bulgu, mevcut önlemlerin risk yönetimi açısından kritik bir işlev gördüğünü ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, MAO işlemine ilişkin risklerin özellikle mekanik ekipman kullanımı, çalışanların bilgi ve eğitim düzeyi ve kişisel koruyucu donanım uygulamaları etrafında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Bulgular, risklerin büyük bir kısmının önlenabilir nitelikte olduğunu ve uygun eğitim, denetim ve koruyucu önlemlerle risk seviyelerinin kabul edilebilir düzeylere indirilebileceğini göstermektedir.

Tablo 11. Hazırlık aşaması – makine kullanımına bağlı yüksek riskler

Makine / Süreç	Tehlike	Olası Etki	Risk Skoru	Risk Düzeyi
Torna Tezgâhı	Numunenin yanlış yerleştirilmesi	Uzuv kaybı, ciddi yaralanma	540	Çok Yüksek
Torna Tezgâhı	Periyodik bakım eksikliği	Arıza, uzuv kaybı	540	Çok Yüksek
Torna Tezgâhı	Döner aksamlara kapılma	İş kazası	540	Çok Yüksek
Torna Tezgâhı	Elektriksel riskler	Elektrik çarpması, ölüm	540	Çok Yüksek
Freze Tezgâhı	Talaş fırlaması	Göz yaralanmaları	210	Esaslı
Giyotin Makas	Hareketli aksam	El-parmak kesilmesi	180	Önemli

Hazırlık aşamasında en kritik risklerin torna tezgâhı etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Döner aksamlar, yanlış bağlama ve bakım eksiklikleri; geri dönüşü olmayan uzuv kayıpları ile ilişkilidir. Fine–Kinney skorlarının 500 üzeri olması, bu risklerin derhal mühendislik ve organizasyonel önlemlerle kontrol altına alınmasını zorunlu kılmaktadır. Eğitim, kilitlemeli koruyucular ve periyodik bakım eksikliği, sistematik bir iş güvenliği zafiyetine işaret etmektedir.

Tablo 12. Fiziksel etmenler – gürültü, titreşim ve ergonomi

Süreç	Tehlike	Olası Etki	Risk Skoru	Risk Düzeyi
Torna / Freze	Gürültü	Dikkat dağınıklığı, iş kazası	42–54	Olası
Hidrolik Testere	Gürültü	İşitme kaybı	270	Esaslı
Hidrolik Testere	Titreşim	Meslek hastalığı	270	Esaslı
El ile zımparalama	Uzun süreli çalışma	Kas-iskelet rahatsızlıkları	54	Olası

Fiziksel riskler çoğunlukla kronik etkiler üzerinden ilerlemektedir. Özellikle hidrolik testere kullanımında gürültü ve titreşim, meslek hastalığı riski doğuracak düzeydedir. Bu durum, yalnızca KKD kullanımının değil; maruziyet süresi yönetimi, ergonomik düzenleme ve mühendislik kontrollerinin de gerekli olduğunu göstermektedir.

Tablo 23. Elektrik kaynaklı riskler

Ekipman	Tehlike	Olası Etki	Risk Skoru	Risk Düzeyi
Torna Tezgâhı	Topraklama eksikliği	Elektrik çarpması	540	Çok Yüksek
Freze Tezgâhı	Elektrik tesisatı	Ölüm	180	Önemli
Tel Erozyon	Elektrik	Ölüm	120	Önemli
Taşlama Makinesi	Kaçak akım	Yaralanma, ölüm	120	Önemli

Elektrik riskleri, düşük olasılıklı fakat yüksek şiddetli risk grubundadır. Özellikle torna tezgâhlarında 540'lık skorlar, kaçak akım rölesi, periyodik ölçümler ve kilitlemeli bakım prosedürlerinin eksikliğini göstermektedir. Bu riskler tolerans edilebilir seviyede değildir.

Tablo 14. Kimyasal işlemler – depolama ve kullanım riskleri

Kimyasal Süreç	Tehlike	Olası Etki	Risk Skoru	Risk Düzeyi
Kimyasal depolama	Uygunsuz depolama	Zehirlenme, çevre kirliliği	42	Olası
Kimyasal etkileşim	Yanlış birlikte depolama	Yangın	80	Önemli
Kimyasal maruziyet	MSDS eksikliği	Zehirlenme	252	Esaslı
Elektrolitik çözelti	Kimyasal yutma	Zehirlenme	42	Olası

Kimyasal riskler, bilgi ve organizasyon eksikliğiyle doğrudan ilişkilidir. MSDS eksikliği, yanlış etiketleme ve uygunsuz depolama; çalışanların farkında olmadan yüksek maruziyete girmesine neden olmaktadır. Esaslı risk düzeyindeki maruziyet skorları, kimyasal yönetim sisteminin kurumsallaşmadığını göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında Mikro Ark Oksidasyon (MAO) işlemine ait tüm iş adımları sistematik biçimde incelenmiş ve Fine–Kinney risk değerlendirme yöntemi kullanılarak mevcut ve olası durumlara ilişkin risk skorları hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, MAO sürecinde yer alan tehlikelerin risk düzeylerinin süreç aşamalarına göre anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur.

Risk değerlendirme sonuçları, özellikle hazırlık aşamasında kullanılan torna tezgâhının en yüksek risk seviyelerine sahip ekipman olduğunu göstermektedir. Numunenin yanlış bağlanması, döner aksamlara kapılma, periyodik bakım eksikliği ve elektriksel riskler gibi tehlikeler için hesaplanan 540 düzeyindeki risk skorları, bu aşamadaki risklerin “çok yüksek” ve kabul edilemez nitelikte olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, mekanik ekipman kullanımının MAO sürecinde en kritik risk alanını oluşturduğunu göstermektedir.

Çalışmada ayrıca, kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanımına ilişkin eksikliklerin risk düzeylerini artıran önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. KKD kullanılmaması durumunda ortaya çıkan risklerin çoğunlukla “olası” ve “esaslı” risk grubunda yer aldığı; ancak özellikle mekanik ekipmanlarla birlikte değerlendirildiğinde bu risklerin ciddi iş kazalarına zemin hazırladığı tespit edilmiştir.

Fiziksel etmenlere ilişkin bulgular, gürültü, titreşim ve ergonomik risklerin daha çok kronik sağlık etkileri üzerinden ilerlediğini göstermektedir. Hidrolik testere kullanımında gürültü ve titreşim kaynaklı risklerin “esaslı” düzeyde olması, meslek hastalıkları açısından önemli bir risk potansiyeline işaret etmektedir.

Elektrik kaynaklı riskler ise düşük olasılıklı ancak yüksek şiddetli riskler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle topraklama eksikliği bulunan torna tezgâhlarında hesaplanan yüksek risk skorları, mevcut elektrik güvenliği önlemlerinin yetersiz olduğunu ve bu risklerin tolere edilebilir düzeyde olmadığını göstermektedir.

Kimyasal işlemlere ilişkin bulgular, risklerin büyük ölçüde bilgi, etiketleme ve organizasyon eksikliklerinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. MSDS eksikliği, yanlış depolama uygulamaları ve kimyasal etkileşim riskleri, esaslı risk düzeylerinde maruziyetlere yol açmaktadır. Bu durum, kimyasal yönetim sisteminin kurumsal düzeyde yeterince yapılandırılmadığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, MAO sürecinde belirlenen risklerin önemli bir kısmının önlenebilir nitelikte olduğu, mevcut kontrol önlemlerinin ise risklerin Şiddetini ve olasılığını azaltmada kritik bir rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır. Ancak kontrol önlemlerinin bulunmadığı varsayımsal senaryolarda risk skorlarının belirgin biçimde artması, mevcut önlemlerin sürekliliğinin ve etkinliğinin hayati öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

5.2. neriler

Bu çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda, MAO sürecinde iş sağlığı ve güvenliğinin geliştirilmesine yönelik aşağıdaki önerilerin uygulanması uygun görülmektedir:

- Mekanik ekipman güvenliği kapsamında, torna ve freze tezgâhlarında kilitlemeli koruyucu sistemlerin kullanılması, acil durdurma butonlarının etkinliğinin artırılması ve periyodik bakım süreçlerinin düzenli olarak gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

- Çalışanların makine kullanımına ilişkin eğitim düzeyleri artırılmalı; özellikle torna tezgâhı gibi yüksek riskli ekipmanlar için yetkilendirme ve sertifikasyon esasına dayalı bir çalışma sistemi oluşturulmalıdır.

- Kişisel koruyucu donanım kullanımının zorunlu hâle getirilmesi, KKD seçiminde yapılan işin niteliğine uygun ekipmanların tercih edilmesi ve kullanımın düzenli olarak denetlenmesi gerekmektedir.

- Fiziksel risklerin azaltılması amacıyla, gürültü ve titreşim kaynaklı maruziyetler için mühendislik kontrolleri uygulanmalı; maruziyet süresi yönetimi, rotasyon sistemi ve ergonomik düzenlemeler hayata geçirilmelidir.

- Elektrik güvenliği açısından, tüm ekipmanlarda topraklama kontrolleri, kaçak akım rölesi uygulamaları ve periyodik elektrik ölçümleri düzenli aralıklarla yapılmalı; bakım-onarım faaliyetleri kilitleme–etiketleme prosedürleri kapsamında yürütülmelidir.

- Kimyasal işlemlerde, MSDS formlarının eksiksiz Şekilde temin edilmesi, kimyasalların uygun Şekilde etiketlenmesi ve birlikte depolanabilirlik esaslarına göre depolama alanlarının yeniden düzenlenmesi sağlanmalıdır.

- Tüm bu önlemlerin sürdürülebilirliği için, MAO sürecine özgü btncl bir iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi oluşturulmalı; düzenli risk değerlendirmeleri ile sistemin etkinliği sürekli olarak izlenmelidir.

Sonuç olarak, MAO işlemine ilişkin risklerin etkin biçimde yönetilebilmesi için teknik, organizasyonel ve davranışsal önlemlerin birlikte ele alınması gerektiği; özellikle

eğitim, denetim ve mühendislik kontrollerinin btncl bir yaklaşımla uygulanmasının iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesinde belirleyici olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. (2016). *Güvenle büyü Türkiye*. Erişim tarihi: 8 Ocak 2023, <http://publicad.com.tr/guven-usta-cizgi-bant/>
- Akarsu, H. ve Güzel, M. (2016). *Sağlık sektöründe tehlike ve riskler*. ÇASGEM.
- Aker, A. ve Över Özçelik, T. (2020). Metal sektöründe 5×5 matris ve Fine-Kinney yöntemi ile risk değerlendirmesi. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 4(1), 65–75.
- Akyalçın, L. (2016). *İş kazası ve meslek hastalığının getirdiği maliyetler, işveren ve işveren vekilinin iş sağlığı ve güvenliği eğitimi*. Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Altın, M. ve Taşdemir, Ş. (2016). *İş sağlığı ve güvenliği*. Eğitim Yayınevi.
- Arıtan, A. E. ve Ataman, M. (2017). Kaza oranları hesaplamalarıyla iş kazası analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 239–246.
- Arıtan, A. E. ve Can, M. (2024). Doğaltaş madenciliğinde ocak-fabrika ortamında titreşim ve gürültü maruziyetinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(2), 467–474.
- Arslan, E., Totik, Y., Alsarın, A. ve Demirci, E. E. (2009). *Plazma elektrolitik oksidasyon yöntemi ile alüminyum, magnezyum ve titanyum alaşımlarının yüzey modifikasyonu: Aşınma ve korozyon özelliklerinin araştırılması*. Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi.
- Ayma, Ö. (2019). *Makine imalat sanayi iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının analizi: Sakarya makine imalatçıları örneği*. Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Balkır, Z. G. (2012). İş sağlığı ve güvenliği hakkının korunması: İşverenin iş sağlığı ve güvenliği organizasyonu. *SGD-Sosyal Güvenlik Dergisi*, 2(1), 56–91.
- Başağa, H. B. ve Çelik, F. (2016). İnşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği. B. Filizöz ve A. Kocabacak (Ed.), *Türkiye’de iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları: Sosyal-teknik-hukuk içinde* (ss. 103–125). Seçkin.
- Başar, O. (2019). *Tavas Bahçeköy olivin üretim tesisinde iş güvenliği risk analizi*. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baybora, D. (2019). İş sağlığı ve güvenliğine genel bakış. D. Baybora (Ed.), *İş sağlığı ve güvenliği içinde* (ss. 2–21). Anadolu Üniversitesi.
- Berk, M., Önal, B. ve Güven, R. (2011). *Meslek hastalıkları rehberi*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. Erişim tarihi: 14 Kasım 2018, https://www.csgb.gov.tr/media/8910/0013_meslek_has_rehberi.pdf

- Bilir, N. (2016). *İş sağlığı ve güvenliği*. Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Birgören, B. (2017). Fine-Kinney risk analizi yönteminde risk faktörlerinin hesaplama zorlukları ve çözüm önerileri. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(1), 19–25.
- Brown and Sharpe Manufacturing Company. (1914). *Practical treatise on milling and milling machines*. Brown and Sharpe Manufacturing Company.
- Cervatoğlu, E. (2003). İş sağlığı ve iş güvenliği konusunda bir değerlendirme. *TTB Meslek Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 4(13), 23–29.
- Chivu, O. ve Babis, C. (2018). Noise pollution at turning. *Fiabilitate si Durabilitate – Fiability ve Durability*, (1).
- Claxton, G., Hosie, P. ve Sharma, P. (2022). Toward an effective occupational health and safety culture: A multiple stakeholder perspective. *Journal of Safety Research*, 82, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.04.006>
- Coşkun Beyan, A. ve Demiral, Y. (2015–2016). Meslek hastalıkları ve sürveyans. *Türk Tabipleri Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, (58–59), 89–95.
- Coşkun Beyan, A., Alıcı, N. Ş., Bediz, C. ve Çımrın, A. H. (2017). Termal riskler ve iş sağlığı. *Tepecik Eğitim ve Araştırma Hastanesi Dergisi*, 27(1), 1–6.
- Çağrı, B. G. (2021). *İş güvenliğinde fiziksel risk etmenlerinin tespitinde iş etüdü tekniğinin kullanımı: Bir tekstil işletmesi örneği*. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çakıroğlu, N. (2007). *İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi kapsamında risk analizi, denetim ve bir firma uygulaması*. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2012). *İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi rehberi*. ÇSGB.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2012, 29 Aralık). *İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi yönetmeliği*. *Resmî Gazete*, Sayı: 28512.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2019). *Metal sektöründe iş sağlığı ve güvenliği rehberi*. ÇSGB.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2023, 20 Ekim). *Kimyasal maddelerle çalışmalarda sağlık ve güvenlik önlemleri hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik*. *Resmî Gazete*, Sayı: 32345.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2025). *Modül 2: Makinelerde risk değerlendirmesi – ISO 12100*. Eğitim modülü.

- Çevre Bakanlığı, Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Kimyasallar Dairesi Başkanlığı. (2001). *Tehlikeli kimyasallar yönetmeliği*. Çevre Bakanlığı Yayınları.
- 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.
- Çevre ve Orman Bakanlığı. (2010). *Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği*. *Resmî Gazete*, 4 Haziran 2010, Sayı: 27601.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2006). *5510 sayılı sosyal sigortalar ve genel sağlık sigortası kanunu*. *Resmî Gazete*, 16 Haziran 2006, Sayı: 26200.
- Daniell, W. E., Swan, S. S., McDaniel, M. M., Camp, J. E., Cohen, M. A. ve Stebbins, J. G. (2006). Noise exposure and hearing loss prevention programmes after 20 years of regulations in the United States. *Occupational and Environmental Medicine*, 63(5), 343–351.
- Darband, G. B., Aliofkhaezai, M., Hamghalam, P. ve Valizade, N. (2017). Plasma electrolytic oxidation of magnesium and its alloys: Mechanism, properties and applications. *Journal of Magnesium and Alloys*, 5(1), 74–132.
- Demir, B. ve Demir, N. (2016). Kamu sektöründe 6631 sayılı iş sağlığı güvenliği yasasının uygulanması ve mevcut yükümlülükler. *Journal of Istanbul Aydın University*, 8(29), 167–194.
- Demirci, E. E. (2014). *Manyetik sıçratma (CFUBMS) ve mikro ark oksidasyon (MAO) teknikleri ile Ti6Al4V alaşımının dubleks yüzey modifikasyonu*. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Deniz, E. (2021). *Kars yöresine ait bazı hizmet sektörlerinde fiziksel koşulların iş kazalarına etkisinin araştırılması*. Yüksek lisans tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Devren, M. (2016). *Asansör sistemlerinde FMEA ve Fine-Kinney metotlarının risk değerlendirmelerinin karşılaştırılması*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi.
- Doğan, F. (2024). İş sağlığı ve güvenliği açısından kimyasal risk faktörleri. *Premium e-Journal of Social Science (PEJOSS)*, 8(39), 236–245.
- Dou, J., Yu, H. ve Chen, C. (2019). Preparation and characterization of composite coating on Mg-1.74 Zn-0.55 Ca alloy by micro-arc oxidation combined with sol-gel method. *Materials Letters*, 255, 126578.

- Ehmann, A. T., Ög, E., Rieger, M. A. ve Siegel, A. (2021). Work-related health literacy: A scoping review to clarify the concept. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 9945. <https://doi.org/10.3390/ijerph18199945>
- Ergüt, F. (2015). *İşletmelerde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasında önleyici uygulamaların önemi*. Yüksek lisans tezi, Beykent Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Evren, Ö. K. (2016). *İş sağlığı ve güvenliği el kitabı*. Seçkin.
- Fine, W. T. (1971). *Mathematical evaluations for controlling hazards*. Teknik rapor, Naval Ordnance Laboratory.
- Fine, W. T. ve Kinney, G. F. (1971). *Practical risk analysis for safety management*. Naval Weapons Center.
- Gebarowski, W. ve Pietrzyk, S. (2013). Influence of the cathodic pulse on the formation and morphology of oxide coatings on aluminium produced by plasma electrolytic oxidation. *Archives of Metallurgy and Materials*, 58, 241–245.
- Gerek, N. (2006). *İşçi sağlığı ve iş güvenliği*. Anadolu Üniversitesi Yayınları.
- Ghasemi, A., Raja, V. S., Blawert, C., Dietzel, W. ve Kainer, K. U. (2010). The role of anions in the formation and corrosion resistance of the plasma electrolytic oxidation coatings. *Surface and Coatings Technology*, 204(9–10), 1469–1478.
- Gnedenkov, S. V. (2001). Composition and adhesion of protective coatings on aluminum. *Surface and Coatings Technology*, 145(1–3), 146–151.
- Gökçe, A. (2020). İş sağlığı ve güvenliği açısından iş güvenliği kültürünün önemi üzerine bir odak grup çalışması. *Ergonomi*, 3(2), 82–95.
- Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (7. bs.). Wiley.
- Güler, G. (2016). *İş sağlığı ve güvenliği kanunu'nun hüküm ve sonuçları*. Yüksek lisans tezi, Yaşar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Güney, A. (2009). *Türkiye'de iş kazalarının nedenleri ve önlenmesi*. Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ho, K. H. ve Newman, S. T. (2003). State of the art electrical discharge machining (EDM). *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(13), 1287–1300.
- Horozoğlu, K. (2019). İş kazalarının iş sağlığı ve güvenliği açısından analizi. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 265–281.
- Hosseini, M. ve Rahimi, A. (2014). Application of micro-arc oxidation for surface coating of titanium alloys: A review. *Journal of Alloys and Compounds*, 586, 9–24.

- Hussein, R. O., Nie, X. ve Northwood, D. O. (2013). An investigation of ceramic coating growth mechanisms in plasma electrolytic oxidation (PEO) processing. *Electrochimica Acta*, 112, 111–119.
- Hussein, R. O., Nie, X., Northwood, D. O., Yerokhin, A. L. ve Matthews, A. (2013). Spectroscopic studies of electrolytic plasma and discharges during plasma electrolytic oxidation. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 46(10), 105203.
- Hussein, R., Northwood, D. O. ve Nie, X. (2010). Coating growth behavior during the plasma electrolytic oxidation process. *Journal of Vacuum Science ve Technology A*, 28(4), 766–773.
- ILO. (2009). *International global report (2009)*. International Labour Organization.
- İlhan, M. N. (2016). *Psikososyal risk etmenleri*. Atatürk Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi ders notları.
- Jiang, B. ve Wang, Y. M. (2010). Plasma electrolytic oxidation treatment of aluminium and titanium alloys. H. Dong (Ed.), *Surface engineering of light alloys* içinde (ss. 110–154). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845699451.2.110>
- Kacı, E. ve Taçgın, E. (2017). İş sağlığı ve güvenliği kapsamında proaktif yaklaşım üzerine risk değerlendirmesi ve bazı öneriler. *The Journal of Marmara Social Research*, 12, 2–16.
- Kahraman, M. F. (2013). *Türkiye’de antropometrik verilere göre ofiste ergonomik işyeri tasarımı*. Uzmanlık tezi, İSGÜM.
- Kalpakkian, S. ve Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing processes for engineering materials* (6. bs.). Pearson.
- Kandemir, M. (2017). *İş hukuku ve sosyal güvenlik hukuku boyutuyla psikososyal riskler*. Legal Yayıncılık.
- Kanten, S. (2013). The relationships among working conditions, safety climate, safe behaviors and occupational accidents: An empirical research on the marble workers. *The Macrotheme Review*, 2(4), 173–182.
- Kaplan, E., Gürleyen, A., Köle, D., Bıyık, A. A., Yasun, B. ve Gedikli, F. G. (2016). *Tekstil sektöründe tozla mücadele rehberi*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İSGGM.
- Karabal, A. (2021). İş sağlığı ve iş güvenliği. *Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 5(1), 1–21.
- Kaş, S. (2015). *Metal sektöründe soğuk şekillendirme prosesinde 3T risk analizi metodu uygulamaları*. Yüksek lisans tezi, Gediz Üniversitesi.

- Kavaklı Vatansever, B. ve Ateş, A. (2018). Ar-Ge kuruluşunda kimyasal maddelerin sınıflandırılması, etiketlenmesi, ambalajlanması, depolanması, taşınması ve oluşan kimyasal atıkların bertarafı. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 159–173.
- Keşçi, O. (2020). *Seçilmiş bir doküman işletmesinde çalışanlar açısından fiziksel risk etmenlerinin ölçümü ve değerlendirilmesi*. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kim, Y., Park, J. ve Park, M. (2016). Creating a culture of prevention in occupational safety and health practice. *Safety and Health at Work*, 7(2), 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.02.002>
- Kinney, G. F. ve Wiruth, A. D. (1976). *Practical risk analysis for safety management*. Naval Weapons Center.
- Kocabaş, F., Aydın, U., Canbey Özgüler, V., İlhan, M. N., Demirkaya, S., Ak, N. ve Özbaş, C. (2018). Çalışma ortamında psikososyal risk etmenlerinin iş kazası, meslek hastalıkları ve işle ilgili hastalıklarla ilişkisi. *Sosyal Güvençe*, 14, 28–62.
- Kurban, H., Kaygın, B. ve Tankut, A. N. (2016). Mobilya tasarımında antropometrik ölçü ve ergonomik analizlerin kullanımı. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 11–22.
- Kuşcuoğlu, M. Ö. ve Sofuoğlu, S. D. (2004). Zımparalama işlemleri. *Ahşap Teknik Dergisi*, (64–65).
- Li, L. ve Zhang, Y. (2015). Micro-arc oxidation of aluminum alloys: Process, mechanisms, and applications. *Journal of Materials Science ve Technology*, 31(9), 989–1000.
- Li, N., Wang, H., Liu, Q., Hao, Z., Xu, D., Chen, X. ... Feng, Y. (2025). Review of preparation and key functional properties of micro-arc oxidation coatings on various metal substrates. *Coatings*, 15(10), 1201.
- Matykina, E., Arrabal, R., Skeldon, P. ve Thompson, G. E. (2009). Plasma electrolytic oxidation of aluminium alloys: Mechanisms and coating growth. *Electrochimica Acta*, 54(26), 6767–6778.
- Mert, G. (2020). *Madeni yağ üretim tesisinde fiziksel risk etmenlerinin iş sağlığı ve güvenliği temelleri bazında incelenmesi*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Nie, X., Leyland, A., Song, H. W., Yerokhin, A. L., Dowey, S. J. ve Matthews, A. (1999). Thickness effects on the mechanical properties of micro-arc discharge oxide coatings on aluminium alloys. *Surface and Coatings Technology*, 116–119, 1055–1060.

- Oturakçı, M. ve Dağsuyu, C. (2017). Risk değerlendirmesinde bulanık Fine-Kinney yöntemi ve uygulaması. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 1(1), 17–25.
- Öz, İ. O., Korcan, S. E. ve Bulduk, İ. (2018). Tekstil sektöründe termal konfor ölçümleri ve alınacak önlemlerin değerlendirilmesi. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 2(2), 21–34.
- Özbilgin, İ. G. (2012). Risk ve risk çeşitleri. *Bilişim Dergisi*, 7, 86–93.
- Özkara, İ. M. (2009). *Alüminyum 2014'ün mikro ark oksidasyon yöntemiyle kaplanması ve yüzey özelliklerinin geliştirilmesi*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özkılıç, Ö. (2005). *İş sağlığı ve güvenliği, yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri*. TİSK Yayınları.
- Özkılıç, Ö. (2005). *İş sağlığı ve güvenliği, yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri*. Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu.
- Özmen, A. (2014). *Çalışanların gürültü ile ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik hükümlerinin örneklerle ve saha uygulamalarıyla açıklanması*. İSG uzmanlık tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İSGGM.
- Pettersson, H., Burström, L. ve Nilsson, T. (2014). Raynaud's phenomenon among men and women with noise-induced hearing loss in relation to vibration exposure. *Noise and Health*, 16(69), 89–94.
- Pettersson, H., Burström, L., Hagberg, M., Lundström, R. ve Nilsson, T. (2012). İşitme kaybı riskiyle ilişkili olarak gürültü ve el-kol titreşimine maruz kalma. *Noise and Health*, 14(59), 159–165.
- Polat, A. (2009). *2017A, 6061 ve 7039 alüminyum alaşımlarının mikro ark oksidasyon yüzey kaplama yöntemi ile sert seramik kaplanması*. Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Qaid, T. H., Ramesh, S., Yusof, F., Basirun, W. J., Ching, Y. C., Chandran, H.,...Ramesh, S. (2019). Micro-arc oxidation of bioceramic coatings containing eggshell-derived hydroxyapatite on titanium substrate. *Ceramics International*, 45(15), 18371–18381.
- Rosenstock, L. (Ed.). (2005). *Occupational health: Recognizing and preventing work-related diseases*. Oxford University Press.
- Sabır, E. C. (2019). *İş sağlığı ve güvenliği*. Çukurova Üniversitesi, ÇİSAM Merkez Yayını.
- Salman, S. ve Özkan, G. (2016). *Metaloğrafi bilimi I. kısım*. Nobel Yayın Dağıtım.
- Sankara Narayanan, T. S. N., Park, I. S. ve Lee, M. H. (2014). Strategies to improve the corrosion resistance of microarc oxidation (MAO) coated magnesium alloys for

- degradable implants: Prospects and challenges. *Progress in Materials Science*, 60, 1–71.
- Selçuk, S. ve Selim, H. H. (2018). Mücevherat sektöründe kullanılan iş sağlığı ve güvenliği risk analiz yöntemlerinden L tipi matris yöntemi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 1(1), 21–27.
- Selek, H. S. (2016). *İş sağlığı ve güvenliği (İSG) temel konular* (1. bs.). Seçkin.
- Selek, H. S. (2022). *İş sağlığı ve güvenliği*. Seçkin.
- Seyhan, G. (2012). *İş sağlığı ve güvenliği yönetimi*. İlyaz İzmir Yayınevi.
- Sikdar, S., Menezes, P. V., Maccione, R., Jacob, T. ve Menezes, P. L. (2021). Plasma electrolytic oxidation (PEO) process—processing, properties, and applications. *Nanomaterials*, 11(6), 1375.
- Simchen, F. (2020). Introduction to plasma electrolytic oxidation—An overview of the process and applications. *Coatings*, 10(7), 628.
- Soykan, O. (2018). Endüstriyel balıkçı gemilerinde L tipi matris yöntemi ile risk değerlendirmesi ve kullanılabilirliği. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35(2), 207–217.
- Soylu, M. ve Gökkuş, Ö. (2016). Endüstriyel kaynaklı gürültü kirliliğinin araştırılması ve bir tekstil fabrikasında uygulama örneği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 32(2), 10–17.
- Stephenson, D. A. ve Agapiou, J. S. (2016). *Metal cutting theory and practice* (3. bs.). CRC Press.
- Sümer, H. H. (2021). *İş sağlığı ve güvenliği hukuku*. Seçkin.
- Şenol, L. ve Ferhatoğlu, M. (2019). Occupational health and safety in businesses. *International Social Sciences Studies Journal*, 5(50), 6691–6700.
- Şimşek, S. (2020). İş sağlığı ve güvenliği kapsamında risk değerlendirme metodlarından Fine Kinney metodunun bir örnekle değerlendirilmesi. *İSG Akademik*, 2(2), 91–99.
- Şimşek, S., Çetin, M. A. ve Sağnıç, S. A. (2020). İş sağlığı ve güvenliğinde işletmelerin sürdürülebilirlik raporlamalarında dış paydaşlarla iletişimi. *İSG Akademik*, 2(2), 101–106.
- Şüküroğlu, E. E. (2016). Mikro ark oksidasyon (MAO) yöntemi ile Al₂O₃ alışı üzerine büyütülmüş oksit kaplamanın adezyon özelliklerinin incelenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 232–242.
- Şüküroğlu, E. E. (2017). Mikro ark oksidasyon (MAO) yöntemi ile Grade 2 titanyum alışı üzerine büyütülmüş ilaveli oksit kaplamaların antibakteriyel

- duyarlılıklarının incelenmesi. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 10(2), 287–295.
- Şüküroğlu, E. E., Kaplan, E. ve Çuvalcı, O. (2021). Investigation of characterization and tribological behavior of composite oxide coatings doped with h-BN and graphite particles on ZA-27 alloy by micro-arc oxidation. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 35(12), 1305–1319.
- Şüküroğlu, E. E., Enez, A. B., Günaydın, M. ve Şüküroğlu, S. (2022). İş sağlığı ve güvenliği ve iş verimliliği etkileşimi: Açık ocak maden işletmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11(3), 898–912.
- Tarakci, M. (2011). Plasma electrolytic oxidation coating of synthetic Al–Mg binary alloys. *Materials Characterization*, 62, 1214–1221.
- Tatar, B. (2015). *AZ91 magnezyum alaşımlarının homojenizasyonu ile mikro ark oksidasyon kaplama özelliklerinin iyileştirilmesi*. Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tetzlaff, E. J., Goggins, K. A., Pegoraro, A. L., Dorman, S. C., Pakalnis, V. ve Eger, T. R. (2021). Safety culture: A retrospective analysis of occupational health and safety mining reports. *Safety and Health at Work*, 12(2), 201–208.
- Türkiye Cumhuriyeti. (1982). *Türkiye Cumhuriyeti Anayasası*. Resmî Gazete, Sayı: 17863, 9 Kasım 1982.
- Türkiye Cumhuriyeti. (2012). *6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunu*. Resmî Gazete, Sayı: 28339, 30 Haziran 2012.
- Uşkun, E., Güblü, M., Evcil, F. Y., Kalaycı, Ö., Kartal, F. M., Önal, Ö. ve Kişioğlu, A. N. (2022). İş sağlığı okuryazarlığı ölçeği'nin Türkçe geçerlik ve güvenirliği: Metodolojik bir çalışma. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 42(3), 191–203.
- Ünverdi, Ş. ve Çetinyokuş, S. (2021). Bir kamu kurumunda bulunan asbest uygulama merkezi ve SEM laboratuvarında L tipi matris yöntemi ile risk değerlendirmesi. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, 5(2), 99–107.
- Virkkunen, H., Kauppinen, T. ve Tenkanen, L. (2005). Long term effect of occupational noise on the risk of coronary heart disease. *Scandinavian Journal of Work, Environment ve Health*, 31(4), 291–299.
- Wang, Y. K., Sheng, L., Xiong, R. Z. ve Li, B. S. (1999). Effects of additives in electrolyte on characteristics of ceramic coatings formed by microarc oxidation. *Surface Engineering*, 15(2), 109–111.

- Wu, H. H. (2003). Characterization of microarc oxidation process on aluminium alloy. *Chinese Physics Letters*, 20(10), 1815–1818.
- Xin, S. G., Song, L. X., Zhao, R. G. ve Hu, X. F. (2006). Composition and thermal properties of the coating containing mullite and alumina. *Materials Chemistry and Physics*, 97(1), 132–136.
- Yerokhin, A. L., Nie, X., Leyland, A., Matthews, A. ve Dowey, S. J. (1999). Plasma electrolysis for surface engineering. *Surface and Coatings Technology*, 122(2–3), 73–93.
- Yıldız, A. (2019). *Hastanelerde iş sağlığı ve güvenliği*. Ekin Yayınevi.
- Yu, L., Cao, J. ve Cheng, Y. (2015). An improvement of the wear and corrosion resistances of AZ31 magnesium alloy by plasma electrolytic oxidation in a silicate-hexametaphosphate electrolyte with the suspension of SiC nanoparticles. *Surface and Coatings Technology*, 276, 266–278.
- Yurttaş, S. (2015). *Bir yeraltı krom işletmesinde risk analizinin uygulanması*. Yüksek lisans tezi, Niğde Üniversitesi.
- Yüce Kocacenk, Ö. (2023). *İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının toplam kalite yönetimi içindeki yeri*. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

EKLER

Ek-1. Fine-Kinney risk analizi tablosu

RİSK DEĞERLENDİRME TABLOSU						RİSK DEĞERLENDİRME					ÖNLEMLER BÖLÜMÜ	
						O	F	Ş	OxFxŞ			
No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tamamı	Önem	Yasal Dayanak
1	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Torna Tezgahı Kullanımı	Makine kullanımı hakkında çalışanların bilgilendirilmemesi	Makine kullanımının öğrenilmemesi sonucu yaralanma	Çalışan	3	15	6	270	Esaslı Risk	Torna tezgahı kullanan personel, torna tezgahı kullanımı ve tehlikeleri hakkında eğitim almalıdır. Torna tezgahı kullanma talimatı hazırlanmalı ve çalışanların görebileceği yerlerde asılı olmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
2	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Torna Tezgahı Kullanımı	KKD kullanmama	KKD kullanmama sonucu yaralanma	Çalışan	0,5	15	6	45	Olası Risk	Kullanılacak KKD ler belirlenmeli, atölyedeki tüm makinelerde çalışırken kullanılması gereken KKD lerin matrisleri ve bu matrise uygun KKD lerin çalışanlara zimmetlenmesi gerekmektedir. Torna tezgahını kullanan personeller EN166 koruyucu gözlük, EN 20345 standartlı iş ayakkabısı, EN 388 Standartlı kesilme ve yırtılma direnci en az 4 olan kesilmeye dayanımlı eldiven ile EN 35-2 standartlı kulak tıkacı kullanması sağlanmalıdır.	Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları
3	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Torna Tezgahı Kullanımı	Numunenin yanlış yerleştirilmesi	Yaralanma, uzuv kaybı	Çalışan	6	15	6	540	Çok Yüksek Risk	İş parçası, torna aynası veya puntaya üretici talimatlarına uygun şekilde sabitlenmeli, işlem öncesinde bağlama noktaları ve sıklık kontrolü yapılmalıdır. Koruyucu sistemler çalışır durumda olmalı, devre dışı bırakılmamalıdır	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
4	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Torna Tezgahı Kullanımı	Periyodik Kontrollerin Yapılmaması	Arıza, Yaralanma, Uzuv kaybı	Çalışan	6	15	6	540	Çok Yüksek Risk	Atölyede bulunan tüm takım tezgahlarının periyodik bakımlarının gerçekleştirilmesi ve yapılan bakımların kayıt altına alınması gerekmektedir. CNC torna tezgahlarında makine operasyon bölgesinin koruyucu muhafaza kapağı olmalı ve makine çalışırken bu alanın kapalı olması için switch sisteminin aktif olması gerekmektedir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
5	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Torna Tezgahı Kullanımı	Talaş fırlaması	Talaşın çalışanın gözüne kaçması	Çalışan	10	7	6	420	Çok Yüksek Risk	CNC torna tezgahlarında makine operasyon bölgesinin koruyucu muhafaza kapağı olmalı ve makine çalışırken bu alanın kapalı olması için switch sisteminin aktif olması gerekmektedir. Çalışanlar Torna tezgahında çalışırken EN166 standartlı gözlük kullanmalıdır. Her çalışma sonucunda makine operasyon bölgesi talaşlardan temizlenmeli, talaş birikimi önlenmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik

Ek-1. (Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önlem	Yasal Dayanak
6	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Torna Tezgahı Kullanımı	Gürültü-Titreşim	İş veriminin düşmesi, Dikkatsizlik, İş kazası	Çalışan	6	7	1	42	Olası Risk	Çalışma ortamında gürültü ve titreşim ölçümü yapılarak çalışma alanının gürültü ve titreşim haritası çıkartılmalıdır. Çalışanlara gürültülü ve titreşimli çalışmalarda uyulması gereken kurallar hakkında eğitim verilmeli, torna tezgahında çalışan personelin EN 35-2 standartında kulak tıkacı kullanması sağlanmalıdır.	Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik
7	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Torna Tezgahı Kullanımı	Döner aksamlar	Döner aksamlara kapılma sonucu yaralanma	Çalışan	6	15	6	540	Çok Yüksek Risk	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği kapsamında torna tezgahının hareketli kısımları, çalışanların temas etmesini önleyecek şekilde uygun koruyucular veya koruma donanımları ile donatılmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
8	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Torna Tezgahı Kullanımı	Elektrik	Elektrik akımına kapılma sonucu yaralanma, ölüm	Çalışan	6	15	6	540	Çok Yüksek Risk	Torna tezgahı uygun şekilde topraklanmalı, topraklama ölçümleri yapılmalıdır. Elektrik panosunda uygun standartta otomatik sigortalar ve kaçak akım rölesi (30 mA) bulunmalı, periyodik kontrolleri ise düzenli olarak gerçekleştirilmelidir	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Elektrik İç tesisat Yönetmeliği
9	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Freze Tezgahı Kullanımı	Makine kullanımı hakkında çalışanların bilgilendirilmemesi	Hatalı kullanım sonucu yaralanma	Çalışan	3	15	6	270	Esaslı Risk	Freze tezgahı kullanan personel, freze tezgahı kullanımı ve tehlikeleri hakkında eğitim almalıdır. Freze tezgahı kullanma talimatı hazırlanmalı ve çalışanların görebileceği yerlerde asılı olmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği kapsamında

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önlem	Yasal Dayanak
10	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Freze Tezgahı Kullanımı	KKD kullanmama	Yaralanma, Uzuv Kaybı	Çalışan	1	15	6	90	Önemli Risk	Kullanılacak KKD' ler belirlenmeli, atölyede tüm makinelerde çalışırken kullanılması gereken KKD' lerin matrisi olmalı ve bu matrise uygun KKD lerin çalışanlara zimmetlenmesi gerekmektedir. Freze tezgahını kullanan personellerin EN166 standardına sahip koruyucu Gözlük, EN 20345 standardına sahip iş ayakkabısı, EN 35-2 standardına sahip kulak tıkacı, EN 149 standardına sahip FFP1 filtreli toz maskesi ile iş elbisesi kullanması gerekmektedir.	Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik
11	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Freze Tezgahı Kullanımı	Talaş fırlaması	Talaşın çalışan gözüne kaçması, yaralanma	Çalışan	10	7	3	210	Esaslı Risk	Makine operasyon bölgesinin koruyucu muhafaza kapağının olması ve makine çalışırken bu alanın kapalı olması için switch sistemi olmalıdır. Çalışanlara EN166 standartına sahip koruyucu gözlük verilmeli ve kullanımının düzenli olarak kontrolü sağlanmalıdır. Her çalışma sonunda makine operasyon bölgesinin talaşlardan temizlenmesi, talaş birikiminin önlenmesi gerekmektedir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önlem	Yasal Dayanak
14	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Freze Tezgâhı Kullanımı	Döner aksamlar	Döner aksamlara kapılma sonucu yaralanma	Çalışan	6	15	2	180	Önemli Risk	Freze tezgahının hareketli kısımları, çalışanların temas etmesini önleyecek şekilde uygun koruyucular veya koruma donanımları ile donatılmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
15	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Freze Tezgâhı Kullanımı	Elektrik	Elektrik akımına kapılma sonucu yaralanma, ölüm	Çalışan	6	40	2	480	Çok Yüksek Risk	Freze tezgâhı uygun şekilde topraklanmalı, topraklama ölçümleri yapılmalıdır. Elektrik panosunda uygun standartta otomatik sigortalar ve kaçak akım rölesi (30 mA) bulunmalı, periyodik kontrolleri ise düzenli olarak gerçekleştirilmelidir.	Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği
16	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Freze Tezgâhı Kullanımı	Numunenin yanlış yerleştirilmesi	Yaralanma	Çalışan	6	15	2	180	Önemli Risk	İş parçası, frezeğe uygun şekilde sabitlenmeli, işlem öncesinde bağlama noktaları ve sıkılık kontrolü yapılmalıdır.Koruyucu sistemler çalışır durumda olmalı, devre dışı bırakılmamalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
17	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Giyotin Makas Kullanımı	Hareketli aksam	El, parmak kesilmesi, uzuv kaybı	Çalışan	6	15	2	180	Önemli Risk	Giyotin makas kullanan personel olası tehlikeler hakkında eğitilmelidir. Giyotin makas çalışma talimatı hazırlanmalı ve çalışanların görebilecekleri yerlere asılmalıdır. Giyotin makas ile işlem çalışan el ve parmakların operasyon bölgesinden uzak tutulması için numunenin maşa veya mengene ile sabitlenerek kesimi yapılması gerekmektedir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
18	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Giyotin Makas Kullanımı	KKD kullanmama	Yaralanma, Uzuv kaybı	Çalışan	1	15	2	30	Olası Risk	Kullanılacak KKD ler belirlenmeli, atölyedeki tüm makinelerde çalışırken kullanılması gereken KKD lerin matrisleri hazırlanmalı ve bu matrise uygun KKD lerin çalışanlara zimmetlenmesi gerekmektedir. Giyotin makası kullanan personeller EN166 Koruyucu gözlük, EN 20345 standartlı iş ayakkabısı, EN 388 Standartlı kesilme ve yırtılma direnci en az 4 olan kesilmeye dayanımlı eldiven kullanması sağlanmalıdır.	Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önem	Yasal Dayanak
19	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Tel Erozyon Makinesi Kullanımı	Eğitim eksikliği	Yaralanma, Uzun kayıp	Çalışan	3	15	2	90	Önemli Risk	Tel Erozyon makinesini kullanan personel, tel erozyon makinesi kullanımı ve tehlikeleri hakkında eğitim almalıdır. Tel Erozyon makinesi kullanma talimatı hazırlanmalı ve çalışanların görebileceği yerlerde asılı olmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
20	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Tel Erozyon Makinesi Kullanımı	KKD kullanmama	Yaralanma, Uzun kayıp	Çalışan	3	15	2	90	Önemli Risk	Kullanılacak KKD ler belirlenmeli, atölyedeki tüm makinelerde çalışırken kullanılması gereken KKD lerin matrisleri olmalı ve bu matrise uygun KKD lerin çalışanlara zimmetlenmesi gerekmektedir. Tel erozyon makinesi kullanan personellerin EN166 standartına sahip koruyucu gözlük, EN 20345 standartına sahip iş ayakkabısı, EN 35-2 standartına sahip kulak tıkacı, EN 149 standartlı FFP2 filtreli toz maskesi kullanılmalıdır.	Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik
21	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Tel Erozyon Makinesi Kullanımı	Soğutma Sıvısı Dökülme Tehlikesi	Zemine sıvı dökülmesi sonucu kayma ve düşme	Çalışan	6	3	6	108	Önemli Risk	İşyerlerinde kayma ve düşme risklerinin önlenmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır. Çalışma zemini, kaymaya karşı dayanıklı, uygun malzemelerle kaplanmalı ve temizlenmesi kolay hale getirilmelidir.	İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik
22	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Tel Erozyon Makinesi Kullanımı	Hareketli Parçalar ile Temas Tehlikesi	Tel sistemine veya hareketli bileşenlere temas sonucu kesik, uzun kayıp	Çalışan	3	15	2	90	Önemli Risk	Tel erozyon makinesi hareketli kısımları, çalışanların temas etmesini önleyecek şekilde uygun koruyucular veya koruma donanımları ile donatılmalı, maruziyet alanı belirlenmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
23	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Tel Erozyon Makinesi Kullanımı	Soğutma Sıvısı	Soğutma sıvı ile temas sonucu cilt tahrişi	Çalışan	6	3	6	108	Önemli Risk	Tel Erozyon makinesi kesim anında soğutma sıvısının çalışanların temas etmesini önleyecek şekilde uygun koruyucular veya koruma donanımları ile donatılmalı, maruziyet alanı belirlenmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
24	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Tel Erozyon Makinesi Kullanımı	Elektrik	Elektrik çarpması sonucu ölüm	Çalışan	3	40	1	120	Önemli Risk	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği kapsamında Tel Erozyon makinesi uygun şekilde topraklanmalı, topraklama ölçümleri yapılmalıdır. Elektrik panosunda uygun standartta otomatik sigortalar ve kaçak akım rölesi (30 mA) bulunmalı, periyodik kontrolleri ise düzenli olarak gerçekleştirilmelidir.	Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önlem	Yasal Dayanak
25	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Tel Erozyon Makinesi Kullanımı	Kıvılcım ve Sıçrama	Göz yaralanmaları, Deri yanıkları	Çalışan	6	7	3	126	Önemli Risk	Tel erozyon makinesi,sıcak partiküllerin sıçramasını önleyecek şekilde uygun koruyucular veya koruma donanımları ile donatılmalı, maruziyet alanı belirlenmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
26	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Radyal Matkap Kullanımı	Elektrik kablosu izolasyonunun bozulması veya kaçak akım	Elektrik çarpması sonucu yaralanma, ölüm	Çalışan	3	40	2	240	Esaslı Risk	Radyal matkap kullanımı sırasında elektrik kablosu izolasyonunun bozulması ve kaçak akım risklerine karşı, ekipmanın uygun şekilde topraklanması ve topraklama ölçümlerinin yapılması, 30 mA hassasiyetli kaçak akım rölesi kullanılması ve elektrik tesisatına ilişkin periyodik kontrollerin düzenli olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir.	Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
27	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Radyal Matkap Kullanımı	KKD kullanmama	KKD kullanmama sonucu yaralanma	Çalışan	1	15	3	45	Olası Risk	Kullanılacak KKDler belirlenmeli, atölyedeki tüm makinelerde çalışırken kullanılması gereken KKD lerin matrisi olmalı ve bu matrise uygun KKD lerin çalışanlara zimmetlenmesi gerekmektedir. Radyal matkap kullanan personellerin EN166 Koruyucu Gözlük, EN 20345 standartlı iş ayakkabısı, EN 149 standartlı FFP1 filtreli toz maskesi kullanması gerekmektedir.	Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
28	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Radyal Matkap Kullanımı	Uç Kırılması ve Parça Fırlaması Tehlikesi	Kırılan parçaların fırlayarak çalışanların göz veya yüz bölgesine zarar vermesi	Çalışan	3	3	2	18	Önemsiz Risk	TS EN ISO 23125 standardına uygun göz ve yüz koruyucu donanım kullanılmalıdır. Matkap ucu periyodik olarak kontrol edilmeli ve aşınmış/kırık uçları değiştirilmelidir. İş parçasının mengenede veya uygun sabitleme aparatıyla güvenli şekilde bağlanması gerekmektedir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
29	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Radyal Matkap Kullanımı	Delme işlemi sonrası oluşan talaşlar	Kesilme, yaralanma	Çalışan	3	3	6	54	Olası Risk	Talaş temizliğinde el ile temas yerine fırça veya özel talaş kancası kullanılmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
30	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Hidrolik Testere Kullanımı	Uzun süreli kullanım	Kas-İskelet sistemi rahatsızlığı	Çalışan	3	3	6	54	Olası Risk	Çalışma alanı ve pozisyon, çalışan boyu ve iş parçasının ağırlığı göz önünde bulundurularak ergonomik şekilde düzenlenmelidir. İş parçasının yüksekliği, çalışan belini ve omuzlarını zorlamayacak şekilde ergonomik olarak ayarlanmalıdır.	İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tamamı	Önlem	Yasal Dayanak
31	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Hidrolik Testere Kullanımı	Gürültü	Uzun süreli maruziyet sonucu işitme kaybı	Çalışan	3	15	6	270	Esaslı Risk	Hidrolik testerenin periyodik bakımlarının düzenli yapılması sağlanmalıdır. Gürültülü işler mümkünse kapalı kabin veya ses yalıtımlı alanlarda yapılmalıdır. Çalışanlara gürültü riskleri, cihaz doğru kullanım teknikleri ve KKD kullanımı hakkında eğitim verilmelidir.	Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
32	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Hidrolik Testere Kullanımı	Mekanik sistemler	Kesilme ve yaralanma	Çalışan	3	15	3	135	Önemli Risk	Testerenin döner bıçağı veya zinciri için kılavuz muhafazalar ve zincir koruyucular kullanılmalıdır. Malzeme sabitlenmeden veya testere tam olarak durmadan işlem yapılmamalıdır. Döner bıçak veya zincir periyodik olarak kontrol edilmeli, keskinlik ve sağlamlık açısından değerlendirilmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
33	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	Hidrolik Testere Kullanımı	Titreşim	Ellerde ve kollarda uyuşma. Meslek hastalığı	Çalışan	3	15	6	270	Esaslı Risk	Testere sapları titreşim emici malzemelerle donatılmalıdır. Çalışma süreleri, günlük ve haftalık titreşim maruziyet limitlerini aşmayacak şekilde planlanmalıdır. Molalarda, kas ve sinir sistemi üzerindeki titreşim etkisini azaltmak için dinlenme ve gevşeme hareketleri yapılmalı, bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.	Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik
34	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	El Testeresi Kullanımı	Ergonomik Tehlikeler	Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları	Çalışan	3	3	6	54	Olası Risk	Çalışma pozisyonu ergonomik ilkelere uygun ayarlanmalıdır. Uzun süreli çalışmalarda düzenli mola verilmelidir. Testerenin sapı kaymaz ve ergonomik tasarıma sahip olmalıdır.	Çalışanların İşyerinde Ergonomik Risklerden Korunmasına İlişkin Mevzuat
35	Kaplama Numunesi Hazırlık Aşaması	El Testeresi Kullanımı	Mekanik Tehlikeler	Kesilme ve yaralanma	Çalışan	3	3	6	54	Olası Risk	El testeresi kullanımında, kesilme ve delinme riskine karşı TS EN 388 standardına uygun, kesilmeye dayanıklı koruyucu eldiven kullanılmalıdır. Malzeme kesim öncesinde mengene veya kelepçe ile sabitlenmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önlem	Yasal Dayanak
36	Kaplama Numunesi Temizlik Aşaması	Zımpara Makinesi Kullanımı	KKD kullanmama	Yaralanma	Çalışan	1	7	6	42	Olası Risk	Zımpara makinesi kullanacak personele, kişisel koruyucu donanım kullanımı konusunda eğitim verilmeli; çalışma sırasında TS EN 166 standardına uygun koruyucu gözlük ve TS EN 388 standardına uygun mekanik risklere karşı koruyucu eldiven kullanımı sağlanmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
37	Kaplama Numunesi Temizlik Aşaması	Zımpara Makinesi Kullanımı	Koruyucu muhafaza	Yaralanma	Çalışan	3	7	3	63	Olası Risk	Zımpara makinesine, üretici talimatlarına uygun koruyucu muhafaza monte edilmeli; muhafazası bulunmayan veya hasarlı olan makinelerin kullanımı durdurulmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
38	Kaplama Numunesi Temizlik Aşaması	Zımpara Makinesi Kullanımı	Elektrik	Elektrik çarpması sonucu yaralanma, ölüm.	Çalışan	3	40	1	120	Önemli Risk	Laboratuvardaki tüm el aletlerin bakımları periyodik olarak yapılmalı ve kayıt altına alınmalıdır. Makine kullanıcısının her kullanım öncesi el-göz kontrolü yapması gerekmektedir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
39	Kaplama Numunesi Temizlik Aşaması	El ile Zımparalama İşlemi	Uzun süre zımpara işlemi	Ergonomik olarak el-bilek rahatsızlığı, yaralanma	Çalışan	3	3	6	54	Olası Risk	Yapılan çalışma ergonomik açıdan riski belirlenmeli ve çalışma periyotları kısaltılmalıdır.	İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği
40	Kaplama Numunesi Temizlik Aşaması	Taşlama Makinesi Kullanımı	Makine kullanımı hakkında çalışanların bilgilendirilmemesi	Yaralanma	Çalışan	3	15	6	270	Esaslı Risk	Taşlama makinesi kullanan personel, makine kullanımı ve tehlikeleri hakkında eğitim almalıdır. Taşlama makinesi kullanan personellerin EN166 Koruyucu Gözlük, EN 20345 standartlı iş ayakkabısı EN 388 Standartlı ve kesilme, yırtılma direnci en az 4 olan kesilme dayanımlı eldiven ve EN 35-2 kulak tıkacı kullanması gerekmektedir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
41	Kaplama Numunesi Temizlik Aşaması	Taşlama Makinesi Kullanımı	KKD kullanmama	KKD kullanmama sonucu yaralanma	Çalışan	1	15	6	90	Önemli Risk	Kullanılacak KKD ler belirlenmeli, laboratuvardaki tüm makinelerde çalışırken kullanılması gereken KKD lerin matrisleri olmalı ve bu matrislere uygun KKD lerin çalışanlara zimmetlenmesi gerekmektedir. Taşlama makinesi kullanan personellerin EN166 Koruyucu Gözlük, EN 20345 standartlı iş ayakkabısı EN 388 Standartlı ve kesilme, yırtılma direnci en az 4 olan kesilme dayanımlı eldiven ve EN 35-2 kulak tıkacı kullanması gerekmektedir.	Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önlem	Yasal Dayanak
42	Kaplama Numunesi Temizlik Aşaması	Taşlama Makinesi Kullanımı	Koruyucu muhafaza	Çapakların göze kaçması, çevreye yayılması	Çalışan	10	7	6	420	Çok Yüksek Risk	Taşlama makinesinin koruyucu kapağının olması ve çalışırken asla çıkarılmaması gerekmektedir. Çalışma yapılan alan yanıcı maddelerden arındırılmalıdır. Taşlama makinesi kullanımına yönelik koruyucu muhafaza konulu eğitim verilmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
43	Kaplama Numunesi Temizlik Aşaması	Taşlama Makinesi Kullanımı	Elektrik	Elektrik çarpması sonucu yaralanma, ölüm	Çalışan	3	40	1	120	Önemli Risk	Laboratuvardaki tüm el aletlerin bakımları periyodik olarak yapılmalı ve kayıt altına alınmalıdır. Makine kullanıcısının her kullanım öncesi el-göz kontrolü yapması gerekmektedir. Taşlama makinesinin enerji aldığı priz hattına 30 mA hassasiyetinde kaçak akım rölesi (RCD) tesis edilmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik
44	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Kimyasal Depolama	Kimyasalın düzgün depolanmaması	Kimyasal sızıntı sonucu tahriş, zehirlenme ve çevre kirliliği	Çalışan	3	7	2	42	Olası Risk	Kimyasal maddeler taşınmadan dolayı ambalajlarında yırtık olmamalı, kırılmış ve sızıntı oluşmuş ambalajlar laboratuvara sokulmamalıdır. Kimyasallara ait MSDS (SDS) formlarının temin edilerek, MSDS'te belirtilen depolama şartlarına uygun depolama yapılmalıdır.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
45	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Kimyasal Depolama	Kimyasalın düzgün depolanmaması	Kimyasalların birbirleri ile etkileşimi sonucu yangın	Çalışan	1	40	2	80	Önemli Risk	Kimyasal maddelerin bilgi formları incelenerek, birbirleriyle etkileşime girecek kimyasallar yan yana depolanmamalıdır.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
46	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Kimyasalların kullanımı	Kimyasalın bilgi formunun olmaması	Bilgi eksikliği sonucu iş kazası	Çalışan	3	7	1	21	Olası Risk	Kimyasalların bilgi formları (MSDS) üretici veya tedarikçi tarafından alınmalıdır. Bilgi formuna ulaşamayan kimyasallar laboratuvara sokulmamalıdır. Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
47	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Kimyasalların kullanımı	Uygun olmayan kişisel koruyucular	Yaralanma, Zehirlenme	Çalışan	1	15	6	90	Önemli Risk	Kimyasalların bilgi formları incelenerek kullanılması gereken kişisel koruyucular belirlenmeli ve bu bilgiler eşliğinde kişisel koruyucu kullanım matrisi belirlenip, laboratuvarda çalışanların görebileceği yerlere asılmalı ve kullanımı sağlanmalıdır. Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önlem	Yasal Dayanak
48	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Kimyasalların kullanımı	Kimyasalın kaplara aktarımı sonucu sızıntı	Zehirlenme, tahriş, çevre kirliliği	Çalışan	3	7	6	126	Önemli Risk	Kullanılacak kimyasallar mümkün olduğunca en düşük düzeyde tutulmalıdır. Küçük kullanım kaplarına aktarım durumu söz konusu ise kişisel koruyucular kullanılmalıdır. Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
49	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Kimyasalların kullanımı	Kimyasalın etiketleme ve işaretlemelerinin olmaması/eksik olması	Bilgi eksikliği sonucu iş kazası	Çalışan	3	7	6	126	Önemli Risk	Kullanılan kimyasalların etiketleme ve işaretleme yönetmeliğine uygun olarak işaretlemelere sahip olduğu kontrol edilmeli, standartlara uygun olmayan kimyasallar karantinaya alınmalıdır.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
50	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Kimyasalların kullanımı	Kimyasala maruziyet	Zehirlenme, cilt tahrişi	Çalışan	6	7	6	252	Esaslı Risk	Kimyasalların bilgi formlarından (MSDS) mesleki maruziyet sınır değerleri ve biyolojik sınır değerleri belirlenmeli ve bu miktarların aşılması sağlanmalıdır. Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
51	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Elektrolitik çözelti hazırlama	Kimyasal bilgi formunun olmaması	Zehirlenme, tahriş	Çalışan	3	7	6	126	Önemli Risk	Laboratuvarda kullanılan tüm kimyasalların bilgi formları olmalı ve çalışanların ulaşabileceği alanlarda muhafaza edilmelidir. Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
52	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Elektrolitik çözelti hazırlama	Kimyasalın yutulması	Zehirlenme	Çalışan	1	7	6	42	Olası Risk	Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
53	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Elektrolitik çözelti hazırlama	Kimyasalın yüze/cilde teması	Cilt tahrişi, Gözde konjunktivit, körlük riski	Çalışan	3	15	6	270	Esaslı Risk	Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir. Çalışanlara uygun standartlarda koruyucu gözlük veya yüz siperiverilmelidir. Ellerin korunması amacıyla alkali dayanımlı kimyasal eldivenler; vücut korunması amacıyla kimyasal dayanımlı önlük ve tercihen uzun manşetli kolluklar kullanılmalıdır. KKD'lerin uygunluk belgesi bulunmalı, düzenli olarak kontrol edilmeli ve yıpranan ekipman yenisi ile değiştirilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önlem	Yasal Dayanak
54	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Manyetik karıştırıcı kullanımı	Beher Çatlaması	Cilt ve El Yaralanmaları, kimyasal maruziyet	Çalışan	1	7	1	7	Önemsiz Risk	Manyetik karıştırıcıda kullanım için ısı ve darbe dayanımlı cam tercih edilmelidir. Karıştırma sırasında aşırı hızdan veya darbeden kaçınılmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği
55	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Aseton/Etil Alkol kullanımı	Kimyasal bilgi formunun olmaması	Bilgi eksikliği sonucu iş kazası	Çalışan	3	7	1	21	Olası Risk	Aseton ve etil alkole ait güncel kimyasal bilgi formları temin edilmeli, kimyasal bilgi formları çalışma alanında kolay erişilebilir olacak şekilde bulundurulmalı, içerikleri çalışanlara anlaşılır biçimde açıklanmalıdır. Bilgi formuna ulaşılamayan kimyasallar laboratuvara sokulmamalıdır.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
56	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Aseton/Etil Alkol kullanımı	Kişisel koruyucuların kullanılmaması	Cilt ve göz tahrişi	Çalışan	3	7	6	126	Önemli Risk	Çalışanlar, KKD'nin doğru kullanımı, bakım ve temizliği, asetonun sağlık üzerindeki etkileri ve maruziyet yolları konusunda periyodik olarak bilgilendirilmelidir. Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik
57	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Aseton/Etil Alkol kullanımı	Kimyasalın çalışan vücuduna teması, yutulması, solunması	Ciltte tahriş, körlük, Merkezi sinir sistemi rahatsızlıkları, bulantı, bilinç bulanıklığı,	Çalışan	3	7	2	42	Olası Risk	Çalışanlara uygun standartlarda koruyucu gözlük, ellerin korunması amacıyla asetona/alkole dayanımlı kimyasal eldivenler, vücut korunması amacıyla kimyasal dayanımlı önlük ve tercihen uzun manşetli kolluklar verilmelidir. KKD'lerin uygunluk belgesi bulunmalı, düzenli olarak kontrol edilmeli ve yıpranan ekipman yenisi ile değiştirilmelidir. Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik
58	Kaplama Numunesi Kimyasal İşlemler	Aseton/Etil Alkol kullanımı	Aseton/Etil Alkol	Parlama/Yangın	Çalışan	3	15	3	135	Önemli Risk	Aseton/Etil Alkol kullanımı ve depolaması, TS EN ISO 3000 standardı ve işyeri yangın güvenliği prosedürlerine uygun, yanıcı maddelerden uzak alanlarda yapılmalı, açık ateş ve kıvılcım oluşturan ekipmanların kullanımı engellenmelidir. Çalışma alanında uygun standartta yangın söndürücü bulundurulmalı, Çalışanlara kimyasallarla çalışmalar, ilk yardım ve acil durum prosedürleri hakkında mesleki eğitim verilmelidir.	Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik
59	Genel Çalışma Alanı	Yan Keski Kullanımı	Ergonomik Olmayan Yan Keski Kullanımı	Kas yorgunluğu	Çalışan	1	3	1	3	Önemsiz Risk	Uygun standartlarda yan keski kullanımı sağlanmalı, yıpranmış yan keski bertaraf edilmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği

Ek-1.(Devamı)

No	Faaliyet	İş Süreci	Tehlike	Risk	Etkilenenler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Riskin Tanımı	Önlem	Yasal Dayanak
60	Genel Çalışma Alanı	MAO Kaplama Makinesi	Çalışma prosedürünün olmayışı	İş kazası, Elektrik çarpması, ölüm	Çalışan	6	40	0,5	120	Önemli Risk	Kaplama makinesinin çalışma prosedürü hazırlanmalı, çalışanlara gerekli mesleki eğitim verilmelidir.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik
61	Genel Çalışma Alanı	MAO Kaplama Makinesi	Yüksek Voltaj	Elektrik çarpması, ölüm	Çalışan	6	40	3	720	Çok Yüksek Risk	Kaplama makinesinin bağlı olduğu elektrik panosunda uygun standartta sigorta ve kaçak akım rölesi kullanılmalıdır. Makine bakımı sırasında elektrik enerjisi mutlaka kesilmeli ve kilitleme/etiketleme (Lockout-Tagout) prosedürleri uygulanmalıdır. Nemli veya ıslak zeminlerde çalışma engellenmeli, alan kuru tutulmalıdır.	İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği
62	Genel Çalışma Alanı	MAO Kaplama Makinesi	Gürültü	İş verimi düşmesi, baş ağrısı, iş kazası	Çalışan	3	15	6	270	Esaslı Risk	Gürültü düzeyinin 80 dB(A)'i aşması durumunda kulak koruyucu donanımı temin edilmeli, gürültü şiddeti 85 dB(A)' ı geçmesi durumunda kulak koruyucu kullanılması zorunlu hale getirilmeli ve gerekli kontroller sağlanmalıdır.	Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik
63	Genel Çalışma Alanı	Çalışma Alanı	Yetersiz Aydınlatma	Göz yorgunluğu, İş verimi düşmesi, iş kazası	Çalışan	6	3	6	108	Önemli Risk	Çalışma alanının aydınlatma ölçümleri yapılmalı ve en az 300 lüks seviyesinde ortam aydınlatması sağlanmalıdır.	İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik
64	Genel Çalışma Alanı	Çalışma Alanı	Dağınık kablo ve malzeme	Kayma, takılma, düşme	Çalışan	6	7	6	252	Esaslı Risk	Çalışma alanı, günlük veya periyodik olarak temizlenmeli ve malzeme, araç-gereç düzenli şekilde yerleştirilmelidir. Kullanılmayan veya gereksiz ekipman, uygun depolama alanlarına kaldırılmalıdır. Çalışanlara iş hijyeni hakkında gerekli eğitimler verilmelidir.	İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik

ÖZGEÇMİŞ

Lise öğrenimini Çayırova Şehit İlhan Küçüksolak Anadolu lisesinde tamamladı. 2018 yılında Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2022 yılında lisansını başarıyla tamamlayarak mezun oldu. 2022 yılı aralık ayında girdiği uzmanlık sınavını kazanarak C sınıfı İş Güvenliği Uzmanı oldu.2023 yılında Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Şu an özel bir şirkette C sınıfı iş güvenliği uzmanı olarak görev yapmaktadır.