



**HAVACILIK SEKTÖRÜNDE KİMYASAL SÜREÇLERİN RİSK
DEĞERLENDİRMESİ İLE İNCELENMESİ**

İbrahim AKYÜREK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

İbrahim AKYÜREK tarafından hazırlanan “HAVACILIK SEKTÖRÜNDE KİMYASAL SÜREÇLERİN RİSK DEĞERLENDİRMESİ İLE İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Filiz DEREKAYA

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Atilla Mirati MURATHAN

Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Ahmet ÇARHAN

Tıbbi Biyoloji Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 17/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğim beyan ederim.

İbrahim AKYÜREK

17/09/2019

HAVACILIK SEKTÖRÜNDE KİMYASAL SÜREÇLERİN RİSK DEĞERLENDİRMESİ İLE İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

İbrahim AKYÜREK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Bu çalışmada havacılık sektöründe üretimin bir parçası olan kimyasal yüzey işlemler süreçlerinde risk değerlendirmesi yapılmış risklerin büyüklüğüne karar verilmiş ve ortaya çıkan risklere karşı alınacak önlemler belirlenmiştir. Hava aracı üretimi bir dizi karmaşık süreçle gerçekleşmektedir. Hava aracı imalatında kullanılan alüminyum, çelik ve titanyum gibi metallere uygulanan yüzey işlemler sırasında çalışanları etkileyebilecek sağlık tehlikeleri incelenmiş ve alınabilecek önlemler belirlenmiştir. Kimyasallara maruziyetten kaynaklı meslek hastalıkları ve iş kazaları yaşanmaması için riskler değerlendirilip mevcut önlemler gözden geçirilmiş, çağın değişen şartlarına uygun ilave önlemler alınması beklenmiştir. Bu çalışmada kimyasal süreçler (anodizasyon, pasivasyon, maskeleme, aşındırma); kimyasal tehlikelerin süreç temelinde incelendiği Tehlike ve İşletebilirlik Analizi (HAZOP) ve işlemler sırasında oluşabilecek hataların önceden fark edilmesine dayanan Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ile incelenmiştir. Yapılan çalışmada aşındırma hattının sıcaklık parametrelerinin daha yüksek olmasından ve çalışma ortamına kimyasal yayılım fazla olmasından dolayı daha tehlikeli proses olarak tespit edilmiştir. Proses gereği sıcaklığın yükselmesi ile tank dışına salınan zararlı kimyasalların derişimleri ölçülmüştür. Tank dışına salınımın en aza indirilmesi için iyi havalandırma ile kapalı otomasyon sistemlerinin kullanılması ve prosesin izin verdiği ölçüde zararlı kimyasalların yerine daha az zararlı kimyasalların kullanılması önerilmiştir.

Bilim Kodu : 91204

Anahtar Kelimeler : Havacılık sektörü, risk değerlendirmesi, HAZOP, FMEA

Sayfa Adedi : 75

Danışman : Doç. Dr. Filiz DEREKAYA

ANALYSIS OF CHEMICAL PROCESSES IN AVIATION INDUSTRY WITH RISK
ASSESSMENT

(M. Sc. Thesis)

İbrahim AKYÜREK

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

In this study, the size of the risks that were evaluated in chemical surface treatment processes which are part of the production in aviation sector were decided and the measures to be taken against the risks were determined. Aircraft production takes place in a number of complex processes. During the surface treatment of metals such as aluminum, steel and titanium used in aircraft manufacturing, health hazards that may affect the employees were examined and the measures that could be taken were determined. In order to prevent occupational diseases and occupational accidents caused by exposure to chemicals, the risks were evaluated and the current measures were reviewed and additional measures were expected to be taken in accordance with the changing conditions of the age. In this study, chemical surface treatment processes (anodization, passivation, masking, etching); Analysis of Hazard and Operability Analysis (HAZOP) and Hazard Type and Effects Analysis (FMEA) based on the recognition of errors that may occur during the process. According to process, temperature and the spreading the hazardous chemicals through the working area, etching process is detected as hazardous process. As a result of the process, the concentrations of harmful chemicals released from the tank were measured. It has been proposed to use closed automation systems within well ventilation to minimize the oscillation out of the tank and to use less harmful chemicals in place of harmful chemicals to the extent allowed by the process.

Science Code : 91204

Key Words : Aviation industry, risk assessment, HAZOP, FMEA

Page Number : 75

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Filiz DEREKAYA

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanmasında bana her zaman destek olan değerli danışmanım sayın Doç.Dr. Filiz DEREKAYA'ya, tezin hazırlanması sırasında aramızdan ayrılan canım babam Ahmet Hamdi AKYÜREK'e, desteğini hiç esirgemeyen sevgili eşim Zeynep ÖZAYDIN AKYÜREK'e, bana her zaman destek olan annem Nuran AKYÜREK'e, ablam Funda DEMİR ve eniştem Şener DEMİR'e, tezin teslim edilmesi sırasında verdiği kritik bilgilerle zamanımı verimli kullanmamı sağlayan arkadaşım Gülce AÇIL'a, başta Abdullah DEDE, Ümit ÇİFTÇİ olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma ve dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KAVRAMI	3
2.1. İş Sağlığı.....	3
2.2. İş Güvenliği.....	3
2.3. İş Kazaları	4
2.4. Meslek Hastalığı.....	5
2.5. Meslek Hastalığına Neden Olan Etkenler	6
2.6. Sık Görülen Meslek Hastalıkları.....	7
2.6.1. Mesleki kan hastalıkları	7
2.6.2. Mesleki kan hastalıklarının görülebileceği sektörler	7
2.6.3. Mesleki kanserler	7
2.6.4. Mesleki sindirim sistemi hastalıkları	8
2.6.5. Mesleki sinir sistemi hastalıkları.....	8
2.6.6. Üriner sistemi hastalıkları	8
2.6.7. Üreme sistemi hastalıkları.....	9
2.6.8. Mesleki solunum sistemi hastalıkları.....	10

	Sayfa
2.6.9. Mesleki cilt hastalıkları	11
3. HAVA ARACI ÜRETİM PROSESİ.....	13
3.1. Tehlike ve Risk Kavramları	16
3.2. Kimyasal Süreçlerde Karşılaşılan Tehlikeler	20
3.3. Risk Analiz Yöntemleri.....	23
3.4. Tehlike ve İşletilebilme Analizi (HAZOP)	26
3.4.1. Hazop aşamaları	26
3.4.2. Hazop analizinin teorisi.....	30
3.5. Hata Türü ve Etkileri Analizi, Failure Mode and Effective Analysis (FMEA) ..	32
4. MATERYAL VE METOD	39
4.1. HAZOP ile Risk Değerlendirmesi	39
4.2. FMEA ile Risk Değerlendirmesi	40
4.3. Çalışma Ortamı Gaz-Buhar Değişim Ölçümleri	40
5. SONUÇLAR.....	43
5.1. HAZOP Risk Değerlendirme Sonuçları	45
5.2. FMEA Risk Değerlendirme Sonuçları	60
5.3. Tank Çevresindeki Emisyon Ölçümlerinin Sonuçları.....	64
6. TARTIŞMA ve ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Kimyasallar ve tehlikeleri.....	20
Çizelge 3.2. Örnek HAZOP çalışması	31
Çizelge 3.3. Proses ve tasarım FMEA fonksiyonel seviyeler	36
Çizelge 3.4. Olasılık skalası.....	36
Çizelge 3.5. Fark edilebilirlik	36
Çizelge 3.6. Örnek FMEA uygulaması.....	37
Çizelge 5.1. Anodizasyon prosesi tank K52 HAZOP ile değerlendirilmesi.....	47
Çizelge 5.2. Anodizasyon prosesi tank K53 HAZOP ile değerlendirilmesi.....	48
Çizelge 5.3. Anodizasyon prosesi tank K54 HAZOP ile değerlendirilmesi.....	49
Çizelge 5.4. Anodizasyon prosesi tank K54 HAZOP ile değerlendirilmesi.....	50
Çizelge 5.5. Maskeleme prosesi M5 tankının HAZOP ile değerlendirilmesi.....	51
Çizelge 5.6. Anodizasyon prosesi seal tankı S1 HAZOP ile değerlendirilmesi	52
Çizelge 5.7. Aşındırma prosesi tank E55 HAZOP ile değerlendirilmesi	53
Çizelge 5.8. Aşındırma prosesi tank E55 HAZOP ile değerlendirilmesi	54
Çizelge 5.9. Aşındırma prosesi tank E57 HAZOP ile değerlendirilmesi	55
Çizelge 5.10. Pasivasyon prosesi tank P62 HAZOP ile değerlendirilmesi.....	56
Çizelge 5.11 Pasivasyon prosesi tank P67 HAZOP ile değerlendirilmesi.....	57
Çizelge 5.12. Pasivasyon prosesi tank P67 HAZOP ile değerlendirilmesi.....	58
Çizelge 5.13. Pasivasyon prosesi tank P67 HAZOP ile değerlendirilmesi.....	59
Çizelge 5.14. Anodizasyon prosesi tank K52 (FMEA)	61
Çizelge 5.15. Aşındırma öncesi maskeleme prosesi tank M5 (FMEA).....	62
Çizelge 5.16. Aşındırma prosesi tank M5 (FMEA).....	63
Çizelge 5.17. Pasivasyon prosesi tank P67 (FMEA)	63
Çizelge 5.18. Anodize hattı tank K54 ortam ölçümü.....	65
Çizelge 5.19. Aşındırma hattı E57 ortam ölçümü.....	65

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.20. Aşındırma hattı E55 tankı ortam ölçümü.....	66
Çizelge 5.21. Aşındırma hattı E57 tankı ortam ölçümü.....	66
Çizelge 5.22. Anodize prosesi tank K52.....	66
Çizelge 5.23. Anodize prosesi tank K55.....	67
Çizelge 5.24. Aşındırma öncesi maskeleme prosesi tank M5 ortam ölçümü	67
Çizelge 5.25. Anodize prosesi tankları ortam ölçümü	67
Çizelge 5.26. Anodize prosesi K32 tankı ve pasivasyon prosesi ortam ölçümü	68
Çizelge 5.27. Anodize prosesi K32,K33 tankı ve pasivasyon prosesi ortam ölçümü	68
Çizelge 5.28. Anodize ve pasivasyon prosesi ortam ölçümü.....	68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Tip 1 anodize zaman-voltaj grafiği.....	14
Şekil 3.2. Anodizasyon-gözenek kapama prosesi.....	15
Şekil 4.1. Anodize ve pasivasyon prosesi P&ID	41

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Örnek kimyasal işlem prosesi	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

m³

mg

µg

mbar

Açıklamalar

Metreküp

Miligram

Mikrogram

Milibar

Kısaltmalar

AIAG

ASQC

FMEA

HAZOP

IARC

ILO

İSG

OHSAS

REACH

SAE

SCADA

SDS

WHO

Açıklamalar

Otomotiv Endüstrisi Faaliyet Grubu

Amerikan Kalite Kontrol Topluluğu

Failure Mode Effects Analysis

Hazard and Operability Analysis

International Agency for Research on Cancer

International Labour Organization

İş Sağlığı ve Güvenliği

Occupational Health and Safety Assessment Series

Registration, Evaluation, Authorisation and

Restriction of Chemicals

Society of Automobile Engineers

Supervisory Control and Data Acquisition

Safety Data Sheet

World Health Organization

1. GİRİŞ

Havacılık tarihi, insanlık tarihinin ilk zamanlarında yapılan uçuş denemeleri ve 17 Aralık 1903'te Wright Kardeşlerin motorlu hava aracı ile uçuş yapması da dahil olmak üzere günümüze kadar havacılık sektöründe yapılan çalışmaların tamamı olarak nitelendirilir.

Ülkemizde havacılık tarihi 6 Ekim 1928'de Kayseri'de Türk-Alman iş birliği ile Junkers A-20 modeli uçak üretimi ile başlamıştır. Daha sonra çıkan anlaşmazlık nedeni ile 3 Mayıs 1929'da Almanlar tüm hisselerini Türk Hava Kurumuna devretmiştir. 1932 yılına kadar Junkers A-20'den 15 adet üretilmiş, 1932'den sonra Amerikan Curtis-Wright montajına başlanmıştır.

Vecihi Hürkuş, Türkiye havacılık tarihinde önemli bir yeri olan pilot ve mühendistir. 28 Ocak 1925'te " Vecihi K-IV " adını verdiği uçağını uçurmuştur. 1930'da Kadıköy'de bir keresteci dükkânını kiralayarak, 3 ay içinde ilk Türk sivil uçağını, aslında ikinci uçağı VECİHİ K-XIV'ü inşa etmiştir. İlk uçuşunu 16 Eylül 1930'da Kadıköy Fikirtepe'de büyük bir kalabalık ve basın topluluğu karşısında yapmıştır.

Özel sektör, 1936 yılında Nuri Demirağ ile havacılık sektörüne girmiştir. İstanbul-Beşiktaş'ta tasarım ve prototip atölyesi, Sivas-Divriği'de uçak fabrikası ve havacılık okulu tesisi kurulmuştur. THK'ya 65 adet Planör, 10 adet eğitim uçağı yapıp teslim etmiş. Kendi geliştirdiği NUD-36 modelinden 24 adet imal etmiş. Almanlar ile NUD-38 modeli uçak geliştirilmiştir.

Dünyada uçak üreticisi olarak iki firma göze çarpmaktadır; Airbus ve Boeing. Airbus bünyesinde 93 ülkede 52 bin çalışan mevcut ve yıllık cirosu 40 milyar dolar, Boeing bünyesinde 159 bin çalışan mevcut ve yıllık cirosu 64 milyar dolardır. Ülkemizde havacılık sektöründe 110 bin kişi üretim ve hizmet sektöründe çalışmaktadır. Yıllık ciro 12 milyar dolardır. Hava aracı üretimi bir dizi karmaşık prosesle gerçekleşmektedir. Hava aracı imalatı için hafif metaller ve son dönemde kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Prosesi; parça tasarımı, alüminyum, titanyum ve çelik gibi malzemelere mekanik şekil verme, kimyasal yüzey işlemler, boya, montaj, kalite kontrol, uçuş işlemleri ve uçuş olarak kısaca özetlenebilir.

Kimyasal süreçlerde kullanılan kimyasalların sağlığa olan olumsuz etkileri her geçen gün yapılan araştırmalarla ortaya çıkmaktadır. Yüzey işlemlerde kullanılan Cr^{+6} bileşikleri REACH tüzüğü gereği kullanımı kısıtlanmış kimyasallardır. Bu tür kimyasallar kanserojen (kategori 1) olarak nitelendirilmektedir. Kimyasallar daha az zararlıları ile değiştirilerek maruziyet risk azaltılmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada hava aracı üretiminde önemli bir yer alan kimyasal süreçlerde karşılaşılan tehlikeler ve bunların doğurduğu sağlık ve sistemsel teknik riskler incelenmiş, gerekli önlemlerin alınması için önerilerde bulunulmuştur. Çalışmada iki farklı risk değerlendirme metodolojisi kullanılarak mevcut risklerin azaltılması için gereklilikler belirlenmiştir. Tehlikelerin belirlenmesinde ortamda bulunan kirleticilerin derişimlerinin ölçülmesi, ortam şartlarının değerlendirilmesi konusunda önemli bir rol oynamaktadır. HAZOP çalışması ile prosesteki potansiyel sapmalar ortaya konulmuş, FMEA metodu ile hatanın etkileri gözden geçirilmiştir.

2. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KAVRAMI

Güvenlik insan sağlığının korunması ile ilgili bir kavramdır. İş güvenliği bir iş yerinde işin yürütümü nedeniyle oluşan tehlikelerden çalışanları korumak amacıyla yapılan sistematik çalışma olarak tanımlanmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği alanında iş alanlarının farklılığı göz önüne alındığında farklı tehlike ve risklerle karşılaşmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği farklı disiplinlerden birçok farklı konuyu içermektedir. Fizik, kimya, biyoloji, psikoloji, sosyoloji, mühendislik ve hukuk iş sağlığı ve güvenliği bilim alanlarıdır [1].

İyi bir iş sağlığı ve güvenliği uygulama örneğinden söz edebilmemiz için, çalışan davranışlarının uygulamada nasıl olduğunu bilmek gerekir. İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kurallarına uyan çalışanların bulunduğu bir kuruluştaki iş kazası olma ihtimali daha azdır. İş sağlığı ve güvenliği alanında iyi olarak nitelendirilen bir işyerinde bile, insanın yapısı gereği kişisel koruyucu donanım kullanılması unutulabilir ve bu durum ölümle sonuçlanabilir. Ancak işveren, çalışanlarının yeteneklerinden yararlanmak için çalışma ortamını güvenli ve sağlıklı duruma getirmek zorundadır [1].

2.1. İş Sağlığı

Yaşayan bir organizmada, organizmanın dengede olduğu bir durum olarak tanımlanabilir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), sağlığın çağdaş, tam ve kapsamlı tanımını “Sağlık, yalnız hastalık ve sakatlığın olmayışı değil; beden, ruhen ve sosyal yönden tam bir iyilik halidir” demektedir. OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi’nde “Çalışma ortamından kaynaklı, ortamın çalışanı kötüleştirdiği belirlenebilir, olumsuz fiziksel veya ruhsal hal, sağlığın bozulması” olarak ifade edilmiştir [1].

2.2. İş Güvenliği

Güven içinde olma durumu veya herhangi bir yaralanma riskinin olmayışı güvenlik olarak tanımlanmaktadır [1]. Genel olarak iş sağlığı ve güvenliği, işyerlerinde çalışma yapılırken farklı nedenlerden kaynaklanan sağlığı olumsuz etkileyecek durum ve tehlikelerden çalışanları ve tüm tarafları korumak için hayata geçirilen sistemli ve bilimsel çalışmaların toplamıdır.

Dünya Çalışma Örgütü (ILO), “Çalışanların sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı yaratılması adına işyeri şartlarının, sağlığı olumsuz etkileyecek sonuçların ortadan kaldırılması; çalışanların kendilerine uyumlu işlerde çalıştırılması ve gerekli şartların sağlanması” gibi parametreler ekleyerek dış faktörleri de İSG kapsamı içine almıştır. İşyerindeki makine ve ekipmanlar, teknoloji, işyeri tehlikeleri ve koruyucu önlemler, ergonomik koşullar, eğitim, hukuki düzenlemeler, organizasyon yapısı, sağlık düzenlemeleri, çalışanların fizyolojik ve zihinsel özellikleri, işe uygunluk, ücretler, sosyal hizmetler, çalışma saatleri, işyerinin bulunduğu bölgenin beşerî özellikleri, termal konfor (sıcaklık, aydınlatma, hava akışı vb.), kimyasal ortam gibi sayısız unsur iş sağlığı ve güvenliğini etkilemektedir.

İSG’nin konusunu, işin yapılmasından doğan tehlikelerin ortadan kaldırılması veya azaltılması için gerekli yolların araştırılması ve bu yolda getirilen hükümler oluşturmaktadır. İSG, işin tüm süreçlerini etkileyen ve kapsayan bir konudur. Birçok disiplinden etkilenmekte, birçok disiplin bu konuda çalışma yapmaktadır.

İş güvenliği uygulamasının etkili olabilmesi için güvenlik önlemlerinin bir sistem dahilinde kurulması ve geliştirilmesi lazımdır. Bu konuda erken dönemlerde yapılan harcamalar gelecekteki kuruluşların yaşayacağı büyük kayıpları önlemektedir. İş güvenliği yatırımları en az orta vade olarak düşünülmelidir. OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi’nde İş Sağlığı ve Güvenliği “İşyerindeki çalışanların ve üçüncü tarafların (ziyaretçi, taşeron vb.) sağlık ve güvenliğini etkileyen ve etkilemesi olası durumlar” olarak tanımlanmıştır. Ayrıca iş güvenliği yalnızca çalışanların değil, tüm üretim alanının güvenliği olarak belirtilmektedir. Bir işletme ancak; çalışan, üretim ve işletme güvenliğinin iyi bir şekilde yürütülmesiyle başarılı olabilir [1].

2.3. İş Kazaları

İşyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hâle getiren olayı anlatmaktadır. Yapılan araştırmalar, her yıl iş kazalarında binlerce kişinin hayatını kaybettiğini göstermektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından açıklanan sayılar olayın büyüklüğünü ortaya koymaktadır [1].

- Her yıl ortalama 280 milyon iş kazası ve 165 milyon meslek hastalığı kayıtlara geçmektedir.
- Her yıl iki buçuk milyondan fazla çalışan iş kazaları ve meslek hastalıkları nedeniyle hayatını kaybetmektedir.
- Ölüm, yaralanma ve işe devamsızlık nedeniyle, devletlerin gayri safi hasıllarının %4'ü kaybedilmektedir.
- İş kazaları sonucu her yıl yaklaşık 355 000 ölüm olayı gerçekleşmektedir. Bu kazaların yarısı tarım sektörüne aittir.

WHO'ya göre, mesleki kaza ve hastalıkların maliyeti dünya gayri safi hasılasının % 4-4,5'ünü bulmaktadır. ABD'de yapılan bir araştırma sonucuna göre, ilk yardım gerektiren ve gün kayıplı iş kazalarının ortalama maliyetinin 8-15 bin dolar, ölümlü kazaların ortalama maliyetinin 850 000-1 300 000 dolar arasında olduğu bildirilmektedir [1].

Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) 2017 yılı iş kazası istatistiklerine göre, Türkiye'de toplam 221 366 kişi iş kazasına uğramıştır, kayıp işgünü sayısı 2 065 962 olmuştur, 1636 kişi hayatını kaybetmiştir. 691 kişi de meslek hastalığı teşhisi konulmuştur.

İş kazaları kişilerin çeşitli derecelerde yaralanmasına yol açmakta veya ölümlle sonuçlanmaktadır. İş kazaları kaza geçiren çalışanı, ailesini ve çalışma arkadaşlarını etkilemektedir. Bunun yanında iş kazalarının işletmelerin karlılığına etkisi çok fazladır. Sonuç olarak toplumların refah seviyeleri iş kazaları sonucu azalmaktadır.

2.4. Meslek Hastalığı

Sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal engellilik halleridir [1].

Bir hastalığın meslek hastalığı olarak değerlendirilebilmesi için hastalık ve meslek arasında bir ilişki olması gerekmektedir. Meslek hastalıklarının türleri meslekle, meslek arasındaki ilişkiye işaret ettiği için hastalığın, yapılan iş sebebiyle ortaya çıkıp çıkmadığını anlamamıza yardımcı olur.

Meslek hastalıkları türlerinin ortaya çıkışında, meslek hastalığının vücuda giriş yolu (solunum vb.), hastalığın seyri (akut ve kronik) ve hastalığın hedef aldığı organ ya da sistem gibi faktörler ile sınıflandırma yapılabilir.

Meslek hastalıkları listesi Sosyal Sigortalar Kanunu Sağlık İşlemleri Tüzüğü Madde 64'e göre aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

- A. Kimyasal maddelerle olan meslek hastalıkları,
- B. Mesleki cilt hastalıkları,
- C. Pnömonyozlar ve diğer mesleki solunum sistemi hastalıkları,
- D. Mesleki bulaşıcı hastalıklar,
- E. Fizik etkenlerle olan meslek hastalıkları

2.5. Meslek Hastalığına Neden Olan Etkenler

Kimyasal etkenler

- Ağır metaller (kurşun, kadmiyum vb.)
- Toksik Gazlar (hidrojen sülfür, karbon monoksit vb.)
- Solventler
- Korozyifler (aşındırıcılar)
- Ziraî ilaç ve temizlik ajanları

Fiziksel etkenler

- Gürültü
- Titreşim
- Termal konfor
- Aydınlatma
- İyonize ve iyonize olmayan ışınlar
- Alçak ve yüksek basınç

Tozlar

Tozlar iki ana başlıkta tanımlanabilmektedir;

- Organik tozlar: Pamuk tozu, un, ahşap tozu organik tozlardır.
- İnorganik tozlar: Alüminyum, demir oksit ve kompozit tozları inorganik tozlardır.

2.6. Sık Görülen Meslek Hastalıkları

2.6.1. Mesleki kan hastalıkları

Çoğunlukla vücuda giren kimyasalların etkisi ile oluşan hastalıklardır. Lösemi, malign lenfoma ve çoklu miyeloma mesleki kan hastalıklarına örnektir. Lenfoma, lenfatik sistemi etkileyen bir grup kanserin genel adıdır. İki büyük lenfoma tipi Hodgkin lenfoma ve non-Hodgkin lenfomadır. Hodgkin lenfomanın birçok türü tedavi edilebilir hastalıklardır.

2.6.2. Mesleki kan hastalıklarının görülebileceği sektörler

Petrol türevlerinin üretildiği tesisler, solventlerin kullanıldığı kimyasal tesisler, boyahaneler ve boya imalatı sağlık açısından riskli sektörlerdir. Alınacak genel önlemleri belirlemek için risk analizi yapılmalı, kimyasal maddelerin üretimi ve ilgili tüm süreçlerde iş sağlığı ve güvenliği açısından tehlike oluşturabilecek bütün durumlara karşı sırasıyla;

- Tehlikeyi kaynağında yok etmek,
- İzole etmek,
- Yerine koyma,
- Mühendislik önlemleri almak,
- Gaz buhar derişim ölçümelerini yapmak
- İdari tedbirler almak (talimat, prosedür vb.)
- Kişisel koruyucu donanım kullanmak,
- Çalışanların kullanılan kimyasalın zararlarının farkında olması,
- Kimyasallar için GBF (Güvenlik Bilgi Formu) (SDS) bulundurulmalıdır

2.6.3. Mesleki kanserler

Kanserojen madde, bulunduğu, ağız yoluyla alındığında, deriye nüfuz ettiğinde kanser oluşumuna neden olan veya kanser oluşumunu hızlandıran maddelerdir. IARC; (International Agency for Research on Cancer) kanser oluşunda rolü olan maddeleri 4 ana grupta ele almaktadır.

- Grup 1. Kesin kanser yapan maddeler
- Grup 2. A. Muhtemel Kanserojen maddeler
- Grup 2. B. Şüpheli Kanserojen maddeler
- Grup 3. Hayvanlarda kanserojen
- Grup 4. Muhtemelen kanserojen olmayan maddeler

2.6.4. Mesleki sindirim sistemi hastalıkları

Kimyasallar, hedef organ ya da doğrudan bir sistemi seçerek çalışanın hastalanmasına neden olabilirler. Sindirim sistemi için tehlike kaynağı çalışırken maruziyetten kaynaklanmaktadır. Maruziyetin yaşanabileceği alanlar, toksik kimyasallar, sık sık çalışma temposu değişiklikleri, vardiyalı çalışma, olarak sıralanabilir [1].

2.6.5. Mesleki sinir sistemi hastalıkları

Sinir sistemini en çok etkileyen maddeler kimyasallardır. Maruziyet, hastalığın seyri ve ortaya çıkışında büyük rol oynamaktadır. Sinir hücreleri diğer hücrelerden farklı olarak yenilenebilir değildirler. Bir toksik maddeden birçok nörolojik sendrom gelişebilir. Gıda ve su işleme süreci, tarım sektörü, pestisit üretimi, boya sektörü, demir çelik sanayi, petrokimya, tekstil sektörleri tehlikeli sektörlerdir.[16].

Alınacak genel önlemler

- Kaynağa yönelik (tehlike-risklere) önlemler alınmalı
- Etkili havalandırma (yerel-genel) kurulmalı
- Düzenli endüstriyel gaz buhar derişim ölçümleri yapılmalı,
- Kişisel koruyucu donanım kullanılmalı,
- Periyodik muayeneleri yapılmalı
- Sağlık eğitimleri verilmelidir

2.6.6. Üriner sistemi hastalıkları

Fiziksel ve kimyasal etmenler neden olabilecek hastalıklardır. Alınacak genel önlemler aşağıda sıralanmıştır.

- Çalışma ortamında bulunan tehlikeler belirlenmeli
- Kaynağa yönelik önlemler alınmalı;
- Yerine Koyma
- Yer Değiştirme
- Havalandırma (Yerel-Genel)
- Kapalı Çalışma öncesi kontrol
- Düzenli olarak gerekli olan çevresel ölçümler yapılmalı
- Erken tanı için işe giriş ve aralıklı kontrol muayeneleri yapılmalı
- İşçilere işyerindeki tehlikeler ve yol açtığı hastalıklar hakkında gerekli eğitimler verilmelidir.

2.6.7. Üreme sistemi hastalıkları

Üreme toksisitesi çalışma ortamındaki doğrudan ya da dolaylı maruziyetle üreme sistemi etkilenebilmektedir. Toksisite, üreme organları ve / veya hormonal değişiklikler olarak ifade edilebilir. Bu tür toksisite belirtileri üreme bozukluğu, anomali hamilelikler olabilir. Çalışanların üreme sistemini olumsuz etkileyen maruziyetler, genetik olarak bir sonraki nesillere aktarılmaktadır.

Toksik kimyasallar, hayatımızın birçok alanında işimizi kolaylaştırırken ve vazgeçilmez hale gelirken bir yandan maruziyeti ile bize zarar vermektedir. Çözücüler ve kimyasal atıklar solunum ve deri yoluyla hızlı bir biçimde organizmaya girerek çeşitli zararlı etkiler oluşturmaktadır. Birçok meslek hastalığında olduğu gibi çözücü veya organik atık kaynaklı meslek hastalıklarının çalışma ortamıyla ilişkisinin tespiti ve tanımlanması oldukça güçtür. Çünkü sağlık üzerindeki etkileri uzun süre sonra ortaya çıkmaktadır [14].

Çözücüler, kimya sanayisi, laboratuvar çalışmaları, imalat, boya ve ilaç sanayisi, arıtma tesislerinde kullanılmaktadır. İlgili sanayi kollarında çalışanların maruziyeti ile üreme sistemlerinde oluşan rahatsızlıklar gebe kadınlarda düşük kilolu doğum, erken doğum ve düşük gibi olumsuz durumların oluşmasına neden olmaktadır.

Tarım sektöründe, bitkiye zarar veren haşeratlara karşı zirai ilaç; pestisitler kullanılmaktadır. Pestisitlere maruziyet ile birlikte çevre ve insan sağlığı açısından tehdit ortaya çıkmaktadır.

2.6.8. Mesleki solunum sistemi hastalıkları

Mesleki akciğer hastalıklarının en önemli nedenleri zararlı toz ve buharların solunması ile akciğere ulaşmasıdır. İnsan sağlığını doğrudan tehdit eden tozlar, boyutları 0.5 – 5 mikron arasında olan tozlardır.

Tozlar, akciğerler içinde solunum kapasitesini artıran alveoller bünyesinde birikerek “pnömokonyoz” olarak bilinen akciğer hastalıklarına neden olurlar. Boyutları 5 mikrondan büyük olan burun ve geniz bölgesinde tutularak akciğerlere ulaşması engellenmektedir.

Mesleki solunum sistemi hastalıklarının tespit edilmesi ve ortaya çıkmasında tozun parçacık büyüklüğü, tozun derişimi ve çalışanın maruziyet süresi etkilidir. Tozların akciğerde hastalık meydana getirmesinde tozun özellikleri ve kişinin yapısal özellikleri de etkilidir. Sigara içen çalışanların kimyasal gaz ve toza bağlı maruziyetinde mesleki solunum sistemi hastalıklarına yakalanma olasılığı sigara içmeyen çalışanlara göre daha yüksektir. İnorganik tozların neden olduğu hastalıklar;

- Asbestosis (Asbestoz)
- Silikosis (Slikoz)
- Pnömokonyoz
- Siderosiz

Organik tozların neden olduğu hastalıklar

- Bisinozis

Sık görülen diğer mesleki akciğer hastalıkları

- Akciğer Kanseri
- Mesleksi Astım
- Ağır Metal Birikimi
- Kronik Obstrüktif Akciğer Hastalığı (KOAH)

Çalışma süresi boyunca, çalışma alanlarında çeşitli tozlarla karşılaşmaktadır. En çok toza maruz kalınan çalışma alanları aşağıda sıralanmaktadır:

- Madencilik sektörü (açık /kapalı işletmeler)
- Yol, tünel ve baraj inşaatı
- Ağır metal sektörü
- Seramik sanayi
- Tuğla ve kiremit sanayi
- Mermer sanayi
- Çimento sanayi
- Kaynakhaneler
- Pamuklu tekstil sanayi
- Un sanayi
- Tütün sanayi
- Orman işleri
- Talaşlı İmalat
- Kumlama

Tozla çalışılan sektörlerde alınacak önlemleri ise şu şekilde sıralayabiliriz;

- Tozu kaynağında ortadan kaldıran emiş sistemi
- Tozların havada asılı kalacağı nemli ortam
- Kişisel koruyucu donanımların kullanılması
- Düzenli aralıklarla gravimetrik toz derişim ölçümleri
- Periyodik sağlık kontrolleri
- İşe giriş muayenesi
- Çalışanlarda korunma yolları ve toza karşı farkındalık oluşturma

2.6.9. Mesleki cilt hastalıkları

Çalışma ortamında kimyasalların cilde maruziyeti ile mesleki cilt hastalıkları görülmektedir. Meslek hastalıklarının 1/3'ü mesleki cilt hastalıklarıdır. Cilt hastalıklarında en çok kontakt dermatit ile karşılaşmaktadır. Mesleki cilt hastalıkları en çok çalışanların ellerinde ortaya çıkmaktadır [14].

Mesleki deri hastalıklarına neden olan etkenler

- Fiziksel etkenler (hava akım, termal konfor, güneş ışınları vb.)
- Biyolojik etkenler (patojenler, virüsler, bakteriler vb.)
- Kimyasal etmenler

Kanser dışı deri hastalıkları

- Kontakt dermatit
- İrritan Kontak dermatit
- Alerjik kontak dermatit

Mesleki deri hastalıklarının en sık görüldüğü meslekler; kuaförler, berberler, soğutma sıvısı ile çalışılan cnc (computer numerical control) tezgâh ve makine operatörleri, yemekhane ve lokanta çalışanları, metal yüzey işleme sektöründe çalışanlar, inşaat işçileri, talaşlı imalat çalışanları, sağlık çalışanları, deri ve kauçuk sektörü çalışanları, boya ve printer mürekkebi gibi kimyasal maddelerle çalışma yapanlar olarak sıralayabiliriz.

Alınacak genel önlemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Maruziyet en aza indirilmeli
- İşyerinde iyi havalandırma ile endüstriyel hijyen sağlanmalı
- Kişisel hijyene dikkat edilmeli
- Uygun kişisel koruyucu donanım kullanılmalı
- Çalışanlar işyerindeki tehlikeler ve tehlike kaynakları konusunda farkındalıklarının artması sağlanmalıdır
- İşe giriş muayenesi yapılmalıdır
- Düzenli aralıklarla sağlık muayeneleri yapılmalıdır
- Çalışanlara işyerindeki tehlike/risk, hijyen, kişisel koruyucu donanımlar ve tehlikelerden korunma yöntemleri ile ilgili farkındalığı artırıcı eğitimler verilmelidir.

3. HAVA ARACI ÜRETİM PROSESİ

Hava aracı üretimi bir dizi karmaşık prosesle gerçekleşmektedir. Hava aracı imalatı için hafif metaller ve son dönemde kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Prosesi; parça tasarımı, alüminyum, titanyum ve çelik gibi malzemelere mekanik şekil verme, kimyasal yüzey işlemler, boya, montaj, kalite kontrol, uçuş işlemleri ve uçuş olarak kısaca özetlenebilir.

Havacılık sektöründe kimyasal yüzey işlemler, alüminyum, titanyum ve çelik gibi metallere uygulanmaktadır. Yüzey işlemleri, anodizasyon, kimyasal aşındırma ve pasivasyon olarak ele alabiliriz.

Anodizasyon elektrolitik bir pasivasyon işlemidir. Alüminyum alaşımlı parçalara uygulanmaktadır. Proseste, metal yüzeyindeki doğal oksit tabakası artırılıp korozyon direncinin artırılması sağlanır. Metal elektroliz devresinde anot olarak davranış gösterir. Anodizasyonun amacı; metal yüzeyini korozyondan korumak, aşınma dayanımını arttırmak, metal yüzeyine yapılacak uygulamaları kolaylaştırmaktır [3].

Anodize alüminyum katmanı mükemmel bir elektriksel yalıtıcı katman oluşturur. Alüminyum oksit katmanı (zımpara bir alüminyum oksit formudur) sert ve aşınmaya karşı dirençlidir. Boya vb. uygulamaların kolaylıkla yapılmasını sağlar. Yeni kesilmiş bir alüminyum metalinin yüzeyi havada kolayca oksitlenerek alüminyum oksit tabakası ($2Al + 3/2O_2 \rightarrow Al_2O_3$) oluşur. Doğal yolla oluşan bu oksit tabakası elektrokimyasal yöntemle kalınlaştırılabilir [4].

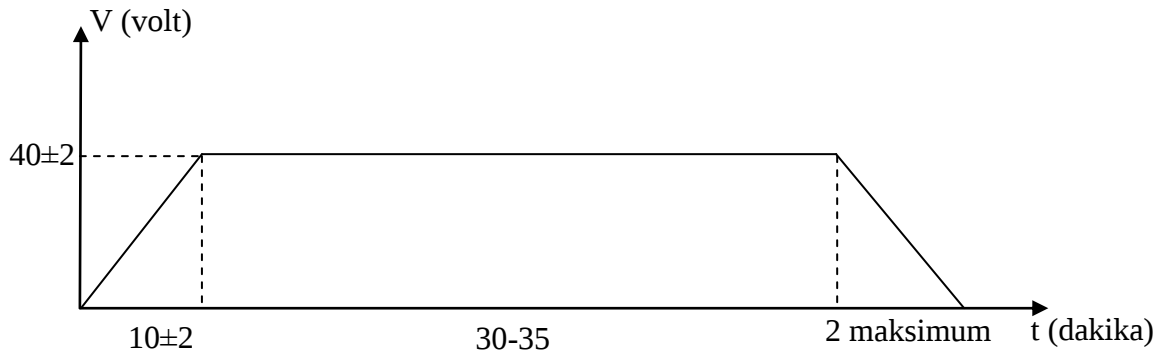
Anodize kaplama işleminde parça uygun asitle elektrolize edilir. Doğru veya alternatif akım kullanılabilir. Parça anot gibi davranır. Oksit oluşumu bir seri kimyasal reaksiyonla gerçekleşir. Yüzeyde pürüzlü oksit tabakası oluşur [5].

Proseste en çok kullanılan kromik asit ve sülfürik asittir. Bunun dışında HF, HNO₃, H₃PO₄ de kullanılabilir. Anodizasyonda kromik asit, sülfürik asit ve oksalik asit kullanılır son dönemde Cr⁺⁶ bileşiklerinin REACH tüzüğü kapsamında yüksek önem arz eden (Substances of very high concern) maddeler içine girmesi, insan ve çevre sağlığını tehdit

etmesi nedeniyle yerini fosforik asit ve borik-sülfürik asit karışımli proseslere bırakmaktadır [6].

Üç tip proses bulunmaktadır. Kromik asit ile yapılan Tip 1 prosesi Bengough-Stuart prosesi olarak bilinir. Bu prosese ait anodize zaman-voltaj grafiğı Şekil 1.1’de verilmiştir. Prosese 1923 yılında patent alınmıştır. Sülfürik asit ile yapılan Tip 2 prosesi ise 1927 yılında patentlenmiştir. Oksalik asit prosesi, Japonlar tarafından 1950’li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Sülfürik asit prosesinden daha hızlı ve sert kaplama yapılması için kullanılmaktadır [7].

Kromik asit ile yapılan anodik filmler sülfürik aside göre daha yumuşak ve opaktır. Yüzeyde 0.5 μm - 18 μm kalınlıkta oksit tabakası elde edilir.



Şekil 3.1. Tip 1 anodize zaman-voltaj grafiğı

Tip 2 Sülfürik Asit ile yapılan anodizasyonda 1.8 μm - 25 μm kalınlıkta oksit tabakası elde edilir. Sert anodizasyonda 13 -150 μm kalınlıkta oksit tabakası elde edilir. Düşük sıcaklık ve yüksek voltaj gereklidir. Sülfürik asitle yapılan işlemde metal yüzeyi, boyama ve diğer uygulamalara daha uygun hale gelir [8].

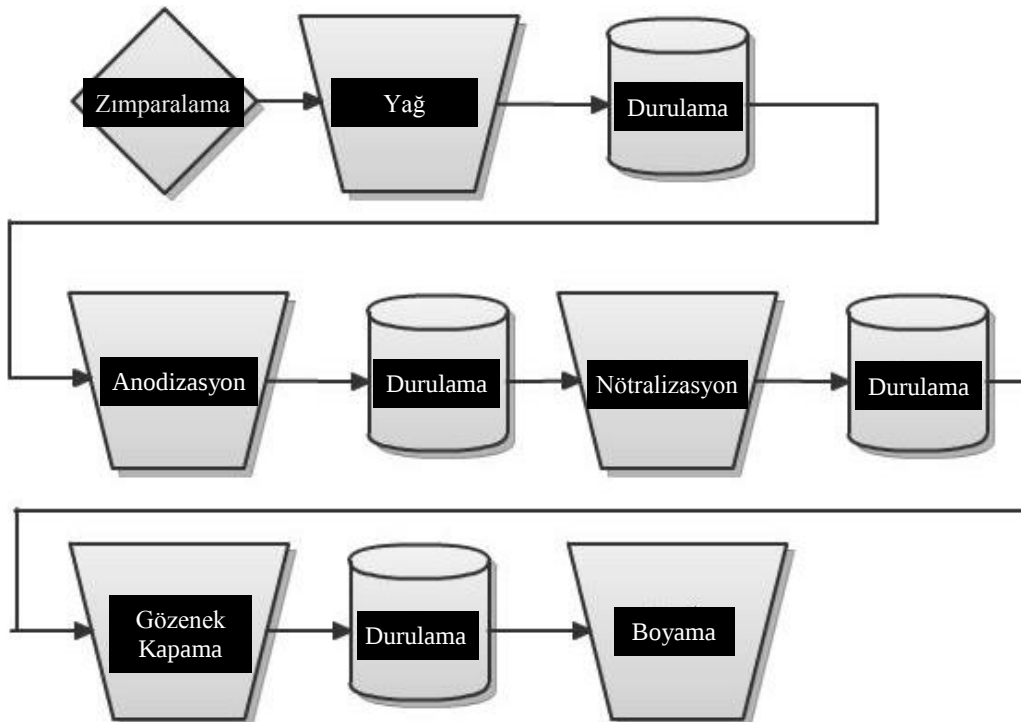
Oksalik Asit prosesinde yüzeyde büyük gözenekler ve çizikler oluşur yüksek voltaj uygulanır sarımsı renk elde edilir [9].

Fosforik asit, borik-sülfürik ve tartarik asit prosesleri, insan sağlığı açısından daha az zararlı prosesler olarak son yıllarda havacılık sanayi uygulamaları için geliştirilmiştir. Fosforik asit metal-metal yapıştırma yapılan parçalarda kullanılmaktadır. Borik-sülfürik asit ise, kromik asit prosesine göre daha az zararlı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple

kromik asit prosesinden zamanla tamamen vazgeçilecektir yerini daha az zararlı prosesler alacaktır [10].

Anodizasyon sonrasında oluşan anodize film gözenekli yapıdadır. Bu yapı korozyona karşı direnci düşürür. Gözenek kapama “seal” prosesinde gözenekler tıkanır. Bu işlemde kaynayan deionize su ya da buhar ve nikel asetat, kobalt asetat (soğuk), sodyum ya da potasyum dikromat (sıcak) kullanılır. Gözenek kapama işlemi ile; metal yüzeyin dış şartlara direncini artırır, çukurlaşma engellenir, boya ve vb. uygulamaların yüzeye daha kolay tutunmasını sağlar ve metalin elektriksel direnci artırılmış olur [10]. Bir diğer Cr^{+6} bileşiği olan sodyum dikromat, insan ve çevre sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır.

Parçalara yüzey işlem uygulanmadan önce mekanik yöntemlerle şekil verilirken yağ sürülmektedir. Yağın yüzeyden arındırılması için buharla yağ giderme “degreasing” işlemi uygulanır. Bu işlem sırasında insan ve çevre için zararlı trikloretilen kullanılmaktadır. Anodizasyon- gözenek kapama prosesini Şekil 3.2’deki gibi gösterebiliriz.



Şekil 3.2. Anodizasyon-gözenek kapama prosesi

Bir başka işlem kimyasal aşındırma olarak isimlendirilmektedir. Bu işlemde havacılık sektörü açısından önemli olan ağırlık azaltma ve kimyasal yolla frezeleme (yüzey aşındırma) gerçekleştirilmektedir. Aşındırma hava araçlarının parçalarına mekanik

frezeleme metoduna alternatif olarak kuvvetli asit ya da baz kullanılarak seçilmiş bölümlerin metal yüzeyinden uzaklaştırılması işlemidir.

İşlemde öncelik maskeleme sürecidir. Tüm yüzey toluen –ksilen karışımı reçine kıvamında bir karışıma (maskant) daldırılıp kurutularak maskeleme yapılır, sonrasında aşınması istenen bölümler soyularak sodyum hidroksit çözeltisine daldırılır. Havacılık endüstrisinde gövdenin daha hafif olması ve enerji verimini sağlamak açısından kullanılmaktadır.

Pasivasyon; çelik ve titanyum parçaların korozyondan korumak için non-elektrolit bir uygulamadır. Metal yüzeyinden demirin uzaklaştırılması ile krom kalır ve pasif olan yüzeyin paslanma direnci artar. Demir; nitrik asit ile çelik yüzeyinden uzaklaştırılır. (ASTM-A380, AMS 2700). Özellikle iniş takımında kullanılan çelik parçalar önce hidroflorik asit çözeltisinde temizlendikten sonra nitrik asit çözeltisinde pasivize edilir. Motor kapaklarında kullanılan titanyum parçalar ise hidroklorik asit çözeltisinde temizlendikten sonra nitrik asitin etkisi ile pasive edilmektedir [11].

Parçaya uygulanan son işlem boyamadır. Boya, metalin korozyon gibi kimyasal ve darbe, çizik gibi fiziksel sorunları önlemek için yapılan kaplama işlemidir. Boya içinde birçok farklı karışım vardır, bu karışımı; bağlayıcılar, çözücüler, pigmentler, dolgular ve katkıları olarak beş kategoride toplayabiliriz.

3.1. Tehlike ve Risk Kavramları

Genel olarak, iş sağlığı ve güvenliği açısından düşünecek olursak, “Tehlike, insana zarar ve hasar veren potansiyel kaynak” olarak ifade edilmektedir. Burada insana zarar kelimesinden biyolojik ve psikolojik zarar anlaşılmalıdır [12]. Hasar kelimesinden de ekipmana, çevreye, kısaca mala mülke zarar anlamı taşımaktadır. Tehlike kelimesinin tanımında kullanılan potansiyel kaynak ifadesini çok geniş içerik olarak düşünmek gerekir. Bu içerik “Durum, proses, enerji, madde, materyal” gibi kavramları içinde barındırmaktadır. Örneğin, yerde ıslaklık olması durum kaynaklı, elektrik ise enerji kaynaklı bir tehlikedir

Tehlike kavramı, kaza kavramı ile ilişkilidir. Tehlike kavramını anlamak için her iki terimi de iyi anlamak gerekmektedir. MIL-STD-882D Standardında kullanılan tanımlar aşağıdaki gibi verilmiştir: Tehlike; yaralanma, hastalanma, meslek hastalığı ile malzeme ve ekipman hasarına veya kaybına neden olan ya da çevreye zarar veren mümkün veya olası koşullardır. Kaza; yaralanma, ölüm, meslek hastalığı ile sonuçlanan, ekipman hasarına veya kaybına neden olan ya da çevreye zarar veren planlanmamış olay veya olaylar zinciridir. OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi'nde tehlike tanımı: Tehlike; çalışanların yaralanması veya sağlığının bozulmasına neden olabilecek olay, davranış veya durumdur. Sağlığın bozulması ise ; çalışma alanı ve biçimi ile ilgili durumun çalışanını üzerinde yol açtığı ve/veya var olan rahatsızlığını artırdığı tespit edilebilir fiziksel veya ruhsal faktörlerdir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 3p maddesinde, tehlike; çalışana zarar verme potansiyeli olan her türlü somut durumu ifade etmektedir [13].

İşyeri tehlikelerini şirket dışı kaynaklı ve şirket içi tehlikeler olarak sınıflandırabiliriz. Şirket dışı tehlikeler; insan kaynaklı (sabotaj, trafik kazaları, dış yangın gibi) ve doğa kaynaklı (deprem, sel, fırtına, hortum, kuraklık gibi) olmaktadır. Bir işyerinin konum, yönetim, proje, işletme, ürün, çalışan kaynaklı tehlikeleri olabilir. İşyeri tehlikelerinin birçok şekilde sınıflandırılması yapılmaktadır.

- Fiziksel tehlikeler: Gürültü, titreşim, sıcaklık, hava akımı, mekanik tehlikeler
- Kimyasal tehlikeler: Kimyasal madde kaynaklı tehlikeler
- Biyolojik tehlikeler: Patojenler, virüsler
- Psikolojik tehlikeler: İş baskısı, görevdeş baskısı
- Sosyolojik tehlikeler: Ülkede ekonomik durumun kötüye gitmesi, işsizlik korkusu
- Ergonomik tehlikeler: İş ve çalışan arasındaki fiziki uyumsuzluk

Örneğin bir kaynak işleminde elektrik tehlikesi, yüksek sıcaklık, tehlikeli gaz ve dumanlar, iyonize olmayan radyasyon, gürültü, mekanik tehlikeler, ergonomik tehlikeler gibi yukarıda bahsedilen birçok tehlike bir arada bulunmaktadır. Bunun yanı sıra kaynakçının çalıştığı ortama bağlı olarak, yüksekte çalışma, soğuk veya sıcak ortamda çalışmanın getirdiği tehlikeler bulunmaktadır [14]. Eğer bir basınçlı gazla kaynak yapmak söz konusu

ise yangın ve patlama riskleri, kaynak işleminin kapalı ortamda yapılması durumunda oksijen yetersizliği nedeniyle boğulma önemli tehlikeler olarak değerlendirilmelidir.

Yukarıdaki bütün tanımlar tehlikenin iki boyutu olduğunu göstermektedir. Birincisi tehlikenin kişiye zarar verme yeteneği olduğudur. İkincisi ise, tehlikenin mevcudiyetinin süregelen bir şey olduğudur. Hayatımızın her alanında ve anında birçok tehlikeyle karşılaşmaktayız. Karşılaşıldığında, hemen zarar veren tehlikeler de vardır. Bunları akut tehlike olarak tanımlayabiliriz. Yolda karşı karşıya geçerken bir aracın insana hemen zarar vermesi mümkündür. Fakat beynimiz otomatik olarak araçları risk olarak algılanmakta ve risk kontrol tedbirleri uygulanmaktadır. Bu risk değerlendirme süreci çok çabuk ve bir çaba gerekmeksizin olmaktadır. Bazı tehlikeler ise belli bir zaman periyodunda kişiye zarar vermektedir. Gürültünün kişide yaptığı etki yıllar sonra ortaya çıkabilir. Bu tür tehlikeler ise kronik tehlike olarak tanımlanmaktadır. Bazı tehlikeler hem akut hem de kronik olabilir. Küçük tekrarlanan dozda bir radyasyon kronik zarara yol açarken, büyük tek dozda bir radyasyon zehirlenme ve yanma şeklinde akut bir zarara yol açabilir. İşyerinde çalışırken karşılaştığımız bazı tehlikeler işyerinin yapısı, bazı tehlikeler ise hem işyeri hem de kişinin yaşamından kaynaklanmaktadır. İşyerinde işi gereği sürekli bilgisayar başında çalışan bir eleman, evinde ekranlı araç kullanmaya devam ederse, kas iskelet sistemindeki rahatsızlıkları artacaktır [14].

Tehlikeleri tanımlamada temel prensipler şöyle sıralanabilir:

1. Potansiyel kayıpların tanımlanması
2. Kayıpların potansiyel nedenlerinin belirlenmesi
3. Kayıpların potansiyel sonuçlarının belirlenmesi
4. Kontrol tedbirlerinin belirlenmesi
5. Kayıpları önlenmesi
6. Sonuçların etkilerinin azaltılması

Tehlike analizleri, risk değerlendirmenin yapı taşıdır. Bir tehlike analizinde aşağıdaki soruların yanıtlanması gerekmektedir:

- Kazaya yol açan yanlışlar nelerdir?
- Gerçekleşecek olay nedir?

- Olayın sonuçları nelerdir?
- Olayın içerdiği risk nedir?
- Risk kabul edilebilir mi?
- Riski azaltmak veya elimine etmek nasıl mümkün olabilir?

Bir tehlikeden ancak tehlikeye maruz kalma durumu söz konusu olduğunda bahsedebiliriz. Örneğin, korunaksız şerit testerede çalışmayan bir kişi için şerit testere tehlike arz etmemektedir. Eğer yerden yüksekte bir pencere camını silmiyorsak bizim için yükseklik bir tehlike tanımı olmamaktadır. Tehlike, tehlike üçgeni de adı verilen üç unsurdan meydana gelmiştir.

Bir tehlikenin mevcut olması için bu üç unsur gerekmektedir.

1. Tehlike kaynağı
2. Başlatıcı mekanizma
3. Hedef/Sonuç

Üçgen modelini açtığımız zaman, şu ifadeleri kullanabiliriz. Tehlikeyi tanımlamak için bu üç unsurun da tanımlanması gerekmektedir. Tehlike üçgeninde, unsurlardan birini çıkardığımız zaman, risk ile ilgili bir konudan bahsetmemiz mümkün olmayacaktır. Buradaki risk ifadesinden “Tehlikeden kaynaklanabilecek ve zarara veya hasara yol açabilecek senaryolar” anlaşılmalıdır. Örneğin, hiç kimsenin geçmediği bir yerdeki buzlanma olayı için kayma riskinden söz etmemiz mümkün değildir. Çünkü hedef olmadığı için zarara dönüşen bir senaryo yazmamız mümkün değildir. Kapımızın önündeki zeminde benzer olayı düşündüğümüzde:

Tehlike kaynağı: Zeminde buzlanma

Tehlike başlatıcı mekanizma: Buzda yürümeye uygun ayakkabı giyilmemesi, hızlı hareket edilmesi, dikkatsiz davranılması gibi.

Hedef: Buz zeminde yürüyenler

Sonuçları: Muhtelif derece yaralanma, ölüm

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu’nda risk, tehlikenin gerçekleşme olasılığı ile şiddetinin bileşkesi olarak tariflenmektedir.

OHSAS 18001’de risk; tehlike veya tehlike kaynağının gerçekleşme olasılığı ile maruz kalındıktan sonra durumunun ortaya çıkaracağı yaralanma veya sağlık bozulmasının bileşimi olarak tanımlanmıştır.

Risk, gelecekte olabilecek potansiyel olayların olma olasılığı ve sonucunun bir ölçüsüdür [14].

3.2. Kimyasal Süreçlerde Karşılaşılan Tehlikeler

Kimyasal işlemler sırasında çalışılan kimyasallar başlı başına tehlike kaynağı olarak görülmektedir. Kimyasalın zarar verecek türlerine göre tehlikeleri de değişmektedir. Korozif kimyasallarla yapılan çalışmalarda aşındırıcı olan kimyasalın deriye teması istenmeyen ciddi sorunlar ortaya çıkaracaktır. Aynı şekilde aşındırıcıların vereceği solunum yolundaki rahatsızlıkları da tehlike ve ona bağlı riskleri değiştirecektir. Kimyasalın tehlike ve vereceği zararları öğrenebileceğimiz önemli bir kaynak her kimyasala ait Güvenlik Bilgi Formlarıdır. Aşağıda havacılık sanayinde kullanılan kimyasalların güvenlik bilgi formlarından hazırlanan, kimyasal isimleri ve tehlikelerinin anlatıldığı özet bilgiler, Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kimyasallar ve tehlikeleri

KİMYASAL	TEHLİKE
Hidroflorik asit	Deri ile temasında (aşındırıcı, tahriş edici, nüfuz edici), göz ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı) ve yutulduğunda çok tehlikelidir, sıvı veya sprey sisi göz, ağız ve solunum yolu mukozalarında doku hasarı yapabilir, deride yanıklar yapabilir, sprey sisinin solunması solunum yolunun ciddi tahrişine neden olabilir (öksürme, boğulma, nefes kesilme ile karakterizedir), ciddi fazla maruziyet ölümle sonuçlanabilir, gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir, akciğerler, mukoza zarları, deri, gözler, kemikler ve dişler için zehirli olabilir.
Hidroklorik asit	Deri ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı), göz ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı) ve yutulduğunda çok tehlikelidir, sıvı veya sprey sisi göz, ağız ve solunum yolu mukozalarında doku hasarı yapabilir, deride yanıklar yapabilir, sprey sisinin solunması solunum yolunun ciddi tahrişine neden olabilir (öksürme, boğulma, nefes kesilme ile karakterizedir), gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir, böbrekler, karaciğer, mukoza zarları, üst solunum yolları, deri, gözler ve dişler için zehirli olabilir.

Çizelge 3.1. (devam) Kimyasallar ve tehlikeleri

KİMYASAL	TEHLİKE
Fosforik asit	Deri ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı, nüfuz edici), göz ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı) ve yutulduğunda çok tehlikeli, aşındırıcı, solunduğunda akciğeri hassaslaştırır, sıvı veya sprey sisi göz, ağız ve solunum yolu mukozalarında doku hasarı yapabilir, deride yanıklar yapabilir, sprey sisinin solunması solunum yolunun ciddi tahrişine neden olabilir (öksürme, boğulma, nefes kesilme ile karakterizedir), ciddi fazla maruziyet ölümle sonuçlanabilir, gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir, kan, karaciğer, deri , gözler ve kemik iliği için zehirli olabilir.
Kromik asit	Kanserojen (ACGIH), deri ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı), göz ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı), yutulduğunda çok tehlikeli, solunduğunda akciğeri hassaslaştırır, sıvı veya sprey sisi göz, ağız ve solunum yolu mukozalarında doku hasarı yapabilir, deride yanıklar yapabilir, sprey sisinin solunması solunum yolunun ciddi tahrişine neden olabilir (öksürme, boğulma, nefes kesilme ile karakterizedir), gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir.
Nitrik asit	Deri ile temasında çok tehlikeli (aşındırıcı, tahriş edici, nüfuz edici), göz ile temasında tahriş edici, aşındırıcı, solunduğunda akciğeri hassaslaştırır, sıvı veya sprey sisi göz, ağız ve solunum yolu mukozalarında doku hasarı yapabilir, deride yanıklar yapabilir, sprey sisinin solunması solunum yolunun ciddi tahrişine neden olabilir (öksürme, boğulma, nefes kesilme ile karakterizedir), uzayan maruziyet deri yanıkları ve ülserleri ile sonuçlanabilir, ciddi fazla maruziyet ölümle sonuçlanabilir, gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir, kuvvetli oksitleyicidir.
Sülfürik asit	Deri ile temasında (aşındırıcı, tahriş edici, nüfuz edici), göz ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı) ve yutulduğunda ve solunduğunda çok tehlikelidir, sıvı veya sprey sisi göz, ağız ve solunum yolu mukozalarında doku hasarı yapabilir, deride yanıklar yapabilir, sprey sisinin solunması solunum yolunun ciddi tahrişine neden olabilir (öksürme, boğulma, nefes kesilme ile karakterizedir), ciddi fazla maruziyet ölümle sonuçlanabilir, gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir, böbrekler, akciğerler, kalp, kalp damar sistemi, üst solunum yolları, gözler ve dişler için zehirli olabilir. IARC ve OSHA'a göre kanserojendir, ACGIH'e göre insanda kanserojen şüphesi vardır (A2).
AC 828-77 Maskant	Yüksek derecede parlayıcı, zehirli, kansere neden olabilir, yutulursa akciğere hasar verebilir, deriyi ve gözleri tahriş eder, buharları havadan ağır, ateşleme kaynaklarından uzak tutulmalı, transfer sırasında kaplar topraklanmalı, ksilen ve toluen deriden emilir, yüksek derişimde yutulması veya solunması mide bağırsak yollarında, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sisteminde yaralara neden olabilir, dirençsiz kişilerde hassasiyete neden olabilir.
Sodyum karbonat	Deri ile temasında (tahriş edici), göz ile temasında (tahriş edici), solunduğunda (tahriş edici) ve yutulduğunda tehlikelidir, üst solunum yolları, deri ve gözler için zehirli olabilir.

Çizelge 3.1. (devam) Kimyasallar ve tehlikeleri

KİMYASAL	TEHLİKE
Alodine 1200S	Aşındırıcı, oksitleyici, kanserojen (ACGIH), deride, gözde ve mukozalarda yanıklara neden olur, körlüğe neden olabilir, hasarlanmış deriyle temasında ülserler oluşabilir, uzatılan veya tekrarlanan soluma buruna ait zarlarda ülsere neden olabilir, büyük miktara maruziyet böbreklerin çalışmamasına ve ölüme neden olabilir, küçük miktarda yutulması öldürücü hipokalsemi (kanda kalsiyum miktarının azalması) ve sistemik zehirliliğe neden olabilir, florürlere maruziyet uzun yıllar sonra florozise (kronik flor zehirlenmesi) neden olabilir.
Turco 4215 NC-LT	Göz, deri ve solunum yollarında tahrişe neden olur, ters üreme etkilerine neden olabilir, Methemoglobinemiye (kanın oksijen taşıma yeteneği bozulur) ve siyanosise (derinin mavi renk alması) neden olabilir. Böbrek ve kemiklerde hasara neden olur, merkezi sinir sistemi etkilerine neden olabilir.
Ensolv 5408 n-propyl bromide, nitromethane, 1,2 buthylene oxide	Solunum, gözler ve deri için tahriş edici, parlayıcılık sınırları: 3.8-9.5 % (havadaki hacimce), açık alev, elektrik arkı ve yüksek enerjili ateşleme kaynaklarından sakın.
Trietanolamin	Deri ile temasında (nüfuz edici), göz ile temasında (tahriş edici), solunduğunda ve yutulduğunda tehlikelidir. Böbrekler, karaciğer ve deri için zehirli olabilir.
Sodyum dikromat	Kanserojen (ACGIH), deri ile temasında (tahriş edici, hassaslaştırıcı, aşındırıcı, nüfuz edici), göz ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı), solunduğunda (akciğeri tahriş eder) ve yutulduğunda çok tehlikelidir, uzayan maruziyet deride yanıklara ve ülserlere neden olabilir, fazla maruziyet solunumda tahrişe neden olabilir, ciddi fazla maruziyet ölüme sonuçlanabilir, gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir. böbrekler, karaciğer, kalp ve üst solunum yolları için zehirli olabilir. Oksitleyicidir.
Sodyum hidroksit	Deri ile temasında (aşındırıcı, tahriş edici, nüfuz edici), göz ile temasında (tahriş edici, aşındırıcı), solunduğunda ve yutulduğunda çok tehlikelidir. Doku hasarı miktarı temasın uzunluğuna bağlıdır. Gözde kornea hasarı ve körlüğe neden olabilir, deride iltihaplanma ve su toplama görülebilir. Tozunun solunması mide bağırsak ve solunum yolunda tahriş yapabilir, yanma, hapsirme ve öksürme ile karakterizedir. Ciddi fazla maruziyet, akciğerde hasara, boğulmaya, bilinç kaybına veya ölüme neden olabilir, gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir.
Sodyum sülfid	Deri ile temasında (tahriş edici, nüfuz edici), göz ile temasında (tahriş edici), solunduğunda ve yutulduğunda çok tehlikelidir. Doku hasarı miktarı temasın uzunluğuna bağlıdır. Gözde kornea hasarı ve körlüğe neden olabilir, deride iltihaplanma ve su toplama görülebilir. Tozunun solunması mide bağırsak ve solunum yolunda tahriş yapabilir, yanma, hapsirme ve öksürme ile karakterizedir. Ciddi fazla maruziyet, akciğerde hasara, boğulmaya, bilinç kaybına veya ölüme neden olabilir, gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir. Yüksek derecede parlayıcıdır.

Çizelge 3.1. (devam) Kimyasallar ve tehlikeleri

KİMYASAL	TEHLİKE
Sodyum alüminat	Deri ile temasında (aşındırıcı, tahriş edici), göz ile temasında (tahriş edici), solunduğunda ve yutulduğunda yüksek derecede tehlikelidir. Doku hasarı miktarı temasın uzunluğuna bağlıdır. Gözde kornea hasarı ve körlüğe neden olabilir, deride iltihaplanma ve su toplama görülebilir. Tozunun solunması mide bağırsak ve solunum yolunda tahriş yapabilir, yanma, hapsirme ve öksürme ile karakterizedir. Ciddi fazla maruziyet, akciğerde hasara, boğulmaya, bilinç kaybına veya ölüme neden olabilir, gözün iltihaplanması kızarıklık, sulanma ve kaşınma ile karakterizedir, deri iltihaplanması kaşınma, soyulma, kızarıklık, su toplama ile karakterizedir.
Potasyum permanganat	Deri ile temasında (tahriş edici), göz ile temasında (tahriş edici), solunduğunda ve yutulduğunda tehlikelidir. Gözde ve deride aşındırıcı olabilir, kornea hasarı ve körlüğe neden olabilir, deride iltihaplanma ve su toplama görülebilir. Doku hasarı miktarı temasın uzunluğuna bağlıdır. Tozunun solunması mide bağırsak ve solunum yolunda tahriş yapabilir, yanma, hapsirme ve öksürme ile karakterizedir. Ciddi fazla maruziyet, akciğerde hasara, boğulmaya, bilinç kaybına veya ölüme neden olabilir. Uzayan maruziyet deride yanık ve ülserlere neden olabilir. Fazla maruziyet solunumda tahrişe neden olabilir. Oksitleyicidir.

Çizelge içinde kullanılan tüm bilgiler, ilgili kimyasalların güvenlik bilgi formlarından alınmıştır.

3.3. Risk Analiz Yöntemleri

Proses tehlike analizleri için kullanılan pek çok yöntem vardır. En çok kullanılan yöntemler aşağıda belirtilmiştir.

- Check List (Kontrol Listeleri)
- PrHA (Ön Tehlike Analizi)
- What If (Eğer Olursa Risk Analizi)
- What If +Check List (Eğer Olursa Analizi /Kontrol Listeleri)
- HAZOP (Tehlike ve İşletilebilme Çalışması)
- FMEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi)
- SIL Analysis (Güvenlik Bütünlük Seviyeleri Analizi)
- Bow-tie analysis (Papyon Analizi)

Bir kuruluşun potansiyel güvenlik sorunlarının belirlenmesini, güvenlik önlemlerinin geliştirilmesini, eğer güvenlikte herhangi bir zaaf olursa acil durum planlarının devreye

sokulmasını sağlar. Proses analizleri için, proses ve mühendislikte uzman bir takım oluşturulur. Uygun yöntem kullanılarak tehlikeleri belirlenir ve değerlendirilir. Analiz 5 yılda bir gözden geçirilir.

Proseslerin katastrofik kazalardan korumak için, prosesin tasarım aşamasında ve işletme sırasında yapılan tehlike ve işletebilirlik çalışmaları (HAZOP) önemli bir rol üstlenir. HAZOP; operasyon ya da proses şartlarında ya da güvenlik sistemlerindeki sapma sonucu oluşabilecek kazaların etkilerinin azaltılması ve daha güvenli işletme şartlarını sağlamanın yollarını aramak için kullanılır.

Tehlike ve İşletebilirlik analizi insan hatası ya da tasarımdan kaynaklı operasyonel sorunlara ve potansiyel tehlikelere odaklanarak sistemin kurulmadan önce güvenlik seviyesinin yükseltilmesine yardımcı olur.

HAZOP, tasarım safhasından başlayarak, bir proseste olabilecek işletim problemlerinin ve tehlikelerin yarattığı potansiyel sapmaları sistematik, akılsal ve yapısal olarak irdeleyerek yapılan bir analiz çalışmasıdır. HAZOP, bir beyin fırtınası tekniği, kalitatif bir risk değerlendirme aracı olarak da tarif edilir.

İlk olarak 1960'da Dr. H.G. Lawley tarafından geliştirilmiştir. Başlangıçta bir prosesteki tüm tehlikelerin (kimyasallar, fabrika ve çevresel koşullarının) tespitinin yapılması şeklinde uygulanmıştı. Daha sonra analiz geliştirilerek, tasarım safhasında proses akış diyagramları ile operasyondan kaynaklanan tüm sapmaları irdeleyerek bir prosesin güvenli bir şekilde yürütülmesini sağlamıştır.

Risk analizi risk inceleme sürecine girdi ve riskin ne tür bir işlem göreceğine dair kararlar verilmesini sağlar. Bu şekilde risklerin gözlenmesi ve riske müdahale yolları oluşturulmuş olacaktır. Risk analizi, risk sebep ve kaynaklarının hesaba katılmasını sağlayarak, pozitif ve negatif sonuçları ve bu sonuçların oluşma olasılığını hesaplar.

Şiddet ve olasılığın analizi ayrıca diğer özelliklerin hesaba katılması ile risk analizi gerçekleştirilir. Bazı olayların birden fazla sonucu olabilir ve birden fazla hedefi etkileyebilir. Mevcut kontroller ve etkinlik ve verimlilik durumları dikkate alınmalıdır. İş sağlığı ve güvenliğinde, risk olumsuz bir unsur olarak düşünülmelidir. Şiddet ve olasılığın

sunulma biçimi ve bunların risk seviyesini belirleme anlamında birleştirme yöntemi, riskin türünü, eldeki mevcut bilgiyi ve risk değerlendirme çıktısının kullanım amacını belirler. Tüm bunlar risk kriteri ile tutarlı olmalıdır. Muhtelif risklerin ve kaynakların birbirleriyle bağımlılığı da bu noktada hesaba katılmalıdır.

Uzmanlar arası görüş farklılıkları, belirsizlikler, kalite, nitelik, nicelik ve risk metotlarındaki sınırlamalar da belirtilmelidir. Risk analizi, analizin amacına uygun olarak bilgi kaynak ve verilere bağlı olarak gerçekleştirilmelidir.

Analizler; niteliksel, yarı niteliksel, sayısal ya da şartlara bağlı olarak bunların bileşimi şeklinde olabilir. Şiddet ve olasılık bir olayın ya da olay grubunun çıktılarının modellenmesi ile belirlenir. Deneysel çalışmalar ve elde mevcut verilere dayanarak hesaplanır. Şiddet ölçülebilir ya da ölçülemeyen parametrelere göre açıklanabilir. İşletme hangi analiz tekniğinin kendisine uygun olduğuna karar verebilir.

Nitel yöntemler

- Risk matrisi
- Kontrol listesi
- Delphi tekniği
- Yapılandırılmış görüşme
- Beyin fırtınası
- Swot analizi
- Tehlike ve işletebilirlik analizi (HAZOP)

Nicel yöntemler

- Hata türleri ve etkileri analizi (FMEA)
- Neden sonuç analizi
- Senaryo analizi
- Tesadüfi dağılımlar
- Uç değer teorisi
- Trend ve regresyon analizi
- Duyarlılık analizi

Kimyasal süreçler için iki farklı yöntem ile risk değerlendirmesi yapılabilir. Metodoloji olarak hataları önceden belirlemek için Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect ve Analysis, FMEA) ve kimyasal süreçlerin tasarımı sırasında Tehlike ve İşletilebilme Çalışması (Hazard and Operability Analysis, HAZOP) kullanılmaktadır.

3.4.Tehlike ve İşletilebilme Analizi (HAZOP)

Hazop (Hazard and Operability Analysis) tekniği, tasarım safhasından başlayarak, bir proseste olabilecek işletim problemlerinin ve tehlikelerin yarattığı potansiyel sapmaları sistematik, akılsal ve yapısal olarak irdeleyerek yapılan bir analiz çalışmasıdır. HAZOP, bir beyin fırtınası tekniği, kalitatif bir risk değerlendirme aracı olarak da tarif edilir.

3.4.1. Hazop aşamaları

Gerekli dokümanları toplanır (Proses akış diyagramları (P&ID), boru hatları ve enstrüman diyagramları, fabrika saha planları). ASME (American Society of Mechanical Engineers) standardına göre süreç akım şeması çıkarılır. İşletme, analiz için yönetilebilecek düğümlere bölünür. Düğümlere bölme işlemi analizin en önemli safhalarından biridir. Düğümler ne çok küçük ne de çok büyük olmalıdır.

İncelenecek operasyon ve parametreler için liste hazırlanır. (Basınç, kompozisyon, sıcaklık, akış, üretim operasyonları için özel operasyon listesi hazırlanır.)

- Kılavuz kelimeler operasyona ve parametrelere uyarlanır.
- Her bir düğüm için sapmalar tespit edilir.
- Her bir düğüm için sapmaların nedenleri bulunur ve kaydedilir, listelenir.
- Her bir neden ile ilgili bağlantılı sonuçlar kaydedilir, listelenir.
- Sonuçlara veya nedenlere bağlı kontrol ve güvenlik tedbirleri belirlenir.
- Uygulanabilir öneriler ve eylemler listelenir.

Analizin karakteristik elemanları

Amaç: Analiz edilecek tesisatın/prosesin her parçası için yapılır. Amaç, belirlenen parçanın nasıl çalışmasının beklendiğini ifade eder.

Sapma: Tehlikeli durumlara neden olabilecek planlanan işlev şekillerinden sapmaların araştırılmasıdır.

Kılavuz kelime: Kontrol listesindeki kılavuz kelimeler, değişik sapma tiplerini ortaya çıkarmak için kullanılan kelimelerdir.

Temel rehber kelimeler

- Hiç
- Az
- Çok
- Den başka
- Başka
- Ters
- Hem de
- Parçası

Operasyonlar için zaman uyumlu rehber kelimeler

- Daha erken (planlanandan erken)
- Daha geç (planlanandan daha geç)
- Önce (planlanandan önce)
- Sonra (planlanandan sonra)
- Esnasında (meydana geldiği sırada)

Operasyonlar

- Doldurma, transfer, ayırma, boşaltma, kurutma, havalandırma, bakım, başlama, kapanış.

Rehber Kelime +Parametre = SAPMA

Örnek sapmalar

- Hiç - Akış yok, basınç yok
- Fazla -Yüksek sıcaklık, yüksek basınç

- Az (düşük) - Düşük sıcaklık, az akış, düşük basınç
- Parçası -Üründe kompozisyonunda değişiklik, reaksiyonda değişiklik
- Hem de -Katı parçalar gibi, sistemde istenmeyen, olması gerekenden daha fazla ürün olabilir.
- Ters -Ters akış, ters reaksiyon

HAZOP İngilizce “HAZard ve OPERability Analysis” teriminden kısaltılarak oluşturulmuştur. Tehlike ve işletilebilirlik (HAZOP) risk analizi bir prosesin işletme şartlarını ve bu şartlardan oluşabilecek sapmalara odaklanan bir analiz yöntemidir. HAZOP analizinde prosesteki sapmalardan kaynaklanabilecek tehlikeleri ortaya çıkarmak için kılavuz/rehber kelimeler ve proses parametreleri kullanılır. HAZOP analizi beyin fırtınası dâhilinde farklı disiplinlerden oluşan uzmanların katılımıyla oluşan bir takım tarafından gerçekleştirilir [21]. HAZOP analizinin bazı ana bileşenleri şunlardır:

- HAZOP analizinin uygulanabileceği bir proses
- Farklı meslek disiplinlerinden oluşan bir ekip
- Deneyimli ekip lideri
- Analizi gerçekleştirmek için belirlenen alt bölümler (node) ve kılavuz kelimeler.

Risk analiz metodolojilerinden HAZOP, tasarım yapılan veya işletimde olan bir prosese uygulanabilmektedir. HAZOP’u uygulamadan önce aşağıdaki basamakları yerine getirmek faydalı olacaktır.

- HAZOP çalışmasının uygulanacağı prosesin, bölümün seçilmesi (düğüm seçimi),
- Boru ve enstrümantasyon (P&ID) diyagramlarının incelenmesi,
- Proses akış diyagramlarının incelenmesi,
- Kullanılan proses ve ekipmanlar hakkında veri toplama

Sonraki HAZOP uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

- Tehlikeli kimyasalların belirlenmesi ve değerlendirilmesi
- Güvenlik bilgi formlarının (SDS) incelenmesi,
- Proses kontrol parametrelerinin incelenmesi (sıcaklık, basınç, akış hızı vb.)
- Kimyasallara maruz kalma süresi, yangın, parlama, patlama tehlikelerinin belirlenmesi

- HAZOP'un yapılma gerekçelerinin oluşturulması

Tehlikelerin belirlenmesi için çalışma alanı ve bölümleri proses parametreleri rehber kelimeler ile incelenir. Prosesin her bir bölümü bir düğüm olarak belirlenir. Kapalı (batch) sistem proseslerde tüm besleme ve sistemden çıkışlar ayrı bir düğüm olarak belirlenerek rehber kelimeler üzerinden proses parametrelerinin olası sapmaları tespit edilir. Bu metot karmaşık ve zaman alıcı bir çalışmadır. Diğer bir metot tanka giren ve çıkan hatlar tankla birlikte tek bir düğüm olarak kabul edilir. İşlevi aynı olan hatlar tek bir düğüm olarak kabul edilir. Söz konusu metotta kaçırılmaması gereken nokta, düğüm genişletilirken prosesin herhangi bir bölümü ihmal edilmemesi gerektiğidir. HAZOP ekiplerinin her iki metodu ayrı ayrı uygulaması ile ortaya çıkan sonuçlar arasında önemli bir fark bulunmamaktadır [24]. HAZOP analizinde sistemde seçilen bir bölge, kılavuz kelimenin uygulanması ile proses parametrelerinden sapmalar ortaya çıkarılır. Bu sapmaları ortadan kaldırmak için alınacak önlemler belirlenir [26].

HAZOP, ilk kez, kimyasal süreçlerin yer aldığı işletmelerde proses güvenliğini değerlendirmek için İngiltere Kimyasal Endüstri Enstitüsü (Institute of Chemical Industry, ICI) tarafından 1970 yılında risk analizi metodu olarak geliştirilmiştir. 1977 yılında Kimyasal Endüstrileri Birliği (Chemical Industries Association, CIA) tarafından HAZOP uygulama rehberi oluşturulmuştur [20]. Lawley, olefin dimerizasyonu için hazırladığı HAZOP analizi yayınlanan ilk bilimsel makale özelliğini taşımaktadır [30]. Knowlton, HAZOP çalışmalarını bir kitapta toplayan ilk yazardır. Proses sapmalarının tespit edilmesine çok sayıda katkıları olmuştur [28]. Nolan, deneyimlerini HAZOP ve What-If metotlarını karşılaştırarak çalışmalar yapmıştır. Bu çalışma halen petrokimya tesisleri ve kimyasal proseslerin bulunduğu işletmeler için rehber niteliği taşımaya devam etmektedir [33]. Lees, ise proses sapmalarının ortaya çıkarılması ve bunlara yönelik önlem alınması konusunda çalışmalar yapmıştır [31]. Kletz, proses güvenliği ve HAZOP analizinin teknik gelişimine katkıda bulunmuştur [27]. 2000 yılında ise Avrupa Proses Güvenliği Merkezi (European Process Safety Centre, EPSC) daha önce kullanılan yöntemden farklı olarak bir teknik oluşturarak, yeni bir HAZOP analizi oluşturmuştur [22]. BS IEC 61882:2001 standardı ile Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission, IEC) HAZOP çalışmalarında kullanılacak gereklilikleri ortaya koymuştur [25].

3.4.2. Hazop analizinin teorisi

HAZOP analizi mühendislik, kimya, iş güvenliği ve bakım gibi farklı bölümlerden deneyimli çalışanlardan oluşan bir ekiple proses veya işletme şartlarından sapmaların incelemesidir. HAZOP analizi, farklı disiplinlerde çalışan uzmanların beyin fırtınası yapıp olası sapmaların ve doğuracağı sonuçların belirlenip, gerekli önlemlerin alınması için aksiyon oluşturma esasına dayanmaktadır. Pratikte prosese yönelik tasarım parametrelerinin sapmalarının sonucu çoğu zaman nettir. Bir pompa arızasının devir-daim kaybına neden olacağı açıktır. Ancak bu tekniğin avantajı farklı sapmaların da olabileceği konusunda analiz ekibine yol gösterici olmasıdır. Kısaca, potansiyel hatalar ve bunların neden olacağı sonuçlar tanımlanır.

HAZOP çalışmasının amacı potansiyel risk senaryolarını ortaya koymak ve bu senaryoların gerçekleşmesini engellemek için alınacak önlemleri belirlemektir. Senaryoya bağlı bir sapmanın çözümü hem HAZOP hem de aksiyon planları kayıtları içerisinde olmalıdır. Kılavuz/rehber kelimeleri üzerinden proses değişkenleri sapmalarının belirlenmesi HAZOP çalışmalarının temelidir [27]. “Kılavuz Kelime + Proses Parametresi = Sapma” şeklinde metot özetlenebilir. Reaksiyona girecek kimyasalların beslendiği bir reaktörde ekzotermik reaksiyonun olması ve kılavuz/rehber kelimenin “fazla” ve proses parametresi sisteme beslenen kimyasallardan biri olduğu bir durumda sapma aşırı sıcaklık artışı (thermal runaway) olacaktır. Tüm düğüm noktaları için olası sonuçlar belirlenerek olası sapmalar belirlenmelidir. Her kılavuz kelime ile proses parametresinin bir araya getirilmesinin anlamlı olmayabilir. Proses parametresi “basınç” ile kılavuz kelimesi olarak “hiç” anlamlı bir sapmaya işaret etmeyecektir.

Kılavuz/rehber kelimeleri potansiyel tasarım sapmalarını belirlemek için kullanılır. Kılavuz kelimeleri farklı endüstrilerde farklı şekillerde yorumlanabilir. HAZOP analizindeki kılavuz kelimeleri kısadır. Bir şirket network ağında “veri akışı” parametresi için, “hiç” kılavuz kelimesi, veri geçişi olmadığına işaret etmektedir.

Endüstriyel bir işletmede, kimyasal maddeler için yıllık belli bir hacimde üretilmesi, belli miktarda iş makinası üretilmesi veya yıllık belirlenmiş düzeyde hurda madde geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Anılan örnekler, birincil tasarım amaçlarıdır, ancak ikinci bir amaçta söz konusudur. Bu ikincil amaç ise sistemin en güvenli şekilde yürütülmesidir.

Sistemlerin alt süreçleri de analize dahil edilmelidir. Bir nükleer santralde soğutma ünitesi ve bunu sağlayan pompa ikincil proses amaçlarındandır ancak olası bir arıza sistem güvenliğini tehlikeye sokacağı için analize dahil edilmelidir. Tasarım sapması ile bu sapmanın neden olacağı etki kavram olarak birbirinden farklıdır. Tasarım sapması mevcut durumdan sapmayı, etki ise arıza durumunu anlatır. Proses parametresi olarak “devir - daim” rehber kelimesi olarak “hiç” alındığında sapma, devir-daimin yapılamadığı, pompanın arızalanmış olduğunun anlaşılması olacaktır. HAZOP analizi sonucunda prosesin bir düğüm noktasının kritik olabileceği ve daha fazla araştırılması gerekebilecektir. Böyle bir durumda FMEA ile HAZOP birlikte proses sapmalarını belirlemek için analiz yöntemi olarak kullanılabilir.

Kimya sanayinde proses güvenliğinin amacı olası sapma senaryoları üzerinden güvenlik bariyerlerinin etkinliğinin kontrol edilmesi ve başka önlem alınması gerekiyorsa aksiyon planı oluşturmaktır. Proseslerin tasarımı ve/veya işletme sırasında kullanılabilir, kullanımı ve uygulanmasının fazla uzmanlık gerektirmemesi HAZOP’un yaygın kullanılmasını sağlamaktadır. Kimya sektöründe proses değerlerinden sapma ve tehlike tanımlama metodu olarak kullanılmaktadır. HAZOP ile ilgili örnek çalışma Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Örnek HAZOP çalışması

REHBER KELİME	SAPMA	SAPMA NEDENİ	SAPMA SONUCU	ÖNERİLER
Fazla	A’nın reaktöre transferi sırasında akış hızında artış	Uygun olmayan pompa çalışması	Ürün, A olarak fazlalaşır	İşletme prosedürlerinin gözden geçirilmesi
Az	A’nın reaktöre transferi Sırasında akış hızında Azalma	Hatta kısmi tıkanıklık, sızıntı, pompanın yetersiz çalışması	Patlama	A’nın akış hızını ölçecek ve ayrıca kontrol altına alan alarm sistemlerinin devreye konulması
Hem de	A’nın olduğu Tankta A’dan başka bir madde olması	Tank kirliliği	Reaktöre başkaca ürün Bulaşması istenmeyen madde	Dolumdan önce analiz Yapılması

Çizelge 3.2. (devam) Örnek HAZOP Çalışması

REHBER KELİME	SAPMA	SAPMA NEDENİ	SAPMA SONUCU	ÖNERİLER
Ters	A'nın ters yönde akışı	Reaktör basıncının pompa basıncından yüksek olması	Ürünün elde edilememesi	Ürünün geri dönüşünü engelleyen bir valf hatta konulmalı
Den başka	Reaktöre ulaşan madde yok	Hat çatlağı	Çevre kirliliği / Patlama	Hat dizaynı kontrol, patlamayı önleyecek akış kontrolü sağlayacak sistemler geliştirilmesi

3.5. Hata Türü ve Etkileri Analizi, Failure Mode and Effective Analysis (FMEA)

FMEA, bir ürün veya prosesle ilgili önemli ve kritik özellikleri tanımlamak için kullanılır. Burada önemli özellik, ürün veya prosesin kalite özellikleridir. Bunlar FMEA ekibi tarafından veya müşteri tarafından belirlenir. Kriter özellikler ise, yasalara uygunluğu veya güvenilirliğe uygunluğu etkileyebilecek özelliklerdir. Bunlar tasarım veya prosedürlerde mutlaka tanınmış olmalıdır.

Genel anlamda FMEA, bir ürün, işlem veya hizmette meydana gelebilecek tüm hasar tiplerini sistematik analizine dayanarak, bu hasar ve hataları önleme faaliyetlerini içeren bir yöntem olarak ifade edilebilir.

Piyasalar hatalı ürünlerle doludur. Firmalar, hatalı ürünleri geri alarak büyük maliyetlerle karşılaşmışlar ve ancak bu şekilde müşteri şikâyetlerini azaltmayı başarmışlardır. Güvenilirlik, ürün kalitesi ve müşteri memnuniyeti açısından önemli bir parametredir. Müşteriler, ürünlerin sorunsuz ve uzun süre kendilerine hizmet etmesini beklemektedir. Ürünler teknolojik açıdan gelişmiş hale geldikçe, konvansiyonel tasarım metotlarıyla düşük hata oranlarını elde edebilmesi güçleşmektedir. Ürünü tasarlama ve üretim aşamasında hata türleri belirlenebilirse son kullanıcıya ulaşma olasılığı azalacaktır. Hata türü ve etkileri analizi, son kullanıcıya hata payı düşük ürün ulaştırmak için önemli bir adımdır.

FMEA ilk olarak 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından, Ay'a ilk ayak basılan APOLLO uzay mekiği sisteminde uygulanmıştır. 1965-1970 yılları arasında ABD silahlı kuvvetlerinde MIL-STD 1629 (Askeri Standart) olarak problemleri analiz etmede

uygulanmıştır. 1970’li yıllardan bu yana üretim maliyetini azaltmak ve son kullanıcının memnuniyetini sağlamak açısından otomotiv sektöründe kullanılmaktadır.

1980 yılında FORD tarafından otomotiv sektöründe uygulamaya geçilmiş, metodoloji her çalışanın anlayabileceği düzeyde basitleştirilmiştir. 1985 yılında FIAT şirketinde de uygulanmaya başlanmıştır.

1988 yılında Uluslararası Standart Örgütü çalışma yönetimi üzerine ISO 9000 serisini ortaya çıkarmıştır. ISO 9000 standardının gereklilikleri kalite yönetim sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. ISO 9000’in otomotiv üretimindeki eşleniği QS 9000 ile üreticiler hata türleri ve etkileri analizini de içeren İleri Ürün Kalite Planlaması (Advanced Product Quality Planning - APQP) uygulamaya başlamışlardır.

Şubat 1993’te Otomotiv Endüstrisi Faaliyet Grubu (AIAG) ve Amerikan Kalite Kontrol Topluluğu (ASQC) otomotiv sektörüne özgü hata türü ve etki analizi standardı oluşturmuştur. Bu standart FMEA yapısı QS 9000 standardının geliştirilmesinde iş birliği yapan Chrysler, Ford ve General Motors şirketleri tarafından kabul edilmiştir ve desteklenmektedir. 1994 yılında Society of Automotive Engineers (SAE), FMEA uygulamaları için SAEJ1739 standardını yayımlamıştır. Hata türü ve etki analizi imalat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir tekniktir.

Hata türleri ve etkileri analizi, birçok endüstride; hataları belirlemek, hataların etkilerini değerlendirmek, sonuçların şiddetine göre hataları önceliklendirmek için kullanılan bir analiz tekniğidir. FMEA kullanma nedenlerini şu şekilde açıklamıştır.

- Spesifik kazaları belirlemek
- Kantitatif risk analizi için veri elde etmek
- Dizayn ve üretim prosedürleri aşamasında tehlikeleri değerlendirmek
- İstatistik temelli proses güvenliğini geliştirmek
- Kompleks proseslerde önemli riskleri değerlendirmek
- Üretim başlamadan olası proses yetersizliklerini belirlemek
- Proses tehlikelerini sistematik olarak dokümanete etmek
- Alternatif güvenlik önlemlerini geliştirmek

FMEA çalışmaları sonucunda;

- Hataları önleyecek programlara
- Hata giderilinceye kadar sürecin durmasına veya devam etmesine
- Ürün veya proseste hangi elemanların yenilenmesi gerektiğine
- Tasarım ve gerekliliklerde ne gibi değişikliklerin yapılacağına
- Gerekli bakım süresi ve bakım ekipmanlarına
- Gerekli görülen testlere
- Bakım, operasyon, kontrol talimatlarında yapılacak değişikliklere karar verilir.

FMEA için öncelikle;

- Proses için akış şeması hazırlanır
- Her bir proses ekipmanını listele
- Oluşabilecek hatalar için beyin fırtınası yap
- Her bir hatanın etkisini tahmin et
- Hataların şiddetini tahmin et
- Olasılığı tahmin et
- Fark edilebilirliği tahmin et
- Skoru hesapla (olasılık*şiddet*fark edilebilirlik)
- Aksiyonu belirle
- Aksiyon sonrası skoru hesapla

FMEA çalışmaları, ürün tasarımı, proses tasarımı, üretim, kalite kontrol ve satış birimlerinin elemanlarından oluşan FMEA türüne göre uygun bir takım içerisinde yürütülmelidir. Takım, çalışmalarını yeni teknikleri çok iyi bilen ve konuya hâkim olan bir FMEA lideri önderliğinde sürdürmeli; beyin fırtınası, istatistik analiz gibi yöntemleri kullanmalıdır.

Takım lideri FMEA prosesini koordine etmekle sorumludur. Ekibin çalışmasını düzenler, toplantı gündemini belirler, toplantının yönlendirilmesini yapar, toplantı notlarının alınması ve sonuçta toplantı raporunun hazırlanmasını sağlar, çalışmaların devamlılığı için gerekli önlemleri alır.

Uygulamada gerekli değişikliklerin yapılabileceği ön dizayn, gelecekte olabilecek hataları önlemek için dizayn aşamasında proses yapılmadan önce kullanılır. Sürekli güncelleşmenin mümkün olduğu devam eden ve gözden geçirilen prosesler iyi FMEA örneğidir. Daha önce hataları belirlenmiş mekanik ekipmanlar ve tasarımı yapılmış elektronik, mekanik, elektrikli ekipmanlar için analiz iyi bir uygulama alanıdır. Yöntem ekipman merkezlidir. İnsan faktörü gibi konular genel olarak analiz içinde yer almaz.

Hata etkisi, hata türüyle bağlantılıdır. Etki, her bir hatanın neden olduğu sistem fonksiyonundaki değişikliği gösterir. Hata etkisi ürünle ilgili ise, hatanın ortaya çıkmasının müşteri üzerindeki sonuçları değerlendirilir. Uygulamada genellikle müşteri, son müşteri olarak alınır. Hata etkisi, “Hata türü ortaya çıkarsa ne tür sonuçlara yol açar” sorusu sorulur.

Hataların etkisi: Gerçekleşmesi olası hatalar üzerinde çalışılarak, hata veya hataların üretim prosesi, servis veya diğer parçalara yansımaları ve tümünün performansı üzerindeki etkisi belirlenir.

Hataların kritikliği (Şiddeti): Hatanın ne kadar önemli olduğunun değeridir.

Hata Olasılığı : Her bir hata türünün oluşma olasılık değeridir.

RÖS hesabı (Risk Öncelik Sayısı): Risk Öncelik Sayısı (RÖS), kritiklik sayısı göstergesidir. RÖS; her bir hata türü veya nedeni için ortaya çıkma olasılığı, hatanın şiddeti ve hatanın saptanması faktörleri esas alınarak belirlenen sayısal değerdir.

$$RÖS = O \text{ (olasılık)} \times \text{Ş}(\text{şiddet}) \times F \text{ (fark edilebilirlik)}$$

Çizelge 3.3.’de Proses ve tasarım FMEA fonksiyonel seviyeler, Çizelge3.4.’de Olasılık Skalası, Çizelge 3.5.’de Fark edebilirlik skalaları verilmiştir. Çizelge 3.6.’da örnek FMEA uygulaması verilmiştir.

Çizelge 3.3. Proses ve tasarım FMEA fonksiyonel seviyeler

Etki	Derece	Kriter
Yok	1	Operatör tarafından fark edilir. Önemsiz.
Çok hafif	2	Proses akışına etkisi yok
Hafif	3	Kullanıcı etkiyi fark edebilir, fakat etki çok hafiftir
Küçük	4	Üretim akışı etkilenebilir
Orta	5	Etki, üretim boyunca fark edilebilir
Büyük	6	Proses akışında bozulma
Çok büyük	7	Proseste aksama
Önemli derecede büyük	8	Proses aksar, finansman etkilenir
Son derece büyük	9	Hata, büyük bir ihtimalle tehlikeli durum yaratacaktır
Maksimum	10	Personelin zarar görmesi, yaralanması söz konusudur

Çizelge 3.4. Olasılık skalası

Derece	Kriter	Meydana gelme olasılığı
1	Hatanın meydana gelmesi son derece olanaksız	Son derece imkânsız
2	Hatanın meydana gelmesi uzak olasılık	İmkânsıza yakın
3	Hatanın meydana gelmesi çok düşük olasılık	Çok düşük
4	Hatanın meydana gelmesi düşük olasılık (birkaç hata)	Düşük
5	Hatanın meydana gelmesi olası	Olası
6	Hatanın meydana gelmesi orta derecede olasılık	Orta derecede
7	Hatanın meydana gelmesi yükseğe yakın olasılık	Yükseğe yakın
8	Hatanın meydana gelmesi yüksek olasılık (çok sayıda hata)	Yüksek olasılık
9	Hatanın meydana gelmesi çok yüksek olasılık	Çok yüksek olasılık
10	Hatanın meydana gelmesi son derece kesin	Son derece kesin

Çizelge 3.5. Fark edilebilirlik

Fark edilebilirlik	Derece	Kriter
Çok Yüksek	1	Kontrollerin hata türünü fark etmesi çok yüksektir.
	2	Kontrollerin hata türünü fark etmesi kolaydır, tasarım aşamasında kolaylıkla düzeltilebilir.
Yüksek	3	Kontrollerin yapılmasıyla hata türünü kolayca fark etmek mümkündür.
	4	Hata türünün fark edilmesi mümkündür.
Orta	5	Hata türünün fark edilmesi orta derecededir.
	6	Hatanın fark edilmesi orta dereceye yakındır.
	7	Hata türünün fark edilmesi düşüktür.
Düşük	8	Kontrollerin hata türünü fark etmesi oldukça düşük bir olasılıktır.
	9	Kontrollerin hata türünü fark etmesi çok zordur.
Çok Düşük	10	Kontrollerin hata türünü fark etmesi hemen hemen olanaksızdır.

Çizelge 3.6. Örnek FMEA uygulaması

İşlem	Hata	Hata Kaynağı	Hata etkisi	Mevcut Önlem	Şiddet	Olasılık	Fark edilebilirlik	RÖS Skoru	İlave Önlem
A'nın reaktöre girişi	A'nın reaktöre transferi sırasında akış hızında artış	Pompa Arızası	Ürün A olarak artar	Pompalar periyodik kontrol ediliyor	3	5	2	30	-
	A'nın reaktöre transferi Sırasında akış hızında Azalma	Hatta kısmi tıkanıklık , sızıntı, pompanın yetersiz çalışması	Patlama	Hattın bakımı yapılıyor akış hızları sistemden takip ediliyor	8	4	3	96	Bakım prosedürü gözden geçirilir
	A'nın olduğu Tankta A'dan başka bir madde olması	Tank kirliliği	Reaktöre başkaca ürün bulaşığı	Her Reaksiyon öncesi temizlik yapılıyor	5	2	5	50	Temizlik ajanları gözden geçirilir
	A'nın ters yönde akışı	Hat çatlağı	Çevre kirliliği / Patlama	Hatların periyodik bakımı yapılıyor	8	2	5	80	Hat basıncını sürekli kontrol eden sistem kurulmalı

$R\ddot{O}S < 40$ ise önlem almaya gerek yoktur.

$40 < R\ddot{O}S < 100$ ise önlem alınmasında fayda vardır.

$R\ddot{O}S > 100$ ise mutlaka önlem alınması gerekir

Tasarım FMEA ürünün tasarım sırasında olası hasar ve hata tiplerini, etkilerini ve nedenlerini analiz eden ve bunların meydana gelmemesi için önlemler alan bir yöntemdir.

Yöntemin amaçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Ürünün çalışmasında ortaya çıkabilecek olası hasar ve hataların tiplerini, tasarım geliştirme kademesinde belirlemek
- Minimum harcama ile tasarım kalitesini gerçekleştirme

- Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplayarak hataları sıralamak ve buna göre tasarım, kontrol iyileştirme ve geliştirme çalışmalarında öncelikli hasar ve hata tiplerini belirlemek
- Tasarımın zayıf noktalarını bulmak ve bunları kuvvetlendirmek, hatalar için çözümler üretmek
- Önemli ve kritik özelliklerin belirlenmesine yardım etmek
- İlerdeki tasarım geliştirme, kontrol gibi faaliyetler için referans bilgiler oluşturmak

Proses FMEA; üretim veya montaj eksikliklerinden doğabilecek hata türlerini tespit etmek, etkilerini ve nedenlerini belirtmek, ortadan kaldırmak ve meydana gelmemeleri için düzeltici önlemler almak için yapılır.

Prosesin belirlenmesi aşamasında, önce proses aşamaları ve fonksiyonları belirlenerek, her bir parçanın fonksiyonunun ve bu fonksiyonu yerine getirecek özelliklerin tanımlanmasına çalışılır. Bu amaçla hazırlanan proses iş akış diyagramı çalışmayı yönlendirir. Hata türlerinin tespitinde birtakım olasılıklardan yararlanılmaya çalışılır. Müşteri memnuniyeti esastır. FMEA takımı şu sorulara yanıt arar:

- Proses/parça hangi durumda gerekleri yerine getiremez?
- Bir müşteri (son kullanıcı, bir sonraki operasyon ya da servis) hangi durumda ürünü reddetmeyi düşünebilir?

Proses FMEA sisteminde hatalar, genelde parçaların tolerans veya kriterlere uymamalarından ileri gelir. Örneğin, bir parçanın boyutundaki farklılık hata olarak tanımlanır. Bir basınç göstergesinin basıncı yüksek veya düşük göstermesi, basınç göstergesinin hata türüdür.

Proses/parça hangi durumda gerekleri yerine getiremez?

Bir müşteri (son kullanıcı, bir sonraki operasyon ya da servis) hangi durumda ürünü reddetmeyi düşünebilir?

4. MATERYAL VE METOD

Araştırma sürecinde kimyasal yüzey işlemler bölümünde anodizasyon, aşındırma, maskeleme ve pasivasyon proseslerindeki riskler HAZOP ve FMEA risk değerlendirme metodolojileri ile incelenmiştir. Özellikle sağlığa zararlı Cr^{+6} bileşikleri, inorganik asitler, kostik buharlarının çevreye yayılmasıyla oluşabilecek sağlık sorunlarını ve maskeleme sırasında oluşacak patlayıcı ortamı kabul edilebilir seviyelere indirilmek için mühendislik önlemleri alınması için önerilerde bulunulmuştur.

Çalışma sırasında tehlikeleri ve olası hataları belirlemek için her iki yöntemden de faydalanılmıştır. HAZOP ve FMEA'nın prodesteki hataları ve olası sapmaları belirlemek için kullanılmıştır. Tehlike tanımlama aşamasında HAZOP, tasarım amacından sapmaları oluşturmak için belirlenmiş rehber kelimeleri ve parametreleri kullanmaya dayalı bir yöntemdir. FMEA proses elemanlarının hatalarına odaklanmaktadır. HAZOP ve FMEA'nın tasarım ve üretim sırasındaki tehlikeleri belirleme özellikleri göz önüne alındığında iki yöntem de kullanılarak verimli bir risk değerlendirmesi yapılmaya çalışılmıştır.

Yapılan literatür araştırmasında FMEA ve HAZOP birlikte kullanıldığı prosesler ağırlıklı olarak enerji ve petro kimya tesisleridir. Yangın, patlama sonrası yaşanacak endüstriyel kazaların önlenmesinde proses güvenliğinin ve yapılan risk değerlendirmelerin önemi her geçen gün artmaktadır.

4.1. HAZOP ile Risk Değerlendirmesi

Çalışma, Resim 4.1'de görüldüğü gibi örnek bir kimyasal işlem tanklarında gerçekleştirilmiştir. HAZOP süreci;

- HAZOP yapılacak bölgenin sınırlandırılması ve içeriği belirlendiği tanımlama,
- Bilgi toplama ve planlama aşamalarının yer aldığı hazırlık,
- Prodesteki sapmaların incelemek için sistem parametrelerinin, rehber kelimelerin belirlendiği araştırma,
- Sonuçların kaydedildiği ve rapor haline getirildiği raporlama aşamalarından oluşmaktadır.

Proses çalışanları, bakım personeli, iş yeri hekimi süreç konusunda bilgi sahibi çalışanların görüşleri alınarak risk değerlendirme çalışmaları yürütülmüştür. HAZOP ile olası hatalar rehber kelimeler kullanılarak nitel olarak saptanmış ve prosesteki olası sapmalar üzerinden alınması gereken önlemler belirlenmiştir. Kimyasal/metalürjik işlem binasında bulunan prosesin borulama ve enstrümantasyon diyagramlarına (P&ID) ulaşılmıştır.

Diyagram üzerinde Şekil 4.1. görüldüğü gibi tankları besleyen boru ve vanalar bulunmaktadır. Aşındırma, anodizasyon, pasivasyon ve maskeleme proses tanklarında kesikli sistemde, sıcaklık, elektrik akımı, kimyasal ekleme, atık buharın yıkanması gibi parametreler incelenerek her bir parametre için olası sapmalar ve sonuçları değerlendirilmiştir.

4.2. FMEA ile Risk Değerlendirmesi

Proses FMEA ile mevcut önlemler hesaba katılarak, aşındırma, anodizasyon, pasivasyon ve maskeleme proses tanklarında sıcaklık, akım şiddeti, kimyasal ekleme, emiş hızı, buhar yıkama proses parametrelerinde hataların etkisi nicel veri olarak hesaplanmıştır. Olasılık, etki, fark edilebilirlik kriterlerinin bileşkesi ile oluşan risk skoru ile riskin büyüklüğüne karar verilmiş, kabul edilebilir seviyeye indirilebilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

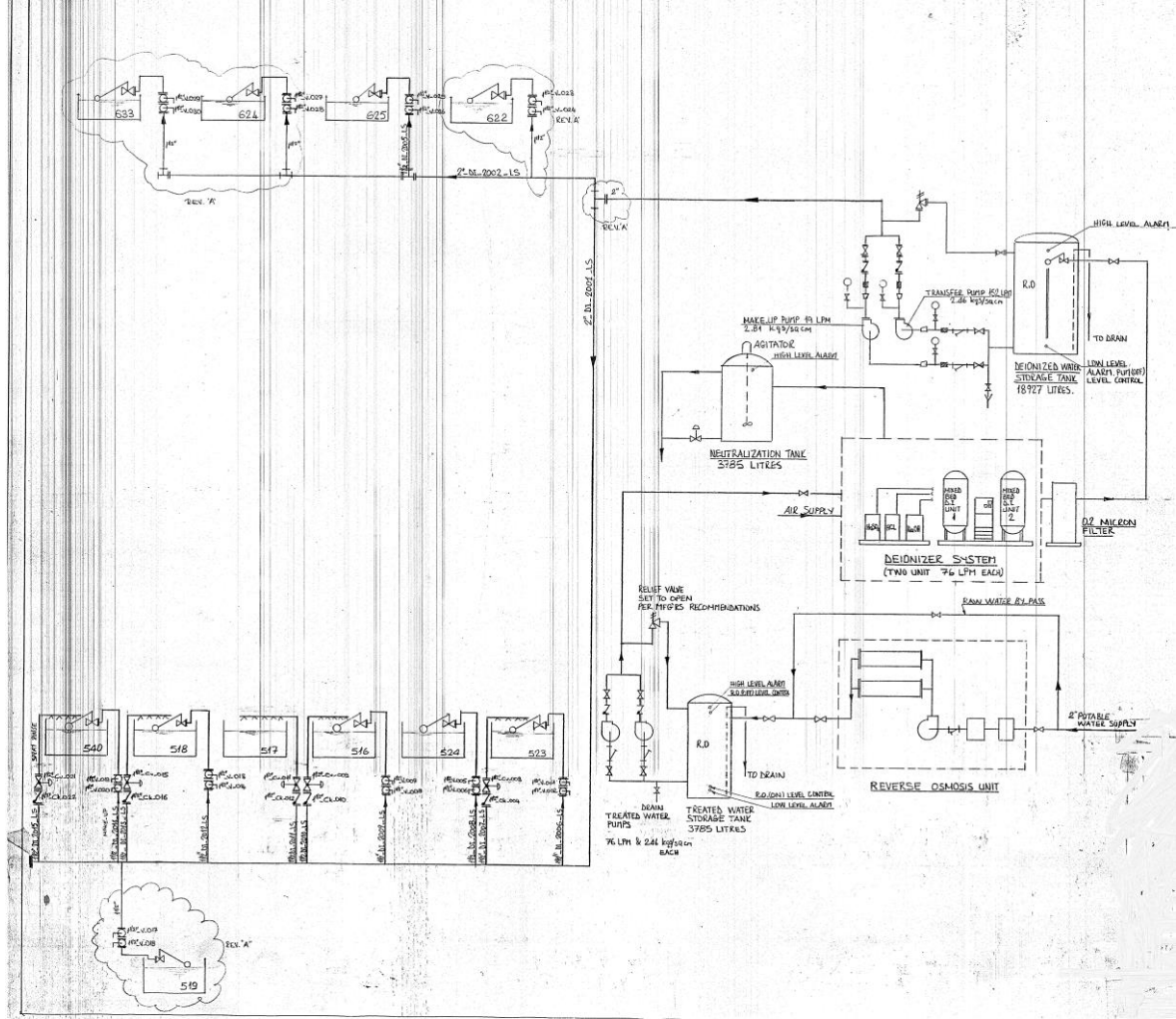
4.3. Çalışma Ortamı Gaz-Buhar Derişim Ölçümleri

Anodizasyon, pasivasyon, maskeleme ve aşındırma hatlarında ortamda bulunan gaz buhar derişimlerine ulaşabilmek için bir dizi ölçüm yapılmıştır. Veriler ortamda yapılan derişim ölçümleri ile desteklenmiştir. Sağlığa zararlı kimyasalların çalışma ortamındaki miktarları belirlenmiştir. Veriler sadece yasal mevzuatımız ile değil OSHA ve NIOSH gibi kurumların standart parametreleri ile de karşılaştırılmıştır.

Ortam havasında ve kişisel maruziyet VOC (volatile organic compound/uçucu organik bileşikler) ölçümleri TS ISO 16200 “İşyeri Hava Kalitesinin Örnekleme ve Ölçülmesi” standardına göre yapılmıştır. Ortamda bulunan uçucu organik bileşikler aktif karbon kullanılarak örneklenmiş, örneklerin analizi gaz kromatografi cihazında yapılmıştır. Gaz halindeki örnekler aktif karbon ile tutulup sonra uygun çözücü ile çözüldükten sonra gaz kromatografi cihazında analiz edilmiştir.

Ölçüm sırasında Tecora DDS ve Eco Instrument DDS marka örneklem cihazı ile Gaz Kromatografi cihazı kullanılmıştır.

Bunun yanı sıra gaz koromotografi ölçüm elemanı olarak kılcal bir kolon (Agilent DB-WRX),MS dedektör (Agilent 5975C), otosampler (Agilent 7683B), taşıyıcı gaz (He) kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Anodize ve pasivasyon prosesi P&ID



Resim 4.1. Örnek kimyasal işlem prosesi

5. SONUÇLAR

Çalışmada havacılık sektöründe faaliyet gösteren bir firmada kimyasal işlemler ünitesinde HAZOP ve FMEA metodolojileri kullanılarak risk değerlendirme yapılmıştır. Kimyasal süreçlerde insan ve çevre sağlığına daha az zararlı kimyasallarla prosesler gerçekleştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Anodizasyon işleminde; HAZOP analizi ile voltaj ve sıcaklık kritik parametre olarak mevcut riskler incelenmiştir.

Kimyasal aşındırma ve pasivasyon işlemlerinde; sıcaklık ve emiş hızı kritik parametre alınarak HAZOP ve FMEA analizi yapılmıştır.

Kimyasal süreçlerde;

- Anodizasyon
- Kimyasal aşındırma öncesi maskeleme
- Kimyasal aşındırma
- Pasivasyon

Kullanılan kimyasalların zararlı etkileri ve maskeleme sırasında oluşabilecek patlayıcı ortam ele alınmış, mevcut önlemin yeterli gelmediği durumlar tespit edilmiştir.

Kükava, sıvı hidrojen yakıt istasyonlarında FMEA ve HAZOP birlikte uygulayarak sıvı hidrojenin yaratabileceği patlama etkisinin oluşmaması için tehlikeli bölgeleri belirleyip, oluşabilecek senaryoları üzerinden nicel ve nitel göstergelerle riskin büyüklüğünü hesaplayarak alınan önlemlerle riski nasıl düşürdüklerini göstermişlerdir. Sıvı hidrojen tankının tasarımında çift cidarlı boru, dispenser ve depolama tanklı gerekmektedir. Riskin büyüklüğünü ve olası tasarım hatalarını belirlemek için oluşturulan senaryolar çift cidarlı hatta ve depolama tankında iç cidarda ve dış cidarda oluşacak kaçaqlar üzerinden oluşturulmuştur [35]. Her iki senaryo için yangın duvarı, emniyet valfi, depreme karşı korumalı tank, basınç transmitteri (sıcaklık, basınç vb. proses değerlerinin değişimini anlamak için ölçülen proses değerlerini elektriksel veriye çeviren dönüştürücü) ile kontrol, korozyon vb. metale zarar verecek etkilere karşı katodik koruma, dispenserler (akışkanın dağıtıldığı ekipman) için hortumdan kopma anında kaçağı önleyen kaplin (Kaplin bir

hareketi diğer bir ekipmana iletmek için kullanılan makina parçası) ve tanklarda havalandırma hattının atık hattı ile birleştirilmesini incelenmişlerdir.

Herrera, biofarmatik endüstrisinde HAZOP ve FMEA birlikte uygulayarak benzer tehlikeler belirlemişlerdir. Beyin fırtınası tekniği ile bir ekip tarafından üretim prosesinde oluşabilecek sapmalar ve olası sonuçları ortaya konulmuştur. 19 düğüm noktası üzerinde yapılan çalışma ile çapraz ve kısmi bulaşmaları oluşturabilecek sapmalar belirlenmiştir. Akış hızı, basınç, sıcaklık, reaktör seviyesi, karıştırma, içerik ve saflık proses parametreleri kullanılarak rehber kelimeler ile olası sapmalar belirlenmiştir. Sapmaların oluşabileceği reaktör, toplama tankı ve boru hatlarında oluşabilecek sapmalar için basınç ve sıcaklık sensörleri kullanılması önerilmekte ve sistemin otomasyon ile takibi gerektiği belirtilmektedir [36].

Laul doğalgaz enerji sektöründe HAZOP, FMEA, Hata Ağacı, olay ağacı , what-if gibi risk değerlendirme metotlarını kullanarak enerji üretiminde yaşanabilecek sapmaları açıklamaya çalışmışlardır. Yarı kalitatif metot kullanarak yangın patlama, gaz kaçağı gibi olası sapmaları hem nitel hem de sayısal veri olarak ortaya koymuştur [37].

Kasai, elektrolitik hidrojen üretiminde prodesteki sapmaları HAZOP ve FMEA kullanarak saptamışlardır. Sapma sonucu oluşabilecek hidrojenin jet yangınında yangın alevini boyu referans veriler yardımıyla ampirik metot kullanılarak hesaplanmıştır. Sızıntı, basınç ve sıcaklık yükselmesi gibi proses parametreler kullanılarak olası kaza senaryoları oluşturulmuştur. Kaçak sonrası oluşacak basınçlı gazın yanarak oluşturduğu alev uzunluğu ve patlama basıncının olası etkileri hesaplanmıştır. HAZOP ile 16, FMEA ile 117 kaza senaryosu oluşturularak, sapmaların sonuçlarını azaltmak için yangın duvarı, kaçak için hidrojen sensörü ve yüksek basınç için emniyet valfi kullanılmıştır. Sistem basıncının 82MPa olduğu bir durumda 10 mm çaplı bir delikten dışarıya 36 m uzunluğunda bir alev oluşacağı hesaplanmıştır [38].

Casamirra, hidrojen üretimi yapılan araç yakıt ikmal istasyonlarında oluşabilecek riskler HAZOP, FMEA ve hata ağacı analizi (FTA) ile yapmışlardır. Sistemde üç farklı seviyede (152, 220, 460 bar) basınçlandırılan hidrojenin olası proses sapmaları üç farklı risk değerlendirme metodu ile hesaplanmıştır. Hidrojenin basınç ve akış hızı proses parametreleri kullanılarak rehber kelimelerle olası sapmalar, etkileri ve alınacak önlemler

HAZOP yöntemi ile belirlenmiştir. FMEA metoduyla olası sapmalar ekipmanların (valf, pompa vb.) olası arıza yüzdeleri kullanılarak zarar potansiyellerinin seviyeleri hesaplanmıştır. FTA başlangıç olay ile ekipmanlardaki olası arızalar ve hata yüzdeleri hesaplanarak meydana gelebilecek zarar durumunun olasılığı nicel olarak hesaplanmıştır [39]. Karşılaşılan en büyük risk hidrojenin gaz fazında çevreye yayılarak gaz bulutu patlamalarına neden olmasıdır. Olası kaçır durumunda sistemin sensörler yardımıyla gaz akışını keserek hidrojenin çevreye yayılımı engellenmiştir.

5.1. HAZOP Risk Değerlendirme Sonuçları

HAZOP ile yapılan risk değerlendirmesi Çizelge 5.1- 5.13 arasında anodizasyon, aşındırma, pasivasyon ve maskeleme tanklarında gerçekleştirilmiştir. Anodizasyon tankında elektriksel gerilim, akım gibi parametrelerin sapma göstermesinde hem ürün kalitesi hem de çalışan sağlığı etkileneceği için akımın kesildiğinde ya da voltajın yükseldiğinde sistemi kapatacak röle konulmalıdır.

Aynı proseste sıcaklığın proses şartlarında sapması sonucu buharlaşma artacağı için sıcaklığın sabitleneceği termostat sistemi ve scada (merkezi denetim ve veri toplama sistemi) ile kontrol edilerek çalışan hatası ortadan kaldırılmalıdır.

Proses tanklarına kimyasal eklenmesi çalışanlar tarafından yapılmaktadır. Çalışanların kimyasal buharı ile doğrudan temas etmemesi için kimyasal ekleme ve boşaltma otomasyon ile izlenmeli ve belirlenen miktarlarda otomatik olarak sensör kontrolü ile işlem gerçekleştirilmelidir.

Tank içindeki kimyasalların homojen bir şekilde karışmasını sağlamak için kullanılan havalı karıştırıcıların kontrolü olası bir kimyasal sıçramaya mahal vermemek için ayarlanabilir basınç kontrolü sağlayan transmitter (sıcaklık, basınç vb. proses değerlerinin değişimin anlamak için ölçülen proses değerlerini elektriksel veriye çeviren dönüştürücü) ve vana grubu kullanılmalıdır.

Maskeleme tankında toluen-ksilen karışımının patlayıcı ortam oluşmasını engellemek için mask tinerinin pompa salmastrasından kaçışını ve pompa çukurunda birikimini engellemek için sıvı seviye sensörü kullanılmalı, pompa bakımlarının periyodu sıklaştırılmalıdır. Bina

içine açılan tank yerine, yeni bir teknoloji olan, havacılık standardını karşılayan ve Avrupa’da havacılık firmalarında kullanılan, maskeleyi boyama prosesinde olduğu gibi ikili poliüretan (mask ve tineri) kimyasal ile karıştırarak metal yüzeyine püskürtülen, ex-proof ekipmanların kullanıldığı kabin sistemi oluşturulmalıdır. Bunun yanı sıra su esaslı maskantlar da kullanılabilir.

Tanklarda seyreltme ve durulama amaçlı kullanılan deionize su, tanklardan dışarı taşmasını engellemek için otomasyon sistemi ile takip edilmelidir.

Aşındırma hattındaki buharın çevreye verilemeden önce yıkandığı scrubber (gaz yıkama sistemi) sisteminde su beslemesinin buhar hattına geri kaçıp emiş sisteminin performansını etkilememesi için yıkama hattı her ay periyodik olarak temizlenmeli, yıkama ve tank hattı arasındaki mesafe kısaltılarak suyun geri kaçması engellenmelidir.

Pasivasyon hattında emiş sisteminin her tankta olması gerekmektedir. Tankların çevresinde bulunan emiş sistemi güçlendirilmeli, yıkama sisteminin temizlik ve bakım periyodu sıklaştırılmalıdır. Havalandırma sistemlerinin mekanik iyileştirilmesinin yanında tank üzerinde parça sepetinin emiş için girdiği hazneler bulunan operatörün dışarıdan yönettiği Resim 4.1’deki gibi proses ekipmanları kullanılmalıdır.

Anodizasyon prosesinde proses parametresi olarak voltaj gerilimi seçilmiştir. Karşılaşılabilecek en önemli risk çalışanın elektrik akımına kapılması sonucu hayatını kaybetmesidir. Bir diğer önemli risk parçanın yeterli gerilim olmadığı zaman parça yüzeyinde yeterince anodizasyon olmamasından kaynaklı kalite sorunlarıdır. Çizelge 5.1’de verildiği gibi kaçaklara karşı 30mA kaçak akım rölesi konulmalıdır. Kaçak akım rölesinin görevi elektrik kaçağı algıladığında devredeki enerjiyi kesmesidir.

Çizelge 5.1. Anodizasyon prosesi tank K52 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Metal yüzeyinde kromik asitle anodizasyon	Voltajın Yüksek gelmesi	Regülatörün bozulması	Parçaya ark atlaması, parçanın bozulması	Elektrik sistemi otomasyon üzerinden verilmektedir sapma durumunda sistem kapatılmaktadır	
Az	Metal yüzeyinde kromik asitle anodizasyon	Voltajın Az gelmesi	Regülatörün bozulması	Parçanın anodize olmaması	Elektrik sistemi otomasyon üzerinden verilmektedir sapma durumunda sistem kapatılmaktadır	Kalite hatasını engellemek için transmitter (dönüştürücü) kullanılmalı
Hem de	Metal yüzeyinde kromik asitle anodizasyon	Voltajın sepette operatörün erişebildiği yerde olması	Yalıtkan olmayan yüzeye elektrik iletimi	Operatörün 15-50 Volt ile teması sonucu çarpılma	Sepette ve tankta elektrik akımının geldiği yerde yalıtkan parçalar bulunmaktadır	Yalıtkan parçaların bakımı yapılmalı
Ters	Metal yüzeyinde kromik asitle anodizasyon	Sisteme elektrik akımının gelmemesi	Akımın parça sepetinden kısa devre yapması	Operatörün 15-50 Volt ile teması sonucu çarpılma	Sepette ve tankta elektrik akımının geldiği yerde yalıtkan parçalar bulunmaktadır	Voltaj göstergesinin bakımı yapılmalı
Den başka	Metal yüzeyinde kromik asitle anodizasyon	Sisteme elektrik akımının gelmemesi	Elektrik teması yüzeyinde arıza olması	Parçada elektro kimyasal reaksiyon olmaması	Sistem akım göstergeleri ile izlenmektedir	Voltaj göstergesinin bakımı yapılmalı

Buhar olarak seçilen proses parametresinin yüksek gelmesiyle, zararlı kimyasalların buharları emiş sistemi yeterli gelemeyeceği için çalışma ortamına yayılması ile alan çalışanlarının ve ziyaretçilerin etkilenme riskini engellemek için buhar hattı Çizelge 5.2’de anlatıldığı gibi termostatl olarak kontrol edilmelidir.

Çizelge 5.2. Anodizasyon prosesi tank K53 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın buharla ısıtılması	Tank sıcaklığının 35-42 °C'den fazla olması	Buhar vanasının açık unutulması	Proses şartlarının olmaması sonucu oksit tabakasında kalınlaşma ve kimyasal buharın etrafa yayılması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir emiş sistemleri mevcuttur	Buhar, termostatlı aktüatörlü vana ile verilmelidir
Az	Tankın buharla ısıtılması	Tank sıcaklığının 35-42 °C'den az olması	Buhar vanasının açılmaması / sisteme buhar gelmemesi	Proses şartlarının olmaması sonucu parça üzerinde yeterince oksit tabakası oluşmaması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir	Buhar, termostatlı aktüatörlü vana ile verilmelidir
Hem de	Tankın buharla ısıtılması	Buhar içinde su yoğunlaşması	Buharın yeterli sıcaklıkta gelmemesi	Prosesin ısıtılamaması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir	Boru hattında sıcaklıklar ara ara ölçülmelidir
Ters	Tankın buharla ısıtılması	Buharın ters akımı	Basınç düşmesi	Prosesin ısıtılamaması	Isı santrali üzerinden basınçlar kontrol edilmektedir	Tanka giriş hattına basınç sensörü konulmalı (scada ile hat hat kontrol edilmelidir)
Den başka	Tankın buharla ısıtılması	Buharın diğer tanklara gitmesi	Basınç düşmesi	Prosesin ısıtılamaması	Isı santrali üzerinden basınçlar kontrol edilmektedir	Tanka giriş hattına basınç sensörü konulmalı (scada ile hat hat kontrol edilmelidir)

Kimyasalların tanka eklenmesi tamamen ayrı bir risk taşımaktadır. Kimyasal gaz buharın çalışma alanına yayılımından başka operatörün şarj yapma sırasında kimyasallardan etkilenmesi olasıdır. Kimyasallar, Çizelge 5.3'de anlatıldığı gibi tanka bir depodan termoplastik malzemeden yapılmış santrifüj pompa ile verilmesiyle operatörün maruziyeti azalacaktır.

Çizelge 5.3. Anodizasyon prosesi tank K54 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın prosesi için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Fazla kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Ortamda kromik asit buharındaki artış	Emiş sistemi çalışmaktadır	Yazılı talimat verilmeli ve termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılmalıdır
Az	Tankın prosesi için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Az kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Proses şartlarının gerçekleşmemesi	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Yazılı talimat verilmeli ve termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılmalıdır
Hem de	Tankın prosesi için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Kimyasalın içinde safsızlık olması	Tedarik edilen firmada üretim sorunu	Proses şartlarının gerçekleşmemesi	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Tedarik bölümüne bilgi verilmelidir
Ters	Tankın prosesi için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Ekleme sırasında dökülme	Operatör hatası	Kimyasal buharının etrafa yayılması, çevre kirliliği	Tanka özel aparat ile varil dökülmektedir	Yazılı talimat verilmeli ve termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılmalıdır
Den başka	Tankın prosesi için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Başka kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Reaksiyon sonucu oluşan ürünün buharının etrafa yayılması	Emiş sistemi çalışmaktadır, proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Yazılı talimat verilmeli ve termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılmalıdır

Tanklar kesikli sistem olmasında kaynaklı hava ile karıştırılmaları gerekmektedir. Karıştırma sırasında fazla hava gelmesi ile operatöre kimyasal sıçrayabilmektedir. Tank önüne yapılan bariyer ve tanka verilen havanın regülatörden geçerek kontrollü bir şekilde verilmesiyle oluşabilecek sorunlar Çizelge 5.4’de alınacak önlemlerle azalacaktır.

Çizelge 5.4. Anodizasyon prosesi tank K54 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Fazla hava verilmesi	Operatör hatası	Tankın taşması	Taşan kimyasal tankın alt tarafındaki haznede birikmektedir	Hava beslemesi otomasyona bağlanmalı
Az	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Az hava verilmesi	Operatör hatası	Tank içindeki kimyasalın homojen olmaması	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Hava beslemesi otomasyona bağlanmalı
Hem de	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Hava içinde başka kirlenme	Hava hattında kirlenme	Proses şartlarının olmaması	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Hava hatlarına aylık periyodik temizlik yapılmalı
Ters	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Hava hattının yeterince basınçta gelmiyor	Kompresör arızası ya da hatta kaçak	Proses şartlarının olmaması	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Hatlarda basınç kontrol edilmeli
Den başka	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Hava hiç gelmiyor	Kompresör arızası ya da hatta kaçak	Proses şartlarının olmaması	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Hatlarda basınç kontrol edilmeli

Maskelme ünitesi yeni teknolojilerin uygulanarak ilgili prosesin daha güvenli hale gelmesini sağlayacak iyileştirmelere ihtiyaç duymaktadır. Proses, Çizelge 5.5’de aktarıldığı gibi hem tolüen ve ksilen ile çalışan sağlığını tehdit etmekte hem de patlayıcı ortam yaratarak tüm işletme için risk oluşturmaktadır. Emiş kanalları düzenli temizlenmekte ve tank üzerinde yangın söndürme sistemleri ve algılama sistemi barındırmaktadır. Alınan önlemlerin yanı sıra boya kabini gibi patlamaya karşı korumalı (ex-proof) ekipmanlara sahip bir kabin içinde ikili poliüretan karışımının bir tabanca ile püskürtülerek uygulandığı ya da su esaslı maskantların kullanıldığı alternatif süreçler tercih edilmelidir.

Çizelge 5.5. Maskeleye prosesi M5 tankının HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Öneriler
Fazla	Toluen- ksilen tanka transferi sırasında akış hızında artış	Uygun olmayan pompa çalışması	Solventin az gelmesi ile karışımın viskozitesinde artış	Akış otomasyonla yapılmalıdır
Az	Toluen ksilen tanka transferi sırasında akış hızında azalma	Hatta kısmi tıkanıklık, sızıntı, pompanın yetersiz çalışması	Sızıntı sonucu patlayıcı ortam oluşması	Karışımın akış hızını debi kontrol vanası ve sıvı seviye sensörü ile kontrol edilmelidir
Hem de	Toluen ksilen den başka bir madde olması	Tank kirliliği	Tank başkaca ürün Bulaşması istenmeyen madde	Dolumdan önce proses kontrol için analiz yapılması
Ters	Solventin ters yönde akışı	Solventin ön karıştırma havuzundan taşması	Sızıntı sonucu patlayıcı ortam oluşması	Solventin taşmasını engellemek için sıvı sensörü konulmalı
Den başka	Tanka ulaşan madde yok	Hat çatlağı	Çevre kirliliği / Patlama	Hat dizaynı kontrol, patlamayı önleyecek akış kontrollü vana ile yapılmalıdır

Bir Cr^{+6} bileşiği olan sodyum dikromatın kullanıldığı ve çalışan sağlığına etkisi düşünüldüğünde seyreltilerek kullanıldığı tankta su olmaması durumunda sağlık açısından sorunlar yaşanacak ve Çizelge 5.6'da verildiği gibi proses şartlarından sapma olacağı için kalite sorunları da yaşanacaktır. Su hattındaki pompa ve hat basıncı basınç transmitteri ile izlenerek riski azaltmak mümkün olacaktır.

Çizelge 5.6. Anodizasyon prosesi seal tankı S1 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Fazla su verilmesi	Operatör hatası	Tankın taşması	Taşan kimyasal tankın alt tarafındaki haznede birikmektedir	Su beslemesi sıvı seviye sensörlü vana ile yapılmalıdır
Az	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Az su verilmesi	Operatör hatası	Tank içindeki kimyasalın homojen olmaması ve sıvı seviyesindeki düşüklük	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Su beslemesi sıvı seviye sensörlü vana ile yapılmalıdır
Hem de	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Su içinde başka kirleticilerin olması	Su hattında kirlenme	Proses şartlarının gerçekleşmemesi	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Su hatları aylık periyodik olarak temizlenmelidir
Ters	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Su hattının yeterince basınçta gelmemesi	Pompa arızası ya da hatta kaçak	Proses şartlarının gerçekleşmemesi	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Hatlarda basınç kontrol edilmelidir
Den başka	Tankın proses gereği homojenize edilmesi	Suyun hiç gelmemesi	Pompa arızası ya da hatta kaçak	Proses şartlarının gerçekleşmemesi	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Hatlarda basınç kontrol edilmelidir

Aşındırma / kimyasal frezeleme bölümünde diğer tanklarda olduğu gibi tanka kimyasal ekleme operatör ile gerçekleştirilmektedir. Olası sıçrama, dökülme vb. kazaları engellemek için Çizelge 5.7’de önerildiği gibi tank içine bir depodan beslenen termoplastik malzemeden yapılmış santrifüj pompalar ile kontrollü olarak yapıldığında risklerin azalmasına fayda sağlayacaktır.

Çizelge 5.7. Aşındırma prosesi tank E55 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Aşındırma tankının proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Fazla kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Ortamda sodyum hidroksit buharındaki artış, aşındırma hızının artması	Emiş sistemi çalışmaktadır	Yazılı talimat verilmeli ve tanka termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılması
Az	Aşındırma tankının proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Az kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Proses şartlarının gerçekleşmemesi, aşındırma süresinin uzaması	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Yazılı talimat verilmeli ve tanka termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılması
Hem de	Aşındırma tankının proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Kimyasalın içinde safsızlık olması	Tedarik edilen firmada üretim sorunu	Proses şartlarının gerçekleşmemesi	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Tedarik bölümüne bilgi verilmelidir
Ters	Aşındırma tankının proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Ekleme sırasında dökülme	Operatör hatası	Kimyasal buharının etrafa yayılması, çevre kirliliği	Tanka sodyum hidroksit arkadaki tanktan gelmektedir	Tanka termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılması sağlanmalıdır
Den başka	Aşındırma tankının proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Başka kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Reaksiyon sonucu oluşan ürünün buharının etrafa yayılması	Emiş sistemi çalışmaktadır, proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Diğer kimyasalların tanka termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılması sağlanmalıdır

Aşındırma tankı proses gereği 81-93 °C olmasında kaynaklı en çok çalışma ortamına kostik buharı veren prosestir. Tankın ısıtılması Çizelge 5.8’de anlatıldığı gibi buhar ile gerçekleştiği için ve buhar kontrolünü operatör yaptığı için hata yapılmaya açık bir alan oluşmuştur. Buhar beslemesi, termostatlü aktüatörlü vana kullanılarak yapılmalıdır.

Çizelge 5.8. Aşındırma prosesi tank E55 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın buharla ısıtılması	Tank sıcaklığının 81-93 °C'den fazla olması	Buhar vanasının açık unutulması	Aşındırmanın hızlı gerçekleşmemesi sonucu kimyasal buharın etrafa yayılması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir emiş sistemleri mevcuttur	Buhar, termostatlı aktüatörlü vana kullanılarak verilmeli
Az	Tankın buharla ısıtılması	Tank sıcaklığının 81-93 °C'den az olması	Buhar vanasının açılmaması /sisteme buhar gelmemesi	Proses şartlarının gerçekleşmemesi sonucu parça üzerinde aşındırmanın geç olması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir	Buhar, termostatlı aktüatörlü vana kullanılarak verilmeli
Hem de	Tankın buharla ısıtılması	Buhar içinde su yoğunlaşması	Buharın yeterli sıcaklıkta gelmemesi	Prosesin ısıtılamaması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir	Boru hattında sıcaklıklar ara ara ölçülmelidir
Ters	Tankın buharla ısıtılması	Buharın ters akımı	Basınç düşmesi	Prosesin ısıtılamaması	Isı santrali üzerinden basınçlar kontrol edilmektedir.	Tanka giriş hattına basınç sensörü konulmalıdır (scada ile hat hat kontrol edilmelidir)
Den başka	Tankın buharla ısıtılması	Buharın diğer tanklara gitmesi	Basınç düşmesi	Prosesin ısıtılamaması	Isı santrali üzerinden basınçlar kontrol edilmektedir.	Tanka giriş hattına basınç sensörü konulmalıdır (scada ile hat hat kontrol edilmelidir)

Tankların emiş yaptığı kimyasal buharın doğrudan atmosfere verilmesiyle çevreye zarar vermemek için yıkama sistemi ile kostik buharı atmosfere güvenli bir şekilde verilmektedir. Gaz yıkama (scrubber) sistemi Çizelge 5.9'da anlatıldığı gibi periyodik kontrol edilmekte ve temizliği gerçekleşmektedir. Yıkama hattından su kaçağı emiş performansını etkilemektedir. Scrubber kanallarının tasarımı suyun geriye kaçmasını engelleyecek eğimde yapılmalı ve bir drenaj konulmalıdır.

Çizelge 5.9. Aşındırma prosesi tank E57 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Fazla emilmesi	Motor gücünün ihtiyaçtan fazla olması	Enerji israfı	Motor gücü hesaplanarak çalışma yapılıyor	Sistem scada ile izlenebilir olmalıdır
Az	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Az emilmesi	Emiş, yıkama sistemindeki arıza	Kimyasal buharın etrafa yayılması	Sistem periyodik kontrol edilmelidir	Tank yıkama arasındaki hat kısaltılmalıdır
Hem de	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Scrubberdan hava hattına su kaçması	Su seviyesinde yükselme	Yeterli emiş olmaması sonucu kimyasal buharın etrafa yayılması	Su şamandıra ile kontrol edilmektedir, hattaki kaçaklar drenaj edilmektedir	Yıkama ünitesindeki kaçak kontrol edilmelidir
Ters	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Emilen kimyasal buharın ters akımı	Scrubberda basınç düşmesi	Yeterli emiş olmaması sonucu kimyasal buharın etrafa yayılması	Sistem periyodik kontrol edilmelidir	Scrubberdaki kirlenme aylık periyodik temizlenmeli
Den başka	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Emilen kimyasal buharın hattan etrafa yayılması	Hattaki kaçak	Kimyasal buharın etrafa yayılması	Sistem periyodik kontrol edilmelidir	Tanka giriş hattına basınç sensörü konulmalıdır

Pasivasyon prosesinde de durum aynıdır. Çizelge 5.10'da görüldüğü gibi emiş sisteminin en çok sorunlu olduğu alan pasivasyon hattıdır. Emiş sistemi özellikle nitrik asit ve hidroflorik asit karışımı olan tanklarda oldukça zayıflamıştır. Nitrik asitin yasal sınır değerlerinin aşıldığı tek prosestir. Emiş ve yıkama sistemi bir taraftan havayı emen diğer taraftan havayı üfleyen paslanmaz çelikten yada cam elyaftan üretilmiş kompozit malzemeden hava kanalları ile hızlıca güçlendirilmelidir.

Çizelge 5.10. Pasivasyon prosesi tank P62 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Fazla emilmesi	Motor gücünün ihtiyaçtan fazla olması	Enerji israfı	Motor gücü hesaplanarak çalıştırılmakta	Sistem scada ile izlenebilir olmalıdır
Az	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Az emilmesi	Emiş, yıkama sisteminde arıza	Kimyasal buharın etrafa yayılması	Sistem periyodik kontrol edilmelidir	Sistem iyileştirilmeli ve tank yıkama arasındaki hat kısaltılmalıdır
Hem de	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Scrubber gelip hava hattına su kaçması	Su seviyesinde yükselme	Yeterli emiş olmaması sonucu kimyasal buharın etrafa yayılması	Su şamandıra ile kontrol edilmektedir, hattaki kaçaklar drenaj edilmektedir	Yıkama ünitesindeki kaçak kontrol edilmelidir
Ters	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Emilen kimyasal buharın ters akımı	Scrubberda basınç düşmesi	Yeterli emiş olmaması sonucu kimyasal buharın etrafa yayılması	Sistem periyodik kontrol edilmelidir	Scrubberdaki kirlenme periyodik temizlenmeli
Den başka	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Emilen kimyasal buharın hattan etrafa yayılması	Hattaki kaçak	Kimyasal buharın etrafa yayılması	Sistem periyodik kontrol edilmelidir	Tanka giriş hattına basınç sensörü konulmalıdır

Pasivasyon tanlarında da kimyasal eklenmesi operatörler tarafından gerçekleştirilmektedir. Çizelge 5.11’de anlatıldığı gibi ekleme sırasında kişisel maruziyet riski ve dökülme riski artmaktadır. Kimyasal buhar yayılımı emiş sisteminin kuvvetli olmamasına karşın maruziyet sınır değerlerinin altında ölçülmüştür.

Çizelge 5.11 Pasivasyon prosesi tank P67 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Fazla kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Ortamda hidroflorik asit buharındaki artış	Emiş sistemi çalışmaktadır	Yazılı talimat verilmeli ve tanka termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılmalı
Az	Tankın proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Az kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Proses şartlarının gerçekleşmemesi	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Tanka termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılmalı
Hem de	Tankın proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Kimyasalın içinde safsızlık olması	Tedarik edilen firmada üretim sorunu	Proses şartlarının gerçekleşmemesi	Proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Tedarik bölümüne bilgi verilmelidir
Ters	Tankın proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Ekleme sırasında dökülme	Operatör hatası	Kimyasal buharının etrafa yayılması, çevre kirliliği	Tanka özel aparat ile varil dökülmektedir	Tanka termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılmalı
Den başka	Tankın proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Başka kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Reaksiyon sonucu oluşan ürünün buharının etrafa yayılması	Emiş sistemi çalışmaktadır, proses şartları periyodik kontrol edilmektedir	Tanka termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılmalı

Çizelge 5.12.'de görüldüğü gibi pasivasyon hattında scrubber (gaz yıkama) sistemine iletim sırasında kimyasal buharın etrafına yayılımını engellemek için tankla sistem arasındaki hat kısaltılmalı, sistem her ay periyodik olarak kontrol edilmelidir.

Çizelge 5.12. Pasivasyon prosesi tank P67 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Fazla emilmesi	Motor gücünün ihtiyaçtan fazla olması	Enerji israfı	Motor gücü hesaplanarak çalıştırılmaktadır	Sistem scada ile izlenebilir olmalıdır
Az	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Az emilmesi	Emiş, yıkama sistemindeki arıza	Hidroklorik asit buharın etrafa yayılması	Sistem periyodik kontrol edilmelidir	Sistem iyileştirilmelidir ve tank yıkama arasındaki hat kısaltılmalıdır
Hem de	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Scrubberdan hava hattına su kaçması	Su seviyesindeki yükselme	Yeterli emişin yapılamaması sonucu kimyasal buharın etrafa yayılması	Su şamandıra ile kontrol edilmektedir, hattaki kaçaklar drenaj edilmektedir	Yıkama ünitesindeki kaçak kontrol edilmelidir
Ters	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Hidroklorik asit buharının ters akımı	Scrubberda basınç düşmesi	Yeterli emişin yapılamaması sonucu kimyasal buharın etrafa yayılması	Sistem periyodik kontrol edilmelidir	Scrubberdaki kirlenme aylık periyodik temizlenmelidir
Den başka	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Emilen hidroklorik asit buharın hattan etrafa yayılması	Hattaki kaçak	Kimyasal buharın etrafa yayılması	Sistem periyodik kontrol edilmelidir	Tanka giriş hattına basınç sensörü konulmalıdır

Pasivasyon hattındaki ısıtma işlemi diğer tanklarda olduğu gibi riskler barındırmaktadır. Çizelge 5.13’de olduğu gibi Isıtma sistemi buhar yayılımı ile doğrudan ilişkili olduğu için mutlaka operatör inisiyatifinden alınarak operasyon bölgesinden uzakta, yazılım kullanılarak kontrol edilen vinç ile desteklenmelidir.

Çizelge 5.13. Pasivasyon prosesi tank P67 HAZOP ile değerlendirilmesi

Rehber Kelime	Proses Parametresi	Sapma	Sapma Nedeni	Sapma Sonucu	Önlemler	Öneriler
Fazla	Tankın buharla ısıtılması	Tank sıcaklığının 38-45 ⁰ C'den fazla olması	Buhar vanasının açık unutulması	Pasivasyonun hızlı gerçekleşmemesi sonucu kimyasal buharın etrafa yayılması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir emiş sistemleri mevcuttur	Buhar, termostatlı aktüatörlü vana kullanılarak verilmelidir
Az	Tankın buharla ısıtılması	Tank sıcaklığının 38-45 ⁰ C'den az olması	Buhar vanasının açılmaması/sisteme buhar gelmemesi	Proses şartlarının gerçekleşmemesi sonucu parça üzerinde aşındırmanın geç olması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir	Buhar, termostatlı aktüatörlü vana kullanılarak verilmelidir
Hem de	Tankın buharla ısıtılması	Buhar içinde su yoğunlaşması	Buharın yeterli sıcaklıkta gelmemesi	Prosesin ısıtılamaması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir	Boru hattında sıcaklıklar ara ara ölçülmelidir
Ters	Tankın buharla ısıtılması	Buharın ters akımı	Basınç düşmesi	Prosesin ısıtılamaması	Isı santrali üzerinden basınçlar kontrol edilmektedir.	Tanka giriş hattına basınç sensörü konulmalıdır (scada ile hat hat kontrol edilmelidir)
Den başka	Tankın buharla ısıtılması	Buharın diğer tanklara gitmesi	Basınç düşmesi	Prosesin ısıtılamaması	Isı santrali üzerinden basınçlar kontrol edilmektedir.	Tanka giriş hattına basınç sensörü konulmalıdır (scada ile hat hat kontrol edilmelidir)

5.2. FMEA Risk Değerlendirme Sonuçları

FMEA ile yapılan risk değerlendirmesi Çizelge 4.14- 4.16 arasında anodizasyon, aşındırma, pasivasyon ve maskeleme tanklarında gerçekleştirilmiştir. Hazop risk değerlendirmesinden farklı olarak proses parametrelerindeki hatalara odaklanan ve risk öncelik sayısı (RÖS) ile aksiyon öncelik sırası belirlenmiştir.

RÖS değerinin 40'dan küçük olduğu parametreler için mevcut önlem yeterli olmaktadır. 40 ile 100 arasındaki değerler için mutlaka ek önlemler alınmalıdır. 100'den büyük değerler için sistem durdurulmalıdır.

Anodizasyon ve pasivasyon prosesinde sıcaklığın yükselmesi zararlı kimyasal buharların ortama salınmasını artıracığı için buharın sisteme verilmesi operatör ile değil basınç kontrollü vanalar ile gerçekleştirilmelidir.

Maskeleme tankında mask ve tiner karışımının çalışma ortamına sızmasını engellemek için karışımın akış hızını ölçecek ve karışımı her zaman aynı seviyede tutacak vana sistemi otomasyonu sağlanmalıdır. Arkasından çözücünün taşmasını engelleyecek sıvı sensörü kullanılmalıdır.

Aşındırma hattında zararlı kimyasalların ortamdan uzaklaştırıldığı emiş sisteminin çalışmaması durumunda proses sıcaklığını ayarlayan buhar vanasını kapatan bir transmitter bulundurulmalıdır. Ayrıca emiş sisteminin yıkama ünitesi yıkayıcı (scrubber) , düzenli olarak temizlenmelidir.

Proseste RÖS 40 puanın altında olanlar için ilave önlem alınmasına gerek duyulmamıştır. Buhar sisteminin operatör inisiyatifinden çıkmasının gerekliliği HAZOP'ta olduğu gibi önem arz etmektedir. Voltajın büyüklüğünün kontrolü ve göstergenin bakımının yapılması olası kazaları azaltmak için önem arz etmektedir. Ayrıntılar Çizelge 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.14. Anodizasyon prosesi tank K52 (FMEA)

Faaliyet	Hata	Hata Kaynağı	Hata Etkisi	Mevcut önlem	Şiddet	Olasılık	Fark Edilebilirlik	RÖS Skoru	İlave Önlem
Metal yüzeyinde kromik asitle anodizasyon	Voltajın Yüksek gelmesi	Regülatörün bozulması	Parçaya ark atlaması, parçanın bozulması	Elektrik sistemi otomasyon üzerinden verilmektedir sapma durumunda sistem kapatılmaktadır	3	5	2	30	-
	Tank sıcaklığının 35-42 °C'den az olması	Buhar vanasının açılmaması /sisteme buhar gelmemesi	Proses şartlarının gerçekleşmesi sonucu parça üzerinde yeterince oksit tabakası oluşmaması	Çalışanlar sıcaklığı kontrol etmektedir	8	4	3	96	Buhar, termostatlı aktüatörlü vana kullanılarak verilmelidir
	Tankta Kromik asitten başka bir madde olması	Tank kirliliği	Tanka başkaca ürün bulaşması istenmeyen madde	Her Reaksiyon öncesi temizlik yapılmaktadır	5	2	5	50	Temizlik ajanları gözden geçirilmelidir
	Sisteme elektrik akımının gelmemesi	Elektrik temas yüzeyinde arıza olması	Parçada elektro kimyasal reaksiyon olmaması	Sistem akım göstergeleri ile izlenmektedir	8	2	5	80	Voltaj göstergesinin bakımı yapılmalıdır

Maskeleme tankında HAZOP analizinde olduğu gibi patlayıcı ortam oluşması, çalışan sağlığını etkileyen tolüen ve ksilen vb. çevreye yayılması ve maskantın pompa salmastrasından kaçarak yine patlayıcı ortam yaratması en büyük risk skorlarını almıştır. Salmastradan kaçışlar sıvı seviye sensörü ile kontrol edilmeli, kapalı kabin içinde ex-proof ekipmanlar kullanılarak tabancadan ikili poliüretan kimyasalın karışımının püskürtülmesi ile ya da su esaslı maskantlar kullanılarak yapılmalıdır. Maskeleme tankında HAZOP analizinde olduğu gibi patlayıcı ortam oluşması, çalışan sağlığını etkileyen tolüen ve ksilen vb. çevreye yayılması ve maskantın pompa salmastrasından kaçarak yine patlayıcı ortam yaratması en büyük risk skorlarını almıştır. Riskler Çizelge 5.15.'de açıklanmıştır.

Çizelge 5.15. Aşındırma öncesi maskeleme prosesi tank M5 (FMEA)

Faaliyet	Hata	Hata Kaynağı	Hata Etkisi	Mevcut Önlem	Şiddet	Olasılık	Fark Edilebilirlik	RÖS Skoru	İlave Önlem
Metal yüzeyinde maskeleme yapılması	Toluen-ksilen tanka transferi sırasında akış hızında artış	Uygun olmayan pompa çalışması	Solventin az gelmesi ile karışımın viskozitesi artması	Planlı ve otonom bakım yapılmaktadır	3	5	2	30	Akış, debi kontrol vanası ile yapılmalı sıvı seviye sensörü kullanılmalı
	Toluen ksilen tanka transferi sırasında akış hızında azalma	Hatta kısmi tıkanıklık, sızıntı, pompanın yetersiz çalışması	Sızıntı sonucu patlayıcı ortam oluşması	Ortamda ex-proof ekipman kullanılıyor	8	4	3	96	Karışımın akış hızını ölçecek debi kontrol vanası kullanılmalı
	Tanka ulaşan madde yok	Hat çatlağı	Çevre kirliliği / Patlama	Ortam ölçümü yapılmaktadır sensör bulunmaktadır	5	2	5	50	Hat dizaynı kontrol, patlamayı önleyecek akış kontrollü vana kullanılmalı
	Solventin ters yönde akışı	Solventin ön karıştırma havuzunda taşması	Sızıntı sonucu patlayıcı ortam oluşması	Yangın algılama sistemleri bulunmaktadır	8	2	5	80	Solventin taşmasını engellemek için sıvı seviye sensörü kullanılmalı

Aşındırma prosesinde HAZOP analizinde olduğu gibi yine en büyük risk skoru kimyasal gaz buharın etrafa yayılarak çalışan sağlığını tehdit etmesi almıştır. Çizelge 5.16'da açıklandığı gibi buhar kontrolü, aktüatörlü termostatlı vana kullanılarak sağlanmalıdır.

Çizelge 5.16. Aşındırma prosesi tank M5 (FMEA)

Faaliyet	Hata	Hata Kaynağı	Hata Etkisi	Mevcut Önlem	Şiddet	Olasılık	Fark Edilebilirlik	RÖS Skoru	İlave Önlem
Aşındırma tankını proses için hazırlama	Fazla kimyasal eklenmesi	Operatör hatası	Ortamda sodyum hidroksit buharında artış, aşındırma hızının artması	Derişim düzenli olarak takip edilmektedir	3	5	2	30	Akış kontrollü termoplastik santrifüj pompası ile besleme yapılmalı
	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletimi	Az emilmesi	Emiş, yıkama sisteminde arıza	Kimyasal buharın etrafa yayılması	8	4	3	96	Emiş durduğunda buhar vanasını kapatan bir switch bariyer konulmalıdır
	Tankın buharının emilip scrubber (yıkayıcıya) iletilmemesi	Emilen kimyasal buharın ters akımı	Yeterli emişin olmaması sonucu kimyasal buharın etrafa yayılması	Tank üstünde hava perdesi bulunmaktadır	5	2	5	50	Scrubberdaki kirlenme periyodik aylık temizlenmeli
	Buharın fazla gelmesi ve sıcaklığın artması	Sıcaklık kontrolü manuel olması	Ortamda kostik buharının artması	Tank üstünde hava perdesi bulunmaktadır	8	2	5	80	Buhar, termostatlı aktüatör vana üzerinden kontrol edilmeli

Pasivasyon prosesi yine HAZOP ile uyum göstermektedir. Kimyasal gaz buhar yayılımı en büyük skoru alarak aksiyon alınmasını gerekli kılmaktadır. Çizelge 5.17’de açıklandığı gibi termostatlı aktüatörlü vana kullanılarak besleme yapılmalı ve sıcaklık kontrolü scada ile izlenmelidir.

Çizelge 5.17. Pasivasyon prosesi tank P67 (FMEA)

Faaliyet	Hata	Hata Kaynağı	Hata Etkisi	Mevcut Önlem	Şiddet	Olasılık	Fark Edilebilirlik	RÖS Skoru	İlave Önlem
Çelik ve Titanyum Malzemeye yüzey işlem uygulama	Tankın buharla ısıtılması	Operatör hatası	Ortamda hidroflorik asit buharında artış	Derişim düzenli olarak takip ediliyor	4	5	3	60	Buhar akışı termostatlı aktüatör vana ile sağlanmalı
	Tankın buharının emilip scrubber Yıkayıcıya iletimi	Az emilmesi	Emiş, yıkama sisteminde ki arıza	Kimyasal buharın etrafa yayılması	8	4	3	96	Emiş durduğunda buhar vanasını kapatan bir switch ile bariyer konulmalıdır
	Tankın proses için hazırlanması kimyasal eklenmesi	Fazla kimyasal ekleme	Ortamda hidroflorik asit buharında artış	Yazılı talimat mevcuttur	5	2	5	50	Tanka, termoplastik santrifüj pompa ile besleme yapılmalı
	Buharın fazla gelmesi ve sıcaklığın artması	Sıcaklık kontrolü manuel olması	Ortamda asit buharının artması	Tank üstünde hava perdesi bulunuyor	8	2	5	80	Buhar akışı termostatlı aktüatör vana ile sağlanmalı

5.3. Tank Çevresindeki Emisyon Ölçümlerinin Sonuçları

Çalışma alanlarında yapılan ölçümler Çizelge 5.17-5.27 arasında detaylı olarak verilmiştir. Anodizasyon prosesinde yapılan ölçümlerde hem ulusal mevzuat hem de uluslararası standartlar göz önünde bulundurulmuş sınır değerlerden bir sapma tespit edilmemiştir. Aşındırma hattında, ağır metal tayini yapılmış yine sınır değerlerin altında verilere ulaşılmıştır.

İnorganik asitlerle yapılan ölçümlerde sadece pasivasyon hattındaki P33 tankındaki nitrik asit miktarı emiş sistemi yetersizliğinden kaynaklı olarak sınır değerlerin üzerindedir. Emiş sisteminin iyileştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Ölçümler yapılacak iyileştirmelere destek olmak amacıyla yaptırılmıştır ancak ölçümler anlık yapıldığı için prosesin çalışma şartları ölçümlerin sonuçlarını etkilemektedir.

Çizelge 5.18. Anodize hattı tank K54 ortam ölçümü

Ölçüm Tarihi	Baş. Saati	Bitiş Saati	Sıcaklık	Basınç	Nem	Sınır Değer (TWA)
10.12.2018	13:52	15:52	23,2	911,6	41,8	
Maddenin Adı			Analiz Metodu		TWA (8saat) mg/m ³	mg/m ³
Toluene			ASTM D 3686 ASTM D 3687		1,33	192 ⁽¹⁾
m-Xylene + p-Xylene					0,78	221 ⁽¹⁾
o-Xylene					0,76	211 ⁽¹⁾
Ethylbenzene					0,36	442 ⁽¹⁾
Trichloroethene					0,34	500 ⁽²⁾

¹ Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik. Ek-1 Kimyasal Maddeler İçin Kişisel Maruziyet Sınır Değerleri

² GESTIS International Limit Values United KINGDOM Sınır Değeri

Çizelge 5.19. Aşındırma hattı E57 ortam ölçümü

Ölçüm Tarihi	Baş. Saati	Bitiş Saati	Sıcaklık	Basınç	Nem	Sınır Değer (TWA)
26.11.2018	08:58	15:58	18,2	920,2	37,1	
Ağır Metal Adı			Analiz Metodu		µg/m ³	mg/m ³
B			ASTM D 7439		2,38	10 ⁽²⁾
Na					8,95	-
Al					2,23	5 ⁽³⁾
Mn					0,06	1 ⁽⁴⁾
Fe					3,40	10 ⁽¹⁾
Ca					7,37	5 ⁽³⁾
Cu					0,12	1 ⁽³⁾
Pb						

¹ OSHA (Occupational Safety and Health Administration) Sınır Değeri

² GESTIS International Limit Values

³ Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık Ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik

⁴ NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) Sınır Değeri

Çizelge 5.20. Aşındırma hattı E55 tankı ortam ölçümü

Ölçüm Tarihi	Baş. Saati	Bitiş Saati	Sıcaklık	Basınç	Nem	Sınır Değer (TWA)
26.11.2018	16:14	23:14	22,0	917,4	37,8	
Ağır Metal Adı			Analiz Metodu		µg/m ³	mg/m ³
Al			ASTM D 7439		11,59	5 ⁽³⁾
Mn					0,15	1 ⁽⁴⁾
Fe					25,94	10 ⁽¹⁾
Cu					1,00	1 ⁽³⁾
Zn					1,72	5 ⁽²⁾
Cr					0,30	2 ⁽³⁾
Ba					1,06	0,5 ⁽¹⁾
Pb					0,13	0,15 ⁽³⁾

¹OSHA (Occupational Safety and Health Administration) Sınır Değeri²GESTIS International Limit Values³Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık Ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik⁴NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) Sınır Değeri

Çizelge 5.21. Aşındırma hattı E57 tankı ortam ölçümü

Ölçüm Tarihi	Baş. Saati	Bitiş Saati	Sıcaklık	Basınç	Nem	Sınır Değer (TWA)
26.11.2018	16:16	23:16	22,0	917,4	37,8	
Ağır Metal Adı			Analiz Metodu		µg/m ³	mg/m ³
Li			ASTM D 7439		0,12	-
Pb					0,06	0,15 ⁽¹⁾

Çizelge 5.22. Anodize prosesi tank K52

Çalışılan Birim	Tarih Baş. Saat Bit. Saat	H ₃ PO ₄ *			
		Sıcaklık (°C)	Basınç (mbar)	Nem (%Rh)	Sınır Değer (TWA) (mg/m ³)
Anodize Hattı Teknisyen	28.11.2018 09:07 11:07	24,8	916,3	40,8	< 0,003 ⁽¹⁾
Kimyasal İşleme Hattı Teknisyen	28.11.2018 13:35 15:35	25,2	918,0	42,1	< 0,003 ⁽¹⁾

Görülebiyecek en alt seviyedir.

* İşaretili parametre Türkak tarafından akredite olup, İSGÜM belge kapsamında bulunmamaktadır.

Çizelge 5.23. Anodize prosesi tank K55

Çalışılan Birim	Tarih Baş. Saat Bit. Saat	Krom +6 ⁽²⁾			
		Sıcaklık (°C)	Basınç (mbar)	Nem (%Rh)	Sınır Değer (TWA) (mg/m ³)
Anodize Hattı	28.11.2018 09:08 11:08	24,8	916,3	40,8	< 0,0007 ⁽¹⁾
Kimyasal İşleme Hattı	28.11.2018 13:37 15:37	25,1	919,0	42,1	< 0,0008 ⁽²⁾

¹ Görülebilecek en alt seviyedir.² Suda çözünür Krom+6 derişimi

Çizelge 5.24. Aşındırma öncesi maskeleme prosesi tank M5 ortam ölçümü

Ölçüm Tarihi	Baş. Saati	Bitiş Saati	Sıcaklık	Basınç	Nem
12.11.2018	13:48	15:48	22,4	920,4	35,1
Maddenin Adı			Analiz Metodu		mg/m ³
Toluene			ASTM D 3686		1,83
Ethylbenzene			ASTM D 3687		2,64
m-Xylene + p-Xylene					5,57
o-Xylene					5,96

Çizelge 5.25. Anodize prosesi tankları ortam ölçümü

Ölçüm Noktası Açık Tanımı	Tarih Baş. Saat Bit. Saat	Ortamda Anlık Gaz Türü / H ₂ SO ₄			
		Sıcaklık (°C)	Basınç (mbar)	Nem (%Rh)	mg/m ³
Anodize Hattı K03 Nolu Tank Çevresi Çalışma Alanı	14.11.2018 10:46 10:49	22,3	923,6	42,6	< LOQ ¹
Anodize Hattı K04 Tank Çevresi Çalışma Alanı	14.11.2018 11:12 11:15	20,2	923,9	45,9	< LOQ ¹
Kimyasal İşlem Hattı K14 Tank Çevresi Çalışma Alanı	14.11.2018 11:18 11:21	24,2	923,8	36,9	< LOQ ¹

¹ Görülebilecek en alt seviyedir.*Ölçüm tespit limiti 0,2 mg/m³ 'tür.

Çizelge 5.26. Anodize prosesi K32 tankı ve pasivasyon prosesi ortam ölçümü

Ölçüm Noktası Açık Tanımı	Tarih Baş. Saat Bit. Saat	Ortamda Anlık Gaz Türü / HNO ₃			
		Sıcaklık (°C)	Basınç (mbar)	Nem (%Rh)	ppm
Anodize Hattı K32Nolu Tank Çevresi Çalışma Alanı	14.11.2018 10:51 10:55	22,3	923,6	42,6	< LOQ ¹
Pasivasyon Hattı P22Nolu Tank Çevresi Çalışma Alanı	14.11.2018 11:28 11:31	23,1	923,7	28,2	1,78
Pasivasyon Hattı P33Nolu Tank Çevresi Çalışma Alanı	14.11.2018 11:35 11:39	23,5	923,6	30,2	5,34

¹Görülebilecek en alt seviyedir.

*Ölçüm tespit limiti 0,5 ppm 'tir.

Çizelge 5.27. Anodize prosesi K32,K33 tankı ve pasivasyon prosesi ortam ölçümü

Ölçüm Noktası Açık Tanımı	Tarih Baş. Saat Bit. Saat	Ortamda Anlık Gaz Türü / HF			
		Sıcaklık (°C)	Basınç (mbar)	Nem (%Rh)	ppm
Anodize Hattı K32Nolu Tank Çevresi Çalışma Alanı	14.11.2018 10:55 11:00	22,3	923,6	42,6	< LOQ ¹
Pasivasyon Hattı K33Nolu Tank Çevresi Çalışma Alanı	14.11.2018 11:42 11:46	23,7	923,5	31,4	< LOQ ¹
Pasivasyon Hattı K21Nolu Tank Çevresi Çalışma Alanı	14.11.2018 11:48 11:54	24,0	923,5	30,2	< LOQ ¹

¹Görülebilecek en alt seviyedir.

*Ölçüm tespit limiti 0,05 ppm 'tir.

Çizelge 5.28. Anodize ve pasivasyon prosesi ortam ölçümü

Ölçüm Noktası Açık Tanımı	Tarih Baş. Saat Bit. Saat	Ortamda Anlık Gaz Türü / HCl			
		Sıcaklık (°C)	Basınç (mbar)	Nem (%Rh)	ppm
Anodize Hattı Çalışma Alanı	14.11.2018 11:56 12:01	23,2	923,9	40,9	< LOQ ¹
Pasivasyon Hattı Çalışma Alanı	14.11.2018 12:04 12:09	24,0	923,5	31,2	< LOQ ¹

¹Görülebilecek en alt seviyedir.

*Ölçüm tespit limiti 0,2 ppm 'tir.

6. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, havacılık sektöründe faaliyet gösteren bir firmada kimyasal/metalürjik işlemler ünitesindeki üç farklı proste HAZOP ve FMEA uygulanarak üretim sürecindeki olası sapmalar ve hatalar tespit edilmiştir. İşletmede risk değerlendirme uygulaması yapılan bölümler; anodizasyon, maskeleme, aşındırma ve pasivasyon bölümleridir. HAZOP ve FMEA risk değerlendirmesinde toplam 86 tehlike ve tehlike kaynağı tespit edilmiştir.

Tehlikeler doğrudan insan sağlığını, çevreyi ve proses güvenliğini tehdit ettiği için gerekli önlemler ivedilikle alınmalı ve gerekli iyileştirmeler yapılmalıdır. Ortam ölçümleri ile tehlikelerin insan sağlığına olan etkileri yasal mevzuat ve uluslararası standartlarla karşılaştırılarak iyileştirmelerin gerekliliği desteklenmiştir.

Kimyasal/metalürjik işlemler hattında en büyük tehlike yüzey işlemlerde kullanılan koroziv kimyasalların buharlarının çalışma ortamına yayılmasıdır. Bunun yanı sıra aşındırma (kimyasal frezeleme) öncesinde metal yüzeyine uygulanan ksilen-toluen karışımının çalışma ortamına yayılmasıyla patlayıcı ortam oluşmasıdır.

Bir başka tehlike REACH tüzüğünde de kullanımı kısıtlanan ve yüksek önem arz eden maddeler arasına giren Cr^{+6} bileşiklerinin anodizasyon prosesinde kullanılmasıdır. Kromik asit ve seal prosesinde kullanılan sodyum dikromatın yerini fosforik-sülfürik asit, tartarik - sülfürik asit ve borik-sülfürik asit kullanımının alması ile çalışma ortamı daha sağlıklı hale gelecektir. Koroziv kimyasalların tanka beslemeleri sırasında çalışan üzerine sıçramasını engellemek için termoplastik santrifüj pompası kullanılarak akış kontrollü vanalar ile tanka besleme gerçekleştirilmelidir.

Aşındırma hattında, kimyasal buharların etrafa yayılımını önlemek için proses şartlarından sapmanın en aza indirilmesi, sıcaklık kontrolünün operatörün manuel olarak vana açıp kapaması ile değil termostatlı aktüatörlü vana kullanılarak yapılması, tankların emiş sistemlerinin güçlendirilerek bir yandan üfleyen diğer taraftan emiş yapan sistematikle yapılmalı ve çevreye zarar verilmemesi için scrubber (yıkama) sisteminin tanklarla olan hat bağlantısı kısaltılmalıdır.

Patlayıcı ortamdan korunmak için, metal yüzeyine uygulanan maskantın (ksilen/toluen/maskant tineri karışımı) patlamaya karşı korumalı (ex-proof) kabinlerde ikili poliüretan karışımın tabanca ile püskürtme yöntemi ile yapılması ya da tamamen su esaslı maskant ile uygulanması gerekmektedir.

Mevcut önlemlerin dışında yapılacak iyileştirmelerle çalışma ortamı daha sağlıklı ve güvenli hale gelmesi sağlanmalıdır.

Pasivasyon hattındaki P33 tankındaki nitrik asit buharı, yasal maruziyet sınır değerlerinin üzerindedir. Hava emiş kanalları ve emiş sistemi ekipmanları tamamen yenilenmelidir.

Bundan sonraki çalışmada sağlık ve güvenlik parametrelerin dışında proses emniyetinin ön plana çıkarılmasıyla işletme içinde farklı birimlerde Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik uyarınca tehlike oluşturabilecek süreçler incelenmeli ve yönetmeliğin gerekli kıldığı güvenlik yönetim sistemi oluşturulmalı ve kantitatif risk değerlendirmesi uygulanarak işletme emniyeti güçlendirilmelidir.

Sanayiden sayılan işyerlerini doğrudan ilgilendiren 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununa göre, işyerlerinde işverenin risk değerlendirmesi yapma veya yaptıрма yükümlülüğü bulunmaktadır; yapılmış olan risk değerlendirmesi, tehlike sınıfına göre çok tehlikeli, tehlikeli ve az tehlikeli işyerlerinde sırasıyla en geç iki, dört ve altı yılda bir yenilenmelidir.

Bu doğrultuda iş yerlerinde yapılan/yaptırılan risk değerlendirmeleri günümüz teknolojik gelişmelerine uygun olarak yazılımlar üzerinden L tipi matris ya da Fine/Kinney metotları kullanılarak yapılmaktadır.

İşletmelerde her proses için aynı risk değerlendirme yönteminin kullanılması, mevcut tehlikelerin tespitini güçleştirmektedir. Proses özgü risk değerlendirmesi yapılmasıyla işletme şartlarından sapmalar daha kolay ve etkin tespit edilecektir. Proses emniyeti son yıllarda yasal düzenlemelerle işletmeler için zorunlu hale gelmiştir. Proses emniyetinin sağlanması ve olası kazaların önlenmesi için prosese özgü risk değerlendirmesi yapılması kaçınılmaz olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Kumral, H.(2014). *Teknik ve Davranışsal Risk Analizleri* . Birinci Baskı. İstanbul: TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, 15-19.
2. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. (2013). *Meslek Hastalıkları Rehberi*. Ankara: İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 12-31.
3. Moutarlier, V. (2004). Influence of oxalic acid addition to chromic acid on the anodising of Al 2024 alloy. *Surface and Coatings Technology*, 182 ,117-123.
4. Yun,Y. (2011). Corrosion protection of biodegradable magnesium implants using anodization, *Materials Science and Engineering* , C 31,215-223.
5. Lopez, V. (2002). Atmospheric corrosion of bare and anodized aluminium in a wide range of environmental conditions, *Surface and Coatings Technology*, 153, 225-234.
6. Chimie, C. R. (2008). Electrochemical fabrication of tin nanowires: A short review, *Science Direct* ,11 (9), 995 -1003.
7. Ricq, L. (2001). Electrochemical charecterisation of anodic oxidation films formed in presence of corrosion inhibitors, *Applied Surface Science* , 183, 2001-9.
8. Ramazini, A. (2010). Self-ordering of anodic nanoporous alumina fabricated by accelerated mild anodization method, *Thin Solid Films*, 518(23), 6767-6772.
9. Moradi, M.(2012). Structural engineering of nanoporous alumina by direct cooling the barrier layerduring the aluminum hard anodization, *Materials Chemistry and Physics*, 135 (2-3), 1089-1095.
10. Zhu, X. (2012). High-field anodization of aluminum in concentrated acid solutions and at higher temperatures , *Journal of Electroanalytical Chemistry* 673, 24–31.
11. Santos, A. (2012). Nanoporous anodic alumina obtained without protective oxide layer by hard anodization, *Materials Letters*, 67, 296–299.
12. Chang, WT. (2011). Fabrication of enhanced anodic aluminum oxide performance at room temperatures using hybrid pulse anodization with effective cooling, *Electrochimica Acta*, 56(18), 6489–6497.
13. Hughes, P.(2011). *Introduction of Health and Safety at Works*. Fourth Edition. New York. Faret Ed,12-21.
14. Akyüz N. (1979). *İş Güvenliği Temel İlkeleri*. Birinci Baskı. Türkiye. Pegem Yayınevi, 26-35.
15. Yılmaz, F. (2009). *Avrupa Birliği ve Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği: Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği Kurullarının Etkinlik Düzeyinin Ölçülmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, İstanbul, 11.

16. Akkaya, G. (2007), *Avrupa Birliği ve Türk Mevzuatı Açısından Sağlık Kuruluşlarında İş Sağlığı, İş Güvenliği, Meslek Hastalıkları ve Bir Araştırma*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, İstanbul,19.
17. Channing, J., Riddley, J. (2003), *Safety At Work*, Second Edition. New York. Farett Ed,12-21, 177.
18. Sutton, S. (2008). *Proses Tehlike Analizi ve Bir Analiz Yöntemi Olarak HAZOP*,(çev. S. Gürkan), Pegem, 54-58.
19. Sutton, S.(2008).*Proses Güvenliği Risk Analiz Yöntemleri: Kontrol Listesi ve Hata Türleri Etkileri Analizi*,(çev. S. Gürkan) Pegem,62-81.
20. Vieria, MGA. (1977). *A guide to Hazard and Operability Studies*. Second edition, London, Imperial Chemical Industries and Chemical Industries Associations, 26-41.
21. Clifton, E. (2005). *Hazard Analysis Techniques for System Safety*, Second edition, Virginia John Wiley & Sons,17-22.
22. Pasman, H. (2000). HAZOP: Guide to Best Practice, *European Process Safety Centre, Institution of Chemical Engineers*, 18, 26-43.
23. Gressel, M. (2001). An overview of Proses Hazard Evalutation Techniques. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 52, 158-163.
24. Hyatt, N. (2003). Guidelines for Process Hazards Analysis. *Hazards Identification & Risk Analysis*, 41,19-22.
25. IEC 61882 Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies) Application Guide, International Electrotechnical Commission,Zürich, 2001.
26. Kennet, A., Carlton, S. (1991). Generic HAZOP Would Improve Gulf of Mexico Process Safety, *World Oil*, 21,15-19.
27. Kletz, T. (1999). Hazop and Hazan. *Institution of Chemical Engineers*, 21,19-23.
28. Knowlton, R.E. (1981). Hazards and Operability Studies, the Guideword Approach, *Chemetics International Company*, 12, 25-27.
29. Kossiakoff, A., Sweet, W. (2003). *System Engineering Principles and Practice*. First edition, John Wiley & Sons, 25-27
30. Lawley, G. (1974). Operability Studies and Hazard Analysis. *Chemical Engineering Progress*, 70,45-56.
31. Lees, F. (1996). *Loss Prevention in Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control*. First Edition. Oxford, Butterworths-Heinemann, 42-44.

32. Lorenzo, D., Arendt, S., (2005). *Evaluating Process Safety in the Chemical Industry*, New York. Center for Chemical Process Safety, 47-49.
33. Nolan, D. (1994). *Application of HAZOP and What-if Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries* . New Jersey. Noyes Publications, 17-19.
34. TS EN 31010 Risk yönetimi, Risk değerlendirme teknikleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2009.
35. Kikukava,S. (2008). Risk Assessment for liquid hydrogen fueling station. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 1135-1141.
36. Herrera, M.(2015). A Structural Approach to Hazop, Hazard and Operability technique in the biopharmaceutical industry. *Journal of loss Prevention in the Processes Industries*, 35, 1-11.
37. Laul J. (2006). Perspectives on chemical hazard characterization analysis process at DOE. *Chemical Health and Safety*, 7-39.
38. Kasai, N. (2016). The qualitativ risk assessment of an electrolytic hydrogen generation system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 13308-13314.
39. Casamirra, M. (2009). Safety Studies of a hydrogen refuelling station:Determination of the occurance frequency of the accidental scenarios. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 5846-5854.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKYÜREK, İbrahim
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.08.1978, Kayseri
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 37 28
 Faks : 0 (312) 202 37 10
 e-mail : ibrahim_akyurek@yahoo.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarih
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği	2003
Lise	Kastamonu Mustafa Kaya Anadolu Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-Halen	TUSAŞ Türk Havacılık Uzay Sanayii	İş Güvenliği Mühendisi
2005-2007	TMMOB Kimya Mühendisleri Odası	Meslek İçi Eğitim Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca, İspanyolca

Yayınlar

-

Hobiler

Müzik, Tiyatro, Sinema



GAZİ GELECEKTİR..