

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİR CEVHER ZENGİNLEŞTİRME TESİSİNDE OPERATÖRLERİN ÇALIŞMA
OPTİMİZASYONUNUN ÜRETİM VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS

Ecem BULAT

MART-2022
GÜMÜŞHANE



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

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİR CEVHER ZENGİNLEŞTİRME TESİSİNDE OPERATÖRLERİN ÇALIŞMA
OPTİMİZASYONUNUN ÜRETİM VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

**AN ORE ENRICHMENT PLANT, THE EFFECT OF OPERATION
OPTIMIZATION OF OPERATORS ON PRODUCTION AND ENERGY
EFFICIENCY**

YÜKSEK LİSANS

Ecem BULAT

**MART-2022
GÜMÜŞHANE**



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

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİR CEVHER ZENGİNLEŞTİRME TESİSİNDE OPERATÖRLERİN ÇALIŞMA
OPTİMİZASYONUNUN ÜRETİM VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ**

**AN ORE ENRICHMENT PLANT, THE EFFECT OF OPERATION
OPTIMIZATION OF OPERATORS ON PRODUCTION AND ENERGY
EFFICIENCY**

YÜKSEK LİSANS

Ecem BULAT

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cemalettin AYGÜN

**MART-2022
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Bir Cevher Zenginleştirme Tesisinde Operatörlerin Çalışma Optimizasyonunun Üretim ve Enerji Verimliliğine Etkisi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kısıtlara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

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

11/03/2022

.....
Ecem BULAT

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans programına başladığım ilk günden bu yana, hayata bakış açısıyla bizlere ışık tutan, değerli görüşlerini, bilgi ve tecrübelerini, maddi, manevi desteklerini ve emeklerini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Cemalettin AYGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayat boyu öğrenme sürecimde her daim yanımda olan aileme, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK'e ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Mesleki gelişimimde yol gösterici olan, maddi ve manevi her türlü emeği ve desteği için Sayın Erdal GÜLDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamı gerçekleştirmemde emekleri ve desteklerini esirgemeyen Sayın Uğur ÖLGEN ve Atıf OKATAN 'a teşekkür ederim.

Tez sürecimdeki maddi ve manevi tüm destekleri için İkrâm TAŞDEMİR, Selda CELEPCİ, Elvin AĞTAŞ, Sefa LÖK, A. Alperen OKUMUŞ arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ecem BULAT
GÜMÜŞHANE – 2022

ÖZET

Türkiye, enerji kaynaklarını verimli ve çevreye duyarlı bir şekilde kullanarak ülke refahına katkı sağlama amacı ile açıklamış olduğu Milli Enerji ve Maden Politikası ile ülke refahını en üst seviyeye çıkarma yolunda önemli bir adım atmıştır. Ülkemizin cari açığının %70 oranla en büyük kalemini oluşturan enerji ithalatının azaltılması, kuşkusuz enerjinin verimli kullanılması ve yönetilmesi ile sürdürülebilir çözümlerin hayata geçirilmesi sonucunda sağlanacaktır.

Ülkemiz, Milli Enerji ve Maden Politikası kapsamında enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması, enerji kaynaklarının kamu, özel sektör, sanayi ve konutlarda daha verimli bir şekilde kullanılmasına yönelik stratejiler belirlemiştir. Ulusal stratejilerin esas alınmasıyla hazırlanan bu çalışmada, sanayide enerji verimliliğinin artırılması, maden ve kaynakların daha verimli kullanılması hedefleri doğrultusunda, maden sektöründe bulunan, bir Cevher Zenginleştirme Tesisi ele alınmıştır. Tesisteki, üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen risklerin iyileştirilmesi doğrultusunda, makinelerin işletilmesi ve bakımlarından sorumlu operatörlerin proses - makine- cevher- çevre etkileşimi göz önünde bulundurularak, risk değerlendirme yöntemlerinden Hata Türü Etkileri ve Analizi (FMEA) - Proses FMEA (PFMEA) yöntemi seçilmiştir. Çalışma, Proses FMEA yönteminin daha etkili uygulanabilmesine imkân sunan güncel AIAG VDA 2019 PFMEA formu esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AIAG VDA PFMEA, Cevher zenginleştirme tesisi, Üretim ve enerji verimliliği

SUMMARY

Turkey has taken important step for increasing the wealth of the country to the top, with National Energy and Mining Policy by using energy sources efficiently and reliable for environment. Energy imports are highest ratio of Turkeys current account deficits with %70, it is required to decrease energy imports by managing energy resources efficiently and implementing sustainable solutions.

Within the scope of the National Energy and Mining Policy, Turkey has determined strategies for reducing foreign dependency in energy, using energy resources more efficiently in public, private sector, industry and residences. In this study, which was prepared on the basis of national strategies, an Ore Enrichment Facility in the mining sector was discussed in line with the objectives of increasing energy efficiency in the industry, using mines and resources more efficiently. within the objectives of the improvement of risks affecting production and energy efficiency in the facility; Considering the process – machine – ore - environment interaction of the operators who are responsible for the operation and maintenance of the machines, the Failure Mode Effects and Analysis (FMEA) - Process FMEA (PFMEA) method was preferred within the risk assessment methods. The study was carried out on the basis of the current AIAG VDA 2019 PFMEA form, which allows the Process FMEA method to be applied more effectively.

Keywords: AIAG VDA PFMEA, Ore enrichment plant, Production and energy efficiency

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
EKLER DİZİNİ.....	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Yöntemi ile İlgili Bilgiler.....	3
2.2. Risk Analizi.....	9
2.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA).....	10
2.3.1. FMEA Çeşitleri	10
2.3.2. FMEA Yöntemi.....	12
2.3.3. FMEA Uygulamasının Aşamaları.....	15
2.3.3.1. Başlangıç Hazırlıkları.....	15
2.3.3.2. FMEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin incelenmesi	16
2.3.3.3. FMEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin fonksiyonlarının incelenmesi.....	16
2.3.3.4. FMEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servis hatalarının incelenmesi ..	16
2.3.3.5. Mevcut Kontrollerin Belirlenmesi	17
2.3.3.6. Hata Türlerinin Değerlendirilmesi	17
2.3.4. FMEA Formu	20
2.3.5. FMEA'nın Faydaları ve Zorlukları	20
2.3.6. Yeni FMEA Yaklaşımı ve AIAG VDA PFMEA Formu	22
2.3.7. FMEA'nın Tarihçesi ve Günümüzde Yapılan Çalışmalar	26
3. MATERYAL VE METOD	32
3.1. Proses FMEA (PFMEA)	32
3.2. PFMEA Çalışmasının Planlanması.....	33
3.2.1. Neden PFMEA yapılmıştır?	33

3.2.2. PFMEA Zamanlaması - PFMEA ne zaman bitecek?.....	33
3.2.3. PFMEA Ekibi - Ekipte kimler olmalı?	34
3.2.4. PFMEA Ekibinin Görevi - Hangi işlerin yapılması gerekiyor?.....	34
3.2.5. PFMEA Aracı - Analizi nasıl yapıyoruz?	36
3.3. PFMEA Çalışmasının Uygulama Adımlarının İncelenmesi	36
3.3.1. Sistem Analizi	36
3.3.2. Hata Analizi ve Risk Azaltma.....	39
3.3.3. Risk İletişimi	41
3.4. Proses FMEA Çalışması Yapılan Ünitenin Seçimi ve Ünite Hakkında Genel Bilgiler	41
3.4.1. Hazırlığı Daraltma Sürecinin Gösterilmesi.....	42
3.4.2. Ünite Hakkında Genel Bilgiler.....	44
3.5. Değerlendirmeler.....	52
4. BULGULAR VE İRDELEME	53
4.1. Yeni Yaklaşım Sahip Proses FMEA Yönteminin Uygulanması.....	53
4.1.1. Doğrudan Operatör Kaynaklı Hataların Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu.....	54
4.1.2. Bunker ve Besleyici Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu	58
4.1.3. Primer Çeneli Kırıcı Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu	63
4.1.4. Titreşimli Elek Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu.....	68
4.1.5. Darbeli Sekonder ve Tersiyer Kırıcı Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu	73
4.1.6. Konveyör Bant Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu	79
4.1.7. Toz Toplama Sistemi Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu	84
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	89
5.1. Doğrudan Operatör Kaynaklı Hatalar	89
5.2. Operatörlerin makineler üzerindeki etkisinden kaynaklı hatalar	90
KAYNAKÇA.....	97
EKLER.....	102
ÖZGEÇMİŞ	148

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Milli enerji ve maden politikası strateji ve hedefleri.....	1
Tablo 2. Cevher zenginleştirme yöntemleri	5
Tablo 3. Aksiyon önceliği ve önlem gerekliliği.....	19
Tablo 4. FMEA'nın tarihçesi	26
Tablo 5. FMEA ile ilgili çalışmalar	27
Tablo 6. Proses FMEA’da değerlendirme için kullanılacak yöntemlerin seçim kriterleri.	32
Tablo 7. Doğrudan operatör kaynaklı hataların optimizasyonu.....	55
Tablo 8. Bunker ve besleyici bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu	59
Tablo 9. Bunker ve besleyici bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar	60
Tablo 10. Primer çeneli kırıcı bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu.....	64
Tablo 11. Primer çeneli kırıcı bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu.....	65
Tablo 12. Titreşimli elek bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu.....	69
Tablo 13. Titreşimli elek bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar ..	71
Tablo 14. Darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu.....	74
Tablo 15. Darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar.....	77
Tablo 16. Konveyör bant bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu.....	80
Tablo 17. Konveyör bant bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar ..	81
Tablo 18. Toz toplama sistemi bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu.....	85
Tablo 19. Toz toplama sistemi bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Cevher türleri ve enerji hammaddeleri	3
Şekil 2. Cevher hazırlama sürecinin genel akış şeması.....	4
Şekil 3. Cevher zenginleştirme tesisi genel akım şeması.....	5
Şekil 4. Tesise beslenen cevher örneği	6
Şekil 5. Boyut küçülme işlemi ile mineral tanelerinin ayrılması	7
Şekil 6. Bilyeli değirmenlerde cevherin öğütülmesi	7
Şekil 7. Flotasyon yöntemiyle yüzdürme işlemi yapılan kurşun minerali	8
Şekil 8. Pres filtreler aracılığıyla cevherin susuzlandırılması	8
Şekil 9. FMEA çeşitleri.....	11
Şekil 10. Risk çeşitleri	13
Şekil 11. FMEA süreci	14
Şekil 12. Risk ölçüt tablosu.....	18
Şekil 13. Proses FMEA formu.	20
Şekil 14. AIAG VDA FMEA el kitabı.....	22
Şekil 15. AIAG VDA PFMEA form yapısı.	23
Şekil 16. AIAG VDA PFMEA formu.....	23
Şekil 17. Planlama ve hazırlık adımı	36
Şekil 18. Yapısal analiz adımı.....	37
Şekil 19. Fonksiyonel analiz adımı.	38
Şekil 20. Hata analizi adımı.	39
Şekil 21. Risk analizi adımı.	40
Şekil 22. Optimizasyon adımı	40
Şekil 23. Tesisin enerji tüketim oranları dağılımı	41
Şekil 24. Üretim ve enerji verimliliğini etkileyen başlıca hatalar.....	43
Şekil 25. Kırma Eleme Ünitesi akım şeması.....	45
Şekil 26. Stok sahası	46
Şekil 27. Cevherin bunkere beslendiği kısım.....	46
Şekil 28. Bunker ve titreşimli besleyici	47
Şekil 29. Primer çeneli kırıcı.....	47
Şekil 30. Titreşimli elek, sekonder ve tersiyer kırıcıların görüntüsü	48
Şekil 31. Sekonder kırıcıya kırılmak üzere gelen cevherler	48
Şekil 32. Tersiyer kırıcıya kırılmak üzere gelen cevherler	49

Şekil 33. Öğütmeye uygun boyuta indirgenen cevherler	49
Şekil 34. Öğütülmek üzere cevherin depolandığı ve değirmene beslendiği silo	50
Şekil 35. Kontrol odası.....	50
Şekil 36. Jet pulse toz toplama sistemi	51
Şekil 37. Doğrudan operatör kaynaklı hataların ünite içerisindeki iyileşme oranları	58
Şekil 38. Bunker ve Besleyici bölümü hataların iyileşme oranları	62
Şekil 39. Primer çeneli kırıcı bölümü hataların iyileşme oranları	68
Şekil 40. Titreşimli elek bölümü hatalarının iyileşme oranları.....	72
Şekil 41. Darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümü hatalarının iyileşme oranları.....	78
Şekil 42. Konveyör bant bölümü hatalarının iyileşme oranları	84
Şekil 43. Toz toplama sistemi bölümü hatalarının iyileşme oranları.....	88
Şekil 44. Doğrudan operatör kaynaklı yüksek, orta ve düşük aksiyon önceliğine ait hataların optimizasyon öncesi ve sonrası aksiyon öncelikleri sayısı.....	89
Şekil 45. Yüksek, orta ve düşük aksiyon önceliğine ait hataların optimizasyon öncesi ve sonrası aksiyon öncelikleri sayısı	90
Şekil 46. Doğrudan operatör kaynaklı hataların ve operatörlerin makinalar etkisinden kaynaklı hataların optimizasyonu sonucunda elde edilen iyileşme oranları ..	91
Şekil 47. Üretim ve enerji verimliliği iyileşme farkı	93

EKLER DİZİNİ

Ek 1. Makine/Ekipman Bilgileri	102
Ek 2. Risk Değerlendirme Yöntemleri.....	122
Ek 3. FMEA İle İlgili Kavramlar	125
Ek 4. Doğrudan Operatör Kaynaklı Hatalar - FMEA No 1	126
Ek 5. Bunker ve Titreşimli Besleyici - FMEA No 2.....	128
Ek 6. Primer Çeneli Kırıcı -FMEA No 3	132
Ek 7. Titreşimli Elek - FMEA No 4.....	136
Ek 8. Sekonder Darbeli ve Tersiyer Kırıcı - FMEA No 5	138
Ek 9. Konveyör Bant - FMEA No 6	142
Ek 10. Toz Toplama Sistemi - FMEA No 7.....	146

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AIAG	: Otomotiv Endüstrisi Aksiyon Grubu (Automotive Industry Action Group)
AP	: Aksiyon önceliği (Action priority)
D	: Saptama (Detection)
DC	: Saptama kontrolleri (Detection controls)
DFMEA	: Tasarım FMEA (Design FMEA)
FC	: Hata nedeni (Failure cause)
FE	: Hata etkisi (Failure effect)
FM	: Hata türü (Failure mode)
FMEA	: Hata türü ve etkileri analizi (Failure mode and effect analysis)
4M	: Makine, insan, malzeme, çevre (Machine, man, material, environment)
O	: Olasılık (Occurrence)
PC	: Önleme kontrolleri (Prevention controls)
PFMEA	: Proses FMEA
RÖS	: Risk öncelik sayısı (Risk priority number)
S/Ş	: Şiddet (Severity)
VDA	: Alman Otomotiv Endüstrisi Birliği (Verband der Automobilindustrie)

1. GİRİŞ

İnsanoğlu doğal kaynakların (toprak, su, enerji, maden vs.) sınırlı olabileceğini düşünmeden hızlı ve verimsiz bir şekilde tüketince, gerçekte bu kaynakların sınırlı olduğunu, doğayı kirlettiğini, çevresel felaketlere ve küresel ısınmaya sebep olduğunu geç de olsa fark etti. Bu durum ülkeleri önlem almaya, kaynakları doğru ve verimli bir şekilde kullanmak için politikalar üretmeye sevk etmiştir.

Türkiye açısından son derece önemli bir noktada bulunan enerji konusu, geliştirilen politika ve stratejiler çerçevesinde şekillenmeyi sürdürmektedir. Özellikle son dönemde gerek ulusal gerekse uluslararası platformlarda enerji konusunda kritik bir misyon üstlenen Türkiye, bu doğrultudaki politikalarını güçlendirerek devam ettirmektedir. Milli Enerji ve Maden Politikası bu amaçla gündeme gelmiş ve ortaya attığı stratejilerle Türkiye'nin küresel enerji piyasalarındaki konumunu sağlamlaştırmak adına programlanmıştır. Bu stratejiler (Tablo 1) arz güvenliği, yerlileştirme ve öngörülebilir piyasa başlıkları altında toplanmaktadır (Karagöl vd., 2017).

Tablo 1. Milli enerji ve maden politikası strateji ve hedefleri (Karagöl vd., 2017).

	ARZ GÜVENLİĞİ	YERLİLEŞTİRME	ÖNGÖRÜLEBİLİR PIYASA
STRATEJİLER	• Petrol ve doğalgaz temin edilen ülke ve kaynak çeşitliliğini artırmak • Doğalgaz depolama ve sisteme gaz sağlama kapasitesini artırmak • Petrol ve doğalgaz arama ve sondaj çalışmalarını hızlandırmak • Enerji iletim ve dağıtım altyapısını geliştirmek • Enerjiyi verimli kullanmak	• YEKA, AR-GE ve yerli üretim sayesinde yenilenebilir enerji alanında ilerleme sağlamak • Nükleer teknoloji kullanarak elektrik üretimine katkıda bulunmak • Maden teknolojisini yerlileştirmek	• Tedarik altyapısını geliştirmek • Sektörde faaliyet gösteren kurumları yeniden yapılandırmak • Doğalgaz ve elektrik piyasalarını canlandırmak • Maden piyasasını güçlendirmek

Tablo 1. (Devamı)

	ARZ GÜVENLİĞİ	YERLİLEŞTİRME	ÖNGÖRÜLEBİLİR PİYASA
HEDEFLER	• Arz güvenliğinin artırılması yoluyla sürekli ve sürdürülebilir enerji temini gerçekleştirmek • 10 milyar metreküp doğalgaz ve 5 milyon ton petrol depolama kapasitesine ulaşmak • Akdeniz ve Karadeniz’de petrol ve doğalgaz arama çalışmaları yapmak • Tüm illere doğalgaz ulaştırmak • Enerji maliyetlerinde 8,4 milyar dolar tasarruf sağlamak	• Yerli enerji üretimini artırmak • Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimini en az yüzde 30 seviyelerine çıkarmak • Nükleer enerji santrallerinden elektrik üretimi miktarının 2023 yılında en az yüzde 10 olmasını sağlamak • Ülkede bulunan madenlerin zenginleştirilerek kullanılması yoluyla sektördeki ithalatın azaltılmasına katkıda bulunmak	• Doğalgaz depolama tesisleri, petrol boru hatları, FSRU ve LNG altyapılarını geliştirmek • TEİAŞ, BOTAŞ, TPAO ve ETİMADEN gibi kuruluşları enerji borsasına entegre olacak şekilde yapılandırmak • Türkiye’nin enerji ticaretinde merkez ülke olma hedefi doğrultusunda Enerji Borsası’nın işlevini artırmak • Kamu-özel sektör iş birliği ile madencilik sektörünün geliştirilmesini sağlamak

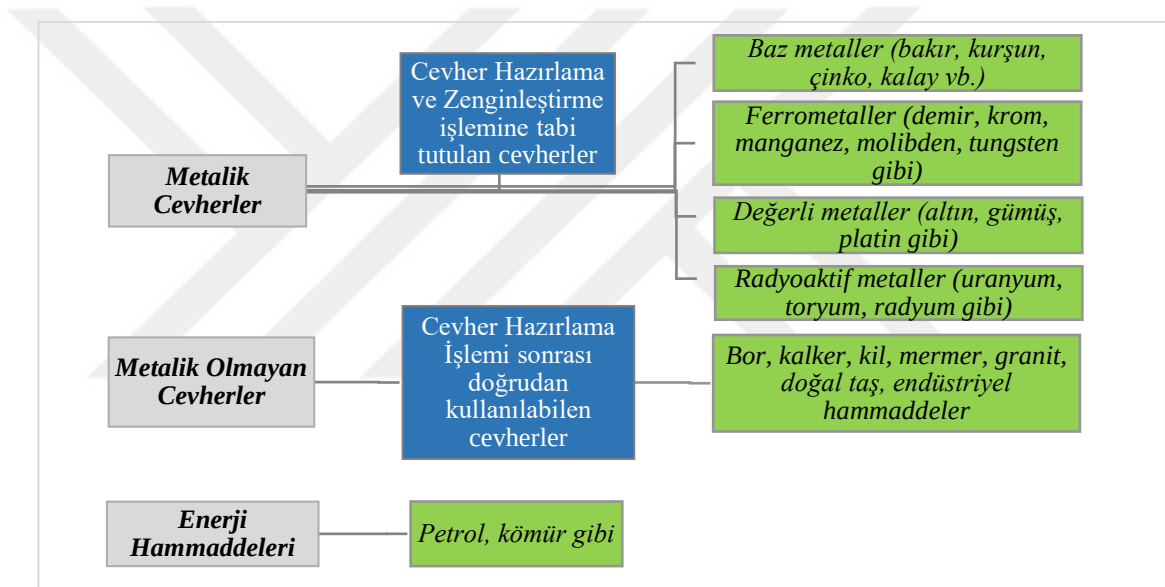
Ülkemizin, Milli Enerji ve Maden Politikası kapsamında belirlemiş olduğu stratejilerden: enerjiyi verimli kullanmak, maden piyasasını güçlendirmek stratejileri ile hedeflerinden: enerji maliyetlerinde tasarruf sağlamak, ülkede bulunan madenlerin zenginleştirilerek kullanılması yoluyla sektördeki ithalatın azaltılmasına katkıda bulunmak hedeflerinin esas alınması ile hazırlanan bu çalışmada, maden sektöründe bulunan bir Cevher Zenginleştirme Tesisi ele alınmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Yöntemi ile İlgili Bilgiler

Doğrudan doğruya veya bazı işlemler sonucu zenginleştirilerek endüstride tüketim yeri bulunabilen ve ekonomik değeri olan bir veya birkaç mineralden oluşmuş kayaç cevher olarak adlandırılır. Cevher, metal üretiminin hammaddesini teşkil eder (Erdemir, 2016).

Cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerine tabi tutulan cevherler Şekil 1’de yer almaktadır.



Şekil 1. Cevher türleri ve enerji hammaddeleri

Ham cevher (tuvönan) (Etimaden, 2018), çıkarıldığı haliyle ekonomik değere sahip olmasına karşın cevher hazırlama işlemleri ile birlikte zenginleştirilerek değeri daha da arttırılmaktadır. Ham cevheri zenginleştirmeyi gerektiren nedenler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- **Teknolojik nedenler:** Cevherin yeraltından çıkarılmış haliyle, kullanılması istenen hali arasında farklılıklar olması nedeniyle tüketim yerine uygun şekilde işlenmesi, değişiklikler geçirmesi ihtiyacı.

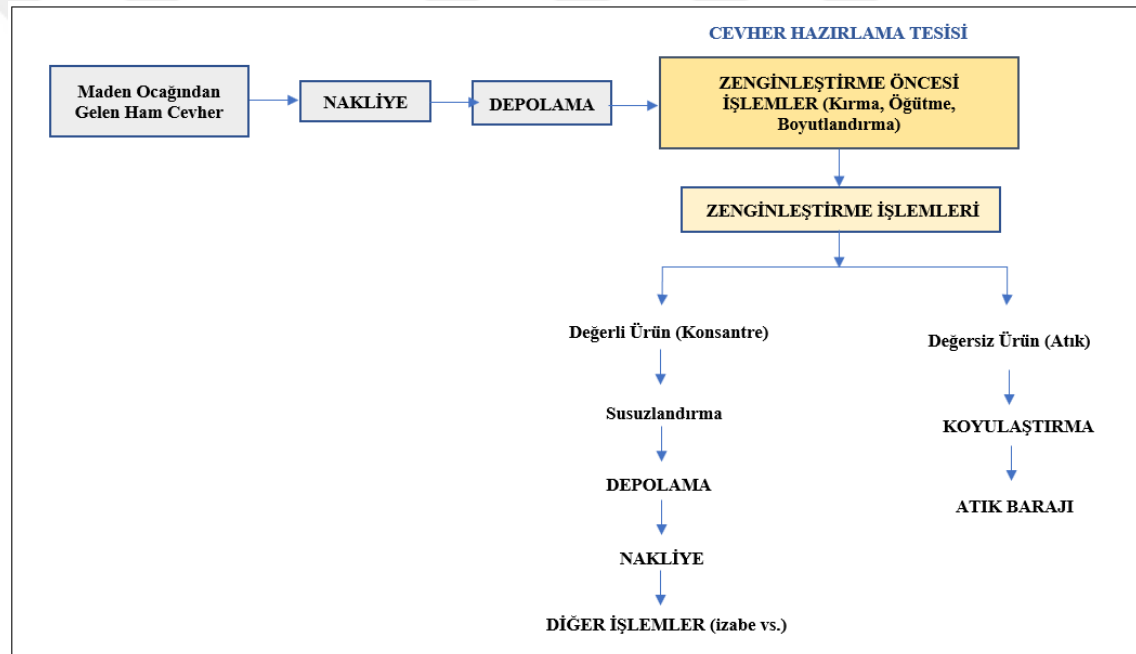
- **Ekonomik nedenler:** Bazı cevherler üretildiği haliyle ekonomik değere sahip olmalarına rağmen, cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemleri ile değeri daha da arttırılmaktadır. Bunlara; kömür, bakır, kurşun, çinko gibi cevherler örnek olarak verilebilir. Bazı cevherler ise üretildiği haliyle ekonomik değildir. Bu gibi cevherler

(altın, gümüş, uranyum), cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemleri yapılmasıyla birlikte satılabilir ürün haline gelmektedir.

- *Çevresel nedenler:* Ülkemizde ve dünyada doğal kaynakların her geçen gün azalması, azalan rezervlerin en verimli ve ekonomik şekilde çıkarılması ve işlenmesi ihtiyacını doğurmaktadır. Bu doğrultuda cevherin çıkarılması ve işlenmesi için harcanan emisyon miktarının azaltılması önem teşkil etmektedir.

- *Sosyal nedenler:* Madencilik faaliyetleri ile bölgede istihdamın sağlanması, sosyo-ekonomik yapının gelişmesi sağlanmaktadır (URL-1, 2014).

Zenginleştirilme ihtiyacı duyulan tüvonan cevher öncelikle cevher hazırlama sürecine tabi tutulur. Cevher hazırlama tesisinde kırma, öğütme, boyutlandırma işlemleri uygulanır (Şekil 2).



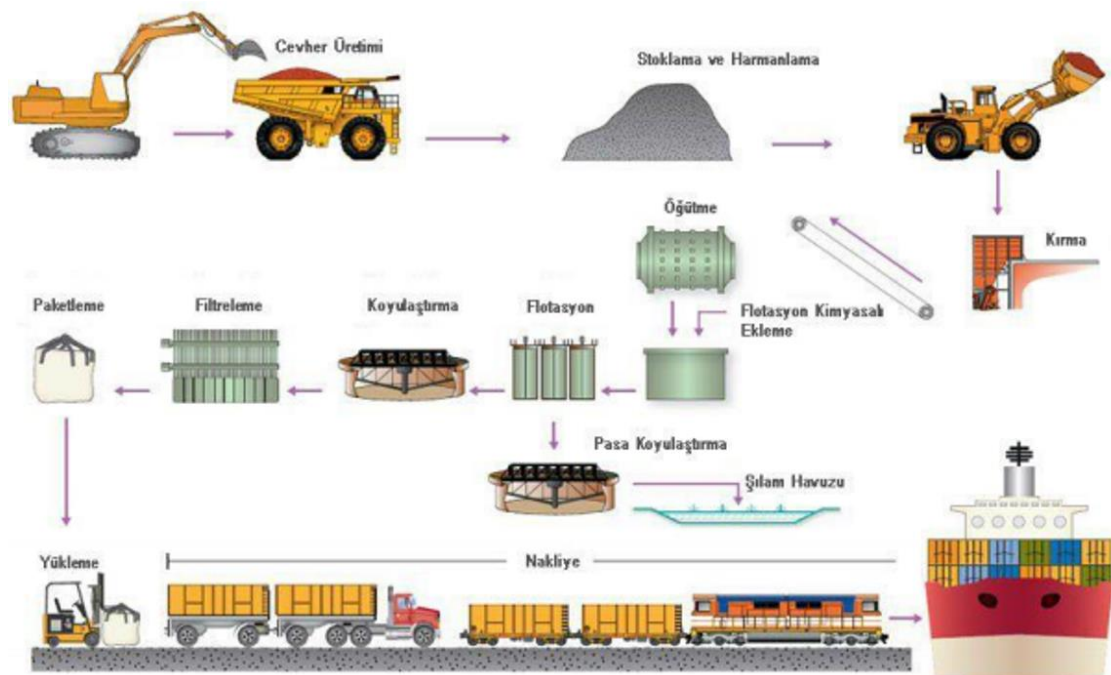
Şekil 2. Cevher hazırlama sürecinin genel akış şeması

Cevher hazırlama işlemleri sonrası zenginleştirilen cevherin satılabilir ürünü *konsantre* olarak adlandırılırken, değersiz ürünler *atık* olarak tanımlanır ve atık barajında depolanırlar.

Cevher zenginleştirme tesisleri, cevherin özelliklerine uygun olarak tasarlanırlar ve zenginleştirme için literatürde birçok yöntem mevcuttur (Hacıfazlıoğlu, 2016). Bu yöntemler Tablo 2’de verilmiştir.

Cevher Zenginleştirme Yöntemleri	Ayıklama ile zenginleştirme	Elle ayıklama
		Otomatik (Optik) ayıklama
	Boyutuna göre sınıflandırma ile zenginleştirme	Elekler
		Hidrosiklonlar
		Klasifikatörler
	Gravite ile zenginleştirme	Jigler
		Ağır ortam ayırıcıları
		Spiraller, Masalar
		MGS, Falcon, Knelson
	Manyetik ayırma ile zenginleştirme	Düşük alan şiddetli M.A.
		Yüksek alan şiddetli M.A.
	Elektrostatik ayırma ile zenginleştirme	Elektrostatik ayırıcı
		Tribostatik ayırıcı
	Yüzey özelliğine dayalı zenginleştirme	Flotasyon
		Aglomerasyon
		Flokülasyon
	Amalgamlaştırma	
Kimyasal zenginleştirme	Liç	
	Kalsinasyon	
	Kavurma	
Biyolojik zenginleştirme	Mikroorganizmalar-bakteriler	

Flotasyon yöntemiyle zenginleştirme yapan bir tesis; Kırma Eleme, Öğütme, Flotasyon, Susuzlandırma (Filtreleme) olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır.



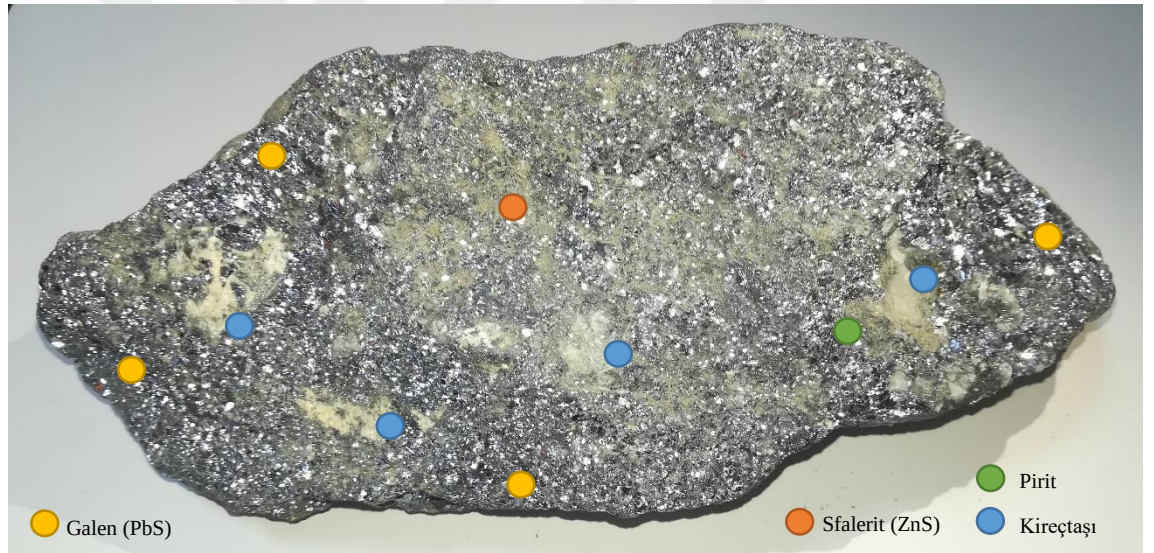
5

Flotasyon yöntemiyle cevher zenginleştirme işlemi yapılan bir tesiste öncelikle cevher hazırlama işlemleri uygulanır ve akabinde cevher zenginleştirilir. Şekil 3'te verilen süreç aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Maden ocağından çıkarılarak stok sahasına getirilen tüvenan, kırma ünitesine beslenmeden önce harmanlanması yapılır. Harmanlama işlemi ile tesise beslenecek cevherin tenörü ayarlanmaktadır. Tenör, tüvenan malzemedeki değerli metal içeriğini yüzde olarak belirtir.

Tane: Kırılmış ve öğütülmüş cevher parçalarına verilen isimdir. Kırma eleme ünitesine beslenen cevherler, kırıcılar tarafından kırılarak öğütme için istenen tane boyut aralığına ulaştığında (12 mm) siloya gönderilirler.

Tane serbestleşmesi ise; cevherin içindeki mineral tanelerinin ayrılmasına denir. Tek bir mineral içeren tanelere serbest tane, iki veya daha fazla mineral içeren tanelere de, bileşik (bağlı) tane (Şekil 4) denilmektedir.

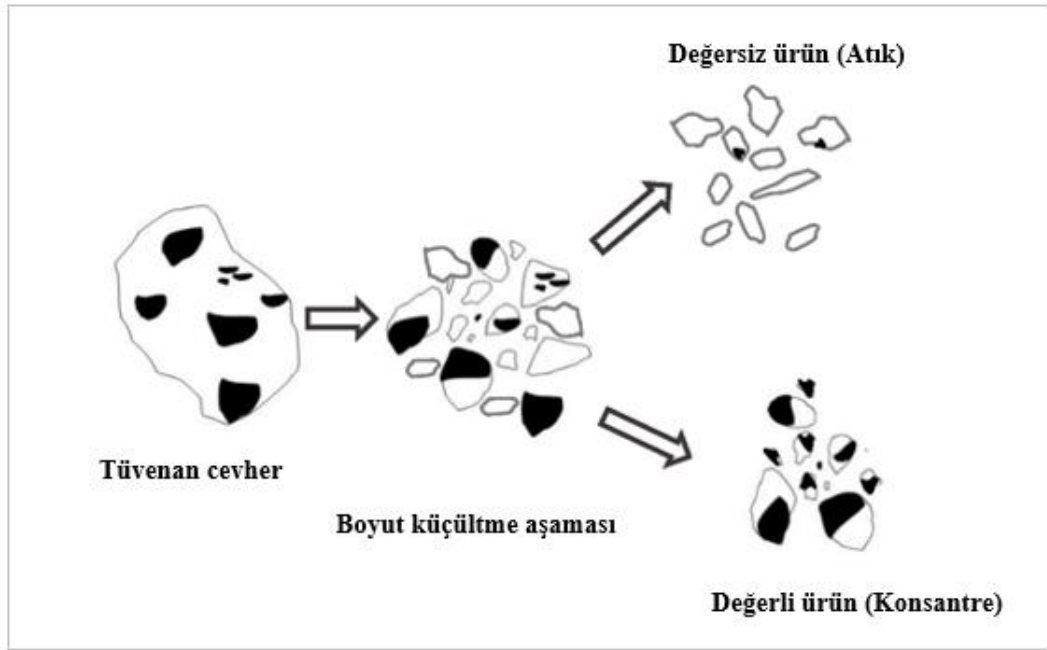


Şekil 4. Tesise beslenen cevher örneği

Flotasyon işlemi öncesi, cevher hazırlama sürecinde Şekil 4'te görülen bileşik (bağlı) mineral tanelerinin birbirinden ayrılması istenir.

Tane serbestleşmesi zenginleştirmenin hangi boyutta yapılacağını ve yönteminin belirlenmesinde önemlidir (URL-2, 2017).

Tane serbestleşmesi Kırma Eleme Ünitesi'nde boyut küçültme işlemi ile başlamakta ve boyut küçültme işlemi ile serbestleşen mineral taneleri Şekil 5'te görüldüğü üzere birbirinden ayrılmaktadır.



Şekil 5. Boyut küçülme işlemi ile mineral tanelerinin ayrılması (Saramak, 2021).

Boyutu küçültülerek tane serbestleşmesi sağlanmış cevherler siloya gönderilerek daha ince boyutta serbestleştirilmek üzere (12 mm - 250 μ m aralığında) öğütme ünitesindeki (Şekil 6) bilyeli değirmenlerde yaş olarak öğütülür ve öğütülen cevherler zenginleştirilmek üzere kondisyoner tanka alınırlar.



Şekil 6. Bilyeli değirmenlerde cevherin öğütülmesi

Serbestleşen mineral taneleri kondisyoner tanklarda çeşitli reaktiflerle işleme sokularak aralarındaki yüzey özelliklerinin farklılığı belirgin hale getirilir ve burada değerli ve değersiz mineraller birbirinden fiziko-kimyasal özellik farklılıklarına

dayanılarak yüzdürme (flotasyon) işlemi ile (Şekil 7) ayrılırlar (Bentli, 2001; Aytekin vd., 1988; Wills, 1988).



Şekil 7. Flotasyon yöntemiyle yüzdürme işlemi yapılan kurşun minerali

Flotasyon yönteminin uygulanması ile benzer mineraller (örneğin Pb mineralleri ve Zn mineralleri) satılabilir tenörde bir araya toplandıktan sonra susuzlandırma ünitesine gönderilir. Mineral taneleri tikiner tankta yoğunlaştırılarak pres filtreler (Şekil 8) aracılığıyla filtrelenir ve % 7 - 8 nem oranına sahip konsantre elde edilir.



Şekil 8. Pres filtreler aracılığıyla cevherin susuzlandırılması

Susuzlandırılan mineral taneleri pres filtrenin (Şekil 8) alt kısmında bulunan kapaktan aşağıya, konsantre yükleme alanına bırakılır. Elde edilen konsantre, nakliye alanında big bag çuvallar ile paketlenerek satışı yapılmak üzere anlaşılan firmaya (izabe tesisine) gönderilmek için nakliye araçlarıyla limana ulaştırılır. Ekonomik değeri olmayan mineraller ise depolanmak üzere atık havuzuna (barajına) gönderilirler.

Konsantre üretimine dek geçen süreçte, kırma eleme ve öğütme işlemleri sonucunda elde edilen tane boyut aralığının, flotasyon için istenen tane boyut aralığından farklı olması durumunda; flotasyon işleminin verimini olumsuz etkilemektedir. Aynı zamanda Kırma Eleme Ünitesi'nde yapılan boyut küçültme işleminin üretimi ve verimliliği de Öğütme Ünitesi'nin üretim ve enerji verimliliği ile ilişkilidir. Bu ilişki aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kırma Eleme Ünitesi'nde kırılarak Öğütme Ünitesi'ne öğütülmek üzere gelen cevher boyutlarının, istenen tane boyut aralığından büyük olması durumunda; cevher yetersiz öğütülerek yeterli serbestleşme tane iriliğinde ürünler veremez ve öğütme için daha fazla enerji harcanır (Yıldız, 2010).

- Tane boyutunun istenenden küçük olması durumunda ise aşırı öğütülerek zenginleştirme veriminin düşmesine yol açmaktadır.

Ayrıca Kırma işleminin öğütme işlemine kıyasla daha düşük maliyette olması nedeniyle, cevher hazırlama tesislerinde boyut küçültme maliyetlerinin azaltılabilmesi, cevherin öğütmeye en uygun tane boyutunda kırılması ile sağlanabilir (Yıldız, 2010). Yukarıda açıklanan ilişkiler göz önünde bulundurulduğunda, tüm prosesin üretim ve enerji verimliliğini etkileyen ilk ünite: *Kırma Eleme Ünitesi* seçilmiştir.

Kırma Eleme Ünitesi cevher hazırlama işlemlerinin yapıldığı kısımdır. Stok sahasından bunkere beslenen tüvenan, primer kırıcı, sekonder ve tersiyer kırıcılarda kırılarak boyutu küçültülür. Kırılan cevherin titreşimli elek vasıtasıyla elenmesi ile uygun tane boyutunda cevherler ayrılarak öğütülmeye hazır hale getirilir.

Ünitede kullanılan ekipmanların çalışma prensipleri ve özellikleri ile ilgili bilgiler Ek 1'de verilmiştir. Ekte açıklanan makine ve ekipmanlar operatörler aracılığıyla kullanılmaktadır.

Kırma Eleme Ünitesi'nde meydana gelen üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen risklerin tespiti, değerlendirmesi ve iyileştirmesinin yapılabilmesi için gerekli risk değerlendirme metodolojilerinin incelemesi ve yöntemin seçimine yönelik bilgilere sonraki bölümde yer verilmiştir.

2.2. Risk Analizi

Firmalar varlıklarını devam ettirebilmek, müşterilerini memnun etmek, maliyetlerini düşürmek amacıyla kalite iyileştirme çalışmaları yapmaktadırlar (Sönmez ve Unğan, 2017). Literatürde bu amaçla kullanılan birçok risk değerlendirme yöntemleri mevcuttur. Risk değerlendirme metodolojileri karşılaştırma tablosu ve yaygın olarak

kullanılan risk değerlendirmesi yöntemlerinin karşılaştırılma tablolarına Ek 2’de yer verilmiştir.

Tablolar incelendiğinde, Hata Ağacı Analizi ve Olay Ağacı Analizi’nin birleşimi olan Papyon (Bow Tie) Risk Analizi ile makine ve ekipman kaynaklı risklerin belirlenebildiğı görülmektedir. Buna karşın FMEA risk analizi ile makine, ekipman, insan hataları, malzeme ve çevresel faktörleri birlikte inceleyebilmektedir. Bu nedenle çalışmada risk değerlendirme yöntemlerinden Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) yönteminin seçilmesinin uygun olduğı görülmüş olup, çalışma kapsamında üretim ve enerji verimliliğini etkileyen hataların risk değerlendirmesi için FMEA yöntemi kullanılmıştır. FMEA yöntemi ile ilgili bilgilere bir sonraki bölümde yer verilmiştir.

2.3. Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)

Hata Türleri ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA), hataları sistematik olarak analiz ederek hem düzeltici hem de önleyici etkiler ortaya koyan, böylece hata maliyetini en küçük seviyeye indirmeye ve güvenilirliği artırmaya yardımcı olan bir tekniktir. FMEA’nın amacı süreçle ilgili potansiyel hataların, oluşmadan önce, planlama ve geliştirme safhasında tespiti, önem derecelerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve önlenmesi için uygun önlemlerin alınmasını sağlamaktır. Bu nedenle FMEA, işletmelerin rekabette üstünlük sağlamak için uygulamaya koydukları önleyici kalite güvence yaklaşımları arasında en çok kabul görenlerden birisi olmuştur (Sönmez ve Unğan, 2017).

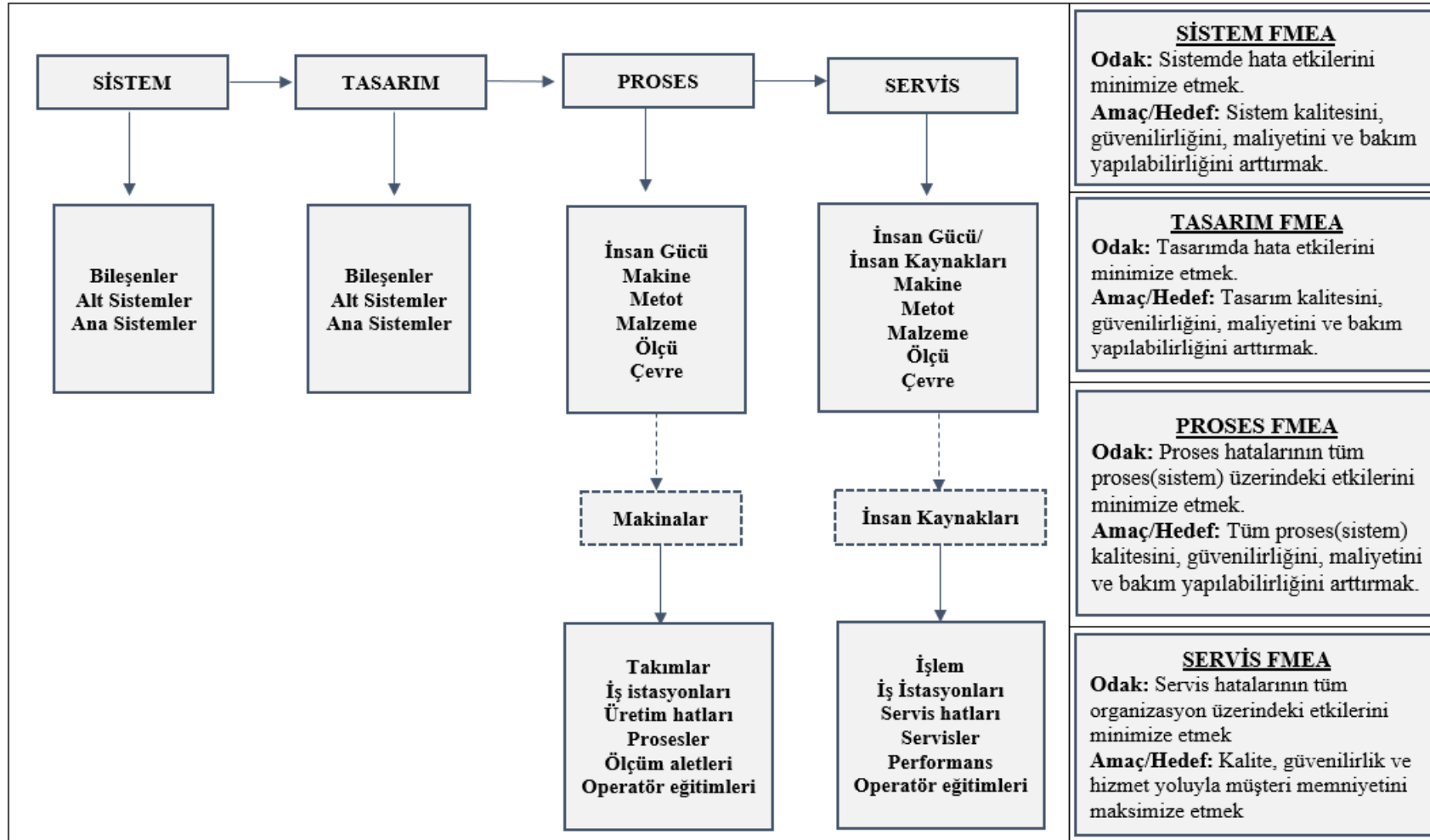
FMEA yönteminde sıkça kullanılan bazı temel kavramlar bulunmaktadır. Bu temel kavramların açıklamalarına Ek 3’de yer verilmiştir.

FMEA; bilinen potansiyel hataların müşteriye ulaşmadan önce belirlenmesi ve önlenmesini amaçlamaktadır. Her hatanın farklı öncelikleri vardır ve bu önceliklerin belirlenmesi FMEA metodolojisinin uğraşı alanıdır (Çevik ve Aran, 2009; Durhan, 2006). Ayrıca, önceden planlanmış olan önleme ve tespit kontrollerinin yeterli olup olmadığını değerlendirmek ve ek eylemler önermek için kullanılır. FMEA; riski azaltmak için alınan önlemleri belgeler ve izler (URL-3, 2019).

FMEA yöntemi ile ilgili bilgiler ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır:

2.3.1. FMEA Çeşitleri

Günümüzde FMEA birçok çeşide sahiptir ve tekniğin uygulanması tüm üretim ve hizmet türlerini içine almaktadır (Turan, 2018). FMEA yönteminin sıklıkla kullanılan çeşitleri, odak noktaları ve amaçları Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. FMEA çeşitleri (Stamatis, 2003).

FMEA çeşitleri incelendiğinde, yaygın olarak dört çeşitten oluştuğu görülse de temelde *Tasarım FMEA* ve *Proses FMEA* olarak ikiye ayrıldığı söylenebilir (Durhan, 2006).

Ürünün tasarım aşamasında oluşabilecek hata olasılıklarını analiz eden *Tasarım FMEA*'sının (*Design FMEA*, *DFMEA*) aksine, *Proses FMEA* (*PFMEA*)'sı üretim, montaj ve lojistik proseslerin potansiyel arızalarını analiz ederek standartlara uygun ürünlerin üretilmesini sağlar.

Süreçle ilgili hatalar, *Tasarım FMEA*'sında analiz edilen hatalardan farklıdır. *Proses FMEA*, hataların önlemesi için eylemlerin önceliğini belirlemek ve gerektiğinde kontrolleri iyileştirmek için proses varyasyonundan kaynaklanabilecek potansiyel hata türlerini dikkate alarak prosesleri analiz eder. Genel amaç, üretim ve montajla ilgili istenmeyen kusurları ve bu kusurların sonuçlarını önlemek için üretim başlamadan önce süreçleri analiz etmek ve önlem almaktır (URL-3, 2019).

Çalışma kapsamında proses hatalarının sistem üzerindeki etkileri detaylı incelendiğinden ve en aza indirilmesi istendiğinden dolayı, FMEA çeşitlerinden *Proses FMEA* kullanılmıştır.

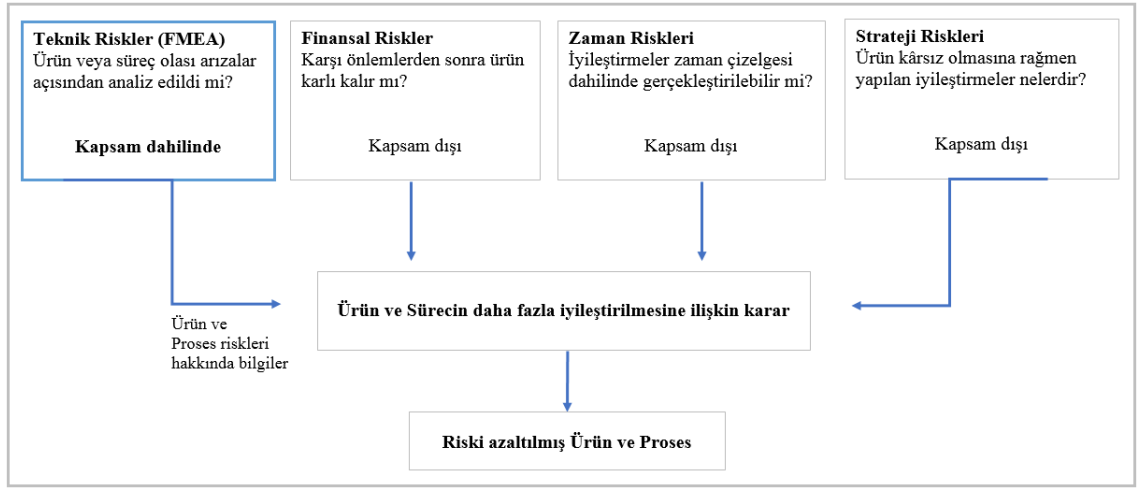
2.3.2. FMEA Yöntemi

Sektör, müşterinin artan kalite talepleri, ürün ve süreçlerin gerekli maliyet optimizasyonu ve daha yüksek karmaşıklığın yanı sıra mevzuatın gerektirdiği tasarımcı ve üreticinin ürün sorumluluğuyla karşı karşıyadır. Bu nedenle, risk azaltmanın teknik yönlerini ele almak için *Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)* yöntemi kullanılır. *FMEA*;

- bir ürün veya sürecin olası teknik risklerini değerlendirmek,
- bu hataların nedenlerini ve etkilerini analiz etmek,
- önleyici ve tespit eylemlerini belgelemek,
- riski azaltmak için eylemleri önermek maddelerini gerçekleştirmeyi amaçlayan

ekip odaklı, sistematik, kalitatif bir yöntemdir.

Üreticiler; teknik riskler, finansal riskler, zaman riskleri ve strateji riskleri dahil olmak üzere farklı risk türlerini (Şekil 10) dikkate alırlar. *FMEA*, ürünlerde ve süreçlerde arızaları azaltmak ve güvenliği artırmak için teknik risklerin analiz edilmesinde kullanılır.



Şekil 10. Risk çeşitleri

Ürünler ve süreçler için teknik risklerin değerlendirilmesinde kullanılan FMEA yönteminin, uygulanacağı her biri farklı bir kapsam veya odak noktası olan üç temel durum vardır:

Durum 1: Yeni tasarımlar, yeni teknoloji veya yeni süreç: Yeni sistemler tasarımlar, ürünler, prosesler veya servisler oluşturulurken.,

Durum 2: Mevcut tasarım veya sürecin yeni uygulaması: Mevcut koşullardaki sistem, sistem, tasarım, ürün, proses veya servisler için yeni uygulamalar bulunurken.,

Durum 3: Mevcut bir tasarım veya süreçte mühendislik değişiklikleri: Mevcut koşullardaki sistem, tasarım, ürün, proses veya servislerde; yeni teknik gelişmeler, yeni gereksinimler, ürün geri çağırımları, tasarım ve/veya süreç değişiklikleri olduğunda (URL-3, 2019; Stamatis, 2003).

FMEA, bir tasarım veya süreç hakkında bir bilgi koleksiyonu içerir ve aşağıdaki noktalardan en az biri geçerliyse üretim başladıktan sonra revize edilebilir:

- Tasarımlarda veya süreçlerde yapılan değişiklikler,
- Çalışma koşullarındaki değişiklikler,
- Değişen gereksinimler (ör. yasa, normlar, müşteri, son teknoloji),
- Kalite sorunları (ör. tesis deneyimi, sıfır kilometre veya saha sorunları, dahili / harici şikayetler) vb. (URL-3, 2019).

FMEA uygulamasının sonlandırılabilceği durumlar ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

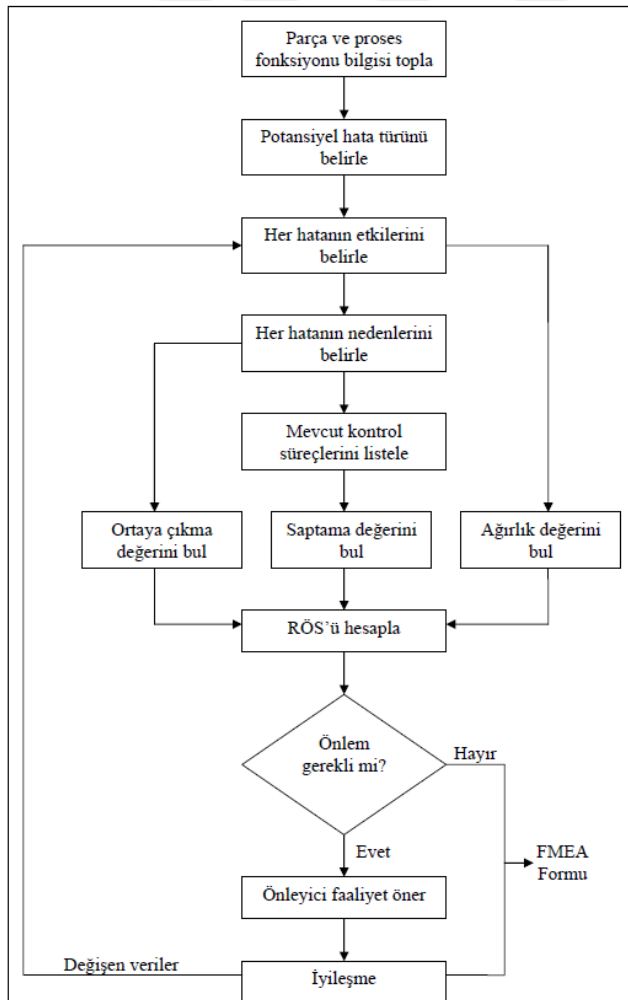
- Sistem FMEA, tüm donanımların belirlenerek, tasarımın son şekle ulaşması durumunda,
- Tasarım FMEA, üretime geçişin kesin tarih belirtildiğinde,

- Proses FMEA, bütün proseslerin belirlendiği, değerlendirildiği, yasal düzenleme veya ürün güvenilirliğini etkileyebilen koşullar sağlandığı ve müşteri talepleri karşılandığında,

- Servis FMEA, sistem tasarımı ve bireysel görevlerin tanımlandığı, değerlendirildiği, yasal düzenleme veya ürün güvenilirliğini etkileyebilen koşullar sağlandığı ve müşteri talepleri karşılanıp kontrol planlarında tanımlandığı zaman sona erdirilmesi düşünülebilir (Stamatis, 2003).

Uygulamanın sonlandırılabilceği durumlar yukarıda verilen maddelerdeki gibi sıralanmış olsa da, FMEA çalışmaları sürekli devam eden, risk tespit edildiği zaman tedbirleri alarak çalışmanın tekrarlanması gereken çalışmalardır. Analize başlangıç aşamasında bu etken göz önünde tutulmalıdır. Kapsam belirleme aşamasında çalışmanın sürekli devamlılığı göz ardı edilmeden çalışma gerçekleştirilmelidir (Özfarat, 2014).

FMEA yönteminin uygulama süreçlerinde farklılıklar görülmesine rağmen, genel itibarıyla Şekil 11'deki gibidir:



Şekil 11. FMEA süreci (Pillay ve Wang, 2003).

Şekil 11’de verilen yöntem, en genel haliyle;

- Başlangıç çalışmaları
- Olası hata türü, nedenleri, etkileri ve hatayı saptamak için kullanılan mevcut kontrollerin belirlenmesi
- Şiddet, ortaya çıkma (olasılık), saptama değerleri belirlenerek risk öncelik sayılarının (RÖS) hesaplanması
- Risk öncelik sayılarının sonuçları doğrultusunda, önlem alınacak hataların ve önlemlerin belirlenmesi
- Belirlenen önlemlerin uygulanması, yeni RÖS değerlerinin hesaplanması aşamalarının izlenmesi ile uygulanabilir (Durhan, 2006).

2.3.3. FMEA Uygulamasının Aşamaları

2.3.3.1. Başlangıç Hazırlıkları

FMEA uygulamasına başlamadan önce yapılması gereken birtakım hazırlıklar bulunur. Bunlar:

- FMEA kapsamının belirlenmesi; amaçların ve sınırların, ulaşılmak istenen hedeflerin ortaya konulması.
- FMEA zamanlamasının belirlenmesi; uygulamanın ne zaman sona ereceğinin belirlenmesi.
- FMEA ekibinin belirlenmesi; uygulamaya katılacak takım üyelerine karar verilmesi. FMEA ekibinde bir lider seçilir ve ekip genellikle 5-8 kişiden oluşur. Ekip üyeleri konu hakkında tecrübeye sahip, farklı bakış açılarından kişilerin bir araya gelmesi ile oluşur. Ekipçe alınacak kararların olumlu sonuçlanabilmesi üst yönetimden yöneticilerin bulunması sağlanmalıdır (Koç ve Taş, 2010; Yılmaz, 1997).
- FMEA uygulamasında yapılacak işlerin belirlenmesi; ekip üyelerinin görev ve sorumluluklarının tanımlanması.
- FMEA araçları; uygulamanın hayata geçirilmesinde kullanılacak araçların belirlenmesi. Analizler özel yazılımlarla, şirketlerin kurum içi veri tabanı çözümlerini geliştirmesi veya ticari yazılımlarla yapılabildiği gibi form görünümü ile elektronik bir tabloda da kullanılabilir (URL-3, 2019; Durhan, 2006).

Başlangıç hazırlıkları bittiğinde, Şekil 11’de verilen süreç uygulanır.

2.3.3.2. FMEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin incelenmesi

FMEA uygulaması yapılacak sistem, tasarım, proses veya servis hakkında ayrıntılı bilgiye ulaşılarak, uygulama yapılacak konu ayrıntılı olarak incelenir. Kolaylık sağlamak amacıyla akım şemalarından faydalanılabilir. Test ve değerlendirme, kalite güvencesi, bütünsel lojistik destek, sistem emniyeti, tasarım ve geliştirme alanlarında yapılan çalışmalar da FMEA’da yararlanılabilecek önemli kaynaklardır (Stamatis, 2003).

2.3.3.3. FMEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servisin fonksiyonlarının incelenmesi

Uygulama yapılacak ürün veya sürecin fonksiyonları/gereksinimleri, çalışma ve üretim şekilleri belirlenerek, kullanıma nedenleri ifade edilir. Gereksinimler/özellikler fonksiyonlarla ilişkilendirilir ve hata analizinin temeli atılır (URL-3, 2019).

2.3.3.4. FMEA yapılacak sistem, tasarım, proses veya servis hatalarının incelenmesi

Uygulama yapılacak ürün veya süreci olumsuz etkileyen hataların; olası hata etkisi, olası hata türü, olası hata nedeni, ve olası hataları saptamak için yapılan kontrollerin belirlenmesi aşamasıdır.

Olası hata türü: Bir ürün veya prosesin arzulanan fonksiyonunun gereği gibi veya hiç yerine getirilmemesi, sistemin gerekliliklerin karşılanmaması durumlarında oluşabilecek olaylar açıklanır. Olası hata türünün tespiti için aşağıdaki sorular sorulur (Baker vd., 2001);

- Operasyon ve/veya bölümlerin ihtiyaçları nasıl karşılanamaz?
- Bir müşteri (son kullanıcı, ilişkili operasyonlar veya servis) neleri kabul etmez?

Hata türüne örnek olarak; aşınma, kırılma, açılmama, kapanmama vb. verilebilir.

Olası hata etkileri: Olası hataların incelenerek hataların sistem performansı üzerindeki etkisinin belirlendiği aşamadır (Aran ve Çevik, 2009). Bir sonraki işlem, izleyen işlemler veya son kullanıcı üzerindeki oluşan sonuçları ifade eder (Durhan, 2006). Olası hata türünün tespiti için “Bu hata türü ortaya çıkarsa ne tür sonuçlara yol açar?” sorusuna cevaplanır. Hata etkilerine örnek olarak; düşük performans, fonksiyonun yerine getirilememesi, arızaya yatkınlık vb. verilebilir.

Olası hata nedenleri: Olası hata nedeni tasarım veya prosesin belli bir elemanının hata türü ile sonuçlanmasına yol açan nedendir. Bir hata nedeni bir veya birden fazla hata türüne yol açabildiği gibi, birden fazla hata nedeni tek bir hata türüne de yol açabilir

(Stamatis, 2003). Olası hata nedenlerini belirlemek için “Olası hata türüne yol açabilecek nedenler nelerdir?” sorusuna yanıt aranır.

Hata nedenlerinin belirlenmesinde balık kılçığı diyagramı ve 3M+1İ (Makine, malzeme, metot ve insan) yöntemleri kullanılır (Durhan, 2006). Hata nedenlerine örnek olarak; operatör hatası, işgücünün eğitim yetersizliği, proses kontrollerinin yapılmaması, kötü çevre koşulları, aşırı yüklenme ve zorlama vb. verilebilir.

2.3.3.5. Mevcut Kontrollerin Belirlenmesi

Analiz gerçekleştirilmeden önce uygulanan kontroller, FMEA analizi devam ettiği esnada olası hataların oluşmasını veya bir sonraki müşteriye ulaşmasını engellemek için kullanılan noktalardır. Olası bir hatanın oluşmasını engellemek veya azaltmak için yapılan kontroller oluşma olasılığı derecesini bulmada fayda sağlar. Mevcut kontroller bulunurken “Bu hata türü nasıl tespit edilmektedir?” sorusuna cevap aranmalıdır (Çakmak, 2015). İşletmelerde yapılan proses kontrolleri mevcut kontrollere örnektir.

2.3.3.6. Hata Türlerinin Değerlendirilmesi

Olası hata türleri, etkileri, nedenleri ve mevcut kontroller belirlendikten sonra sıradaki süreç hata türlerinin öncelik sırasına göre sıralanarak değerlendirilmesidir. Uygulama devam ettikçe hataların RÖS değerinin azalması sağlanır.

Hata türleri; şiddet, olasılık (ortaya çıkma), saptama ve risk öncelik sayıları ile değerlendirilir.

Şiddet; olası hata etkisinin müşteriye yansıyan sonuçlarının değerlendirilmesidir. En düşük etki 1, en yüksek etki 10 ile derecelendirilir.

Olasılık (ortaya çıkma); en düşük 1, en yüksek 10 arasında değişir ve hatanın oluşma olasılıkları baz alınarak tespit edilir (Sofyalıoğlu ve Gülçiçek, 2014). Farklı bir ifadeyle olası hata meydana gelmesi ve ürünün beklenen ömrü içinde kullanımı esnasında hata türüne yol açmasının olasılığıdır (Yörükoğlu, 2014). FMEA uygulamalarında ortaya çıkma değeri olasılık olarak belirlenmez; ortaya çıkma ihtimali için çeşitli olasılık aralıkları oluşturulmuştur ve ortaya çıkma değeri bu tabloda yer alan derecelere göre belirlenmektedir (Pillay ve Wang, 2003).

Saptama; Mevcut kontroller kullanılarak olası hata türlerinin ortaya çıkarılma yeteneğidir. Hata meydana gelmiş gibi düşünülerek, mevcut kontrollerin hatayı müşterilere/sürecin bir sonraki adımına ulaşmadan belirlenmesini sağlar (Sofyalıoğlu ve Gülçiçek, 2014). Saptama için en yüksek değer 1 iken en düşük değer 10 olarak puanlandığına dikkat edilmelidir.

Risk değerlendirmede kullanılan şiddet, olasılık, saptama değerleri şekil 12’de verilen risk ölçüt tablosunda sunulmuştur;

RİSK ÖLÇÜT TABLOSU							
Şiddet		Derece			Hata İhtimali, (İşgünü olarak)		
Neredeyse Hiç	1	Neredeyse Hiç	1	< 1:20.000	Çok Yüksek	1	86 - 100
Düşük	2	Düşük	2	1:20.000		2	76 - 85
	3		3	1:10.000	Yüksek	3	66 - 75
Orta	4	Orta	4	1:2.000		4	56 - 65
	5		5	1:1.000		5	46 - 55
	6		6	1:200	Orta	6	36 - 45
Yüksek	7	Yüksek	7	1:100		7	26 - 35
	8		8	1:20		8	16 - 25
	9		9	1:10	Düşük	9	6 - 15
Çok Yüksek	10	Çok Yüksek	10	1:2	Neredeyse Hiç	10	0 - 5

şekil 12. Risk ölçüt tablosu (Pillay ve Wang, 2003).

Risk ölçüt tablosu kullanılarak hesaplanan hataların ürün veya proses üzerindeki etkisi risk öncelik sayıları (RÖS) ile ifade edilir (Durhan, 2006).

Risk Öncelik Sayısının (RÖS) Hesaplanması

Risk öncelik sayısı hata türünün proses üzerindeki risk değerini ifade etmekte kullanılır. RÖS’ü hesaplamada çarpma işlemi (Eşitlik 1) ve toplama işlemi (Eşitlik 2) olmak üzere iki yaklaşımdan söz edilebilir.

$$\text{Risk öncelik sayısı} = \text{ř} \times \text{O} \times \text{S} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

$$\text{Risk öncelik sayısı} = \text{ř} + \text{O} + \text{S} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2’de;

ř: şiddet

O: Olasılık

S: Saptama

değerlerini ifade etmektedir.

Uygulamada yaygın olarak kullanılan yaklaşım çarpma işlemi ile RÖS’ü hesaplamaktır (Stamatis, 2003).

Ford Motor şirketi, FMEA uygulamalarında RÖS değerlerine göre düzeltici önlem alma kararları (Tablo 3) aksiyon önceliği ölçütlerine göre yapılmaktadır.

Tablo 3. Aksiyon önceliği ve önlem gerekliliği

Risk Öncelik Sayısı	Aksiyon Önceliği	Önlem Gerekliliği
$R\ddot{O}S > 100$	Yüksek	Mutlaka önlem alınması gerekir.
$40 \leq R\ddot{O}S \leq 100$	Orta	Önlem alınmasında fayda vardır.
$R\ddot{O}S < 40$	Düşük	Önlem almaya gerek yoktur.

Renault’da yapılan uygulamalarda ise $R\ddot{O}S > 100$ olan hatalar düzeltici önlem alınması gereken risk taşıyan hatalardır.

Risk Öncelik Sayısının ($R\ddot{O}S$) değerlendirilmesi

$R\ddot{O}S$ değerlerinin belirlenmesindeki amaç, olası risklerin sayısal olarak tanımlanması ve sınırlandırılmasıdır. “Bu hatalardan hangileri için önlem alınmalıdır?” sorusunda cevap aranmalıdır. Hataların sınıflandırılması için histogram oluşturularak $R\ddot{O}S$ değerlerinin hangi aralıkta yoğunlaştığı görülebilir (Boran, 2012).

Uygulamalarda $R\ddot{O}S$ ile ilgili rastlanan durumlardan biri, farklı hataların aynı $R\ddot{O}S$ değerine sahip olmasıdır. Aynı $R\ddot{O}S$ değerine sahip iki veya daha fazla hata varsa, öncelikle ağırlığı ve sonra da saptama değeri yüksek olan ele alınmalıdır. Ağırlığı yüksek olan hata önceliklidir, çünkü bu değer hatanın etkisini göstermektedir.

Saptama, ortaya çıkma değerinden daha önemlidir çünkü burada söz konusu olan hatanın sonraki bölüme ulaşmasıdır. Sonraki bölüme ulaşan hatalara, sık ulaşan hatalardan daha öncelikli olarak yaklaşılmalıdır (Çevik ve Aran, 2009).

Alınacak Önlemlerin Belirlenmesi ve Uygulanması

Önerilen faaliyetlerin uygulanması ile $R\ddot{O}S$ değerinin küçültülmesi hedeflenir. Hatanın şiddetinin (etkisi) azaltılması için ürün veya sistem tasarımı üzerinde değişiklikler yapılması gerekir ancak bazı durumlarda yine de ağırlık derecesi değiştirilemeyebilir. Hatanın olasılık değerinin (ortaya çıkma) azaltılması ile küçültülebilir; planlar, prosedürler, üretim yöntemleri, tasarımlar, çevre ve koruma koşullarını değiştirmek gibi.

Hatanın saptama (fark edilebilirlik) değerinin azaltılması; kontrol sıklığının, kontrol yönteminin güvenilirliğinin artırılması, uygun olmayan parçaların bir sonraki müşteriye ulaşmasını engelleyen fiziksel olanakların sağlanması ile sağlanabilir (Stamatis, 2003). FMEA çalışmasında risk değerlendirmesi yapılarak hata önceliklerinin belirlenmesinin ardından, hataları iyileştirmek için belirlenen önleyici faaliyetlerin uygulanması önem arz etmektedir. Bunun için iyileştirmeden sorumlu kişiler ve ne kadar

zamanda hatanın giderilmesi gerektiği belirlenir. Kritik RÖS değerlerine sahip hataların beklenen değerlere düşürülünceye kadar çözümleri incelenir.

2.3.4. FMEA Formu

FMEA çalışmasında elde edilen bilgileri düzenli olarak tutabilmek ve FMEA sürecini kolaylaştırmak için FMEA formlarından yararlanılır (Durhan, 2006). Literatürde yaygın kullanılan form örneği Şekil 13'te verilmiştir.

Potansiyel Hata Türü ve Etkileri Analizi
(Proses FMEA)

Parça adı: _____
 Model, yıl(lar) Arak(lar): _____
 FMEA Ekibi: _____

Proses Sorumluluğu: _____
 FMEA Başla. Tarihi: _____

FMEA No: _____
 Sayfa: _____
 Hazırlayan: _____
 FMEA Tarihi: _____

Proses Faaliyet	Potansiyel Hata Türü	Hatanın Potansiyel Etkileri	Ş i d d e t	S i n i f	Hatanın Potansiyel Sebepleri/ Mekanizmaları	O l a s ı l ı k	Mevcut Kontroller		S a p t a m a	R Ö S	Önerilen Faaliyetler	Sorumlular, hedef ve Termin	Faaliyet Sonuçları				
							Onleme	Saptama					Yapılan Faaliyetler	Ş i d d e t	O l s ı l ı k	S a p t a m a	R Ö S
Şartlar																	

Şekil 13. Proses FMEA formu (URL-4, 2006).

2.3.5. FMEA'nın Faydaları ve Zorlukları

Etkin bir şekilde uygulanan bir FMEA programının yararları şu şekilde sıralanabilir:

- İyi bir iyileştirme fırsatıdır.
- Ürünün ve prosesin etkin bir şekilde analiz edilmesini sağlar.
- Ürünün sistem, alt sistem, parça ve bileşenler ile ilişkilerini analiz eder.
- Ürün ve proses fonksiyonlarını analiz eder.
- Potansiyel hataların ortaya çıkmasını ve müşteri üzerindeki etkilerinin anlaşılmasını, hataların sebeplerinin araştırılmasını sağlar.
- Kontrol noktalarının gözden geçirilmesini sağlar.
- Riskleri ve fırsatları analiz eder.

- Düzeltici ve önleyici faaliyetlerin önceliğini belirleyerek başlatılmasını sağlar.
- Ürün üzerindeki değişikliklerin ve düzeltici/önleyici faaliyetlerin başarı ile yapılmasını ve takibini sağlar.

- Kritik karakteristiklerin belirlenmesini sağlar.
- Kuruluşun imajını ve rekabet gücünü artırır.
- Müşteri memnuniyetinin artmasına yardımcı olur.
- Gelecek için referans sağlar.
- Ürün geliştirme zamanını ve maliyeti düşürür.
- Ürün kalitesinin, güvenilirliğinin ve emniyetinin artmasını sağlar (URL-5, 2009).

Ayrıca bu teknik, geliştirdiği belgelendirme yapısıyla sürekli olarak güncelleştirilebildiğinden, uygulayan firmalara sonsuz bir kalite gelişimi ve müşteri memnuniyeti kazandırmaktadır (Durhan, 2006).

FMEA çalışmalarının faydaları olduğu gibi, yöntemin uygulanmasında karşılaşılan güçlükler de bulunmaktadır. Bunlar ağırlıklı olarak sistemdeki bazı eksiklikler nedeni ile oluşur. Karşılaşılan başlıca güçlükler (Boran, 2012):

- Veri kaynaklarının eksik veya hiç bulunmaması,
- Kullanılabilecek ortak bir standart olmamasından kaynaklanan karmaşa,
- Yöntemin kullanılmasına isteksiz yöneticiler.

Yukarıda verilen güçlükler içerisinde en önemli olanı, veri eksikliğidir. FMEA ile ilgili bütün bilgilerin etkin bir şekilde girildiği ve idare edildiği veri tabanlarının olmaması uygulamayı güçleştirir, sağlıklı sonuçlar alınmasını önler (Stamatis, 2003).

FMEA yöntemi ile risk değerlendirmesi yaparken olasılık, şiddet, tespit edilebilirlik gibi sayısal verilere ihtiyaç duyulmaktadır ancak hazır veri mevcut olmadığından veya yeterli ve güvenilir olmadığı durumlarda genellikle uzman tecrübesine başvurularak sayısal veriler tahmin edilmektedir. Puanlamada onlu skala kullanılması katılımcıların tecrübeleri nedeniyle ciddi sapmalar oluşturmaktadır. Kişiler değerlerini sayısal olarak ifade etmekten çok, niteliksel olarak ifade etme eğilimindedir. Uzman yargısına dayanılarak elde edilen bilgiler, niteliksel olma özelliğinden kaynaklı, bir dile ait sözcükler (az, çok az gibi) ile ifade edilen bulanık bilgilerdir. Bu terimler belirsizlikten çok, kötü tanımlanmış ifadeler olmaları nedeniyle kesin olmama halini meydana getirmektedir (Öndemir vd., 2004).

Gerçekleştirilen son çalışmalarda FMEA tekniği çeşitli yönleri ile eleştirilmiştir. Eleştirilerin en başında uygulama sonucunda aynı RÖS değerine sahip hata türleri oluşması gösterilmiştir. Böyle bir durum ile karşı karşıya kalındığında klasik FMEA tekniğinin önerdiği önceliklendirme hataya sürükleyebilmektedir. Bir diğer eleştiri, risk

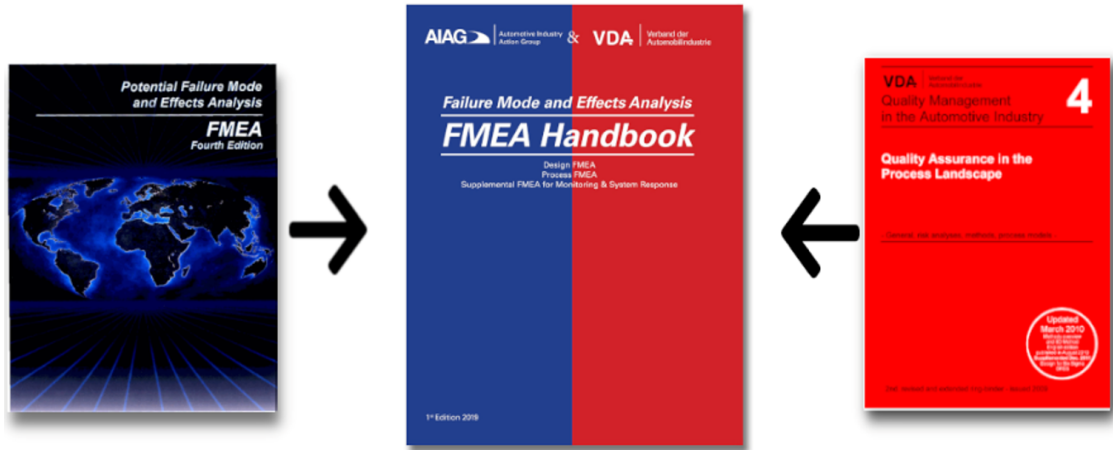
faktör ağırlıklarının eşit kabul edilmesinden kaynaklı önem derecelerinin değişebileceğinin göz ardı edilmesidir. Klasik FMEA mantığının yaklaşımlarından kaynaklanan bu problemleri gidermek için son zamanlarda bulanık mantık yaklaşımından yararlanılmaya başlanılmıştır (Price ve Taylor, 2001; Pillay ve Wang, 2003).

Yukarıda açıklanan zorlukların üstesinden gelinerek, FMEA yönteminin etkinliğinin ve verimliliğinin artırılması amacıyla yayınlanan yeni FMEA yaklaşımı sonraki bölümde detaylıca anlatılmıştır.

2.3.6. Yeni FMEA Yaklaşımı ve AIAG VDA PFMEA Formu

Yeni FMEA yaklaşımında temel amaçlar; kalite maliyetlerinin daha iyi yönetilmesi sonucunda maliyetlerin düşürülmesi, risklerin azaltılması, benzer proseslere uygulamaların gerçekleştirilmesi ile FMEA etkinliğinin ve verimliliğinin sağlanmasıdır (URL-6, 2020).

FMEA yönteminin uygulanmasına yönelik detaylı bilgilerin paylaşıldığı FMEA el kitabı, AIAG (Automotive Industry Action Group, Otomotiv Endüstrisi Aksiyon Grubu) tarafından 1993, 1995, 2001 ve 2008 yıllarında dört kez revize edilmiştir. 2019 yılında ise AIAG ve VDA (Verband der Automobilindustrie, Alman Otomotiv Endüstrisi Birliği) işbirliği kapsamında yeni FMEA yaklaşımına sahip, ortak bir el kitabı yayımlanmıştır (URL-5, 2019). El kitabında Şekil 14’te Tasarım FMEA, Proses FMEA’ya yer verildiği görülmektedir.



Şekil 14. AIAG VDA FMEA el kitabı (URL-7, 2020).

Güncel el kitabı, her iki endüstri grubunun en iyi uygulamalarını proses odaklı yaklaşımla Tasarım ve Proses FMEA çalışmalarını geliştirecek ve her iki endüstri grubu gerekliliklerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.

AIAG VDA FMEA el kitabındaki en büyük değişiklik, yedi adımda gelişim yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda; teknik risklerin hassas, ilişkili ve tam olarak ele alınarak dokümente edilmesi için bir çerçeve şablon sunar. Yeni şablonda; hata türü ve potansiyel sebeplerini teknik terimlerle tanımladığı için hassastır. Hata etkileri ile hataların oluşturacağı sonuçları ilişkilendirir.

AIAG VDA FMEA el kitabında yer alan PFMEA form yapısının yedi adımlı yaklaşımı Şekil 15’te sunulmuştur.

SİSTEM ANALİZİ			HATA ANALİZİ ve RİSK AZALTMA			RİSK İLETİŞİMİ
1.Adım	2.Adım	3.Adım	4.Adım	5.Adım	6.Adım	7.Adım
Planlama ve Hazırlık	Yapısal Analiz	Fonksiyonel Analiz	Hata Analizi	Risk Analizi	Optimizasyon	Sonuçların Yayınlanması
						

Şekil 15. AIAG VDA PFMEA form yapısı (URL-8, 2019).

Şekil 15’te sunulan form yapısı; sistem analizi, hata analizi ve risk azaltma, risk bilgilendirme olmak üzere üç ana aşamadan oluşmakta ve yedi adımda değerlendirme tamamlanmaktadır. Bu yaklaşıma göre yenilenen form yapısı Şekil 16’da paylaşılmıştır.

XYZ A.Ş.			XYZ A.Ş. PFMEA Formu									
Müşteri			FMEA No				Başlama Tarihi					
Parça Adı			Proses Sorumlusu				Revizyon No					
Araç / Model / Yıl			Gizlilik Derecesi				Revizyon Tarihi					
PFMEA Ekibi							Hazırlayan					
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)			
1.Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3.Proses İş elemanları (4M)	1.Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adımının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses İş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerini n fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Aktiyon önceliği (AP)

Şekil 16. AIAG VDA PFMEA formu (URL-9, 2020).

XYZ A.Ş.		XYZ A.Ş. PFMEA Formu										
Müşteri		FMEA No				Başlama Tarihi						
Parça Adı		Proses Sorumlusu				Revizyon No						
Araç / Model / Yıl		Gizlilik Derecesi				Revizyon Tarihi						
PFMEA Ekibi						Hazırlayan						
Optimization (6. adım)												
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Özel karakteristikler	Aksiyon önceliği (A/P)	Açıklama

Şekil 16. (Devamı)

Yaygın kullanılan form yapısı Şekil 13 ile güncel form yapısı Şekil 16 kıyaslandığında aşağıdaki adımlarda sunulan yenilikler dikkat çekmektedir. Formda yer alan gri, mavi ve turuncu renklerdeki sütunlar birbirleriyle ilişkilidir. Örneğin gri renkli kısımlar incelendiğinde: yapısal analiz adımında yer alan proses veya bileşen adı, fonksiyonel analiz adımında ilgili prosesin görevi/işlevi, hata analizi adımında ise sonraki bölüm için hata etkileri incelenir. Mavi renkli kısımlar incelendiğinde, yapısal analiz adımında ilgili prosesin odağı, fonksiyonel analiz adımında proses adımının işlevi, hata analizi adımında ise odak parçanın hata türü incelenir. Turuncu renkli kısımlar incelendiğinde ise: yapısal analiz adımında proses iş elemanları (operatör, makine, malzeme vb.), fonksiyonel analiz adımında iş elemanlarının görevi, hata analizi adımında ise iş elemanlarının hata nedeni detaylıca açıklanır.

Hata: yapısal analiz, fonksiyonel analiz, hata analizi adımlarında detaylı incelenir ve risk analizi adımında: hata nedeninin mevcut önleme kontrolleri, hata nedeni ve türü için mevcut saptama kontrolleri belirlenir. Şiddet, saptama ve olasılık sayılarının risk değerlendirme tablosuna istinaden değerlendirilmesi neticesinde hesaplanan risk öncelik sayısına karşılık gelen aksiyon önceliği tabloya yazılır.

6. adım ise optimizasyon adımdır ve burada belirlenen hataların prosese etkisinin azaltılabilmesine, iyileştirilmesine yönelik önleyici, saptayıcı faaliyetler belirlenir ve hatalar yeniden değerlendirilir.

Yeni form yapısındaki (Şekil 16) diğer farklılıklar aşağıda sıralanmıştır:

1. Adım Planlama ve Hazırlık

2 Adım Yapısal Analiz:

Üretim prosesleri için daha detaylı analizler eklenmiştir:

PFMEA'nın odaklanılmış elemanı: Operasyon sıra/istasyon numarası ve operasyonun adı.

Sonraki üst seviye proses: Göz önünde bulundurulacak proses sistemi (tüm üretim prosesleri)

Sonraki alt seviye proses: 4M faktörleri göz önünde bulundurulur (Ishikawa yaklaşım temelli)

Ekip üyelerinin, insan, makine, malzeme, metot kategorilerini, hata sebeplerini tam bir liste halinde göz önünde bulundurarak çalışmayı yürütmesini sağlar.

3. Adım Fonksiyonel Analiz:

Fonksiyonları ve gerekliliklerini sonraki üst seviye ve sonraki alt seviye ile ilgili olarak tanımlamak için ilave edilmiştir. Bu destek, hata etkilerinin ve hata sebeplerinin net ve tam olarak tanımlanması ile gerçekleşir.

4. Adım Hata Analizi:

Potansiyel hata türü terimi yerine, odaklanılmış elemanın hata türü terimi olarak tanımlanmıştır. Hatanın potansiyel etkisi terimi değişmiş olup, sonraki üst seviye elemandaki ve/veya araç son kullanıcısındaki hata etkisi olarak PFMEA da yer almaktadır. Potansiyel hata sebebi ise iş elemanının hata sebebi olarak değiştirilmiştir.

5. Adım Risk Analizi:

Sınıflandırma terimi özel karakteristik olarak değiştirilmiştir.

Olasılık terimi hata sebebinin olasılığı ile değiştirilmiştir.

Olasılık derecelendirmesi artık, mevcut önlemeye yönelik kontrolleri belirlemede yol gösteren, hata sebebinin oluşum öngörüsü olarak tanımlanmıştır.

Mevcut proses kontrol – önleyici, hata sebebinin mevcut önleyici kontrolü olarak değişmiştir.

Mevcut proses kontrol – tespit, hata sebebinin veya hata türünün mevcut tespit edici kontrolü olarak değişmiştir.

Tespit, hata sebebi veya hata türünün tespiti olarak değişmiştir.

Tespit artık üç faktör esastır, bunlar; tespit metodu uygunluk seviyesi, tespit imkânı ve tespit yeteneğidir.

AP aksiyon önceliği, risk öncelik sayısının (RÖS) yerini almıştır. Düşük, orta ve yüksek aksiyon önceliği seviyeleri aksiyon alınacak risklerin öncelik sıralamasında kullanılır.

6. Adım Optimizasyon:

Tavsiye edilen aksiyonun yerini, hata önleyici aksiyon ve hata yakalamaya yönelik aksiyon almıştır. Form üzerine durum sütunu ilave edilmiştir. Durum sütunu; planlanmış, karar verilmiş veya yaygınlaştırma bekliyor, tamamlanmış ve plandan çıkarılmış faaliyet seçeneklerini içermelidir. Alınan aksiyon sütununda ise aksiyon kanıtı, özel karakteristikler ve açıklamalar yer almalıdır.

7. Adım Sonuçların Yayınlanması:

Yönetime ve müşteriye FMEA çalışması sonuçlarının raporlanması (URL-6, 2020).

2.3.7. FMEA' nın Tarihçesi ve Günümüzde Yapılan Çalışmalar

FMEA yönteminin günümüze dek geçen süreçte uygulandığı sektörlerle ve uygulama alanlarına göre tasnifi Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. FMEA'nın tarihçesi

Uygulama Tarihi	Uygulanan yerler	Uygulama Konusu
9 Kasım 1949	ABD Ordusu	"MIL – P – 1629" kodlu "Hata Türü, Etkileri ve Kritiklik Analizi Uygulaması için Prosedürler" isimli askeri prosedür yayınlanmıştır. "MIL –STD 1629 A" kodlu askeri standart günümüzde halen ABD silahlı kuvvetlerinde kullanılmaktadır. Tasarım FMEA üzerinde durulmuştur. Sistem ve ekipman/donanım hatalarının etkilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Hatalar görev başarısına ve personel/donanım güvenliğine etkileri açısından sınıflandırılmıştır.
1950'li yılların başında	ABD, Uçak sanayi	Uçuş kontrol sistemlerinin kontrolü
1960 – 1969	NASA, Uzay ve Havacılık Endüstrisi, Apollo Projesi (Ay Seyahati Programı)	Aya insan indirecek ürünün tek ve çok pahalı olması nedeniyle herhangi bir parça veya sistemin arıza yapmasını önlemek için uygulanmış, böylelikle mevcut sistemlerin yedeğinin alınması zorunluluğu ortadan kalkmıştır.
1970 - 1975	ABD, Uçak sanayi	ABD uçak sanayisinde FMEA'nın ilk endüstriyel uygulaması olan SMC 800-31 prosedürü kullanılmıştır. Problemleri toplama ve analiz etme yöntemi olarak kullanılmıştır.
1974	ABD, Deniz Kuvvetleri	ABD Deniz Kuvvetleri FMEA'nın uygulanmasına yönelik MIL-STD-1629 standardını geliştirmiştir.
1972 -1980	Ford Motor, Otomotiv	Sistemde değişiklik yapılarak, askeri uygulama basitleştirilmiştir. Otomobil tasarım aracı olarak kullanılmıştır.
1975	NEC (Nippon Electronic Company), Elektronik	Yeni sistemlerin tasarımı sırasında ekipman güvenilirliğinin artırılması
1980	Renault, Citroën, Otomotiv	Otomotiv şirketlerince bu yöntem AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) yani Hata Türü ve Etkileri Kritiğinin Analizi olarak isimlendirilmiştir
1985	FİAT, Otomotiv	Ford uygulamasına benzer şekilde kullanmaya başlamıştır.

Tablo 4. (Devamı)

Uygulama Tarihi	Uygulanan yerler	Uygulama Konusu
1980	Otomotiv	Almanya’da standartlaştırılmış ve kullanım kılavuzu niteliğinde yayınlanmıştır.
1988	Chrysler, Ford ve General Motors, Otomotiv	Genel standart olarak benimsenmiştir.
1993	Otomotiv Endüstrisi Aksiyon Grubu (AIAG) ve Amerikan Kalite Kontrol Topluluğu (ASQC), Otomotiv	Endüstri çapında FMEA standardı oluşturmuştur. Chrysler, Ford ve General Motors firmaları tarafından kabul edilmiş ve desteklenmiştir.

FMEA yönteminin kullanıldığı diğer çalışmalar ise Tablo 5’te paylaşılmıştır.

Tablo 5. FMEA ile ilgili çalışmalar

Çalışma Tarihi	Yazar	Çalışma Konusu /Hakkında
1993	Gilchrist	FMEA’da maliyet analizini içeren bir model önermiştir.
1993	Kasa ve Boran	FMEA tekniğinin toplam kalite yönetimindeki yerine değinmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, hatanın oluşum nedenlerine inerek, ortaya çıkışını önlemek, dolayısıyla kusursuzluğu hedeflemenin en akılcı çözüm olduğunu öne sürmüşlerdir.
1995	Stamatis	Tasarım ve Proses FMEA’da değerlendirme için kullanılacak yöntemlerin seçim kriterlerini incelemiştir.
1997	Yılmaz	FMEA uygulamalarında karşılaşılan güçlükleri ele almıştır.
1997	Price vd.	Elektrik sistemleri üzerine FMEA uygulamaları yapılmıştır.
1998	Vandenbrande	Çevresel risklerin değerlendirilmesi üzerinde çalışmıştır.
1999	Musubeyli	Ürünün önemli kalite karakteristiklerinin belirlenmesinde tasarım hata türü ve etkileri analizi ile kalite evinin birlikte kullanılması konulu bir çalışma yapmıştır. Çok sayıda parça içeren ürünlerin hata türlerinin önceliklendirilmesinde bu yaklaşımın kullanılmasıyla, iyileştirme faaliyetlerinin hızlı başlaması sağlanmış olup, servis oranlarında kısa sürede düşüş gözlenmiştir.
2002	Baysal vd.	Bir FMEA çalışmasının otomotiv endüstrisinde bir uygulaması ve takım çalışması üzerinde durmuşlardır.
2002	Sarı	Madenler, rezervuarlar ve arama sahaları üzerinde çalışmıştır. Çalışmada, özellikle kömür madenlerinde risk analizi yaklaşımları yer almaktadır.
2002	Usuç	İstatistik proses kontrol metodu olan FMEA uygulamalarının hizmet sektöründe de kullanılabileceğini deneysel çalışmalar ile ispatlamaya çalışmıştır.
2003	Reiling vd.	Hastaların güvenliğini sağlamak ve hataları en aza indirmek için FMEA’yı incelemiş ve FMEA’nın hastaların güvenliğini artırmak için yararlı bir araç olduğunu göstermişlerdir.
2003	Eryürek ve Tanyaş	Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ve Electre yöntemlerini kullanarak karar verme bölümü daha objektif hale getirmişlerdir. Yaptıkları ikinci değişiklik ise hata türlerini önlemeye yönelik önlemlerin de çalışma grubu tarafından tanımlanması ile yöntemi daha bütünlüklü hale getirmişlerdir. Böylece hata, hatanın etkisinin boyutu ve önlemin maliyetini birlikte değerlendiren sonuç odaklı bir yöntem elde etmişlerdir.

Tablo 5. (Devamı)

Çalışma Tarihi	Yazar	Çalışma Konusu /Hakkında
2004	Wetterneck vd.	Yeni bir infüzyon pompası için FMEA yöntemini uygulamış ve önerilerde bulmuşlardır.
2004	Musubeyli ve Erginel	Mekanik termostatin parçaları için AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ile önceliklendirilmiş ve parçalara Dizayn FMEA yapmıştır.
2005	Mannan	FMEA uygulamalarına örnek olacak şekilde, hataların belirlenip sınıflandırılmasını incelemiştir. Bunlar arasında, tehlike kontrolü, ekonomi ve sigorta, yönetim sistemleri, güvenilirlik mühendisliği, süreç tasarımı, basınç sistemi tasarımı, kontrol sistemi tasarımı, emisyon ve dispersiyon, patlama, zehirli atıklar, ulaşım, acil durum planlaması, kişisel güvenlik, yapay zeka sistemleri gibi genel ve iş güvenliğini içeren konularda, FMEA örnekleri yer almaktadır.
2006	Durhan	Hata türlerini incelediği ve uygulamaya yer verdiği çalışmada, iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemine sahip çelik boru imalatı yapan bir fabrikada, FMEA tekniği ile risk değerlendirme çalışmasını yürütmüştür.
2006	Taşan	Güvenilirlik ve risk değerlendirme metodu olarak FMEA yöntemini kullandığı çalışmada, bir otomotiv yan sanayi işletmesinde uygulamasına yer vermiştir. Çalışmada; bir risk değerlendirme ve güvenilirlik metodu FMEA detaylı olarak açıklamış ve bir otomotiv sanayi işletmesinde güvenilirlik bağlantıları ile beraber Tasarım FMEA uygulamasını gerçekleştirmiştir.
2006	Koru	Otomotiv yan sanayiinde süreç hata türleri ve etkileri analizi ve bir uygulama yapmıştır.
2007	Eleren	Eğitim sistemini başarısızlığa yönelten nedenlerin tespit edilerek ortadan kaldırılmasını amaçlamıştır.
2008	Dırağ	Dikiş sürecinde yaşanan başarısızlıklar için FMEA çalışması gerçekleştirmiştir.
2009	Çevik ve Aran	Motor piston üretim sürecinde proses FMEA uygulamışlardır.
2009	Yaylalı	Damla sulama borusu üretim sürecinde bir uygulama yapılmıştır.
2009	Çakar	Türkiye Petrolleri A.O.'nın ülkemizde sondajını gerçekleştirdiği en derin ve en kapsamlı kuyusundaki iş güvenliği tehlikelerini tanımlamış ve risklerini değerlendirmiştir
2010	Kahraman ve Demirer	Bir otomobil fabrikasına iş sağlığı ve güvenliği alanında FMEA yöntemi uygulamışlardır.
2010	Çeber	Temizlik maddeleri üreten bir firmada üretim sektöründe uygulanmıştır.
2012	Çelikdemir	Bir otomasyon hattında hata türü ve etkileri analizi uygulaması yapmıştır.
2013	Deveci	Proses hata türü ve etkileri analizi ve kablo kesim sürecine uygulanmıştır.
2014	Pastırmacı	Bulanık AHP (Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses) ve GİA (Gri İlişkisel Analiz) yardımıyla FMEA'da ortaya çıkan eksiklikleri gidermeye çalışmıştır
2014	Liu vd.	Tıbbi cihazları analiz etmek için nitel ve nicel yöntemleri incelemişlerdir. İlk olarak yazılım, donanım, niteliksel analiz için çevre, canlı ve merkezi canlı; daha sonra risk faktörlerini belirlemek ve tıbbi cihazların güvenliğini artırmak için FMEA'yı kantitatif analiz kullanarak değerlendirmişlerdir.

Tablo 5. (Devamı)

Çalışma Tarihi	Yazar	Çalışma Konusu /Hakkında
2016	Uslu	Yaptığı risk değerlendirme de laboratuvar çalışanlarının sağlığını etkileme ihtimali olan fiziksel risk faktörlerinin nedenlerini tespit etmiş ve analizini gerçekleştirmiştir. Ayrıca hastanelerde biyokimya alanında sunulan laboratuvar hizmetlerine ilişkin tüm süreçlerde çalışanlar için sağlıklı bir laboratuvar çalışma ortamı oluşturmaya çalışmıştır.
2017	Toptancı ve Erginel	Bir inşaat firması için risk değerlendirmesi yapmışlardır. İyi bir risk değerlendirmesi ile inşaat alanında olan olası tehlikeleri belirleyip oluşan kazaların sayısının asgari düzeye indirilmesine çalışmışlardır.
2019	Tanyeri	Havacılık sektöründe proses hata türü ve etkileri analizi üzerine bir uygulama yapmıştır.
2019	Turan ve Ocaktan	Transformatör üreten bir firmada risk analizinde bulanık FMEA kullanımı ve uygulama yazılımı geliştirme üzerine çalışmışlardır.
2019	Birgören ve Yalçınkaya	İSG çatısı altında FMEA yönteminin etkin kullanımı için FMEA terminolojisinin İSG'deki karşılıkları ve farklılıkları üzerinde durmuşlardır
2019	Yurdakul vd.	Resmi bir kurumda risk analiz uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları uygulama ile ilgili kuruluştaki tehlikeleri ve risk seviyelerini belirlemişlerdir. Ayrıca riskleri azaltmaya yönelik iyileştirme planları oluşturmuşlar ve planları uygulayarak risk seviyelerini kontrol altında tutmak için kontrol faaliyetleri belirlemişlerdir.
2019	Kavsara	Geleneksel fermente içeceklerin üretim yöntemlerine hata türü ve etkileri analizinin uygulanması üzerine çalışmıştır.
2019	Kaya, Alaykiran	Hata türü ve etkileri analizi ve döküm sektöründe bir uygulama yapmıştır.
2019	Yerebakan	Hata türü ve etkileri analizi ile gri ilişkisel analiz bütünleştirilmesi konusunda bir işletmede uygulama denemesi yapılmıştır.
2020	Şahin	Jeotermal çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği farkındalığının hata türü ve etkileri analizi ile birlikte değerlendirilmesi: İzmir Jeotermal A.Ş örneği incelenmiştir.
2020	Uslu	Savunma ve havacılık sanayisi için çok kriterli karar verme temelli yeni bir proses tipi hata türü ve etkileri analizi yaklaşımının geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır.
2020	Şerife ve Kılıç	Ofis iş yerlerindeki riskler ve alınan önlemlere yönelik çalışanlardaki farkındalığı belirlemeye çalışmışlardır. Ayrıca ofis çalışanlarının, bulundukları ortamlarda ve işin yapılış biçimi nedeniyle birçok riske maruz kaldıklarını tespit etmişlerdir.
2021	Kazan	Atölye tipi üretimde hata türü etkileri analizi yönteminin ürün birim maliyetlerine etkisi incelenmiştir.
2021	Bulat ve Aygün	Proses FMEA yöntemi kullanılarak operatörlerin hataları değerlendirilmiştir.

Tablo 4 ve Tablo 5'te verilen araştırmalar sonucunda, üretimin artırılmasına yönelik yapılan PFMEA çalışmalarının (Baysal vd., 2002; Durhan, 2006; Çevik ve Aran, 2009; Çeber, 2010; Deveci, 2013; Tanyeri, 2019; Turan ve Ocaktan, 2019; Kaya, 2019)'nın çalışmalarında farklı sektörlerde uygulama alanlarının bulunduğu ve yüksek iyileştirme değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Ancak üretimi etkileyen operatör hatalarının

PFMEA yöntemi ile risk değerlendirmesine yönelik yapılan çalışmalar bulunsa da az sayıda (Deveci, 2013) olduğu görülmüştür.

Bu kapsamda bakıldığında, PFMEA yönteminin kullanılmasıyla üretim artışına yönelik çalışmaların (Baysal vd., 2002; Çevik ve Aran, 2009; Çeber, 2010; Deveci, 2013; Kaya, 2019) yapılmış olduğu, ancak enerji verimliliği ile ilgili veya enerji tüketimini etkileyen risklerin tespitine yönelik herhangi bir çalışmanın bulunmadığı gibi, üretim ve enerji verimliliğini etkileyen risklerin tespitine yönelik bir çalışmanın da hazırlanmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Literatürde üretim kalitesini etkileyen operatör hataları değerlendirilmiş olsa da (Deveci, 2013, Bulat ve Aygün, 2021), üretim ve enerji verimliliğini etkileyen doğrudan ve dolaylı operatör kaynaklı hataların incelendiği benzer bir çalışmanın bulunmadığı görülmüştür.

Üretimdeki maliyetler göz önünde bulundurulduğunda ve operatörlerin üretimde etkin rol oynadığı düşünüldüğünde, operatörlerin üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkisinin azımsanamayacak ölçüde olduğu ortadadır. Bu bağlamda, proseste üretim ve enerji verimliliğini etkileyen; doğrudan ve dolaylı operatör kaynaklı hataların, öneminin ve proses üzerindeki etkilerinin ortaya çıkarılması ve bu hataların iyileştirilmesine yönelik bir çalışmanın gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Proses hatalarının azaltılması/giderilmesi için literatürde yaygın olarak görülen FMEA el kitabına göre hazırlanan PFMEA çalışmaları bulunmakla birlikte, güncel versiyonu olan AIAG VDA FMEA el kitabının esas alınmasıyla oluşturulan ve güncel formun kullanıldığı, yeni FMEA yaklaşımın izlendiği herhangi bir çalışma mevcut değildir. Yalnızca el kitabının içeriğinden bahsedilen bir çalışma (Ramly ve Atan, 2020); konferans sunumu (URL-8, 2019; URL-10, 2018), formun kullanılmasına yönelik özel bir şirketin hazırladığı bilgilendirme videosu (URL-11, 2020) ve örnek forma (URL-9, 2020) ulaşılmıştır. Bununla birlikte, bu yöntemin maden sektöründe bu konu başlıklarında uygulanmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada, flotasyon yönteminin temelini oluşturan, cevher hazırlama işlemlerinin ilk adımı olan Kırma Eleme Ünitesi'nin üretim ve enerji verimliliğini etkileyen risklerin incelenebilmesi ve iyileştirilebilmesi için, saha çalışmaları ve gözlemler yapılmış, ünite hakkında bilgiler ve veriler temin edilmiştir. Ulaşılabilen veriler içerisinde enerji tüketim verileri bulunmadığından dolayı, ünitenin üretim ve enerji verimliliğini iyileştirebilmek adına; mevcut durumun değerlendirilmesi ve bu koşullarda üretim ve enerji verimliliğini etkileyen hataların belirlenmesi, proses

üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi için risk değerlendirmesinin yapılması ihtiyacı doğmuştur.

Saha çalışmaları ve gözlemleri sonucunda, üretim ve enerji verimliliğini etkileyen doğrudan operatör kaynaklı hatalar ve operatörlerin makinalar üzerindeki hataları ile cevher, çevre, makine/ekipman kaynaklı hataların bulunduğu görülmüştür. Bu hataların değerlendirilmesi için FMEA yöntemlerinden Proses FMEA (PFMEA)'nın uygun olduğu görülmüştür. Çalışma, Proses FMEA yönteminin daha etkili uygulanabilmesine imkân sunan güncel AIAG VDA 2019 PFMEA formu esas alınarak yeni FMEA yaklaşımına göre gerçekleştirilmiş olup, güncel form yapısı kullanılmıştır.

Üretimde etkin rol oynayan operatörlerden kaynaklı hataların optimize edilmesiyle; Kırma Eleme Ünitesi'nin üretim ve enerji verimliliğinde artış gözlenmiş olup, yeni yaklaşıma sahip Proses FMEA yönteminin ve güncel formun üretim ve enerji verimliliğini etkileyen risklerin iyileştirilebilmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir.

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Proses FMEA (PFMEA)

PFMEA bir süreçte meydana gelebilecek olası teknik risklerin; nedenlerini, etkilerini, sıklığını tespit etmek ve değerlendirmek, önleyici ve iyileştirici çalışmalar yaparak süreçlerde oluşan arızaları azaltmak ve güvenliğini arttırmak amacıyla kullanılır.

PFMEA; makine, malzeme, insan, yöntem, ölçü ve çevre olarak tanımlanan üretim bileşenleri arasındaki etkileşimlerin incelenmesini sağlamakla birlikte, donanım hataları, operatör hataları, uygun olmayan yöntemler ve malzemelerin kullanılması sonucunda oluşan hataların belirlenebilmesi ile ürün üretilmeden önce problemlerin giderilmesine ve kayıpların önlenmesine yardımcı olur (Yılmaz, 1997; Çevik ve Aran, 2009; Yaylalı ve Peker, 2008).

Hata Türü ve Etkileri Analizi'nde standart bir uygulama süreci bulunmamasından dolayı, her işletme kendi organizasyon yapısına ve isteklerine göre bir uygulama süreci oluşturmuş olup bunu izlemektedir (Stamatis, 2003). Bu bağlamda, prodesteki üretim ve enerji verimliliğini etkileyen risklerin değerlendirilmesi için Proses FMEA yöntemi kullanılarak, AIAG VDA FMEA el kitabının izlenmesine istinaden hazırlanan bu çalışmada AIAG VDA PFMEA formuna farklı bir bakış açısı kazandırılarak risklerin değerlendirilmesi sağlanmıştır. Çalışmaya uygun süreci oluştururken Tablo 6'daki kriterler yardımcı olmuştur.

Tablo 6. Proses FMEA'da değerlendirme için kullanılacak yöntemlerin seçim kriterleri (Stamatis, 2003).

Eğer	Kullanılan	Seçim
Proseste istatistiksel proses kontrol uygulanıyorsa	İstatistiksel veriler, güvenilirlik verileri, proses yeteneği, mevcut dağılımlar, matematiksel modeller, simülasyon	Mevcut veriler ve/veya proses yetenek oranı (Cpk)
Proses diğer proseslere benzer veya geçmişe ait veriler mevcutsa	Geçmişe ait veriler ve benzer sistemlerin verileri, güvenilirlik verileri, proses yeteneği, mevcut dağılımlar, matematiksel modeller, simülasyon	Mevcut veriler ve/veya proses yetenek oranı (Cpk)
Hatalarla ilgili geçmiş veriler varsa	Güvenilirlik, tasarım ve gerçek dağılımlara dayanan geçmiş veriler, matematiksel modeller, simülasyon, kümülatif veriler ve/veya hata oranları	Mevcut veriler ve/veya kümülatif hata sayıları
Proses yeniyse ve/veya mevcut sayısal hiçbir veri yoksa	Takım yargısı	Sübjektif kriterler, takımda uzlaşma sağlama

Yapılan çalışmada ünitenin enerji tüketim verilerine ulaşamamasından dolayı Tablo 6’da verilen seçim kriterlerinden sayısal hiçbir veri yoksa yaklaşımı izlenmiş ve FMEA ekip üyelerinin bilgi, tecrübeleri ile birlikte elde edilebilen verilerin incelenmesinin yanısıra saha gözlemleri doğrultusunda kalitatif metotla değerlendirme yapılmıştır.

Bir sonraki bölümde, yeni yaklaşıma sahip FMEA yönteminin güncel form yapısına ve Kıрма Eleme Ünitesi’nde yapılan çalışmanın planlanma aşamalarına yönelik bilgilendirilmelere yer verilmiştir.

3.2. PFMEA Çalışmasının Planlanması

PFMEA Planlama ve Hazırlık aşaması; risk değerlendirmesi yapılan prosesin kapsam ve sınırlarının belirlenmesi (ne dahil edilmeli, ne hariç tutulmalı), 5T Uygulamalarının (Amaç, Zamanlama, Ekip, Görev, Araç - InTent, Timing, Team, Task, Tools) belirlenmesi, FMEA ekibinin (yönetim, teknik lider, ekip üyesi) rol ve sorumluluklarının net olarak belirlenmesi ile oluşturulur (URL-6, 2020).

5T uygulamalarından; amaç, zamanlama, ekip, görev, araç ifadeleri aşağıdaki başlıklarda tanımlanmıştır:

3.2.1. Neden PFMEA yapılmıştır?

Kırma Eleme Ünitesi’nde üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen operatör kaynaklı risklerin/hataların optimize edilerek azaltılması/önlenmesi ile üretim ve enerji verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın sonucunda verim artışının yanısıra, FMEA yönteminin ve AIAG VDA PFMEA formunun üretim ve enerji verimliliğini arttırmak amacıyla kullanabileceği gösterilmiştir.

3.2.2. PFMEA Zamanlaması - PFMEA ne zaman bitecek?

Bu çalışma sürekli iyileştirme olarak kabul edildiğinden dolayı, hataların sıklığının ve etkisinin belirli periyotlarda gözden geçirilmesinin faydalı olacağı kanısına varılmıştır. Tez süresince devam eden gözden geçirmelerin, tez sonrasında da takım tarafından belirlenecek zamanlarda tekrarlanması kararı alınmıştır.

3.2.3. PFMEA Ekibi - Ekipte kimler olmalı?

Risk değerlendirmesi FMEA Ekibi tarafından yapılmış olup, ekip: Tesis M¼d¼r Yardımcısı, Tesis şefi, Vardiya M¼hendisi, Kıрма Eleme Ünitesi Formeni ve Tez Öğrencisi olarak beş kişiden oluşmaktadır.

3.2.4. PFMEA Ekibinin Görevi - Hangi işlerin yapılması gerekiyor?

Ekip üyelerinin görev ve sorumlulukları aşağıda verilmiştir:

Tesis M¼d¼r Yardımcısı

- Çalışmada üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkilediği tespit edilen risklerin giderilmesi için yapılması gereken eylemler hakkında karar verme yetkisi.
- Çalışmada görev alacak kişilerin seçimi.
- FMEA'nın planlanan proje zamanlaması süresince uygulanmasını sağlar.
- Risklerin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesine yönelik tespit edilen hataların gereksinim duyulan bütçeden sorumludur.
- Çalışmada belirlenen risklerin değerlendirilmesi için bilgi ve tecr¼belerine istinaden fikirlerin ekiple paylaşılması.

Tesis M¼d¼r Yardımcısı maden prosesleri hakkında 18 yıl iş tecr¼besine sahip olmakla birlikte çalışma yapılan proseste ise 5 yıldır görevlidir. FMEA çalışmasında tez süresi boyunca yer almıştır.

Tesis şefi

- M¼d¼r yardımcısının çalışmada görev alacak kişileri belirlemesinin ardından, seçilen kişilerin görev dağılımlarının yapılması.
- Risklerin giderilmesine yönelik uygulanacak eylemlerin görev dağılımlarına uygun şekilde yür¼t¼ld¼ęünün kontrol ve takibinin yapılması.
- Çalışmada belirlenen risklerin değerlendirilmesi için bilgi ve tecr¼belerine istinaden fikirlerin ekiple paylaşılması.
- Teknik ve/veya finansal kararların m¼d¼r yardımcısına iletilmesi.

Tesis şefi maden prosesleri hakkında 25 yıl iş tecr¼besine sahiptir ve çalışma yapılan proseste ise 3 yıldır bulunamaktadır. FMEA çalışmasında tez süresi boyunca yer almıştır.

Vardiya M¼hendisi

- Çalışma yapılacak prosesin kontrol¼ ve üretimin sürekliliğinin sağlanması.
- Vardiya tutanakların kontrol¼ ve proses ile ilgili gelişmeler hakkında formen ve tesis şefi arasında köprü kurarak bilgi aktarımı sağlaması.

- Çalışmada tespit edilen risklerin önlenmesine yönelik faaliyetlerin yürütülmesi ve takibi.

- FMEA çalışmasında belirlenen risklerin değerlendirilmesi esnasında bilgi, tecrübelerine istinaden ve proste operatörlerin gözlemlenmesine yönelik fikirlerin ekiple paylaşılması.

- Teknik ve/veya finansal kararlar için hazırlanan kararlaştırılan iş vakalarının uygulanması.

Vardiya Mühendisi maden prosesleri hakkında 7 yıl iş tecrübesine sahiptir. Çalışma yapılan proste ise 3.5 yıldır görevlidir. FMEA çalışmasında tez süresi boyunca yer almıştır.

Kırma Eleme Ünitesi Formeni

- Vardiya tutanaklarının kontrol edilmesi.
- Üretimin sürekliliğinin sağlanması için gerekli makinaların genel kontrolleri, olası aksaklıkların vardiya mühendisine bildirilmesi.

- Üretimden sorumlu operatörlerin iş takibinin sağlanması.

- Çalışmada tespit edilen risklerin önlenmesine yönelik faaliyetlerin yürütülmesi için operatörlerin takibi.

- FMEA çalışmasında belirlenen risklerin değerlendirilmesi esnasında bilgi, tecrübelerine istinaden ve proste operatörlerin gözlemlenmesine yönelik fikirlerin ekiple paylaşılması.

Kırma Eleme Ünitesi Formeni maden prosesleri hakkında 29 yıl iş tecrübesine sahip olmakla birlikte çalışma yapılan proste ise ünitenin kurulduğu zamandan bu yana (10 yıldır) çalışmaktadır. FMEA çalışmasında tez süresi boyunca yer almıştır.

Tez Öğrencisi

- FMEA çalışmasının yapılacağı ünitenin belirlenmesi için prosesin mevcut verilerinin incelenmesi, proses verileri doğrultusunda üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen risklerin ortaya çıkarılması.

- Risklerin takım üyeleriyle incelenmesi ile fmea çalışmasının kapsam ve sınırlarının çizilmesi.

- FMEA içeriğinin uygulanması için gerekli hazırlıkların yapılması, çalışmaların kapsamına yönelik diğer takım üyelerine bilgilendirme eğitiminin verilmesi.

- Proses verilerinin incelenmesiyle tespit edilen riskler hakkında ekip üyeleriyle görüşülmesi ve hataların oluşum nedenlerinin, şiddet, olasılık ve saptama değerlerinin belirlenmesi ve forma işlenmesi.

- FMEA toplantılarının hazırlanması, moderatörlüğünün yapılması ve sonuçlandırılması.

- Yöntemin adımlarının uygulanmasına yönelik tüm aşamaların yürütülmesi

Tez öğrencisi enerji ve maden konularında 4 yıldır görev almakta olup, FMEA ve tez çalışmasını birlikte yürütmektedir.

3.2.5. PFMEA Aracı - Analizi nasıl yapıyoruz?

FMEA uygulamaları için hazırlanan özel yazılımlar bulunmakla birlikte (URL-12, 2021) yapılan çalışmada AIAG VDA FMEA kitabında yer alan güncel form (URL-9, 2020) yapısı excel dosyası kullanılarak manuel olarak hazırlanmıştır.

3.3. PFMEA Çalışmasının Uygulama Adımlarının İncelenmesi

3.3.1. Sistem Analizi

1. Adım: Planlama ve Hazırlık

Formun ilk bölümünde şirkete ve çalışmaya dair bilgiler paylaşılmaktadır. Şekil 17’ de verilen form içerisinde yer alan kısımlar orijinal formdan alıntılanmıştır.

XYZ A.Ş.	XYZ A.Ş. PFMEA Formu				
Müşteri		FMEA No		Başlama Tarihi	
Parça Adı		Proses Sorumlusu		Revizyon No	
Araç / Model / Yıl		Gizlilik Derecesi		Revizyon Tarihi	
PFMEA Ekibi				Hazırlayan	

Şekil 17. Planlama ve hazırlık adımı (URL-9, 2020).

Çalışma kapsamında Şekil 17 içerisinde yer alan müşteri ibaresi yerine, ünite adı, parça adı yerine ise bölüm adı yazılarak kullanılmıştır.

Şirketin gizlilik politikaları gereği nedeniyle formda yer alan bazı kısımlar doldurulmamıştır. Diğer bilgiler ise aşağıdaki gibidir:

Formun ilk bölümünde;

Şirket adı: X şirketi olarak belirtilmiştir.

Ünite adı: Kırma eleme ünitesi

Bölüm adı: Ünite içerisinde ayrılarak incelenen bölüm isimleridir.

FMEA no: Bölümlere göre sırasıyla numaralandırılmıştır.

Proses sorumlusu :Belirtilmemiştir.

Gizlilik derecesi: Normal

PFMEA'ya başlama tarihi: Tez süreci 02/2019 - 03/2022

PFMEA revizyon tarihi: 12/2021

PFMEA ekibi: 5 kişilik çapraz fonksiyonel takımdan oluşmaktadır.

Hazırlayan: Tez öğrencisi Ecem BULAT.

2. Adım: Yapısal Analiz

Yapısal analiz adımı kendi içinde üç aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar Şekil 18'de verilmiştir.

<i>Yapısal Analiz (2. adım)</i>		
1. Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3. Proses iş elemanları (4M)

Şekil 18. Yapısal analiz adımı (URL-9, 2020).

- İlk aşamada; çalışma yapılan ünite, üniteye inceleme yapılan bölüm adı,
- İkinci aşamada; bölüm içerisinde hatanın oluştuğu kısım,
- Üçüncü aşamada; proses iş elemanları (makine/ekipman, insan (operatör), malzeme (cevher), çevre (ortam) belirtilmiştir. Çalışmada bahsi geçen proses iş elemanları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

Makine/Ekipman: Üniteye kırma işlemini gerçekleştirmek üzere kırıcılar ve diğer makine/ekipmanlar kullanılmaktadır. Üniteye makine/ekipmanların temel çalışma prensipleri, bakım periyotları ve oluşabilecek arızalarına yönelik detaylara EK-1'de yer verilmiştir.

İnsan (Operatör): Çalışma yapılan Kırma Eleme Ünitesi, diğer ünitelerden farklı olarak her gün üç vardiya (00.00 - 08.00 gece vardiyası, 08.00 - 16.00 gündüz vardiyası, 16.00 - 24.00 vardiyası) sürekli çalışma halinde değildir.

Vardiyadaki üretim hedefi, silonun vardiya bitimine dek dolu kalmasını sağlayacak miktarda kırma yapmasıdır. Silo doldurulduktan sonra ünite durdurulur ve rutin temizlik, bakım ve kontroller yapılır. Bu rutin çalışmalar kırma eleme operatörleri tarafından yürütülür. Ünite işleyişinden ve operatörlerin kontrolünden ünitenin Formeni sorumludur. Prosesin ve çalışanların denetlenmesi, üretimin sürekliliği ise Vardiya Mühendisi tarafından sağlanmaktadır.

Operatörler Mesleki Yeterlilik Kurumu tarafından belirlenen Ulusal Meslek Standartı'ndaki; 16UMS0529-3 standart kodlu Kırma Eleme Tesis Operatörü Seviye 3 dosyasında belirtilen görev ve sorumluluklara, ünite formeni ise; 17UMS0606-5 standart kodlu Kırma Eleme ve Öğütme Tesis Sorumlusu Seviye 5'te yer alan görev ve sorumluluklara sahiptirler ve bunları yerine getirmekle yükümlüdürler (URL-13, 2016).

Malzeme (Cevher): Proseste kullanılan malzeme, yeraltından çıkarılarak tesise beslenen tüvenan cevherdir. Kırma Eleme Tesisleri'nin maksimum kapasitesi, tüvenanın kuru haldeki durumuna göre tasarlanmıştır ancak çevre koşulları nedeniyle cevher her zaman kuru şekilde beslenememektedir. Özellikle kış aylarında cevherin nemli beslenmesi bunkerin, kırıcıların ve şutlarının iç yüzeyine yapışmasına neden olur ve cevherin akıcılığı engellenir. Bu durum üretim kapasitesini olumsuz etkiler. Bununla birlikte tıkanmalar da oluşur (Halili, 2003). Tıkanmalar cevherden kaynaklı olduğu gibi yabancı maddelerden kaynaklı da olabilmektedir.

Cevher içerisine karışan yabancı maddeler; yeraltından patlatma esnasında kullanılan patlayıcı parçaları, plastikler, tahta (ağaç), sahadan cevhere karışan metal parçalar, eleklerin zamanla yırtılması ve kopmasıyla kırıcı ve şutların tıkanmasına neden olan metal parçalardan oluşabilmektedir. Aynı zamanda cevherden kaynaklı olarak iç yüzeylerinde zamanla aşınmaların meydana geldiği ve bunker, besleyici, kırıcılar, elekler ve bunların iç yüzeyleri ile şutlarında aşınmadan dolayı delinmelerin olduğu görülmektedir.

Çevre (Ortam): Çevre koşulları nedeniyle (yağmur, kar, vb.) cevher özellikle kış ve bahar aylarında tesise kuru şekilde beslenememektedir. Özellikle kış aylarında cevherin nemli beslenmesi bunkerin, kırıcıların ve şutlarının iç yüzeyine yapışmasına neden olur ve cevherin akıcılığı engellenir. Bu durum üretim kapasitesini olumsuz etkiler. Bununla birlikte tıkanmalar da oluşur (Halili, 2003).

3. Adım: Fonksiyon Analizi

Fonksiyon analizi adımı Şekil 19'da sunulmuştur.

<i>Fonksiyonel Analiz (3. adım)</i>		
1. Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu	2. Proses adımının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu

Şekil 19. Fonksiyonel analiz adımı (URL-9, 2020).

- İlk aşamada; çalışma yapılan bölümdeki makine/ekipmanın proseste kullanım işlevinin tanımlanmış,
- İkinci aşamada; ilk aşamada açıklanan makine/ekipmanın proses üzerindeki rolünün açıklanması yapılmış,
- Üçüncü aşamada; proses iş elemanlarından (makine/ekipman, insan(operatör), malzeme (cevher), çevre (ortam) birinin veya birkaçının ilgili bölümdeki görev/sorumlulukları belirtilmiştir.

Operatörlerin makinalar üzerindeki etkilerinden kaynaklı hataların risk değerlendirilmesinin yapıldığı bölümlerde, her bölümün iş elemanları benzerlik gösterse de (örneğin operatör), her bölümdeki fonksiyonunun farklı olduğu görülmektedir. Bu, hataların daha iyi analiz edilebilmesi ve operatörlerin bölümlerdeki rollerinin anlaşılır olması için önemlidir. Bu adım ve sonraki adım olan hata analizinin ilk aşamasında kullanılan fabrika, müşteri, son kullanıcı gibi ibareler bu çalışmada kullanılmamış olup, proseste incelenen bölümün peşi sıra gelen bölüm/bölüme etkileri göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır.

3.3.2. Hata Analizi ve Risk Azaltma

4. Adım: Hata Analizi

Hata analizi adımı Şekil 20’de sunulmuştur.

<i>Hata Analizi (4. adım)</i>			
1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)

Şekil 20. Hata analizi adımı (URL-9, 2020).

Bu adımdaki hatalar;

- İlk aşamada; mevcut bölüm veya bir sonraki incelenecek olan (bağılantılı bölümde) meydana gelebilecek hataların etkileri incelenir ve akabinde proses üzerindeki etkisinin risk ölçüt tablosuna göre puanlanması yapılır.
- İkinci aşamada; bölüm içinde ele alınan makine/ekipmanın hata türü,
- Üçüncü aşamada ise iş elemanlarının hata nedeni incelenmiştir.

5. Adım: Risk Analizi

Proseste her bölüm içerisinde oluşan hata nedenlerinin azaltılabilmesi/ önlenbilmesi, hata türü ve nedeninin fark edilebilmesi/ belirlenebilmesi için yapılan kontroller Şekil 21'deki kısımlarda açıklanmıştır. Hatanın sıklığı ile fark edilebilirlik değeri risk ölçüt tablosuna göre puanlanır ve Ek 3'te açıklanan şekilde hesaplanarak hatanın aksiyon önceliğine ulaşılır.

Risk Analizi (5. adım)				
Mevcut önleme kontrolleri (PC) (Hata nedeni için)	Olasılık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (Hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)

Şekil 21. Risk analizi adımı (URL-9, 2020).

6. Adım: Optimizasyon

Optimizasyon adımı Şekil 22'de sunulmuştur.

Optimizasyon (6. adım)										
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Özel karakteristikler
										Aksiyon önceliği (AP)
										Açıklama

Şekil 22. Optimizasyon adımı (URL-9, 2020).

Bu aşamada proseste tespit edilen hataların iyileştirilmesine yönelik önleyici, saptayıcı faaliyetler belirlenerek, sorumlu kişiler dahilinde iyileştirmelerin hayata geçirilir. Optimizasyon sonrasında ekibin çalışmayı ve süreçteki değişimleri yeniden gözden geçirmesi sonucunda yeniden değerlendirme yapılır ve sonuçlar değerlendirilir.

Durum sütununda ise planlandı, karar verildi, tamamlandı,plandan çıkarıldı gibi ibarelerle çalışmanın durumu hakkında bilgi verilir. Takip eden sütunlarda ise yapılan faaliyetlere ve tarihine ilişkin açıklama yapılır.

Hataların aksiyon önceliğinin düşürülmesi hedeflenmiş olsa da, proses üzerindeki hataların azaltılmasıyla iyileşme sağlanmasına yardımcı olması, her zaman iyileşme sağlayacağı veya hataları tamamen önleyeceği yönünde bir garanti veremeyeceğinden dolayı, bu gibi durumlarda çalışmanın farklı periyotta yeniden tekrarlanması gerekebilir.

Çalışmada özel karakteristikler bulunmamaktadır.

3.3.3. Risk İletişimi

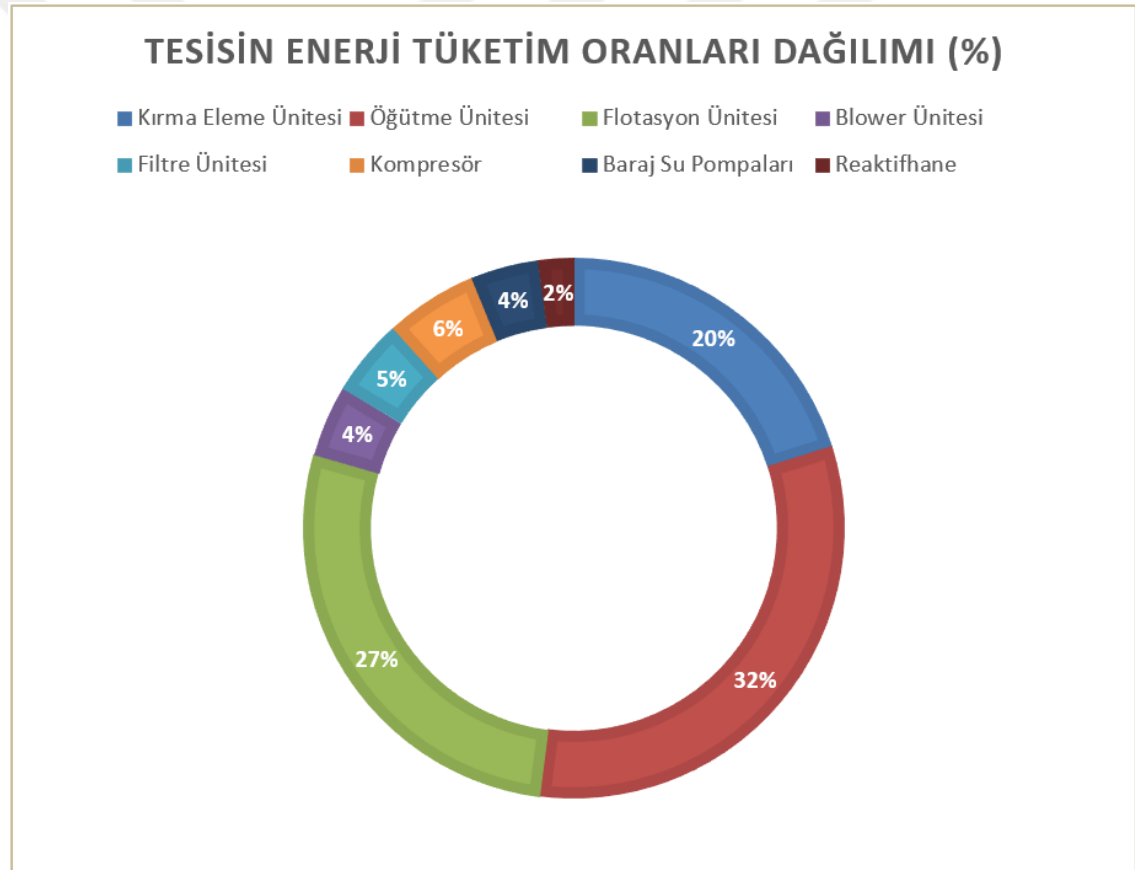
7.adım: Risk İletişimi (Risk Communication)

FMEA çalışmasının son adımında, prosesteki risklerin/hataların üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilir ve sonuçlar raporlanarak yönetime sunulur.

3.4. Proses FMEA Çalışması Yapılan Ünitelerin Seçimi ve Ünite Hakkında Genel Bilgiler

Cevher Zenginleştirme Tesislerinde, tüvenan cevherden son ürün konsantre üretimine dek geçen süreçte yoğun bir enerji tüketimi söz konusudur.

Çalışma yapılan tesis genelinde enerji tüketilen üniteler hakkında fikir sahibi olmak adına hazırlanan görsel, Şekil 23'te sunulmuştur.



Şekil 23. Tesisin enerji tüketim oranları dağılımı

Şekil 23'te tesisin ünitelerinde ve diğer bölümlerinde sarf edilen enerji tüketim oranları dağılımı görülmektedir. Yüzdelik oranlar, tesiste kullanılan makine/ekipmanların üretici firmalarının belirtmiş olduğu katalog bilgilerinin referans alınmasıyla hazırlanmıştır. Şirket verilerinin gizliliği nedeniyle, şirket ismi ve tesise yönelik bilgiler

ve tesisin enerji tüketimine yönelik detaylı bilgiler paylaşılmamıştır. Bu nedenle kWh yerine yüzdelik oranlar şeklinde belirtilmiştir.

Tesisin enerji tüketim oranı dağılımları incelendiğinde, en yüksek tüketim payına %32 oranıyla Öğütme Ünitesi'nin sahip olduğu, ardından %27'lik oran ile Flotasyon Ünitesi'nin ve üçüncü sırada ise %20 oranla Kırma Eleme Ünitesi'nin bulunduğu görülmektedir.

Kırma Eleme Ünitesi enerji gereksinimi bakımından üçüncü sırada olmasına karşın, bu üniteye yapılan boyut küçültme işleminin üretimi ve verimliliği, öğütme ve flotasyon ünitelerinin üretim ve enerji verimliliği ile ilişkilidir. Bu ilişkiden Bölüm 2.1'de bahsedilmiş olup, ilgili bölümde yer alan açıklamalara istinaden prosesin üretim ve enerji verimliliğini etkileyen ilk ünite olan Kırma Eleme Ünitesi ele alınmıştır.

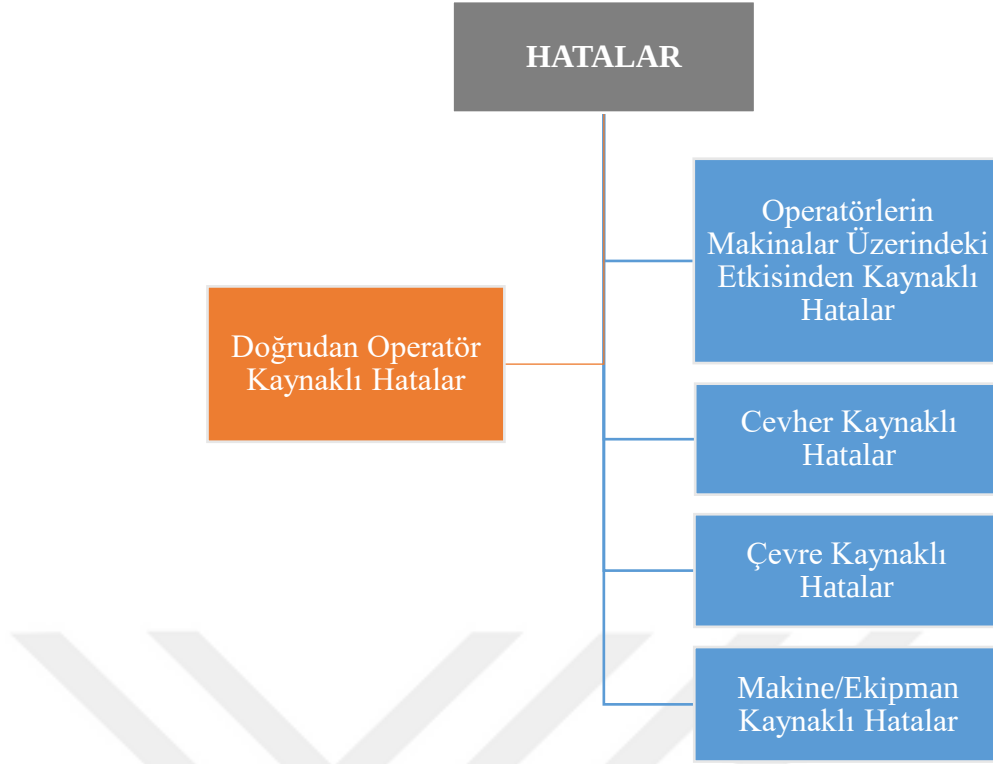
3.4.1. Hazırlığı Daraltma Sürecinin Gösterilmesi

Çalışma, Kırma Eleme Ünitesi'nin üretim ve enerji verimliliğini etkileyen doğrudan operatör kaynaklı hatalar ile operatörlerin makinalar üzerindeki etkilerinden kaynaklı hataların incelenmesini içerdiği; mevcut prosesin iyileştirilme yapılması ihtiyacından dolayı, Tasarım FMEA'dan ziyade Proses FMEA ile ilgilidir. Bölüm 2.3.2'de açıklanan "Durum 3 mevcut bir tasarım veya süreçte mühendislik değişiklikleri" maddesi izlenmiştir.

Proses FMEA risk değerlendirme yöntemi, FMEA sürecinde (Şekil 11'de verilen) belirtildiği üzere uygulanmıştır. Bunun için ilk olarak parça ve proses fonksiyonu bilgisi toplanmıştır. Kırma Eleme Ünitesi ile ilgili proses bilgileri araştırılmış olup, proses verilerinden vardiya tutanakları, arıza/bakım raporları ve üretim raporlarına ulaşılabilmişken, enerji tüketim verilerine ulaşamamıştır. İlgili üniteye enerji tüketimine yönelik bilgilerin bulunmaması, enerji tüketimini etkileyen risklerin değerlendirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Verilerin yetersiz kaldığı durumda ise, Tablo 6 'da yer alan PFMEA'da değerlendirme için kullanılacak yöntemlerin seçim kriterleri izlenmiştir.

Çalışmada, ilgili üniteye ait enerji tüketim verisi bulunmaması nedeniyle, takım yargısı kullanılmış olup, takım üyelerinin bilgi ve tecrübeleri doğrultusunda değerlendirme yapılmıştır. Bu yaklaşımı Baysal ve ark., 2002 çalışmalarında izlemişler ve FMEA ekibinin bilgi ve tecrübelerine başvurulması gerektiğini söylemişlerdir.

Temin edilebilen veriler içerisinde; vardiya tutanakları, arıza/bakım raporları detaylıca incelenmiş olup, üniteye üretim ve enerji verimliliğini etkileyecek hatalar incelenmiştir. Üretim ve enerji verimliliğini etkileyen başlıca hatalar Şekil 24'te sunulmuştur.



Şekil 24. Üretim ve enerji verimliliğini etkileyen başlıca hatalar

Bu hatalardan; şeklin solunda verilen doğrudan operatör kaynaklı hataların Kırma Eleme Ünitesi üretim ve enerji verimliliğine etkisi ayrı formda değerlendirilirken, şeklin sağında kalan hatalar her bölüm için ayrı formlarda incelenmiştir. Bunlar:

- Bunker ve titreşimli besleyici,
- Primer çeneli kırıcı,
- Titreşimli elek,
- Sekonder darbeli kırıcı ve tersiyer kırıcı,
- Konveyör bantlar,
- Jet pulse toz toplama sistemi,

olarak altı bölüme ayrılmıştır.

Yukarıdaki bölümler içerisinde meydana gelen hatalar vardiya tutanakları, arıza/bakım raporlarının incelenmesine istinaden oluşturulmuştur. Bu hataların bölümlerdeki etkisi; şiddet, olasılık, saptama değerleri FMEA ekibi ile birlikte değerlendirilmiştir (bu tanımlara Ek 3'te yer verilmiştir). Üretim ve enerji verimliliğini etkileyen hataların risk değerlendirmesi için saha verileri ve gözlemleri önemli bir yer tutmaktadır. Bunlar:

- Operatörlerin çalışma esnasında ve sonrasında, saha içindeki davranış ve performanslarının gözlemlenmesine,

- Operatörlerin görev ve sorumluluklarına olan ilgisi ve özenine,
- Şirket içinde düzenlenen eğitimlerin öncesi, esnasında ve sonrasındaki tutum ve davranışlarının incelenmesine dayanmaktadır.

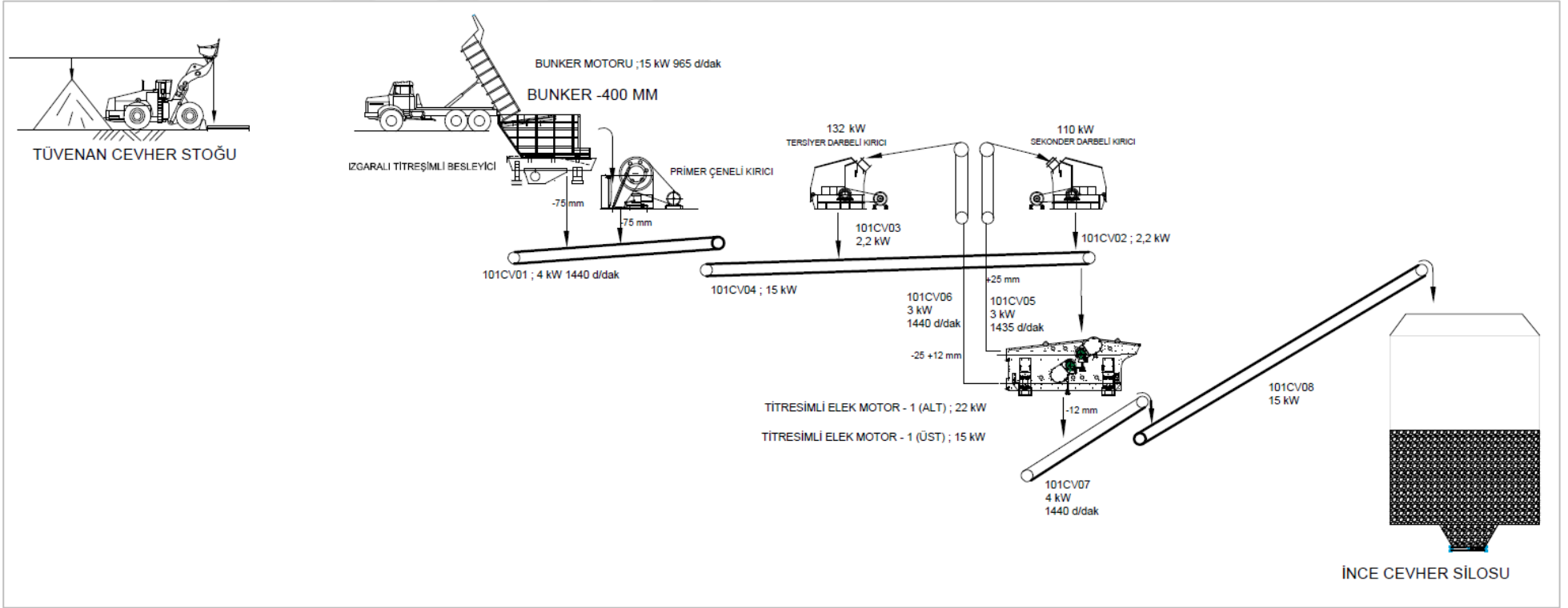
Mesleki Yeterlilik Kurumu tarafından hazırlanan Ulusal Meslek Standart'ındaki (URL-13, 2016) iş tanımları doğrultusunda, operatörlerin saha içerisindeki görev ve sorumluluklarının takibi yapılmış, çalışma performansları gözlemlenmiştir.

Bölümlerde yer alan hataların değerlendirmesi yapılırken; operatör - makine - proses - çevre - cevher etkileşimi göz önünde bulundurulmuş olup, hataların değerlendirmesinde:

- Literatür araştırmalarına,
- Farklı firmaların ürün katalogları ve çalıştırma kılavuzlarının (e-manuel dökümanlarının) incelenmesine,
- Çalışma yapılan üniteadaki arıza/bakım kayıtlarının incelenmesine,
- Saha gözlemlerine dayanılarak değerlendirme yapılmıştır.

3.4.2. Ünite Hakkında Genel Bilgiler

Cevher hazırlama işleminin ilk aşaması olan Kırma Eleme Ünitesi'nin genel akışı Şekil 25'te sunulmuştur.



Şekil 25. Kırma Eleme Ünitesi akım şeması

Şekil 25’te verilen akım şemasında görüleceği üzere, tüvenan stok sahasından (Şekil 26) bunkere nakledilerek (Şekil 27) bunkerle birlikte hareket eden titreşimli besleyici (Şekil 28) aracılığıyla birincil (çeneli kırıcı, primer) (Şekil 29) kırıcıya beslenir.



Şekil 26. Stok sahası



Şekil 27. Cevherin bunkere beslendiği kısım



Şekil 28. Bunker ve titreşimli besleyici



Şekil 29. Primer çeneli kırıcı

Titreşimli ızgaralı eleğin eleme işlemi sonucunda, elek gözlerinden alta geçen kısmı *elek altı* (-) olarak adlandırırken, elek gözlerinden geçmeyen, üst yüzeyinde kalan kısmı *elek üstü* (+) olarak adlandırılır.

Primer kırıcıda boyutu küçültülerek (-75 mm: 75 mm'den küçük boyutlu cevherler), konveyör bantlar vasıtasıyla titreşimli eleğe gönderilen ve elenen cevher (Şekil 30),

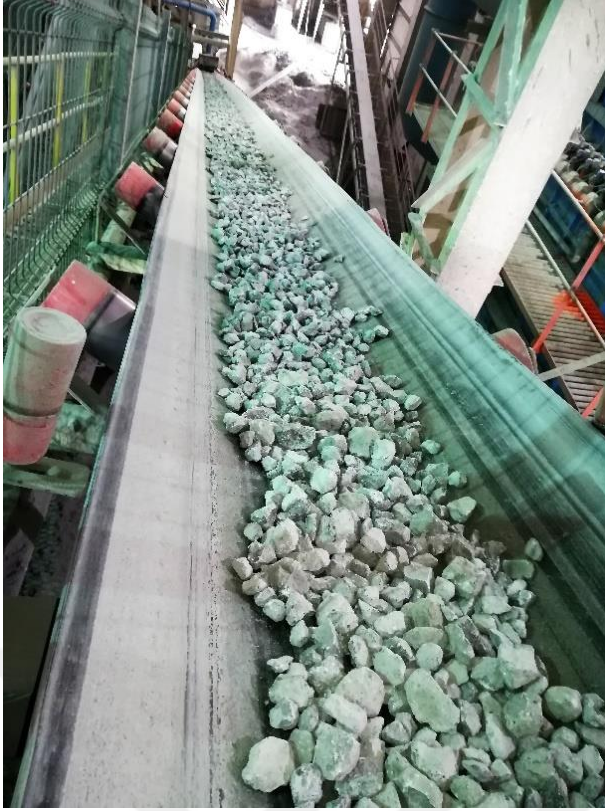
istenen tane boyutuna uygunsa (-12 mm) siloya, boyut dağılımı dışında (+12 mm) ise boyut aralığına bağlı olarak sekonder (+25 mm) (Şekil 31) ve tersiyer kırıcıya (+25 mm-12 mm) (Şekil 32) gönderilir. Kırıcılardan kırılarak gelen cevherler titreşimli eleğe tekrar gelerek elenir. İstenen boyuta indirgenen (Şekil 33) cevher siloya (Şekil 34) aktarılırken (-12 mm), boyutun büyük olması durumunda (+12 mm) sekonder ve tersiyer kırıcıda kapalı devre olarak yeniden kırılmaktadır.



Şekil 30. Titreşimli elek, sekonder ve tersiyer kırıcıların görüntüsü



Şekil 31. Sekonder kırıcıya kırılmak üzere gelen cevherler



Şekil 32. Tersiyer kırıcıya kırılmak üzere gelen cevherler



Şekil 33. Öğütmeye uygun boyuta indirgenen cevherler



Şekil 34. Öğütölmek üzere cevherin depolandığı ve değirmene beslendiğı silo

Kırma eleme ünitesinde proses operatörler aracılığıyla işletilmektedir. Makinalar kontrol odasından (Şekil 35) kullanılırlar.



Şekil 35. Kontrol odası

Kırma işlemi için prosese beslenen cevher boyut aralığı 12 - 160 mm civarında olmakla beraber, siloya ulaşan cevher boyutu 12 mm ve altındadır. Öğütme ünitesinde işlenen cevher çeşidine ve prosese göre flotasyon ile yüzdürülecek cevher tanelerinin boyutu 53 - 280 μm 'ye kadar indirilebilmektedir.

Kırma Eleme Ünitesi'nde bunker ve titreşimli besleyici kullanılmakta, kırıcı olarak ise; primer çeneli kırıcı, sekonder darbeli kırıcı ve tersiyer kırıcı bulunmaktadır. Elek çeşidi yatay tip elektir.

Toz toplama sistemi tipi ise jet pulse toz toplama sistemidir (Şekil 36).



Şekil 36. Jet pulse toz toplama sistemi

Yukarıdaki şekillerde verilen makinalar operatörler tarafından işletilmektedir. Operatörlerin makinalar üzerindeki etkilerinin incelenebilmesi için, FMEA çalışması kapsamında, prosesin risk değerlendirmesinin yapıldığı kısımlar bölümlere ayrılarak incelenmiştir.

FMEA uygulamasının bütün olarak incelenmesinden ziyade küçük parçalara bölerek detaylı inceleme yapılmasıyla daha iyi sonuçların elde edileceği beklenmektedir (Durhan, 2006). Bu nedenle çalışma altı bölümde incelenmiştir:

1. Bunker ve titreşimli besleyici
2. Primer çeneli kırıcı

3. Titreşimli elek
4. Sekonder darbeleri kırıcı ve tersiyer kırıcı
5. Konveyör bantlar
6. Jet pulse toz toplama sistemi

Çalışma alanının parçalara bölünerek belirlenmesinin ardından, mevcut durumun ve ulaşılmak istenen hedefin sayısal olarak belirlenmesi, değerlendirme açısından kolaylıklar sağlayacaktır.

3.5. Değerlendirmeler

Bu çalışmada, hataların risk değerlendirmesi yapılırken AIAG VDA PFMEA el kitabında yer alan değerlendirme kriterleri tabloları yerine, literatürde yaygın olarak kullanılan (Şekil 12) risk ölçüt tablosu tercih edilmiştir. Bunun başlıca nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

- Çalışmada değerlendirilen, her bölümdeki her hatanın, tesise, üretime ve bir sonraki bölüme etkisinin genellikle farklı olması,
- Her hata için ayrı tablolar oluşturulmasının yöntemin pratik bir şekilde uygulanmasını azaltarak bu çalışma içerisinde karmaşaya yol açması,
- AIAG VDA PFMEA risk değerlendirme tablolarında son ürün ve müşteri ibaresi kullanılmaktayken, bu çalışmada Kırma Eleme Ünitesi'nden çıkan cevherin müşteriye ulaşacak son ürün olmaması nedeniyle, yapılan iyileştirmenin müşteriden ziyade öncelikle şirketin enerji verimliliği için gerekli olması gerekçesiyle (Şekil 12) tercih edilmiştir.

4. BULGULAR VE İRDELEME

4.1. Yeni Yaklaşım Sahip Proses FMEA Yönteminin Uygulanması

Kırma Eleme Ünitesi'nin üretim ve enerji verimliliğini arttırmak üzere gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında; doğrudan operatör kaynaklı hatalar, operatörlerin makinalar üzerindeki etkisinden kaynaklı hatalar ile cevher, çevre, makine/ekipman kaynaklı hataların risk değerlendirmelerine ilişkin tablolar Ek 4; Doğrudan Operatör Kaynaklı Hatalar-FMEA No 1, Ek 5; Bunker ve Titreşimli Besleyici-FMEA No 2, Ek 6; Primer Çeneli Kırıcı-FMEA No 3, Ek 7; Titreşimli Elek-FMEA No 4, Ek 8; Sekonder Darbeli ve Tersiyer Kırıcı-FMEA No 5, Ek 9; Konveyör Bant-FMEA No 6 ve Ek 10; Toz Toplama Sistemi-FMEA No 7'de detaylarıyla verilmiştir.

Yeni yaklaşıma sahip PFMEA tablosunda risk öncelik sayıları yerine, aksiyon önceliği yüksek, orta, düşük gibi ibarelerle belirtildiğinden dolayı, çalışmadaki hataların RÖS sayılarının kıyaslanabilmesi, optimizasyon öncesi ve sonrasında hataların şiddet, olasılık ve saptama değerlerindeki değişimin görülebilmesi amacıyla incelenen her bölüm için özet tablolar hazırlanmıştır. Tablolar bulgular ve irdeleme bölümünde sunulmuştur.

Hesaplanan risk öncelik sayılarına (RÖS) ve puanlara karşılık gelen aksiyon öncelikleri ile hataların iyileşme farkı (RÖS) ve iyileşme oranlarına (%) yer verilmiştir.

Tablo içerisinde hesaplanan iyileşme farkı (RÖS) aşağıdaki Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır.

$$X - Y = \text{İyileşme farkı (RÖS)} \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Tablo içerisinde hesaplanan iyileşme oranı (%) aşağıdaki Eşitlik 4'e göre hesaplanmıştır.

$$\frac{X-Y}{X} \times 100 = \% \text{ İyileşme oranı} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Yukarıdaki eşitliklerde;

X: Optimizasyon öncesi RÖS

Y: Optimizasyon sonrası RÖS'ü ifade etmektedir.

Tabloların açıklamalarından sonra verilen şekillerde, hataların ünite içerisindeki iyileşme payları yüzdelik dilimler şeklinde sunulmuştur.

4.1.1. Doğrudan Operatör Kaynaklı Hataların Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu

Kırma Eleme Ünitesi üretim ve enerji verimliliğini etkileyen doğrudan operatör kaynaklı hataların vardiyalı çalışma, görev bilinci ve tecrübe başlıkları altında toplandığı görülmektedir. Bu hataların neredeyse tamamı yüksek aksiyon önceliğine sahiptir (Tablo 7).



Tablo 7. Doğrudan operatör kaynaklı hataların optimizasyonu

KIRMA ve ELEME ÜNİTESİ		Optimizasyon Öncesi					Optimizasyon Sonrası						
DOĞRUDAN OPERATÖR KAYNAKLI HATALAR		Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	İyileşme Farkı	İyileşme Oranı (%)
Vardiyalı Çalışma	Uykusuzluk nedeniyle dikkat dağınıklığı	7	9	4	252	Yüksek	7	8	4	224	Yüksek	28	%11.11
	Beslenme düzeninin bozulması	2	8	4	64	Orta	2	8	4	64	Orta	0	%0.00
	Motivasyon eksikliği	8	9	3	216	Yüksek	8	8	3	192	Yüksek	24	%11.11
Görev bilinci	Makina/Ekipmanların bilinçli kullanımında yetersizlik	10	9	3	270	Yüksek	9	8	3	216	Yüksek	54	%20.00
	Bakım ve kontrol periyotlarında düzensizlik	10	8	3	240	Yüksek	9	7	3	189	Yüksek	51	%21.25
	Veri kaydında eksiklikler ve dikkatsizlik	8	7	2	112	Yüksek	7	6	2	84	Orta	28	%25.00
	Gelecek vardiyaya bilgi aktarımında yetersizlik	8	7	2	112	Yüksek	7	6	2	84	Orta	28	%25.00
Tecrübe	Tecrübe eksikliği	10	8	3	240	Yüksek	9	7	3	189	Yüksek	51	%21.25

Yüksek aksiyon önceliğine sahip hatalar içerisinde en yüksek risk önceliğine sahip hata makine/ekipmanların bilinçli kullanımının yetersizliği olarak görülürken, bunu uykusuzluk nedeniyle dikkat dağınıklığı hatası izlemektedir.

Operatörün uykusuzluk nedeniyle dikkat dağınıklığı hatası, makine/ekipmanların bilinçli kullanımı hatasından daha düşük, diğer hatalardan ise daha yüksek riske sahip olsa da, vardiyalı çalışma ve görev bilinci başlığı altındaki tüm hatalar ile ilişkili olduğu görülmektedir.

Uykusuzluk nedeniyle dikkat dağınıklığı hatası değerlendirilirken operatörlerin gece ve 4-12 vardiyası ile gündüz vardiyalarındaki çalışma performansları göz önünde bulundurulmuştur. Operatörler haftada 6 gün, günlük 7.30 saat çalışmakta, 30 dakika yemek molası yapmakta ve haftada bir gün izin kullanmaktadırlar. Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda ve vardiya listesi incelendiğinde, her vardiyayı yaklaşık iki kez tekrarladıkları görülmektedir. Bu da operatörlerin, ayın yarısında gündüz vardiyasından daha düşük motivasyonda ve performansta çalıştığı anlamına gelmektedir. Tablo 7'deki motivasyon eksikliği hatası bunu destekler niteliktedir.

Gündüz vardiyasında çalışan operatörlerin vardiyaya ve işe uyumu daha kolayken, diğer vardiyalarda çalışan operatörlerin uykusuzluk nedeniyle dikkat dağınıklığı yaşadığı daha sık gözlemlenmiştir.

Uykusuzluk nedeniyle dikkat dağınıklığına sahip bir operatör işine yeterince konsantre olamadığında makine/ekipmanları bilinçli ve dikkatli kullanamamakta, kırma işlemi öncesi ve sonrası bakım ve kontrollerini özenli yapamamakta, vardiya tutanaklarına yazılı şekilde bilgi aktarmada, vardiya değişiminde gelen diğer operatörlere sözlü şekilde bilgilendirme yapmada yetersiz kaldığı belirlenmiştir.

Orta risk önceliğine sahip hata incelendiğinde ise, beslenme düzeninin bozulması hatasının uykusuzluktan kaynaklandığı ve operatörün kendisi ile ilişkili bir hata olduğu, bu hatanın da motivasyon eksikliği oluşturduğu görülmüştür.

Tablo 7'de görülen hataların üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkilerinin azaltılabilmesi/ önlenbilmesi için optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Doğrudan operatör kaynaklı hataların optimizasyonu adımı:

- Vardiyalı çalışma ve görev bilinci başlığı altındaki hataların önlenmesi için; doğrudan operatör kaynaklı hataların operatörün kendisiyle ilişkili olmasından ve operatörlerin bu hatalarının üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkilemesinden dolayı, operatörlerin prosese etkileri ile çalışma performansları Kırma Eleme Ünitesi formeni ve vardiya mühendisi tarafından gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemler sonucu meslek standardında yer alan görev tanımlarındaki yükümlülüklerin yerine getirmediği

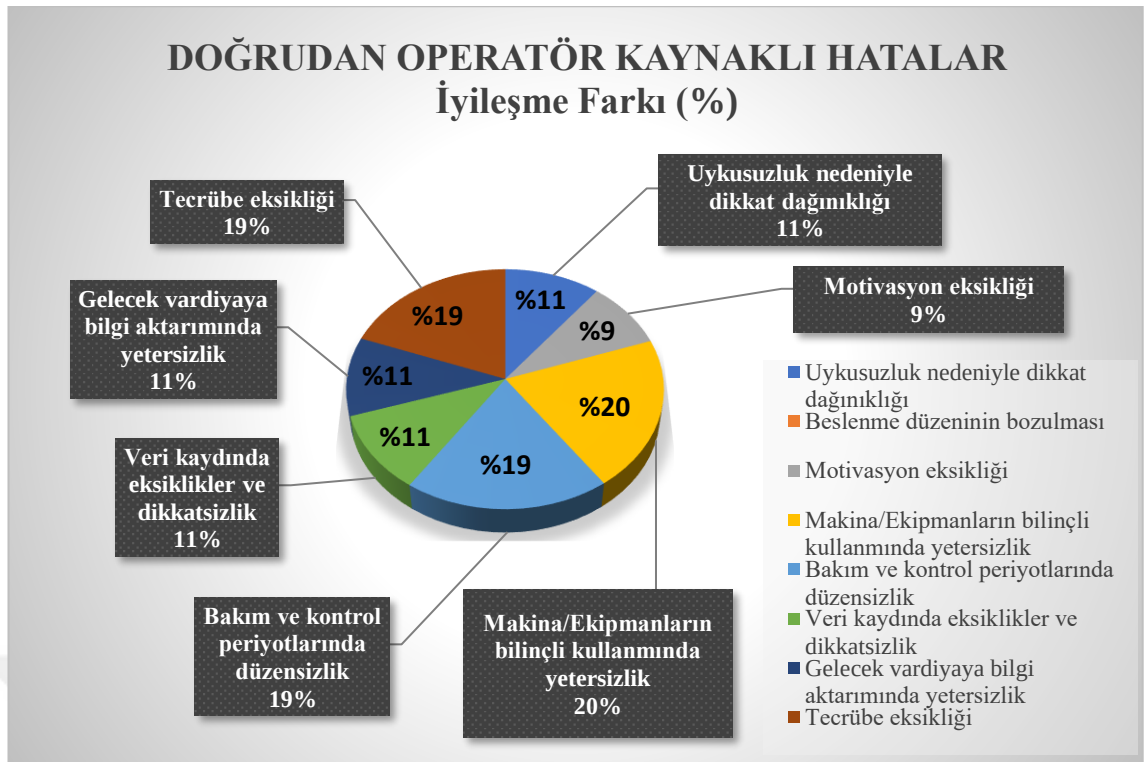
gerekçesiyle ilgili operatörlere tutanak tutulmuştur. Operatörlerin tekrarladıkları hatalara karşı farkındalık sağlamaları, bu etkilerin ve hataların tekrarlanma sıklığının azaltılması, hataların önlenmesi için, operatörlerin üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkilerine ve ünitedeki rollerine yönelik bilinçlendirme eğitimi düzenlenmiştir. Bununla birlikte vardiya giriş çıkışlarındaki operatör değişim sürecinde 5-10 dakikalık bilgi paylaşım toplantılarının düzenli hale getirilmesi ile yapılan sözlü bilgi paylaşımları ile proseste oluşan/oluşabilecek problemlere/hatalara yönelik ön fikir verilmiş ve kırma işlemi öncesi yapılacak kontrollerde, prosesteki bu noktalara dikkat çekilmiştir.

- Tecrübe eksikliği hatasının önlenmesi için; operatörlerin tekrarladıkları hatalara ve bu hataların prosese etkilerine karşı farkındalık kazandırılması, tesisin ve ünitenin çalışma prensibi/prosesi detaylı anlatılarak, teknik bilgilerinin artırılması için eğitimler verilmiştir. Üniteye farklı türde cevher beslenmesi halinde proseste oluşabilecek hatalara karşı hazırlıklı olunması ve prosesin dikkatli takip edilmesi konusunda bilgilendirmeler yapılmıştır.

Operatörlere verilen eğitimlerle farkındalıklarının artırılması sonucunda, yüksek riskli aksiyona sahip hatalardan ikisi, orta risk önceliğine sahip hataya dönüşmüştür. Tablo 7’de görülen üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen bu hatalardan; veri kaydında eksiklikler ve dikkatsizlik ile gelecek vardiyaya bilgi aktarımında yetersizlik hatasının etkisinin %25 oranında azaldığı görülmüştür. Optimize edilemeyen tek hata beslenme düzeninin bozulması hatasıdır ve bu hata operatörün kendisiyle alakalı bir hatadır.

Diğer hataların aksiyon önceliklerinin optimizasyon öncesinde ve sonrasında yüksek olarak sonuçlandırıldığının görülmesine rağmen, hataların etkileri ve tekrarlanma sıklıkları azaltıldığından dolayı bu hataların RÖS değerlerinde küçülmeler olduğu ve iyileşmeler sağlandığı söylenebilir. Tablo 7’de görülen bu hatalardan: uykusuzluk nedeniyle dikkat dağınıklığı, motivasyon eksikliği hatalarının etkisinin %11.11, Makina/Ekipmanların bilinçli kullanımında yetersizlik hatasının etkisinin %20, bakım ve kontrol periyotlarında düzensizlik hatasının etkisinin %21.25, tecrübe eksikliği hatasının etkisinin %21.25 oranında azaldığı görülmüştür.

Kırma Eleme Ünitesi’ndeki doğrudan operatör kaynaklı hataların, ünite içerisindeki iyileşme payları incelendiğinde, Şekil 37’deki dağılım ortaya çıkmaktadır;



Şekil 37. Doğrudan operatör kaynaklı hataların ünite içerisindeki iyileşme oranları

Ünitenin üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen doğrudan operatör kaynaklı hataların optimizasyonu sonucunda, makine/ekipman bilinçli kullanımında %20 oranında artış yaşandığı, bakım ve kontrol periyotlarında düzensizliğin %19 oranında azaltıldığı, bunu izleyen diğer hatalarda da Şekil 37’de belirtilen oranlarda iyileştirme sağlanmıştır.

4.1.2. Bunker ve Besleyici Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu

Bunker ve Besleyici Bölümünde operatörlerin proses üzerindeki etkilerinden kaynaklı hatalar belirlenerek Tablo 8 ve cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar ise belirlenerek Tablo 9 oluşturulmuştur.

Tablo 8. Bunker ve besleyici bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu

BUNKER ve BESLEYİCİ		Optimizasyon Öncesi					Optimizasyon Sonrası						
PROSES HATALARI		Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	İyileşme Farkı	İyileşme Oranı (%)
Operatör Kaynaklı Hatalar	Bunker haznesinin aşınması	2	7	5	70	Orta	2	6	5	60	Orta	10	%14.29
	Bunkerin cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması	8	8	2	128	Yüksek	7	6	2	84	Orta	44	%34.38
	Titreşimli besleyicinin aşınması ve tıkanması	7	6	3	126	Yüksek	5	5	3	75	Orta	51	%40.48
	Titreşim motoru arızası	9	3	2	54	Orta	9	2	2	36	Düşük	18	%33.33
	Elektrik motoruna bağlı kayışın aşınması ve kopması	6	7	5	210	Yüksek	6	6	5	180	Yüksek	30	%14.29

Tablo 9. Bunker ve besleyici bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar

BUNKER ve BESLEYİCİ	Cevher Kaynaklı Hatalar					Çevre Kaynaklı Hatalar					Makine/Ekipman Kaynaklı Hatalar				
PROSES HATALARI	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)
Bunker haznesinin aşınması	3	8	5	120	Yüksek	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Bunkerin cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması	9	6	2	108	Yüksek	7	5	5	175	Yüksek	–	–	–	–	–
Titreşimli besleyicinin aşınması ve tıkanması	7	5	3	105	Yüksek	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Titreşim motoru arızası	–	–	–	–	–	9	2	2	36	Düşük	–	–	–	–	–
Elektrik motoruna bağlı kayışın aşınması ve kopması	6	8	4	192	Yüksek	–	–	–	–	–	5	6	3	90	Orta

Bunker ve besleyici bölümünde operatör kaynaklı üç adet yüksek risk önceliğine sahip hata bulunmakla beraber, en yüksek risk önceliğine sahip hatanın elektrik motoruna bağlı kayışın aşınması ve kopması hatası olduğu görülmektedir. Bu hatanın risk öncelik sayısının bu denli yüksek olması hatanın üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkisinin çok yüksek olmasa bile, hatanın tekrarlanma sıklığının fazla, saptama değerinin düşük olmasından ileri gelmektedir/ kaynaklanmaktadır. Bir operatör bu hatayı ancak kırma işlemi öncesi rutin kontrolleri yaparak fark edebilir. Aynı hatanın cevher kaynaklı olması halinde hatanın oluşma sıklığının ve saptama değerinin daha yüksek olduğu, makine/ekipman kaynaklı hata olması durumunda ise hem etkisinin hem de oluşma sıklığının düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca saptama değeri de daha yüksektir. Hatanın fark edilebilmesi daha kolaydır.

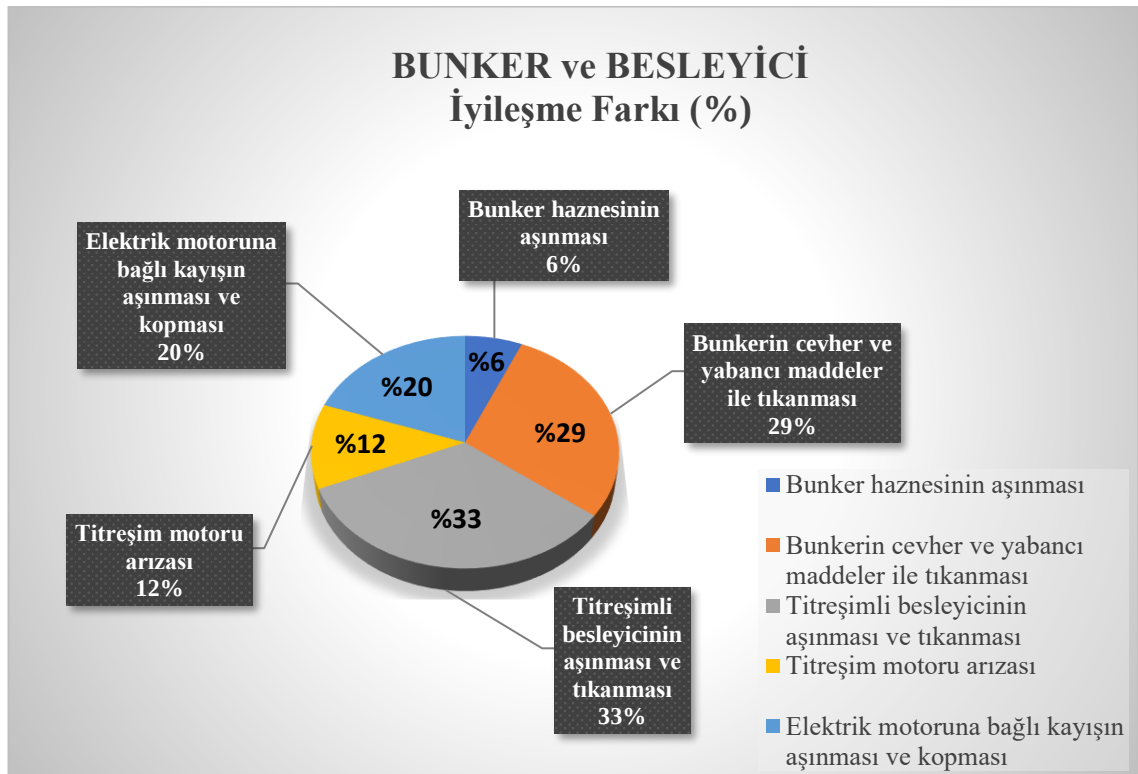
Diğer yüksek aksiyon önceliğine sahip hatalar incelendiğinde, bunkerin cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatasının sıklıkla meydana geldiği, etkisinin ve saptama değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle kış aylarında killi yapıda cevher kırıldığında, cevherin bunker ve besleyicinin iç yüzeylerine yapışma ve tıkanıklık oluşumu daha sık yaşanmaktadır. Bunun yansıması çevre ve cevher kaynaklı hatalar olarak etkisini göstermektedir (Tablo 9). Cevher kaynaklı bu hatadan dolayı tıkanıklık oluşma ihtimali olsa da operatör kaynaklı hatadan daha düşük RÖS'e sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni operatörün bunker ve besleyiciye düzenli besleme yapmaması halinde hatanın büyümesine yol açması ve uzun süreli duruşlara neden olmasıdır. Bu hatanın oluşumunda ayrıca Tablo 7'de verilen operatörün tecrübesizliği ve/veya dikkatsizliği hatasının etkisi bulunmaktadır.

Orta risk önceliğine sahip hatalar incelendiğinde; bunker haznesinin aşınması ve titreşim motoru arızası hataları görülmektedir. Bu hatalardan Bunker ve haznesinin aşınması operatör kaynaklı olarak RÖS=70 iken, cevher kaynaklı aşınmanın RÖS=120 olduğu görülmektedir. Cevher kaynaklı olarak daha sık görülen ve etkisi daha fazla olan bu hatada operatörün hatası; kırma işlemi öncesi yapılan kontrollerde görülen aşınma belirtisini kısa sürede onarılabilecek, çok hayati bir öneme sahip olmadığı, nispeten kolay tespit edilebilecek konumda bulunmadığı düşüncesiyle ertelemeştir. Zamanla bu bölgedeki aşınmalar arttıkça onarılması da zaman almaktadır. Titreşim motoru arızası incelendiğinde ise, nadiren meydana gelen bu hatanın oluşması halinde Bunker ve besleyicinin cevher akışını sağlaması için gerekli titreşim hareketini gerçekleştiremeyeceğinden, kapasite altında çalışılması durumunda kalınır veya tıkanıklık oluşacağından ünitenin durması gerekir. Bu hata kolay tespit edilebildiğinden dolayı saptama değeri yüksektir. Aynı hatanın çevre açısından değerlendirildiğinde düşük

risk önceliğine sahip olduğu görülmektedir. Operatörün buradaki rolü, çevre kaynaklı hata nedenlerini göz önünde bulundurarak, makine ve ekipmanlarda oluşabilecek çevre kaynaklı hataların etkilerini azaltmaktır. Bunker ve besleyici bölümündeki operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkilerinin optimizasyonu adımı:

- Operatörün tekrarladıkları hatalara yönelik farkındalık eğitimi verilmesi,
- Farklı çeşitte cevher beslenmesi halinde, cevherin yapısına, cevheri besleme şekline yönelik teknik eğitimlerin verilmesi,
- Proseste oluşabilecek arızalara, hatalara karşı hazırlıklı olunması ve prosesin dikkatli takip edilmesine yönelik bilinçlendirme eğitiminin yapılması,
- Kırma işlemi öncesi ve sonrasında rutin saha kontrolünün düzenli yapılması ile bunker ve besleyici bölümünde oluşan operatör kaynaklı hataların üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkisine karşı operatörlere farkındalık kazandırılması sağlanmıştır.

Bu bağlamda optimizasyon sonrası; Tablo 8’de görüleceği üzere, bunker haznesinin aşınma hatası %14.29, bunkerin cevher ve yabancı maddeler ile tıkanma hatası %34.38, titreşimli besleyicinin aşınma ve tıkanma hatası %40.48, titreşim motoru arızası %33.33, elektrik motoruna bağlı kayışın aşınma ve kopma hatası %14.29 oranında azalmıştır. Kırma Eleme Ünitesi’nin bunker ve besleyici bölümündeki operatör kaynaklı hataların, ünite içerisindeki iyileşme payları kullanılarak Şekil 38’deki dağılım elde edilmiştir.



Şekil 38. Bunker ve Besleyici bölümü hataların iyileşme oranları

Bunker ve besleyici bölümünün üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen operatör kaynaklı hataların optimizasyonu sonucunda; titreşimli besleyicinin aşınma ve tıkanma hatası %33 oranında iyileştirildiği, bunkerin cevher ve yabancı maddeler ile tıkanma hatası %29 oranında iyileştirildiği görülmektedir. Diğer hataların iyileşme oranları ise Şekil 38’de belirtildiği gibi gerçekleşmiştir.

4.1.3. Primer Çeneli Kırıcı Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu

Ünitede incelenen bir diğer bölüm primer çeneli kırıcılardır. Bu bölümde meydana gelen operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkileri Tablo 10’da, cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar Tablo 11’de oluşturulmuştur.



Tablo 10. Primer çeneli kırıcı bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu

PRİMER ÇENELİ KIRICI		Optimizasyon Öncesi					Optimizasyon Sonrası						
PROSES HATALARI		Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	İyileşme Farkı	İyileşme Oranı (%)
Operatör Kaynaklı Hatalar	Kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması	7	7	5	245	Yüksek	7	6	5	210	Yüksek	35	%14.29
	Kırıcı astarlarının cevher ve yabancı maddeler ile aşınması	6	7	5	210	Yüksek	6	6	5	180	Yüksek	30	%14.29
	Kırıcı plaka vidaları- ağırlık takozları- astar cıvatalarının gevşemesi	4	7	6	168	Yüksek	4	6	6	144	Yüksek	24	%14.29
	Kırıcının açıklık ayarının yapılması	3	6	7	126	Yüksek	3	5	7	105	Yüksek	21	%16.67
	Kırıcının elektrik motorunun arızalanması	6	2	1	12	Düşük	–	–	–	12	Düşük	0	%0.00

Tablo 11. Primer çeneli kırıcı bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu

PRİMER ÇENELİ KIRICI	Cevher Kaynaklı Hatalar					Çevre Kaynaklı Hatalar					Makine/Ekipman Kaynaklı Hatalar				
	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)
PROSES HATALARI															
Kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması	7	7	5	245	Yüksek	6	5	5	150	Yüksek	–	–	–	–	–
Kırıcı astarlarının cevher ve yabancı maddeler ile aşınması	7	7	6	294	Yüksek	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Kırıcı plaka vidaları- ağırlık takozları- astar cıvatalarının gevşemesi	5	6	6	180	Yüksek	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Kırıcının açıklık ayarının yapılması	4	6	6	144	Yüksek	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Kırıcının elektrik motorunun arızalanması	7	3	1	21	Düşük	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Bu bölümdeki en yüksek risk önceliğine sahip hatanın kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatası olduğu görülmektedir. Bu hatayı, kırıcı astarlarının cevher ve yabancı maddeler ile aşınması, kırıcı plaka vidaları- ağırlık takozları- astar cıvatalarının gevşemesi ve kırıcının açıklık ayarının yapılması hataları takip etmektedir. Bölümdeki en yüksek RÖS değerine sahip ilk hata değerlendirildiğinde, bu hatanın ortaya çıkma etkisinin ve şiddetinin yüksek olduğu, saptama ihtimalinin %46 - 55 arası olduğu görülmektedir. Bu hatada karşımıza çıkan yabancı maddeler (plastik, tahta, metal parçalar) cevher içerisinde birlikte gelmekte ve operatörler tarafından fark edilmediği ve ayrılmadığında tıkanıklık oluşumuna yol açmaktadır.

Hata, Tablo 11’de verilen cevher ve çevre kaynaklı hata ile birlikte değerlendirildiğinde, operatör kaynaklı hatanın cevher kaynaklı hata ile eşit RÖS değerine sahip olduğu görülmektedir. Operatörün buradaki rolü, beslemeyi düzenli ve kontrollü yapması, yabancı maddeler görülmesi halinde ayırmasıdır. Operatörün tıkanıklık oluşmaması için beslemeyi azaltması halinde kapasitenin altında çalışılması durumunda kalınırken, besleme fazla olduğunda ise tıkanıklık oluşma ihtimali artar. Tıkanıklık oluştuğunda hata giderilene dek geçen süreçte makinalar boşta çalışmış olur ve hatanın uzun sürmesi halinde ünite durdurulacağından dolayı üretim durur. Tıkanıklık genellikle kış aylarında daha sık görülmektedir.

Kırıcı astarlarının cevher ve yabancı maddeler ile aşınması hatası incelendiğinde, cevher kaynaklı RÖS değerinin operatör kaynaklı RÖS değerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Tablo 10 ve Tablo 11 içerisindeki en yüksek RÖS değerine sahip bu hata, cevherin aşındırıcılığına bağlı olarak ortaya çıkmakta, cevher içerisindeki yabancı maddeler nedeniyle etkisini daha da arttırmaktadır. Kırıcı astarları aşındığında zamanla kırıcıya zarar vermekle beraber kırma işlemi sonucu istenen boyut aralığında kırma işlemi yapılamaz ve büyük cevher blokları yeterince küçültülmeden titreşimli eleğe gönderilmiş olur ve bu da elek dâhil diğer kırıcıların yükünün artmasına neden olur. Ayrıca yabancı maddelerden dolayı astarın aşınması, cevher ile aşınmasından daha yıkıcı etkilere sahip olabilmektedir. Örneğin; yeni astarlara sahip/yakın zamanda yenilenen bir kırıcı astarları tamamen kullanılamaz hale gelebilmekte ve bu da astar değişimi için plan dışı duruş meydana getirmekte ve ekstra iş gücü, maliyet ve üretim kaybı anlamını taşımaktadır. Dolayısıyla üretim ve enerji verimliliği olumsuz etkilemesi kaçınılmazdır. Operatörün bu hatadaki rolü, astarların kontrolünü ihmal etmemesi ve beslemeyi yaparken yabancı maddelerin görülmesi halinde ayrılmasıdır.

Kırıcı plaka vidaları- ağırlık takozları- astar cıvatalarının gevşemesi hatası incelendiğinde cevher kaynaklı hatanın operatör kaynaklı hatadan daha yüksek RÖS

değerine sahip olduğu görülmektedir. Cevherin aşındırıcılığına ve makinanın titreşimine bağlı olarak zamanla gevşeyen astar bağlantı parçalarının özellikle astar değişiminin ardından kırma işlemi öncesi ve sonrasında kontrol edilmesi önem arz etmektedir. Bağlantı parçalarının sıkılaştırılması kısa sürede alınabilecek basit bir önlem iken, operatör kontrol etmediği takdirde astarlar koruyucu işlevini yerine getiremeyerek astar zamanla düşer ve kırıcıya zarar verir. Kırıcı içine düşen astarlar, bir önceki hatada açıklanan etkilere benzer sonuçlar doğurur.

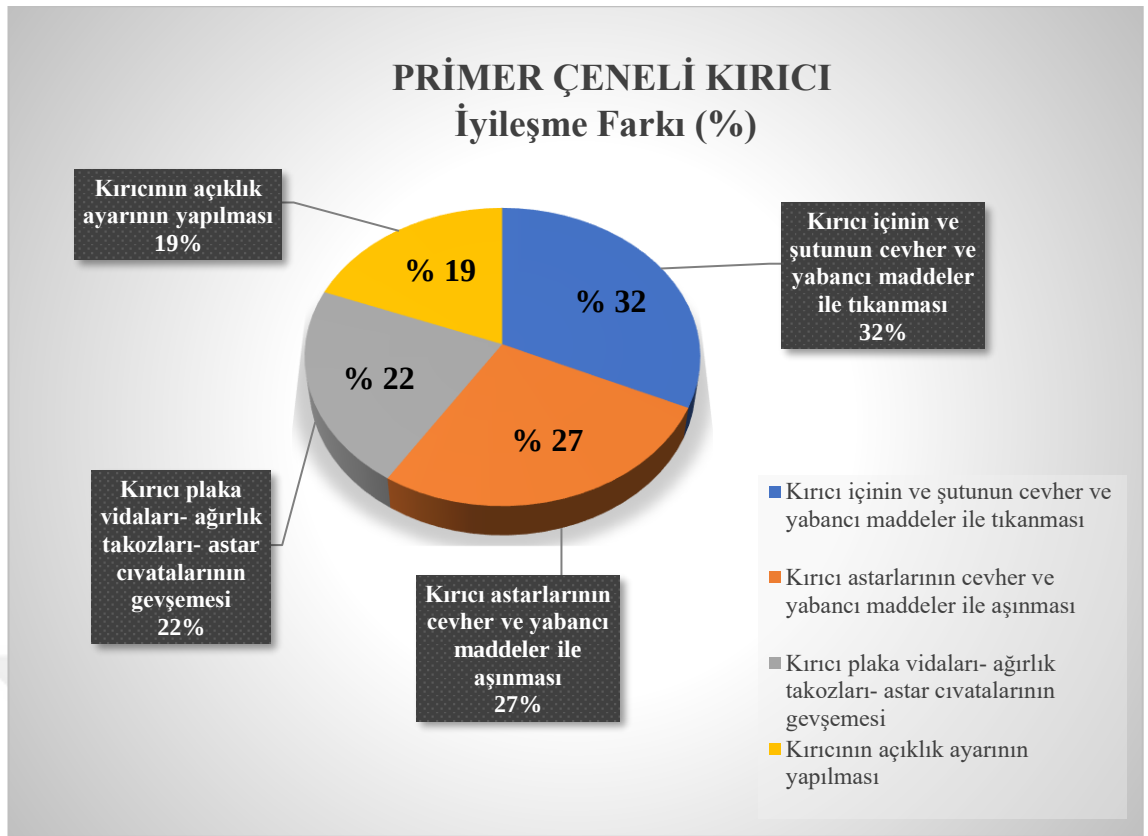
Kırıcının açıklık ayarının yapılması hatasının, cevher kaynaklı olarak daha yüksek RÖS değerine sahip olduğu görülmektedir. Operatörün beslenen cevher özelliklerine uygun şekilde açıklık ayarı yapması, besleme düzenini buna göre ayarlaması ile kırıcıların kapasitesi altında veya aşırı yük ile çalışmasının önüne geçmesini sağlar ancak bazı cevher çeşitlerinin çok aşındırıcı olması nedeniyle kırıcıya zarar verilmesini önlemek adına, kapasitenin altında besleme yapılmasına rağmen, açıklık mesafesini arttırmak gerekebilir. Bu da operatörün tecrübesine istinaden belirlenir ve kontrol edilir.

Bu bölümde orta aksiyon önceliğine sahip hata bulunmamakla birlikte, düşük aksiyon önceliğine sahip tek hata tespit edilmiştir ancak çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır.

Primer çeneli kırıcı bölümündeki operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkilerinin optimizasyonu adımı:

- Operatörün hatalarına ve periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitiminin yapılması,
- Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiyada tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak operatörün kendini yetiştirmesi ve geliştirmesi,
- Basit ve kısa süreli önlemler alınması ile, üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyebilecek, ayrıca iş gücü kaybına neden olabilecek hataların önüne geçilebilmesine yönelik eğitimler düzenlenerek, operatörlerin farkındalık kazandırılması önlemleri alınmıştır.

Optimizasyon sonrası; Şekil 39’da görüleceği üzere, üretim ve enerji verimliliğini etkileyen hatalardan; kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatası, kırıcı astarlarının cevher ve yabancı maddeler ile aşınması hatası ve kırıcı plaka vidaları- ağırlık takozları- astar civatalarının gevşemesi hatalarının etkisi %14.29 oranında, kırıcının açıklık ayarının yapılması hatasının etkisi %16.67 oranında azalmıştır. Kırma Eleme Ünitesi’nin primer çeneli kırıcı bölümündeki operatör kaynaklı hataların, ünite içerisindeki iyileşme payları incelendiğinde ise, Şekil 39’daki dağılım elde edilmiştir:



Şekil 39.Primer çeneli kırıcı bölümü hataların iyileşme oranları

Primer çeneli kırıcı bölümünün üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen operatör kaynaklı hataların optimizasyonu sonucunda; kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatasının %32 oranında, kırıcı astarlarının cevher ve yabancı maddeler ile aşınması hatasının %27 oranında iyileştiği görülmektedir. Diğer hataların iyileşme oranları ise Şekil 39’da belirtildiği gibi gerçekleşmiştir.

4.1.4. Titreşimli Elek Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu

Titreşimli elek bölümünde meydana gelen operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkileri Tablo 12’de oluşturulmuştur.

Tablo 12. Titreşimli elek bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu

TİTREŞİMLİ ELEK		Optimizasyon Öncesi					Optimizasyon Sonrası						
PROSES HATALARI		Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	İyileşme Farkı	İyileşme Oranı (%)
Operatör Kaynaklı Hatalar	Elek içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması	8	7	5	280	Yüksek	7	6	5	210	Yüksek	70	%25.00
	Elek içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile aşınması	6	7	4	168	Yüksek	4	7	4	112	Yüksek	56	%33.33
	Elek kayışının aşınması ve kopması	7	7	5	245	Yüksek	7	6	5	210	Yüksek	35	%14.29

Bu bölümde görülen hataların tamamının yüksek aksiyon önceliğine sahip hatalardan oluştuğu görülmektedir. Bu hatalardan en yüksek RÖS değerine sahip hata elek içinin ve şütünun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatasıdır. Elek ve elek şütünun cevher ve/veya yabancı maddeler ile tıkanması halinde cevher akışına engel olacağından elekten elenmesi gereken miktarda cevher elenemez. Bu durumda sekonder ve tersiyer kırıcılara düzenli cevher beslemesi yapılamayacağından kırıcılar kapasitelerinin altında çalıştırılmış olur. Ayrıca tıkanıklık uzun sürede giderilebilecek boyutta ise ünite durdurulacağından dolayı üretim durur. Bu da hatanın şiddetinin yüksek olduğunu göstermektedir. Tablo 12 ve Tablo 13 incelendiğinde hatanın cevher ve operatör kaynaklı RÖS değerlerinin eşit olduğu görülmektedir. Burada operatörün rolü, beslemeyi düzenli yapması, metal parçaları ayırmak üzere kullanılan mıknatıs üzerinde biriken parçaları zamanında toplaması, büyük plastik parçalarının alınması ve akışın sürekliliğinin sağlanmasıdır. Ancak bahsi geçen yabancı maddeler tıkanıklığa yol açtığı gibi, elek içinin ve şütünun aşınmasına da neden olurlar.

Elek şutların aşınması durumunda zamanla bu bölgeden cevher döküntüleri olur ve aşınan parça büyüdükçe onarılması için geçen süre uzar. Ayrıca onarılması için ekstra işgücü kaybı yaşanır. Bu hatada da Tablo 13’de görüldüğü üzere cevher kaynaklı ve operatör kaynaklı RÖS değerlerinin eşit olduğu görülmektedir. Bu da cevher ve yabancı maddeler kadar operatörün dikkatsizliğinin de hatanın oluşumunda etkili olduğunu göstermektedir.

Bir diğer hata elek kayışının aşınması ve kopması hatasıdır. Bu hata çevre ve makine/ekipman kaynaklı oluşsa da, operatörün kırma işlemi öncesi ve sonrasında rutin kontrolleri düzenli yapmaması, kayıştaki yıpranmayı fark etmemesi halinde kayış üretim esnasında koparak titreşimli eleğin hareketinin durmasına neden olur. Üretim esnasında fark edilmediğinde çeneli kırıcıdan gelen cevher elek üstünde yığılmalara neden olur ve tıkanıklık meydana gelir. Ayrıca bu süreçte üretimin durdurulması durumunda kalınır. Kısa sürede giderilebilecek bir arıza operatörün dikkatsizliği nedeniyle uzayabileceğinden dolayı bu hatanın operatör kaynaklı RÖS değeri yüksektir.

Tablo 13. Titreşimli elek bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar

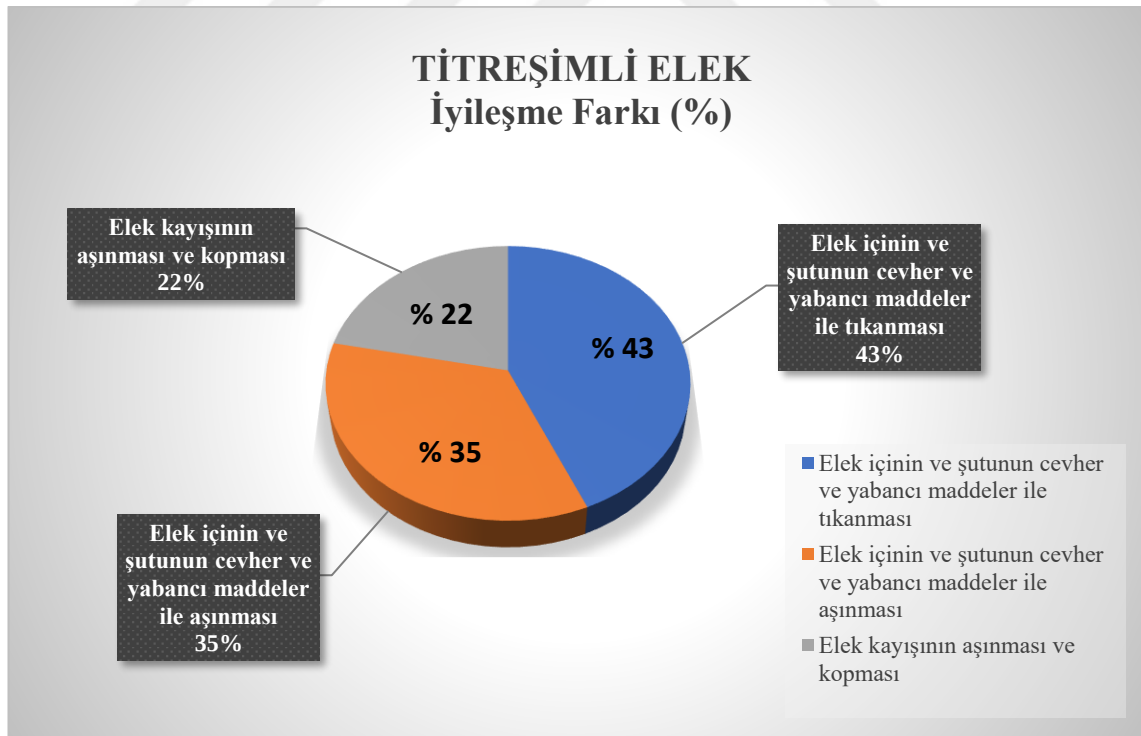
TİTREŞİMLİ ELEK	Cevher Kaynaklı Hatalar					Çevre Kaynaklı Hatalar					Makine/Ekipman Kaynaklı Hatalar				
PROSES HATALARI	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)
Elek içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması	8	7	5	280	Yüksek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elek içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile aşınması	6	7	4	168	Yüksek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elek kayışının aşınması ve kopması	6	8	3	144	Yüksek	-	-	-	-	-	5	7	3	105	Yüksek

Titreşimli elek bölümündeki operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkilerinin optimizasyonu adımı:

- Operatörlerin tekrarladıkları hataların proses üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkisine karşı bilinçlendirilmesi,
- Tecrübeli operatörlerin ve ünite formeninin tecrübesiz operatörleri kontrol ve takibini sağlaması, vardiyadaki operatörlerin birbirlerini denetlemesi,
- Periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitimi verilmesi gibi önlemler alınmıştır.

Optimizasyon sonrası Tablo 12’de görüleceği üzere, üretim ve enerji verimliliğini etkileyen hatalardan; elek içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatasının etkisi %25, elek içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile aşınması hatasının etkisi %33.33, elek kayışının aşınması ve kopması hatasının etkisi %14.29 oranında iyileştirilmiştir.

Kırma Eleme Ünitesi’nin titreşimli elek bölümündeki operatör kaynaklı hataların, ünite içerisindeki iyileşme payları incelendiğinde ise, Şekil 40’taki dağılım elde edilmiştir.



Şekil 40. Titreşimli elek bölümü hatalarının iyileşme oranları

Titreşimli elek bölümünün üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen operatör kaynaklı hataların optimizasyonu sonucunda: elek içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatasının %43 oranında, elek içinin ve şutunun cevher ve yabancı

maddeler ile aşınması hatasının %35, elek kayışının aşınması ve kopması hatasının %22 oranında iyileştirildiği görülmüştür.

4.1.5. Darbeli Sekonder ve Tersiyer Kırıcı Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu

Darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümünde meydana gelen operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkileri Tablo 14'te oluşturulmuştur.



Tablo 14. Darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu

DARBELİ SEKONDER ve TERSİYER KIRICI		Optimizasyon Öncesi					Optimizasyon Sonrası						
PROSES HATALARI		Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	İyileşme Farkı	İyileşme Oranı (%)
Operatör Kaynaklı Hatalar	Kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması	7	7	5	245	Yüksek	7	6	5	210	Yüksek	35	%14.29
	Kırıcı astar ve çekiçlerinin cevher ve yabancı maddeler ile aşınması	7	7	6	294	Yüksek	7	6	6	252	Yüksek	42	%14.29
	Kırıcı astar ve çekiç civatalarının gevşemesi	6	6	3	108	Yüksek	5	6	3	90	Orta	18	%16.67
	Kırıcının açıklık ayarının yapılması	4	6	7	168	Yüksek	3	5	7	105	Yüksek	63	%37.50
	Kırıcı rulmanının arızası	6	5	3	90	Orta	6	5	3	90	Orta	0	%0.00
	Kırıcının elektrik motorunun arızalanması	6	3	1	18	Düşük	–	–	–	18	Düşük	0	%0.00

Bu bölümde yüksek aksiyona sahip hatalardan en yüksek RÖS değerinin kırıcı astar ve çekiçlerinin cevher ve yabancı maddeler ile aşınması hatası olduğu görülmektedir. Bunu kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatası takip etmektedir. Bölümde dört adet yüksek risk önceliğine sahip hata bulunmakla birlikte, bir adet orta, bir adet düşük risk önceliğine sahip hata mevcuttur (Tablo 14). En yüksek RÖS değerine sahip hata incelendiğinde, şiddetinin ve olasılığının yüksek, saptama değerinin orta derecede olduğu görülmektedir. Çeneli kırıcının Tablo 10 ve Tablo 11'deki benzer hatası ile kıyaslandığında, operatör kaynaklı RÖS değerinin bu bölümde daha yüksek olduğu görülmektedir.

Hatanın bu denli yüksek olması saptama değerinin orta seviyede olmasıdır. Aynı hata cevher kaynaklı hata açısından değerlendirildiğinde RÖS sayılarının eşit olduğu gözlenmiştir. Burada operatörün rolü, belirli periyotlarda aşınan astar ve çekiçlerin kontrolünü sağlamak, yabancı maddelerin tespit edilmesi halinde kırıcıya girmeden ayırmak, mıknaatıları olası metal parçaların ayrılması için temiz tutmaktır.

Bir diğer hata olan kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatası da sıklıkla görülen bir hatadır. Hatanın cevher kaynaklı etkisinin bu bölümde çeneli kırıcı bölümüne kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle kış aylarında kırıcının iç yüzeyine kaplanan cevher nedeniyle kırma işleminde zorluk yaşanması ve tıkanıklıkların oluşması nedeniyle cevher akışının azalması kapasitenin altında çalışılması durumuyla karşılaşılmaktadır. Kırıcılarda veya şutlarında herhangi bir tıkanıklık meydana geldiğinde ve tıkanıklık uzun sürede giderilebilecek bir durumda ise ünitenin durdurulması gerekir. Eğer bu süreçte siloda yeteri kadar cevher yoksa, Öğütme Ünitesi'ne yeterli cevher temin edilemeyeceğinden Öğütme Ünitesi'nin durmasına neden olacaktır.

Üçüncü yüksek aksiyona sahip hata kırıcının açıklık ayarının yapılması hatasıdır. Bu hata operatör ve cevher kaynaklı olarak incelendiğinde, çeneli kırıcıya kıyasla daha yüksek RÖS değerine sahip olduğu ve çeneli kırıcıdakine benzer şekilde etki gösterdiği görülmektedir. Kırıcılardaki açıklık mesafesi arttığında, cevherin proseste istenen boyuta kadar küçültülememesi nedeniyle titreşimli eleğin yükünün artmasına neden olacaktır. Ayrıca cevher titreşimli eleğe geldikten ve elendikten sonra kırıcılara geri döner. Bu da devreden yükün artmasına yol açarak kırıcılar fazladan çalışmasına neden olur. Açıklık mesafesi azaltıldığında ise aşınma daha fazla olur ve astarlar daha kısa sürede aşınırlar. Ayrıca normalden daha düşük kapasitede çalışılmak durumunda kalınır ve bu da makinelerin boşta çalıştığı anlamına gelir. Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda

operatörün rolünün cevher özelliklerine uygun şekilde kırıcıların açıklık ayarını optimum seviyede tutulması gerektirir.

Kırıcı astar ve çekiç bağlantı ekipmanlarının gevşemesi de çeneli kırıcıda bahsi geçen bilgilere benzer şekilde ifade edilebilir. Ünite başlatılmadan önce ve kırma işleminin ardından astar ve çekiç cıvatalarının kontrollerinin yapılması gerekli ve önemlidir. Aksi takdirde gevşeyen astar ve çekiçler bulunduğu yerden çıkarak kırıcı içerisine düşer ve cevher ile birlikte kırma işlemi süresince hem diğer astar ve cıvatalara hem de kırıcı iç yüzeyine zarar verirler. Basit bir kontrol ve önlemlerle kısa sürede giderilebilecek bir hata, plan dışı astar değişimi gerektiren uzun duruşlara neden olarak, üretimi sekteye uğratabilecek bir vaziyete dönüşür.

Orta risk önceliğine sahip hatalar incelendiğinde, kırıcı rulmanının arızası hatası görülmektedir. Bu hatanın cevher tozunun rulmanlarda kirlilik meydana getirmesi nedeniyle cevher kaynaklı RÖS değerinin yüksek aksiyon önceliğine sahip olduğu Tablo 15'te görülmektedir. Operatörün bu hatadaki rolü rulmanların kestirimci bakımının (sıcaklık, temizlik, balans ayarının) düzenli periyotlarda yapılmasıdır.

Düşük risk önceliğine sahip bir hata bulunmaktadır ve çalışma kapsamında değerlendirilmeye alınmamıştır.

Tablo 15. Darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar

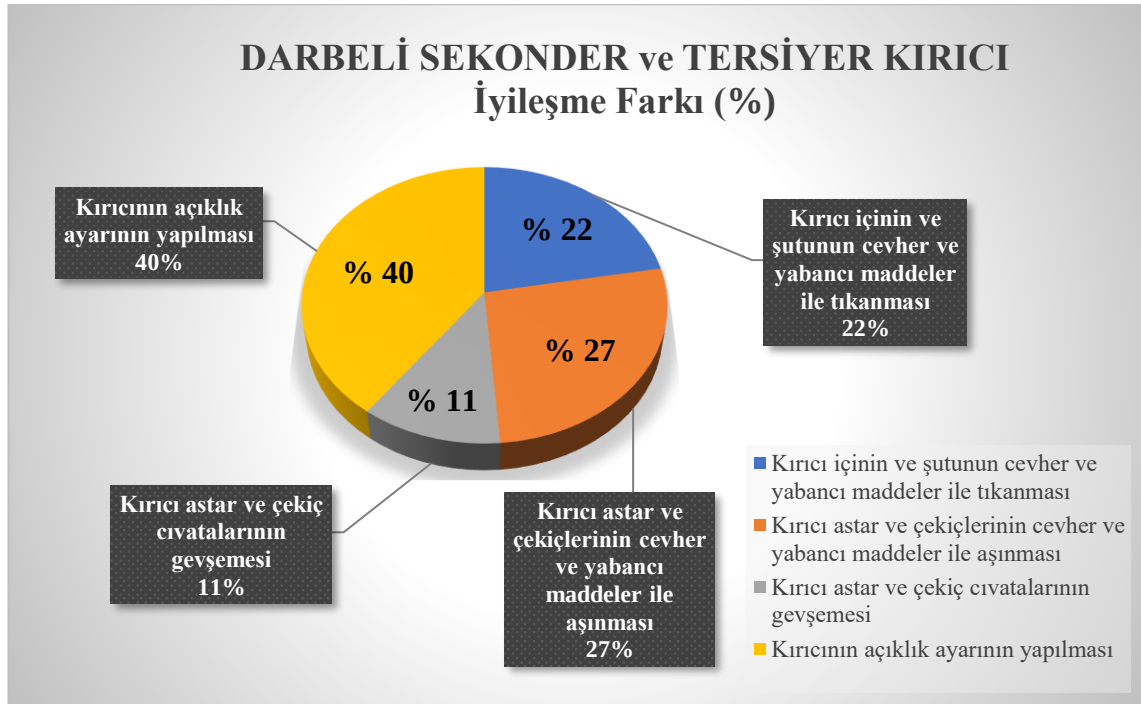
DARBELİ SEKONDER ve TERSİYER KIRICI	Cevher Kaynaklı Hatalar					Çevre Kaynaklı Hatalar					Makine/Ekipman Kaynaklı Hatalar				
PROSES HATALARI	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)
Kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması	8	7	5	280	Yüksek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kırıcı astar ve çekiçlerinin cevher ve yabancı maddeler ile aşınması	7	7	6	294	Yüksek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kırıcı astar ve çekiç cıvatalarının gevşemesi	7	6	3	126	Yüksek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kırıcının açıklık ayarının yapılması	5	6	6	180	Yüksek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kırıcı rulmanının arızası	7	5	3	105	Yüksek	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kırıcının elektrik motorunun arızalanması	7	3	1	21	Düşük	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümündeki operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkilerinin optimizasyonu adımı:

- Operatörün hatalarına ve periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitiminin yapılması,
- Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiyada tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi ve geliştirmesi,
- Sekonder ve tersiyer kırıcıda oluşabilecek bir hatanın müdahale süresi primer kırıcıya kıyasla daha fazla olacağından, operatörlere proses ve kırıcılar hakkında teknik bilgiler verilmesi gibi önlemler alınmıştır.

Optimizasyon sonrası Tablo 14’te görüleceği üzere, üretim ve enerji verimliliğini etkileyen; kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması hatası ve kırıcı astar ve çekiçlerinin cevher ve yabancı maddeler ile aşınması hatasının etkisi %14.29, kırıcı astar ve çekiç cıvatalarının gevşemesi hatasının etkisi %16.67, kırıcının açıklık ayarının yapılması hatasının etkisi %37.50 oranında iyileştirilmiştir. Kırıcı rulmanı arızası hatasında alınan önlemlere rağmen bir değişim sağlanamamıştır.

Kırma Eleme Ünitesi’nin darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümündeki operatör kaynaklı hataların, ünite içerisindeki iyileşme payları incelendiğinde ise, Şekil 41’deki dağılım elde edilmiştir.



Şekil 41. Darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümü hatalarının iyileşme oranları

Darbeli sekonder ve tersiyer kırıcı bölümünün üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen operatör kaynaklı hataların optimizasyonu sonucunda; kırıcının açıklık ayarının yapılması hatası %40 oranında, kırıcı astar ve çekiçlerinin cevher ve yabancı maddeler ile aşınması hatası %27 oranında iyileştiği görülmektedir. Diğer hataların iyileşme oranları ise Şekil 41’de belirtildiği gibi gerçekleşmiştir.

4.1.6. Konveyör Bant Bölümü Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu

Konveyör bant bölümünde meydana gelen operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkileri Tablo 16’da, cevher, çevre, makine/ekipman kaynaklı hatalar Tablo 17’de oluşturulmuştur.



Tablo 16. Konveyör bant bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu

KONVEYÖR BANT		Optimizasyon Öncesi					Optimizasyon Sonrası						
PROSES HATALARI		Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	İyileşme Farkı (RÖS)	İyileşme Oranı (%)
Operatör Kaynaklı Hatalar	Konveyör bandın aşınması ve kopması	8	6	5	240	Yüksek	7	6	5	210	Yüksek	30	%12.50
	Konveyör bandın sıkışması - kayması - aşınması	4	8	2	64	Orta	4	7	2	56	Orta	8	%12.50
	Konveyör bandın sıyırıcılarının aşınması ve kopması	2	6	3	36	Düşük	–	–	–	0	Düşük	0	%0.00
	Konveyör bant motoruna bağlı kayışın aşınması ve kopması	6	7	5	210	Yüksek	6	6	5	180	Yüksek	30	%14.29
	Konveyör bant elektrik motorunun arızalanması	6	7	1	42	Orta	6	6	1	36	Düşük	6	%14.29

Tablo 17. Konveyör bant bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar

KONVEYÖR BANT	Cevher Kaynaklı Hatalar					Çevre Kaynaklı Hatalar					Makine/Ekipman Kaynaklı Hatalar				
PROSES HATALARI	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)
Konveyör bandın aşınması ve kopması	9	6	5	270	Yüksek	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Konveyör bandın sıkışması - kayması - aşınması	4	9	2	72	Orta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Konveyör bandın sıyırıcılarının aşınması ve kopması	3	6	3	54	Orta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Konveyör bant motoruna bağlı kayışın aşınması ve kopması	6	7	3	126	Yüksek	–	–	–	–	–	5	6	3	90	Orta
Konveyör bant elektrik motorunun arızalanması	7	3	1	21	Düşük	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Konveyör bant bölümü hataları incelendiğinde, iki adet yüksek, iki adet orta ve bir adet düşük risk önceliğine sahip hatalar bulunduğu görülmektedir. Yüksek ve orta risk önceliğine sahip hatalar arasındaki RÖS farkları dikkat çekmektedir. Yüksek aksiyon önceliğine sahip hatalardan konveyör bandın aşınması ve kopması hatası meydana geldiğinde üretim aniden durur ve bandın onarılması için anlık kısa çözümler bulunur ve silo dolduruluncaya dek perçinlenmiş bant ile çalışılır. Eğer bant onarılamayacak durumda ise plan dışı uzun bir duruş ile bant onarım işlemi başlatılır.

Konveyör bandın aşınması ve kopması hatasında cevherin aşındırıcılığının etkisi olmakla birlikte, cevher içerisine karışan metal parçalarının bandın yırtılmasındaki etkisi daha büyüktür. Burada operatörün rolü, konveyör bantların kırma eleme işlemi öncesi ve sonrası kontrollerini yapmakla beraber, cevherin taşınması esnasında bantların incelenmesi ve banda zarar verebilecek herhangi bir madde görüldüğünde ayırmasıdır aksi takdirde bant yırtılmasa dahi kırıcılara ulaşır zarar verebilir veya şutlarda tıkanıklığa yol açabilir.

Bir diğer yüksek aksiyon önceliğine sahip hata incelendiğinde, konveyör bant motoruna bağlı kayışın aşınması ve kopması hatasının operatör kaynaklı hatanın RÖS değeri Tablo 16 incelendiğinde 210 olarak okunurken, Tablo 17 incelendiğinde cevher kaynaklı hatanın RÖS değerinin 126, makine/ekipman kaynaklı hatanın RÖS değerinin 90 olduğu görülmektedir. Bölümlerdeki çoğu hataların operatör ve cevher kaynakları arasındaki farkın bu kadar yüksek olmadığı görülmüştür. Bu da hatanın operatör etkisinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Bu hata da diğer hatalara benzer şekilde, kırma eleme ünitesi öncesi operatörlerin kayışları kontrol etmesi ve değiştirmesiyle kısa sürede giderilebilecek bir hata iken, üretim esnasında kopması ile elektrik motorundan alınan gücü iletmez ve tambur dönmez. Kayış aşındığında veya koptuğunda besleme kesilerek üretim durdurulur. Duruş kısa süreli de olsa üretimi kesintiye uğratması nedeniyle RÖS değeri yüksektir.

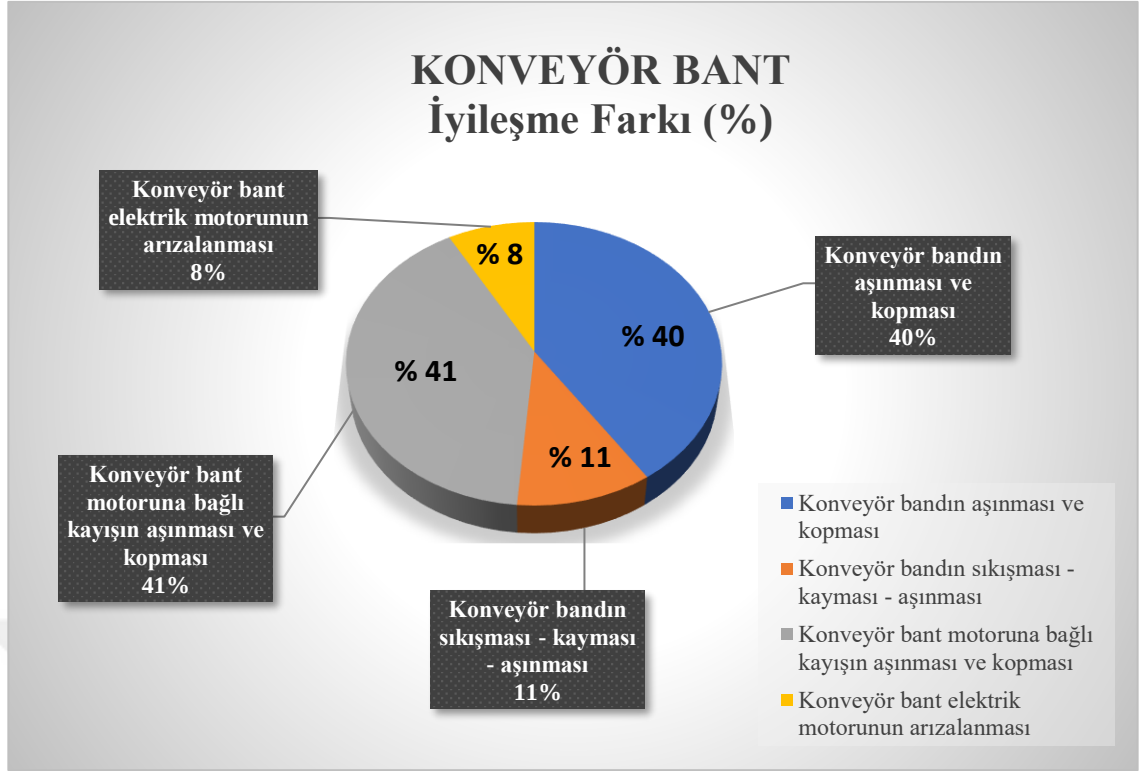
Orta risk önceliğine sahip hatalardan, konveyör bandın sıkışması - kayması - aşınması hatasında, bant sıkıştığında veya kaydığında üzerindeki yükü iletemeyeceğinden dolayı, taşınan cevherin saçılarak taşınmasına neden olur. Döküntü oluşturan cevherler bandın zamanla aşınmasına neden olurken, bandın sıkışması - kayması - aşınması durumuna göre ünitenin durması gerekebilir. Bandın daha kısa sürede aşınması ve beklenmedik bir zamanda koparak üretimin durmasına neden olurken ayrıca dökülen cevherin temizliği için iş gücü kaybı oluşur. Bu hatanın etkisi orta, saptama değeri yüksektir.

Konveyör bant elektrik motorunun arızalanması hatası incelendiğinde, etkisinin orta-yüksek, olasılığının ve saptama değerinin yüksek olduğu görülmekte ve bu nedenle RÖS değerinin düşük olduğu sonucuna varılmaktadır. Burada operatör, kırma işlemi öncesi rutin kontrollerini yapmak, banda aşırı yükleme yapmadan cevherin taşınmasını sağlamak, elektrik motorunun soğutma fanını kontrol etmekle sorumludur. Cevher kaynaklı hata ise, düşük aksiyon önceliğine sahip olmakla birlikte, ortamdaki cevherin toz nedeniyle elektrik motorunun soğutma fanının toz ile kaplanması ve motor ısınması sonucunda Konveyör bant bölümündeki operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkilerinin optimizasyonu adımıdır;

- Operatörün hatalarına ve periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitiminin yapılması,
- Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiyada tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi ve geliştirmesi gibi önlemler alınmıştır.

Optimizasyon sonrası Tablo 16’da görüleceği üzere, üretim ve enerji verimliliğini etkileyen; konveyör bandın aşınması ve kopması hatası ile bandın sıkışması - kayması - aşınması hatasının etkisi %12.50, konveyör bant motoruna bağlı kayışın aşınması ve kopması hatası ile bant elektrik motorunun arızalanması hatalarının etkileri %14.29 oranında iyileştirilmiştir.

Kırma Eleme Ünitesinin konveyör bant bölümündeki operatör kaynaklı hataların, ünite içerisindeki iyileşme payları incelendiğinde ise, Şekil 42’deki dağılım elde edilmiştir.



Şekil 42. Konveyör bant bölümü hatalarının iyileşme oranları

Konveyör bant bölümünün üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen operatör kaynaklı hataların optimizasyonu sonucunda; konveyör bant motoruna bağlı kayışın aşınması ve kopması hatasının %41 oranında, konveyör bandın aşınması ve kopması hatasının %40 oranında iyileştiği görülmektedir. Diğer hataların iyileşme oranları ise Şekil 42’de belirtildiği gibi gerçekleşmiştir.

4.1.7. Toz Toplama Sistemi Risk Değerlendirmesi ve Optimizasyonu

Toz toplama sistemi bölümünde meydana gelen operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkileri Tablo 18’de, cevher, çevre, makine/ekipman kaynaklı hatalar Tablo 19’da oluşturulmuştur.

Tablo 18. Toz toplama sistemi bölümü operatörün etkilerinden kaynaklı hataların optimizasyonu

TOZ TOPLAMA SİSTEMİ		Optimizasyon Öncesi					Optimizasyon Sonrası						
PROSES HATALARI		Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	İyileşme Farkı	İyileşme Oranı (%)
Operatör Kaynaklı Hatalar	Toz toplama borularının aşınması	4	6	2	48	Orta	4	6	2	48	Orta	0	%0.00
	Toz toplama borusu girişindeki ızgaraların kapanması	2	8	2	32	Düşük	–	–	–	–	Düşük	0	%0.00
	Filtre torbalarının tıkanması	5	7	5	175	Yüksek	5	6	5	150	Yüksek	25	%14.29
	Elektrik motoru arızası	6	7	1	42	Orta	6	6	1	36	Düşük	6	%14.29

Tablo 19. Toz toplama sistemi bölümü cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hatalar

TOZ TOPLAMA SİSTEMİ	Cevher Kaynaklı Hatalar					Çevre Kaynaklı Hatalar					Makine/Ekipman Kaynaklı Hatalar				
PROSES HATALARI	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Risk Öncelik Sayısı (RÖS)	Aksiyon önceliği (AP)
Toz toplama borularının aşınması	5	6	2	60	Orta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Toz toplama borusu girişindeki ızgaraların kapanması	3	8	2	48	Orta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Filtre torbalarının tıkanması	4	7	5	140	Yüksek	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Elektrik motoru arızası	7	3	1	21	Düşük	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Toz toplama sistemi bölümünde bir adet yüksek aksiyon öncelikli, iki adet orta aksiyon öncelikli ve bir adet düşük aksiyon öncelikli sahip hata bulunmaktadır.

Operatör ve cevher kaynaklı olarak yüksek aksiyon önceliğine sahip hatanın filtre torbalarının tıkanması hatası olduğu görülmektedir. Bu hata patlaç valflerinin işlevini yerine getirmemesi üzerine gerçekleşir. Valften sürekli kaçak hava sesi gelmesi operatörlerin patlaç valfinin arızalı olup olmadığı sesinden anlamasında yardımcı olur. Böylece hata kolay saptanabilir. Patlaç valfleri arızalandığında, filtre torbası üzerine yapışan cevherler dökülemez ve filtre torbaları yüzeyinde birikir. Bu durumda fan işlevini tam olarak yerine getiremez ve verimsiz çalışmasına neden olur. Cevherin nemli olması halinde filtre torbasının yüzeyine yapışan cevher içeriye yeterince hava emiş yapılamamasına neden olur. Burada operatörün rutin kontrolleri yapması önem arz etmektedir.

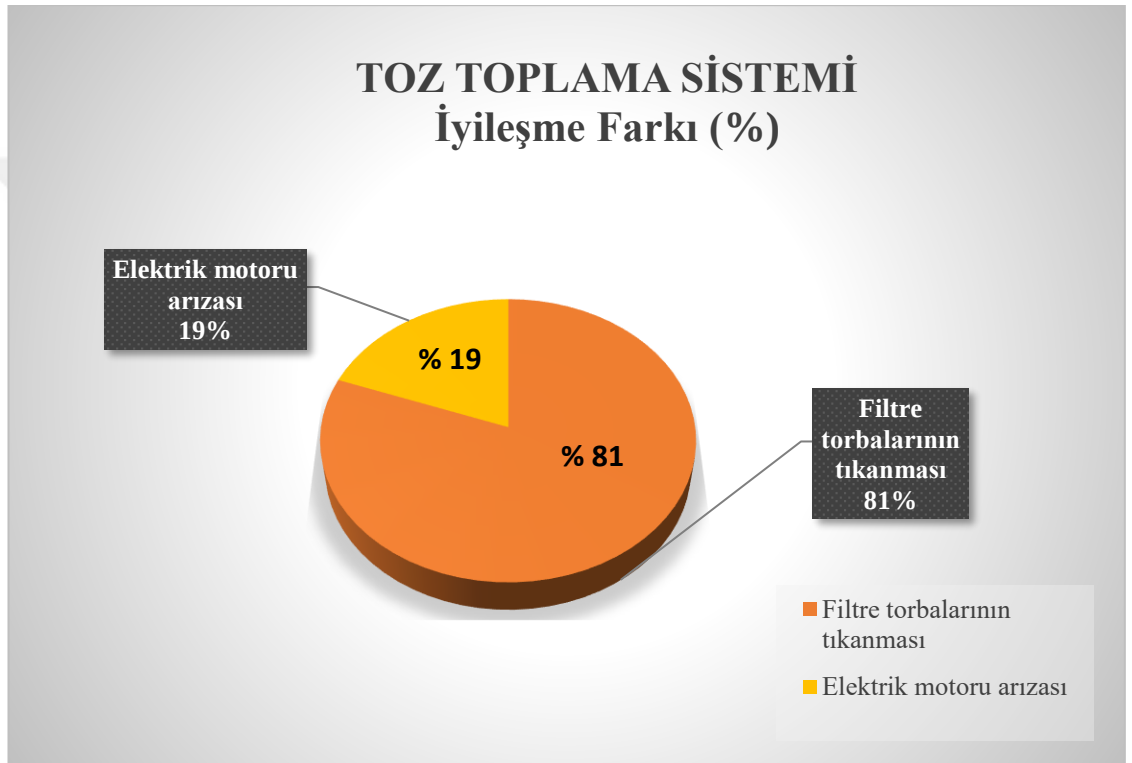
Orta aksiyon önceliğine sahip hatalardan ilki toz toplama borusunun aşınması hatasıdır ve bu hatanın cevher kaynaklı RÖS değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Cevherin zamanla aşındırdığı borulardan hava kaçakları olmakta ve bu da toz toplama sisteminin verimsiz çalışmasına yol açmaktadır. Hatanın etkisi orta, sıklığı orta-yüksek, saptama değeri ise yüksektir. Tablo 18 ve Tablo 19 incelendiğinde operatör kaynaklı hataların RÖS değerlerinin cevher kaynaklı hatalardan daha düşük olduğu görülmektedir. Operatör, kontrolleri esnasında sıklıkla aşınan bölgeleri daha dikkatli incelemeli ve önlem almalıdır.

Orta aksiyon önceliğine sahip ikinci hata ise elektrik motoru arızasıdır. Motor yandığında/arızalandığında toz toplama sistemi olmadan ünite çalışmaya devam edebilir fakat bu şekilde çalışıldığında ünite içerisinde toz miktarı artar. Artan toz makine ve ekipmanların üzerinde zamanla birikerek motorların toz ile kaplanmasına neden olurken aynı zamanda motorların ısınmasına yol açar. Toza bağlı olarak farklı arızalar da oluşabilir. Hatanın cevher kaynaklı etkisinin düşük olması (Tablo 19), olasılık değerinin düşük olmasındandır. Toz toplama sistemi bölümündeki operatör kaynaklı hataların proses üzerindeki etkilerinin optimizasyonu adımı:

- Operatörlerin toz toplama sistemine bakımlarını dikkate alması konusunda farkındalığının artırılması ve bakımlara yönelik eğitim verilmesi,
- Operatörün hatalarına ve periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitiminin yapılması,
- Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiyada tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi ve geliştirmesi gibi önlemler alınmıştır.

Optimizasyon sonrası Tablo 18’de görüleceği üzere, üretim ve enerji verimliliğini etkileyen; filtre torbalarının tıkanması hatası ve elektrik motoru arızası hatası etkisi %14.29 oranında iyileştirilmiştir. Orta risk önceliğine sahip toz toplama borusunun aşınması hatasında optimizasyona rağmen herhangi bir iyileşme gözlenememiştir. Çalışma kapsamında düşük aksiyon önceliğine sahip hata değerlendirilmemiştir.

Kırma Eleme Ünitesi’nin toz toplama sistemi bölümündeki operatör kaynaklı hataların, ünite içerisindeki iyileşme payları incelendiğinde ise, Şekil 43’teki dağılım elde edilmiştir.



Şekil 43. Toz toplama sistemi bölümü hatalarının iyileşme oranları

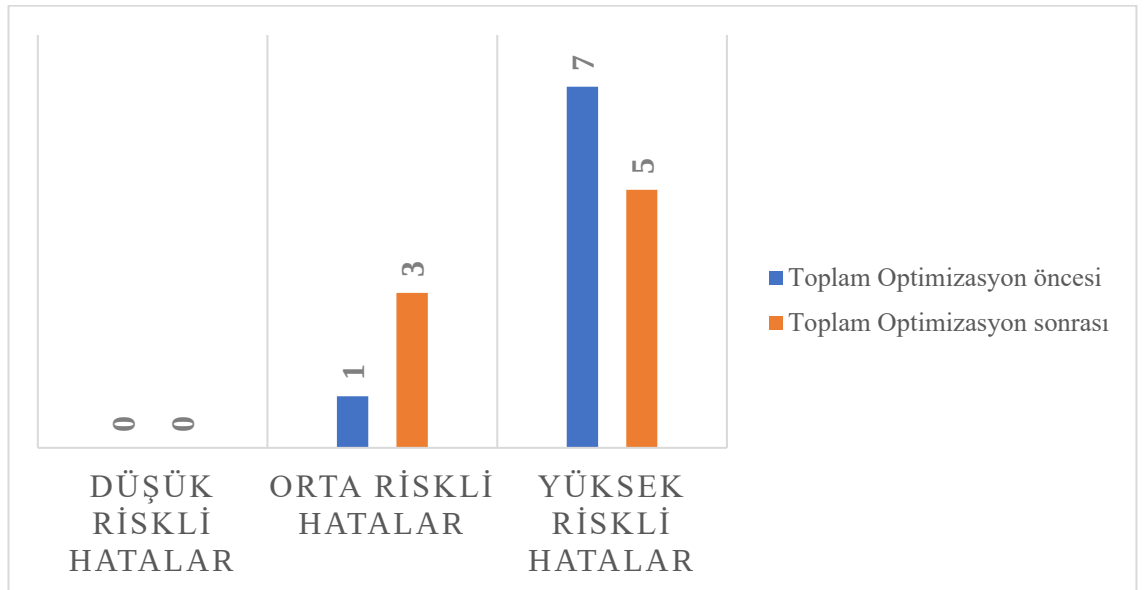
Toz toplama sistemi bölümünün üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkileyen operatör kaynaklı hataların optimizasyonu sonucunda; filtre torbalarının tıkanması hatası %81 oranında, elektrik motoru arızası hatası %19 oranında iyileştirilmiştir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

5.1. Doğrudan Operatör Kaynaklı Hatalar

Günümüzde artan enerji tüketim maliyetleri, işletme giderleri, piyasalardaki rekabet artışı ile birlikte doğal kaynakların günbegün azalması ve karbon salınımının artması, firmaların kalitelerinden ödün vermeden minimum maliyetle üretim yapmalarını, bununla beraber enerjinin ve doğal kaynakların verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda optimizasyon çalışması gerçekleştirilen bir cevher zenginleştirme tesisinde, üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkilediği tespit edilen hataların risk değerlendirmesi yapılmıştır. Hataların optimizasyonu hakkında detaylar, eklerde yer alan PFMEA tablolarında sunulmuştur. Çalışmada ilk olarak doğrudan operatör kaynaklı hataların üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Doğrudan operatör kaynaklı hatalar incelendiğinde, toplamda 8 adet hatanın bulunduğu, bu hatalardan yedisinin yüksek risk önceliğine sahip hata, birinin ise orta risk önceliğine sahip hatadan oluştuğu görülmektedir.

Yapılan optimizasyon çalışmasıyla operatörlerin proses hakkındaki bilgileri ve farkındalıkları arttırılmış olup, hataların şiddetinin ve olasılığının azaltılması yolu ile risk öncelik sayılarının düşürülmesi sağlanmıştır. Optimizasyon sonucunda Şekil 44'teki dağılım elde edilmiştir.



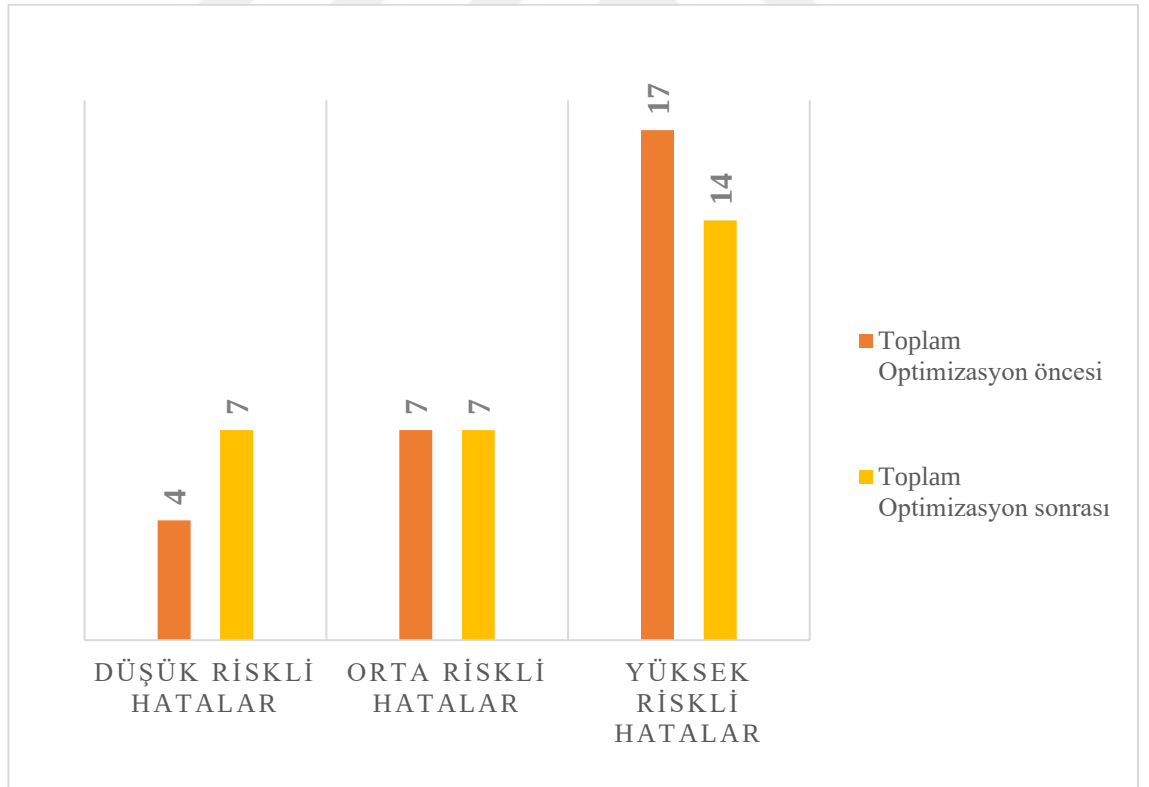
Şekil 44. Doğrudan operatör kaynaklı yüksek, orta ve düşük aksiyon önceliğine ait hataların optimizasyon öncesi ve sonrası aksiyon öncelikleri sayısı

Optimizasyon sonucunda; iki hata yüksek aksiyon önceliğinden orta aksiyon önceliğine iyileştirilmiştir. Şekil 44'te görüleceği üzere hatalardan biri optimize edilememiş ve orta risk önceliğine sahip hata olarak kalmıştır. Diğer beş hata ise optimizasyon öncesinde ve sonrasında yüksek riskli olarak kalmalarına rağmen, risk öncelik sayılarında düşüşler görülmüştür.

Bu çalışmanın akabinde operatörlerin makinalar üzerindeki etkisinden kaynaklı hatalar, cevher, çevre ve makine/ekipman kaynaklı hataların risk değerlendirilmesi yapılmış ancak çalışma kapsamında yalnızca operatör kaynaklı hataların optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

5.2. Operatörlerin makineler üzerindeki etkisinden kaynaklı hatalar

Kırma Eleme Ünitesi bölümlerinde üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkilediği tespit edilen operatör kaynaklı toplamda 28 hatadan 24'ü için risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Hataların aksiyon önceliğine dair elde edilen dağılım Şekil 45'te sunulmuştur.



Şekil 45. Yüksek, orta ve düşük aksiyon önceliğine ait hataların optimizasyon öncesi ve sonrası aksiyon öncelikleri sayısı

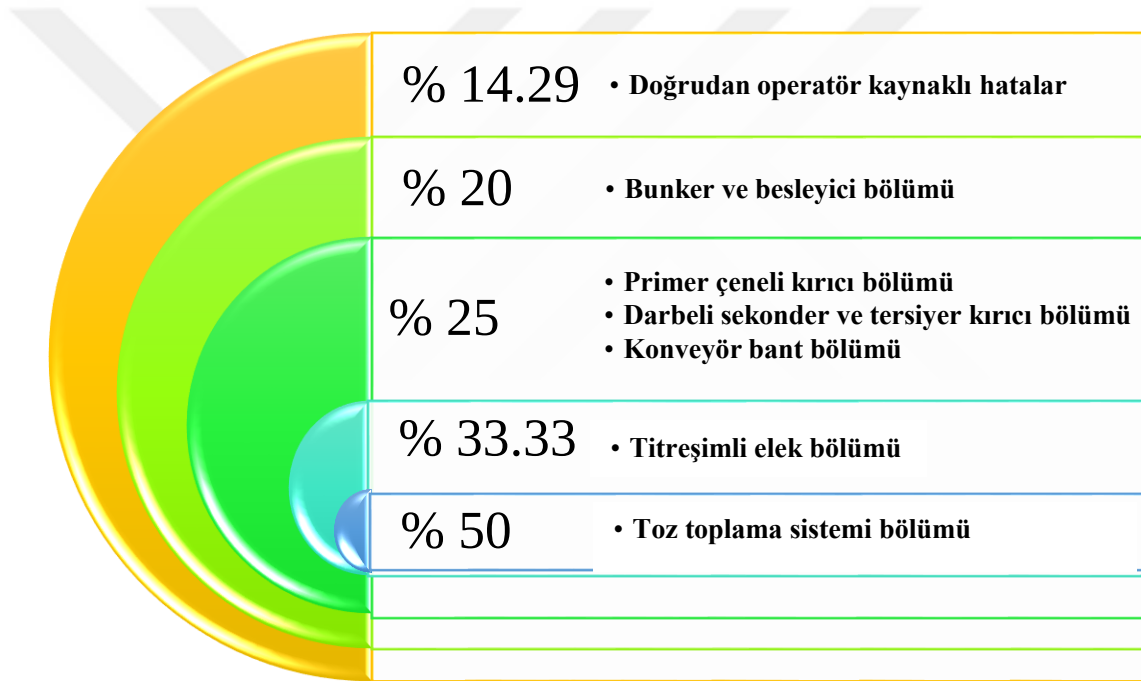
Bölümlerde verilen yüksek risk önceliğine sahip hatalardan üçü orta risk önceliğine iyileştirilmiştir. Diğer 14 hata ise optimizasyon öncesinde ve sonrasında yüksek risk

önceliğine sahip olarak kalsa da, hataların şiddeti ve olasılığı azaltılarak RÖS değeri azaltılmış ve iyileşme sağlanmıştır.

Orta risk önceliğine sahip 7 hatadan üçü orta risk önceliğinden düşük risk önceliğine iyileştirilmiş olup, hataların ikisi optimize edilememiş, kalan iki hata da orta risk önceliğine sahip olsalar da risk öncelik sayılarının düşürüldüğü görülmektedir.

Düşük risk önceliğine sahip dört hata bulunmakla birlikte, bu hatalar çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmamışlardır.

Bölümlerdeki yüksek ve orta risk önceliğine sahip operatör kaynaklı hataların optimize edilmesi sonucunda, hataların etkisi ve olasılıkları azalmış olup, ünitadaki üretim ve enerji verimliliği üzerindeki elde edilen iyileşme oranı Şekil 46'da paylaşılmıştır.



Şekil 46. Doğrudan operatör kaynaklı hataların ve operatörlerin makinalar etkisinden kaynaklı hataların optimizasyonu sonucunda elde edilen iyileşme oranları

Şekil 46'da görülen hataların iyileşme oranlarının; Çevik ve Aran, 2009, Çeber, 2010, Deveci, 2013, Tanyeri, 2019, Kaya, 2019'nın çalışmalarında sağladıkları iyileşme oranları ile kıyaslandığında, hatalar çok yüksek oranlarda iyileştirilememiş olsalar da; prosesteki makinaların işletilmesinden sorumlu operatörlerin bilgi ve tecrübelerinin artırılmasına yönelik eğitimlerin düzenlenmesi, prosese yönelik bakış açılarının artırılması ve farkındalık kazandırılması, operatörlerin tekrarladıkları her hata sonrası vardiyadaki diğer operatörler ve formeni tarafından uyarılması ve hatanın tekrarlanma sıklığının azaltılması ile tüm bunların üretim ve enerji verimliliği üzerine etkisinin

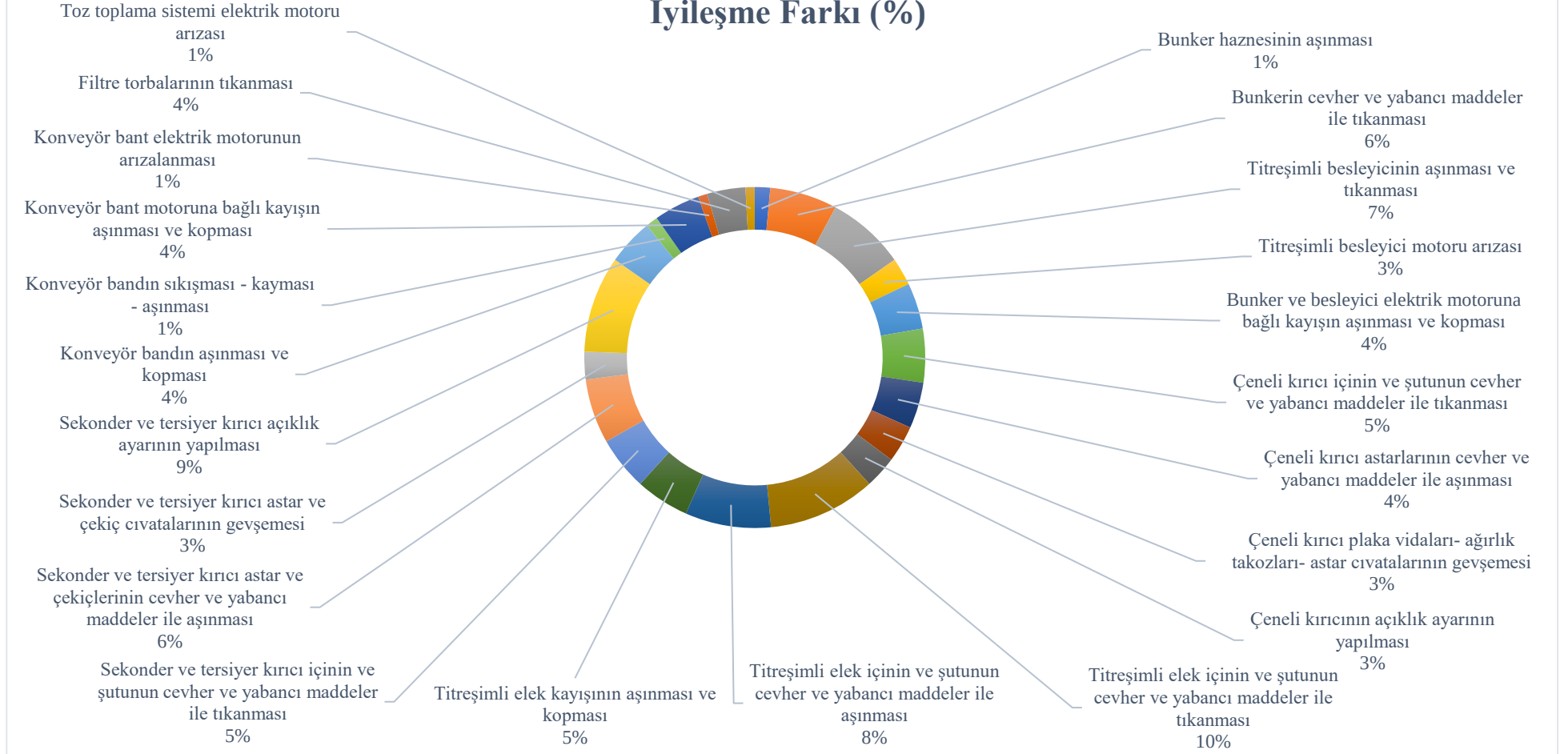
vurgulanması sonucu elde edilen %14.29 oranındaki değişimin azımsanmayacak katkılarının bulunduğu aşıkârdır.

Doğrudan operatör kaynaklı hataların iyileşmesinin üretim ve enerji verimliliğine katkısı bulunduğu gibi, operatörlerin makinalar üzerindeki hatalarının iyileşmesinde pozitif etkisi olmuştur (Şekil 46).

Bölümlerdeki yüksek ve orta risk önceliğine sahip operatör kaynaklı tüm hataların optimizasyonunun sonucunda elde edilen ünite içerisindeki üretim ve enerji verimliliği artış payları Şekil 46’da, tüm hataların ünite içerisindeki elde edilen iyileşme oranları ise Şekil 47’de sunulmuştur.



ÜRETİM ve ENERJİ VERİMLİLİĞİ İyileşme Farkı (%)



Şekil 47. Üretim ve enerji verimliliği iyileşme farkı

Hataların ünite içerisindeki payları incelendiğinde %1 ile %10 arasında oranlara sahip olduğu, ünite içerisinde küçük oranlarda görünmelerine karşın bölümler içerisinde değerlendirildiğinde etkisinin yüksek oranlarda olduğu anlaşılmaktadır.

Önemsiz gibi görünen ancak prosesin parçası olan her hatanın kendi içerisinde iyileştirilme potansiyeli olduğu görülmüştür. Bu potansiyelin hangi boyutta olabileceği hakkında risk öncelik sayılarına bakılarak fikir edinilebilir.

FMEA bu noktada ünitedeki her hatanın değerlendirilebilmesine fırsat vermesi, esnek ve uyarlanabilen güncel form yapısıyla kullanılabilmesi, güvenilir bulunması açısından çok avantajlıdır.

Bu çalışmada Proses FMEA yönteminin;

- Maden sektöründe bulunan bir cevher zenginleştirme tesisinin Kıрма Eleme Ünitesi için üretim ve enerji verimliliğini etkileyen risklerin tespitinde ve optimizasyonunda kullanılabildiği görülmüştür. Kıрма Eleme Ünitesi için uygulanan bu çalışma diğer ünitelere de uygulanabileceği gibi farklı sektörlerde farklı prosesler için de uygulanabilir.

- Üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkilediği bilinen ancak ölçümlenememiş/veriye ulaşılamamış yerlerde/ünitelerde hataların ünite üzerindeki etkilerinin görülebilmesi sağlanmıştır.

- FMEA yöntemine ve AIAG VDA PFMEA güncel form yapısına yeni bir bakış açısı kazandırılarak, çalışmanın ihtiyacına yönelik uyarlama yapılarak, literatürde kullanıldıklarından farklı bir şekilde kullanılmıştır.

- Veriler doğrudan saha gözlemleri, bilgi ve tecrübeleri yansıtmaktadır. Ayrıca sahadan elde edilebilen veriler ışığında çalışma yapılmıştır.

- Çalışmada, önemsiz görünen, kronikleşmiş hataların küçümsenmemesi gerektiğine dikkat çekilerek, proseste tekrarlanan tüm hataların değerlendirilmesinin önemi anlaşılmıştır.

- Üretim ve enerji verimliliğini etkileyen tüm hataların içerisinde operatör kaynaklı olanların bilinmesi ile, bunların giderilmesine yönelik önlemlerin alınmasının prosesin iyileşmesine ne kadar etkisinin olduğu görülmüştür. Ayrıca operatörlerin proses üzerindeki etkileri göz önünde bulundurularak operatörlerin verimli ve dikkatli çalışmalarının önemi anlaşılmıştır.

- Operatörlere mesleki bilgi ve becerilerini geliştirebilecekleri bir alan yaratmak ve üretim ve enerji verimliliği konusunda farkındalık kazandırılması sayesinde prosesteki hataların etkisinin ve sıklığının azalması sağlanmıştır.

Ülkemizin %70 oranla enerji ithalatı yapan dışa bağımlı bir ülke olduğu göz önüne bulundurulduğunda, sanayide enerjinin verimli kullanılması önem arz etmekte ve %1'lik bir iyileşme oranı sağlanmasının dahi katkısı küçümsenmemelidir. Bu çalışmada elde edilen bir diğer sonuç ise; enerji verimliliğine yönelik farkındalık kazandırılmasıdır. Operatörler enerji verimliliği konusunda farkındalık sağladıklarında bunları iş arkadaşları, aileleri, sosyal çevrelerine yansıtacak ve bölgenin bilinçlenmesine de yardımcı olacaklardır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hazırlamış olduğu rapor (T.C. ETKB, 2020) bu düşüncüyü destekler niteliktedir. Enerji Verimliliği Bilinç Endeksi Kantitatif Araştırma Raporu 2020'ye göre enerji ile ilgili bilgi alma sıklığı, enerji ile ilgili bilgi kaynaklarına güven ve güven sıklık değeri değerlendirildiğinde yakın çevrenin en etkili bilgi kaynağı olduğu görülmektedir.

Yapılan iyileştirmelerin yansıra yapılabilecek diğer çalışmalar şu şekilde sıralanabilir;

- Düşük aksiyon önceliğine sahip hataların dikkate alınarak iyileştirilmesi ile ünite içerisinde oluşan/oluşabilecek tüm hataların öngörülerek optimize edilebilir.
- Çalışma kapsamında değerlendirilmeyen cevher, çevre, makine/ ekipman hatalarının iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılabilir.
- Doğrudan operatör kaynaklı hatalar ile operatörlerin makinalar üzerindeki etkisinden kaynaklanan hataların azımsanamayacak oranlarda olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu hataların önlenmesi/azaltılabilmesi için prosese otomasyon sistemi kurulabilir ve bu sistem üzerinden makinaların takip edilerek işletilebilir.
- Bölümler içerisinde karşılaşılan aşınma, tıkanma vb. hataların çözümüyle birlikte, kırıcılarda kırılan cevherin boyut küçültme işlemi için gerekli olan enerji, astarlar üzerindeki aşınmalar vb. konular ile, eleklerde parçacık dağılımının verimliliğinin arttırılması, konveyör bantlar ile taşınan malzemenin yükleme ve boşaltma esnalarında karşılaşılabilecek problemlerin önlenmesi gibi birçok konu katı simülasyon analizi Rocy DEM, Ayrık Elemanlar Yöntemi (DEM), yazılımı kullanılarak çalışılabilir. Optimum şartlara ulaşılması ile verimlilik artışı sağlanabilir.
- Madencilik ekipmanları ve proseslerine yönelik çalışma yapan piyasadaki yerli ve uluslararası firmalar ile iş ortaklığı yapılarak geliştirdikleri ürün ve hizmetlerden, bilgi ve tecrübelerinden faydalanılarak prosesin üretim ve enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik ürün tedariki veya proses iyileştirmesi yapılabilir.
- Operatörlerin üretim ve enerji verimliliğine bakış açılarını geliştirmek, bu bilincin sürdürülebilir kılınması ve benimsenerek çalışılması için ilgili tesise ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi kurulabilir ve kalite yönetim sistemi ile entegre edilebilir. Enerji

yönetim sistemi; işletme ve ülke kaynaklarının verimli kullanılmasını, maliyetlerin azaltılmasını sağlarken, çevre duyarlılığını geliştirir ve sera gazı azaltma stratejisini izler. Kalite yönetim sistemi ile entegre edilerek kullanıldığında ise üretim ve enerji verimliliği artışı kaçınılmaz olacaktır.



KAYNAKÇA

- Kazan, C. A. (2021). *Atölye tipi üretimde hata türü-etkileri analizi (HTEA) yönteminin ürün birim maliyetlerine etkisi. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (685683).*
- Aytekin, Y., Yamık A. ve İpekoğlu, Ü. (1988). Cevher hazırlama ve zenginleştirmedeki gelişmeler, Akdeniz Üniversitesi Maden Müh. Seksiyonu. *Isparta Müh. Fak. Dergisi*, Editör: Yamık, 1, 1-13.
- Baysal, M. E., Canıyılmaz, E. ve Eren, T. (2002) Otomotiv yan sanayiinde hata türü ve etkileri analizi. *Teknoloji*, 5 (1-2), 83-90.
- Bentli, İ. (2001). Flotasyon ve flotasyon makineleri, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 98 (2), 97-110.
- Birgören, B. ve Yalçinkaya M. (2019). İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesinde hata türleri ve etkileri analizinin (FMEA) kullanımı, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11 (1), 41-50
- Bulat, E. ve Aygün C. (2021). An ore enrichment plant, the effect of operation optimization of operators on production and energy efficiency, Karadeniz Technical University, 5 International Anatolian Energy Symposium, 24-25 March, 2021, Trabzon-Turkey, ss. 719-729
- Çakar, C. (2009). *Bir petrol sondaj tesisinde hata türü ve etkileri analizi tekniği ile risk değerlendirmesi. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (245774).*
- Çelikdemir, H. (2012). *Bir otomasyon hattında hata türü ve etkileri analizi uygulaması. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (322980).*
- Çevik, O. ve Aran, G. (2009). Kalite iyileştirme sürecinde hata türü etkileri analizi (FMEA) ve piston üretiminde bir uygulama, *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 8 (16), 241-265.
- Çeber, Y. (2010). *Hata türü ve etkileri analizi yönteminin (FMEA) üretim sektöründe uygulanması. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (261520).*
- Deveci, H.C. (2013). *Proses hata türü ve etkileri analizi ve kablo kesim sürecine uygulanması, Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (342543).*

- Dırağ, A. (2008). *Failure mode and effects analysis (FMEA) and an implementation study in a packaging company. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (178883).*
- Durhan, D. (2006). *Hata türü etkileri analizi (FMEA) ve bir uygulama. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (200029).*
- Eleren, A. (2007). Eğitim başarısının artırılmasında süreç geliştirme yöntemlerinin kullanılması ve bir uygulama, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi*, 8 (2), 1-25.
- Erdemir, F. (2016). Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi. Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. Laboratuvar Föyü Cevher Hazırlama Deneyi.
- Eryürek, Ö. F. ve Tanyaş, M. (2003). Hata türü ve etkileri analizi yönteminde maliyet odaklı yeni bir karar verme yaklaşımı, *İTÜ Dergisi/d*, 2 (6), 31-40.
- Gilchrist, W. (1993). Modelling failure modes and effects analysis, *International Journal of Quality and Reliability Management*, Bradford, 10 (5). 16-23.
- Hacıfazlıoğlu H. (2015-2016) İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ufalama Yöntemleri Dersi, Ders Notu.
- Helvacıoğlu, M. (2016). *Bakır cevher zenginleştirilmesi işletmesinde iş sağlığı ve güvenliğinin değerlendirmesi. İş sağlığı ve güvenliği uzmanlık tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.*
- Halili, A. (2003). Agregat Üretiminde Kırma-Eleme ve Taşın Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Önemi, Kancataş İnş. Mad Tahh San Ltd Şti, Gebze, Kocaeli.
- Kahraman, Ö. ve Demirel A. (2010). OHSAS 18001 kapsamında FMEA uygulaması *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1), 53-68, Sakarya.
- Karagöl, E. T., Kavaz, İ., Kaya, S., ve Özdemir, B. Z. (2017). National energy and mining policy of Turkey, SETA Analysis, No:35.
- Kavsara, H. K. (2019). *Failure mode and effect analysis (FMEA) for production methods of traditional fermented beverages of Turkey. Master's Thesis, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (618070).*
- Kasa, H. ve Boran, S. (1993). FMEA ve toplam kalite yönetimi için önemi, YA/EM93 Yöneyim Araştırması Endüstri Mühendisliği, 15. Ulusal Kongresi Küreselleşme ve Türk Endüstrisi Bildiriler Kitabı, 7-9 Temmuz 1993, İstanbul, s. 87.
- Koru, E. (2006). *Otomotiv yan sanayiinde süreç hata türleri ve etkileri analizi ve bir uygulama. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (187784).*

- Liu, HC., You, JX., You, XJ. (2014). Evaluating the risk of healthcare failure modes using interval 2-tuple hybrid weighted distance measure, *Computers and Industrial Engineering*, 78, 249-258.
- Eti Maden (2018). *Makina Mühendisleri Odası Maden Terimleri Sözlüğü*.
- Mannan, S. (2005). Less' loss prevention in the process industries, *Hazard Identification, Assessment and Control*, 3rd Edition, Volume 2.
- Musubeyli Erginel, N. Tasarım hata türü ve etkileri analizinin etkinliği için bir model ve uygulaması, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 15 (3), 17-26.
- Pastırmacı, A.K. (2014). *A method for managing the risk: a hybrid approach to FMEA. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi,(391828)*.
- Pillay, A. and Wang, J. (2003). Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning, *Reliability Engineering and System Safety*, 79: 69-85.
- Price, C. J. and Taylor, N. S. (2002). Automated multiple failure FMEA, *Reliability Engineering and System Safety*, 76, 1-10.
- Ramly E. ve Atan H. (2020). FMEA AIAG-VDA- Commentary and case study, proceedings of the international conference on Industrial Engineering and Operations Management, March 6-8, 2020, Dubai IEOM Society International.
- Reiling, GJ., Knutzen, BL. and Stoecklein, M. (2003), FMEA: the cure for medical errors, *Qual Progress*; 36(8), 67–71.
- Saramak, D. (2021). Challenges in raw material treatment at the mechanical processing stage, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering and Resource Management, *AGH University of Science and Technology*, 11(9), 940 Cracow, Poland.
- Sarı, M. (2002). *Risk assessment approach underground coal mine safety analysis. Yüksek Lisans Tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (119517)*.
- Sönmez, Y. ve Unğan, M. (2017). Hata türü etkileri analizi ve otomotiv parçaları üretiminde bir uygulama, *İşletme Bilimi Dergisi*, 5(2), 217-245.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effects analysis – FMEA from theory to execution*, ASQC Quality Press, 28-34.
- Şahin, E. (2020). *Jeotermal çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği farkındalığının hata türü ve etkileri analizi ile birlikte değerlendirilmesi: İzmir Jeotermal A.Ş örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (617672)*
- Şençoban Kaya ve S. Alaykırın, K. (2019) Hata türü ve etkileri analizi ve döküm sektöründe bir uygulama, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 76-89.

- Şerife, O. K. ve Kılıç, M. (2020). Bir kamu kurumunda ofis çalışanlarında işyerindeki risklerin farkındalığının belirlenmesi, *Bozok Tıp Dergisi*, 10 (1), 139-149.
- Tanyeri, M. (2019) *An application of process failure modes and effects analysis in the aviaion industry. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (537450).*
- Taşan, K. (2006). *Bir güvenilirlik ve risk değerlendirme metodu olarak hata türü ve etkileri yöntemi: bir otomotiv yan sanayi işletmesinde uygulanması. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (189766).*
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020, *Sanayi, Hizmet, Ulaştırma, Tarım İşletmelerinde Enerji Verimliliği Bilinç Endeksi Araştırma Raporu, EVÇED - TEEDB, Y. No:22/V02*
- Toptancı, Ş., ve Erginel, N. (2017). Hata türü ve etkileri analizi ve kalite fonksiyon yayılımı ile bir inşaat firması için risk değerlendirmesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5, 189-199.
- Turan, M. ve Gönen Ocaktan, D. (2019) Transformatör üreten bir firmada risk analizinde bulanık HTEA kullanımı ve uygulama yazılımı geliştirme, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 474-487.
- Uslu, M. K. (2016). *Laboratuvar çalışanlarının karşılaştığı fiziksel risklerin hata türü ve etkileri analizi (HTEA) ile değerlendirilmesi: bir üniversite hastanesi örneği. Yüksek lisans tezi, Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi, (440487).*
- URL-1, Türkiye Maden Portalı, Google Gruplar, Prof. Dr. Fikri Kahraman, <https://groups.google.com/g/madenportal/c/jvXSxK1P7uw> adresinden erişildi.
- URL-2, Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları, https://mme.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/10/Kimyasal_Metalurji_1_Hafta.pdf adresinden erişildi.
- URL-3, AIAG Store, <https://www.aiag.org/store/publications/details?ProductCode=FMEAAV-1> adresinden erişildi.
- URL-4, Gelişim Yönetim Sistemleri A.Ş., <http://www.gelisim.org/makaleler/fmea.pdf> adresinden erişildi.
- URL-5, Sigma Center, <https://sigmacenter.com.tr/aiag-vda-fmea/> adresinden 03.10.2021 tarihinde erişildi.
- URL-6, Kahverengi Danışmanlık, <http://kahverengi.online/wp-content/uploads/2020/06/AIAG-VDA-FMEA-1.pdf> adresinden erişildi.

URL-7, ACMP, <https://acmplean.com/en/actualidad/category/article/> adresinden erişildi.

URL-8, AIAG and VDA FMEA Handbook, PowerPoint Presentation, <https://myscma.com/wp-content/uploads/2019/09/SCAC-2019-FMEA-Handbook-SG-Final-13-Sept-2019.pdf> adresinden erişildi.

URL-9, Sigma Center, AIAG VDA PFMEA formu, <https://sigmacenter.com.tr/wp-content/uploads/2020/03/AIAG-VDA-PROSES-FMEA-bos-formu.xlsx> adresinden erişildi.

URL-10, Automotive Quality Management Systems Conference, New global FMEA standard, https://industryforum.co.uk/wp-content/uploads/sites/6/2018/11/20181120_SMMT-AQMS-FMEA-Alignment-AIAG-and-VDA_en.pdf adresinden erişildi.

URL-11, Sigma Akademi, Yeni Proses FMEA (AIAG-VDA) bir örnek paylaşım videosu, <https://www.youtube.com/watch?v=0YALpJaKcwQ> adresinden erişildi.

URL-12, Alta Soft entegre yönetim sistemleri yazılımı, <http://altasoft.com.tr/> adresinden erişildi.

URL-13, Mesleki Yeterlilik Kurumu web portalı, Ulusal Meslek Standartları, https://portal.myk.gov.tr/index.php?option=com_meslek_std_taslak&view=taslak_listesi_yeni&msd=2&Itemid=432 adresinden erişildi.

EKLER

Ek 1. Makine/Ekipman Bilgileri

Kırma Eleme Ünitesi'nde; bunker ve titreşimli ızgaralı besleyici kullanılmakta, kırıcı olarak ise; primer çeneli kırıcı, sekonder darbeli kırıcı ve tersiyer kırıcı bulunmaktadır. Elek çeşidi yatay tip elektir. Toz toplama sistemi tipi ise jet pulse toz toplama sistemidir. Kırılan cevherin depolandığı kısım silo olarak adlandırılmaktadır. Bahsi geçen makine/ekipmanların temel çalışma prensipleri, bakım periyotları ve oluşabilecek arızalara yönelik genel bilgiler, üretici firmalardan temin edilen ürün kataloglarına istinaden hazırlanmıştır. EK 1.'de sunulan bilgiler, proste meydana gelen hatalar ve bu hataların üretim ve enerji verimliliği üzerindeki ilişkisinin kurulabilmesi açısından ışık tutacaktır.

Bunker

Bunker, stok sahasından getirilen cevherin, kırıcılara beslenmeden önce boşaltıldığı ve kısa süreli olarak depolandığı kısımdır.



Besleme bunkerinin hacmi, taşıma yapan kamyon kapasitelerinin 1.5 - 2.5 katı olmakla birlikte, kamyon döküş platformunun kırıcıya besleme yapılan kısımdan (kırıcı ağız) yüksekte olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Kamyondan bunkere dökülen cevherin kırıcı ağızına meyilli bir akış ile hızı azaltılarak beslenmesi sağlanmalı, cevherin doğrudan kırıcı üzerine dökülmesi engellenmelidir.

Şekil 1a. Bunker¹

Bunkerdeki cevherin zamanında beslenmemesi halinde, yükselecek yığının kırıcıya zarar verme vermemesi için kırıcıya beslenecek malzeme seviyesinin kontrolü sağlanmalıdır²

¹ SERMADEN Firması, URL-1: <https://tr.sermaden.com.tr/feeding-bunker>

² Yıldız N. (2010). Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, Ertem Basım Yayın Dağıtım, Ankara.

Titreşimli Izgaralı Besleyici

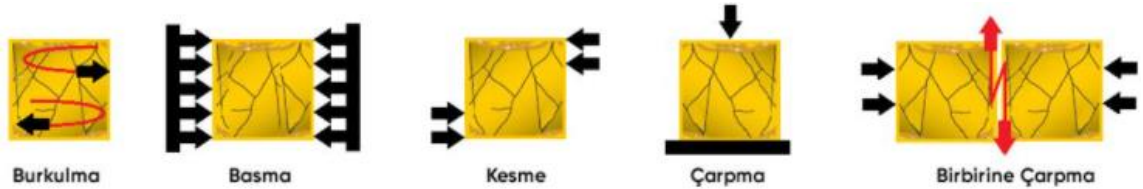
Bunkerde bulunan cevherin akıcılık kazanmasını, çeneli kırıcıda kırılacak cevherin kırıcıya beslenmesini, daha küçük tane boyutlu cevherin ise ızgaralar aracılığıyla ayrılmasını sağlar (Şekil 2a). Kırıcılar arıza, tıkanıklık vb. nedenlerle durdurulduğunda titreşimli besleyici de durdurulur ve bu süreçte cevher bunker haznesinde depolanır.



Şekil 2a. Titreşimli ızgaralı besleyici³

Titreşimli ızgaralı besleyicinin ızgaraları cevherden kaynaklı olarak zamanla aşınır ve ızgaraların arasından kaçan büyük boyutlu cevherler çeneli kırıcıya ulaşması gerekirken titreşimli eleğe gider. Bu durum titreşimli eleğin, sekonder ve tersiyer kırıcıların yükünü arttırır. Izgara açıklığının artması halinde titreşimli besleyicinin değişimi yapılır.

Titreşimli besleyici, ızgaralarının üzerindeki 75 milimetreden büyük boyutlu cevherleri (+75 mm) boyutları küçültölmek üzere primer çeneli kırıcıya beslerler. Boyut küçültme işleminde; aşağıdaki kuvvetlerin biri ya da birkaçının beraber uygulandığı makineler ile kırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kırıcı makinelerde Şekil 3a’da görülen kuvvetlerden yaygın olarak sıkıştırma, darbe ve çarpma kuvvetleri uygulanmaktadır.



Şekil 3a. Boyut küçültme işleminde uygulanan kuvvetler⁴

³MEKA Firması, URL-2: <https://www.mekaglobal.com/tr/urunler/besleyiciler/izgarali-elekli-titresimli-besleyiciler>

⁴MEKA Firması, URL-3: <https://www.mekaglobal.com/tr/cozumler/kirma-isleminde-uygulan-kuvvetler>

Burkma ve kesme kuvvetlerinin uygulandığı kırma makineleri olmamasına karşın bu kuvvetler kırma olayı esnasında oluşabilmektedir.⁴

Cevher hazırlama işlemlerinde kırıcı seçimi yapılırken, üniteye işlenecek cevherin fiziksel özellikleri, kil içerikleri ve küçültülecek boyut oranı dikkate alınır. Bu özelliklere göre farklı çeşitlerde birçok kırıcı bulunmaktadır.⁵

Primer (Birincil) Çeneli Kırıcı

Çeneli kırıcılar birincil kademe kırıcılar olup, sertliği ve aşındırıcılığı fark etmeksizin her çeşit cevheri kırmak için kullanılan kırıcılardır. Yüksek kırma kapasitesi yerine büyük blokların kırılmasının öncelikli olduğu durumlarda tercih edilir.

Çeneli kırıcıların çalışma prensibi, sabit ve hareketli plakalar arasına giren cevherin (Şekil 4a), hareketli çenenin eliptik hareketi ve yüksek basınç kuvveti ile sıkıştırıp kırması esasına dayanır⁶.

Çeneli kırıcılar (Şekil 5a) bir motor ve kayış kasnak tarafından tahrik edilirler. Düşük işletme giderleri ve kolay bakım imkânları tercih sebebini arttıran en önemli özelliklerindendir.⁷

Çeneli kırıcılarda, çenelerin açıklık ayarlamasının yapılması ile beslenen cevher istenen tane boyutuna indirilebilmektedir. Çeneler (Şekil 6a) darbeye ve aşınmaya dayanıklı çelik dökümden imal edilmektedir. Prosese uygun çene seçimi yapılması ile kırmada birim enerji tüketimi azaltılabilmekte ve aşınmanın en aza indirilebilmesi sağlanmakla birlikte aynı zamanda tıkanma olasılığı da azaltılmış olur.



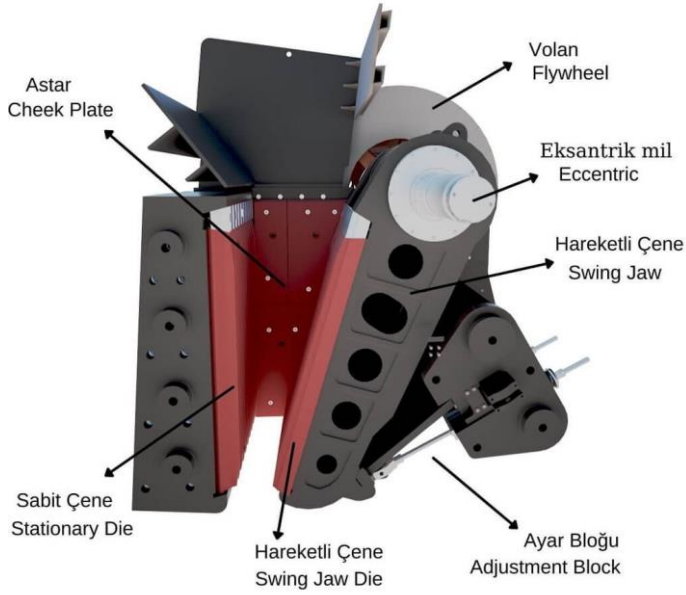
Şekil 4a. Primer çeneli kırıcının cevher beslenmiş durumdaki üstten görüntüsü⁷

⁴MEKA Firması, URL-3: <https://www.mekaglobal.com/tr/cozumler/kirma-isleminde-uygulanan-kuvvetler>

⁵Hacıfazlıoğlu H. (2015-2016). İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Ufalama Yöntemleri Dersi, Ders Notu.

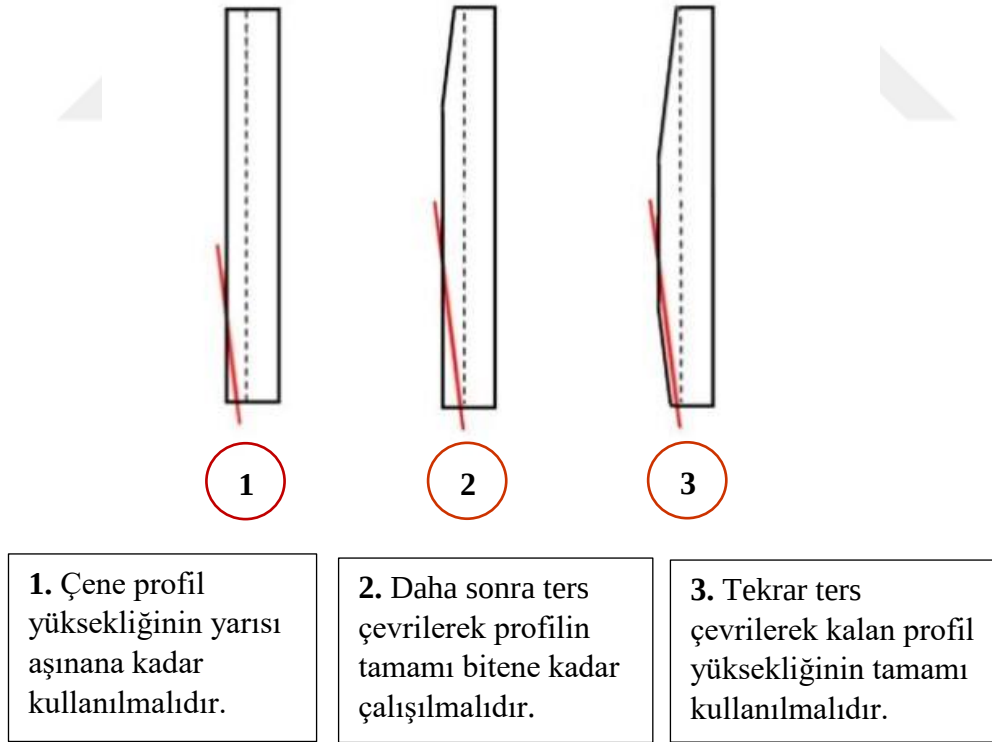
⁶Arman Y. (2014). Kırma Eleme ve Taşıma Makinaları, Seminer Notları, Ankara

⁷MEKA Firması, URL-4: <https://www.mekaglobal.com/tr/urunler/kiricilar/ceneli-kiricilar>



Şekil 5a. Primer çeneli kırıcı⁸

Çeneli kırıcı çenelerinden en iyi şekilde faydalanabilmek için Şekil 6a’da yer alan talimatlar uygulanır.



Şekil 6a. Çeneli kırıcı çenelerinden maksimum faydalanma⁹

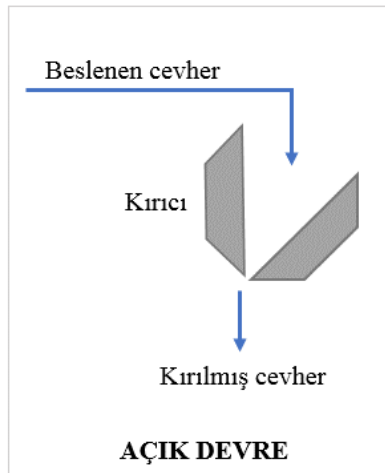
⁸ UĞURMAK Firması, URL-7 : <https://www.ugurmak.com.tr/ceneli-kirici-nedir/>

⁹ MTM Firması, URL-8: <https://www.mtmakina.net/blog/36-ceneli-kiricilar.html>

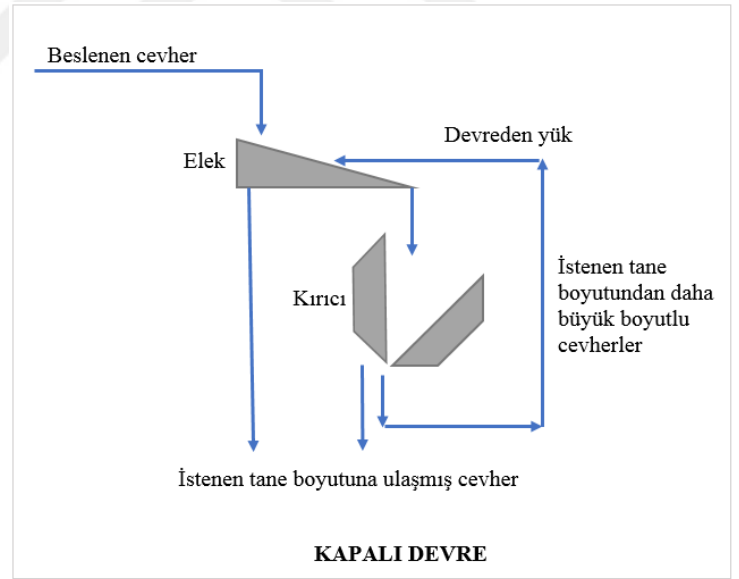
Tesise beslenen kırılacak cevher içerisinde, yeraltından çıkarıldığı haliyle yabancı maddeler (metal, ahşap, plastik maddeler) bulunabilmekte veya stok sahasından cevher içerisine karışabilmektedir. Yabancı maddeler; metal, ahşap, plastik maddeler olabilmekte ve kırıcıya zarar vereceğinden dolayı kontrolünün sağlanması, tespit edildiğinde kırıcıya ulaşmadan ayrılması önemlidir. Çenelerin açıklık ayarının artırılması ile yabancı maddelerin verebileceği zarar azaltılabilse de² tamamen önlenemeyecektir.

Kırılan cevher boyutunun kontrolü, kırıcının çeneleri arasındaki ağız açıklık ayarının yapılması ile sağlanır. Açıklık mesafesi fazla olduğunda, cevher yeterince kırılmayacağı ve boyutu küçültülmeyen eleğe besleneceğinden dolayı, titreşimli eleğin eleme ve diğer kırıcıların ise kırma yükü artmış olur. Açıklık mesafesi az olduğunda ise, kırılacak ince malzeme, kırıcı içinden geçerken kırılacak malzemeler arasındaki boşlukları doldurur ve kırıcıların kapasitesini düşürür ve ayrıca astarlar daha kısa sürede aşınırlar.

Kırıcılar açık devre (Şekil 7a) ve kapalı devre (Şekil 8a) halinde çalıştırılabilmektedirler. Kapalı devre olarak çalıştırılabilmesi için elek (sınıflandırıcı) kullanılır.



Şekil 7a. Kırıcıların açık devre çalıştırılması



Şekil 8a. Kırıcıların kapalı devre çalıştırılması

Çeneli kırıcılar genellikle açık devre olarak çalıştırılırlar. Kırılacak malzeme doğrudan kırıcıya beslenmediği, bunkerde biriktirilerek titreşimli besleyici aracılığıyla

² Yıldız, a.g.e.

kırıcıya iletildiği için bu aşamada yalnızca kırılmaya uygun boyutta cevher beslenir ve böylelikle kırıcının kapasite ve verimliliği arttırılmış olur.

Çeneli kırıcıların periyodik bakımlarına yönelik bilgiler Tablo 1a’da sunulmuştur.

Tablo 1a. Primer çeneli kırıcı periyodik bakım çizelgesi¹⁰

PRİMER ÇENELİ KIRICI	İLK ÇALIŞMA	GÜNLÜK	HAFTALIK	AYLIK
Makine çevresindeki biriken maddeleri temizliği			X	
Tahrik ekipmana açılan kapakların kilitlerinin kontrolü	X	X		
Gövde cıvatalarının sıklığını ve sağlamlığının kontrolü	X	X		
Gövde astarlarındaki aşınma ve kırılmaları kontrolü	X		X	
V kayışlarının gerginliğini kontrolü			X	
Yataklardaki olası gürültünün kontrolü				X
Paletlerin aşınma durumlarının kontrolü		X		
Paletlerin sıklığının kontrolü	X	X		
Ayarlama sistemlerinin durumunun kontrolü			X	
Yatakların çalışma sıcaklığının kontrolü		X		
Rotorun bağlantılarının ve aşınmışlık durumunun kontrolü		X		
Ayar yapma mekanizmasının durumunun ve yay uzunluklarının kontrolü			X	
Acil durdurma cihazlarının işlevselliğinin kontrolü			X	
Kapı ve kapak menteşelerini yağlaması				X
Çalışma platformu, merdiven, ray ve diğer koruyucuların durumunun kontrolü				X

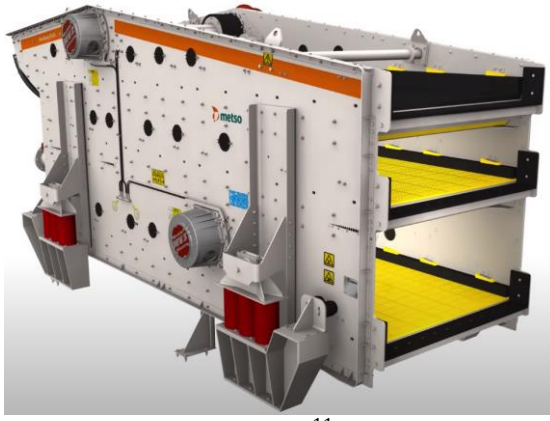
Tesisteki proses makinelerinin kapasiteleri birbirlerine bağlıdır. Birincil kırıcılar seçilirken kapasitelerinin %75’inin kullanılabilmesi hedeflenir.

Titreşimli Elek

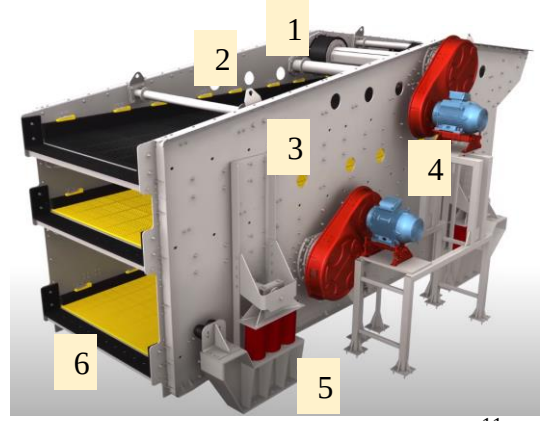
Titreşimli ızgaralı besleyiciden ayrılan ve çeneli kırıcıda kırılarak boyutu küçültülen cevherler konveyör bant aracılığıyla titreşimli eleğe (Şekil 9a ve Şekil 10a) gelmekte ve burada uygun boyut aralığına göre (Şekil 11a) ayrılmaktadır.²

¹⁰UĞURMAK Firması, URL-9: <https://www.ugurmak.com.tr/e-dokuman/>)

² Yıldız N., a.g.e.



Şekil 9a. Titreşimli elek¹¹



Şekil 10a. Titreşimli eleğin kısımları¹¹

Şekilde verilen sayılar aşağıdaki parçaları temsil etmektedir;

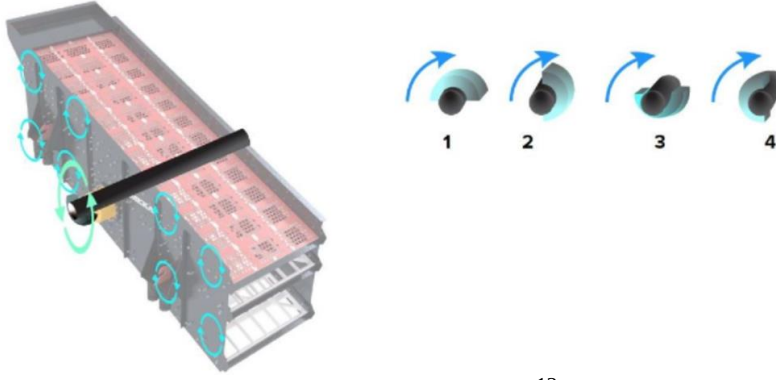
- | | | |
|--------------------|----------------|-------------|
| 1: Yükleme teknesi | 2: Kasa | 3: Yan sac |
| 4: Tahrik sistem | 5: Yay konsolu | 6: Boşaltma |



Şekil 11a. Titreşimli elekte elenen cevherler¹¹

Elekler eksantrik ağırlıkların belli bir hızda döndürülmesiyle oluşan merkezkaç kuvveti sayesinde titreştirilir. Tahrik sisteminin çalışma prensibi Şekil 12a'da görülmektedir.

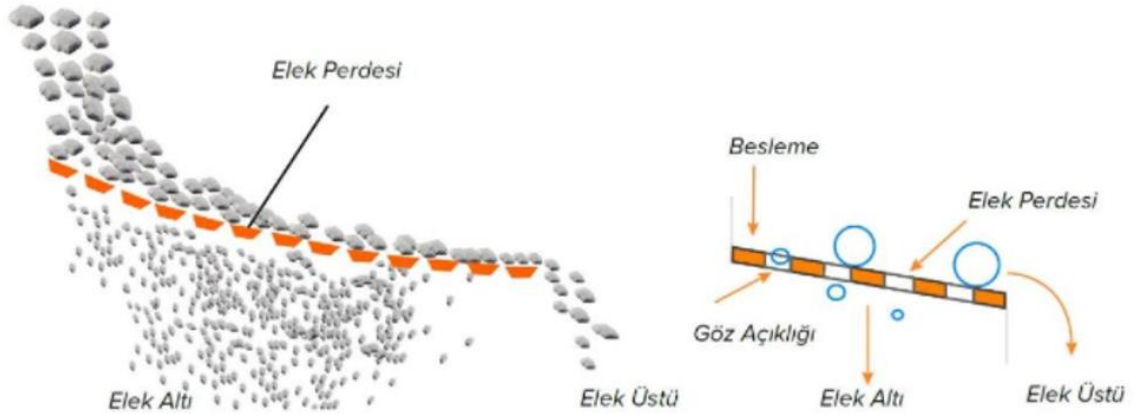
¹¹ METSO Firması URL-10: <https://www.youtube.com/watch?v=s28jTSFA3fM>



Şekil 12a. Titreşimli elek çalışma prensibi¹²

Titreşimli eleğin dairesel hareketi ile birlikte, eleğin göz açıklığından küçük olan parçacıklar elenerek elek altına geçerken, büyük olan parçacıklar ise elek üstünden ilerleyerek sistemden ayrılırlar. Parçacıkların göz açıklığından geçme olasılığı arttıkça eleme verimi yükselir.

Eleğin döküş noktasındaki bir oluk her bir kattan gelen elek üstü malzemeyi birbirine karıştırmadan sonraki aşamaya (Şekil 13a) iletir¹²

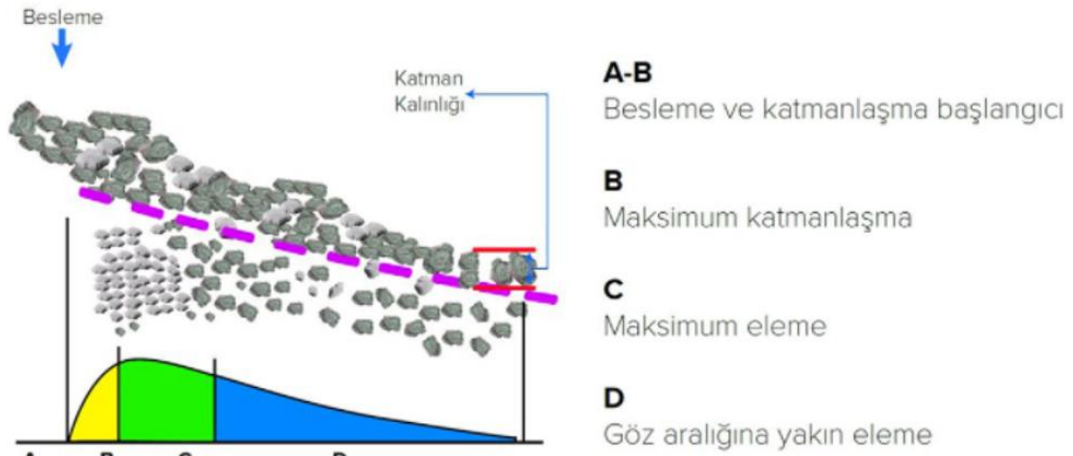


Şekil 13a. Eleme prensibi¹²

Eleme süreklilik gerektirmektedir ve iyi bir eleme için eleme sürecinde alta geçen malzeme miktarı, gerekli tabakalaşmanın sağlanmasına bağlıdır. Eleğin eni, boyu, titreşimi bu tabakalaşmayı (Şekil 14a) sağlayacak şekilde seçilir².

²Yıldız N., a.g.e.

¹²MEKA Firması, URL-11: <https://www.mekaglobal.com/tr/cozumler/titresimli-elekler>



Şekil 14a. Tabakalaşma ve eleme prosesi¹²

Çalışma yapılan üniteye çift katlı yatay elek ve tel (saz) elek çeşidi¹³ kullanılmakta, kaba eleme (5 mm veya daha geniş aralıklı eleme) kuru şekilde yapılmaktadır.

Titreşimli eleğin üst elek ızgara aralığı 25 mm, alt elek ızgara açıklığı 12 mm'dir. Titreşimli elekte elenen 25 mm üzeri boyutlu (+25 mm) elek üstü cevherler sekonder darbeli kırıcıya gönderilmekte, 25 mm ve 12 mm arası boyutlu (+25 mm - 12mm) cevherler ise tersiyer kırıcıya gönderilmektedir.

Titreşimli elekler açık ve kapalı devre olarak çalışırlar ve eleğe dönüş yapan cevherin çok olması, kırıcıların istenilen boyutta kırma yapamadığı; devreden yük miktarının arttığı ve yeterince eleme yapılmadığı, verimsiz çalışıldığının bir göstergesi sayılır.¹⁴ Dolayısıyla kırma devrelerinin verimliliği doğrudan elek verimliliği ile ilişkili olduğu, bu malzemenin kırılması kadar tam ve düzenli elenmesinin proses için önem arz ettiği anlamına gelmektedir.

Endüstriyel elemelerde %90 - 95 verimlilik genel olarak hedeflenen bir değerdir. Elek yüzeyinin eğimi arttıkça elek kapasitesi de artar ancak verimlilik düşer ancak üretimin sürekli ve verimli olabilmesi için bu değerler optimum aralıkta tutulmalıdır.

Verimliliği etkileyen bazı faktörler şunlardır:

- Elek perdesinde meydana gelen yırtılmalar
- Perde açıklıklarının gereğinden fazla aşınmış olması,
- Yapılan beslemenin miktar olarak belirlenen kapasitenin üzerine çıkması,
- Elenecek malzemenin boyut dağılımındaki büyük değişimler,
- Eleğin hareket sistemindeki sorunlar,

¹² MEKA Firması, URL-11: <https://www.mekaglobal.com/tr/cozumler/titresimli-elekler>

¹³ KESTASMAK Firması, URL-12: <https://www.kestasmak.com/celek-orgu-elekler/saz-tipi-celek-elekler/>

¹⁴ MEKA Firması, URL-13: <https://www.isim.org.tr/content/upload/attached-files/kirma-elemez-20200227145555.pdf>

- Malzemenin fiziksel yapısındaki ve nem oranındaki değişimler,
- Elek perde açıklıklarının tıkanması,
- Eleme öncesi proses makinelerinin çalışma verimlilikleri.

Eleme verimliliği sistemdeki diğer proses makinelerinin performanslarından etkilendiği için birbirleriyle uyum içerisinde çalışmaları önemlidir. Eleklerde %80 kapasite kullanımı hedeflenir.²

Verimliliği etkileyen faktörler içerisinde görüleceği üzere nem, elek yüzeyinde düzgün tabakalaşmayı engeller ve elemeyi olumsuz etkiler. Prosese beslenen cevher yapısına ve nem oranına bağlı olarak elek açıklıklarında tıkanmalar görülebilmektedir.

Eleğin bakım periyoduna yönelik tablo aşağıdaki gibidir.

Tablo 2a. Titreşimli elek bakım periyotları¹⁵

TİTREŞİMLİ ELEK	İLK ÇALIŞMA	GÜNLÜK	HAFTALIK	AYLIK
Elek çevresindeki biriken maddeleri temizleyin.			X	
V kayışlarının gerginliğini kontrol edin.	X		X	
Yataklardaki olası gürültüyü kontrol edin.				X
Ayarlama sistemlerinin durumunu kontrol edin.			X	
Yatakların çalışma sıcaklığını kontrol edin.		X		
Acil durdurma cihazlarının işlevselliğini kontrol edin.	X		X	
Çalışma platformu, merdiven, ray ve diğer koruyucuların durumunu kontrol edin.	X			X
Motor dönüş yönünü kontrol edin.	X			
Elek gövde ve elek teli gergi civatalarının yeterince sıkılmış olup olmadığını kontrol edin.	X			X
Elek titreşim genliğinin uygun olup olmadığını kontrol edin.	X			X
Elek dağıtım bantlarının çalışıp çalışmadığı mutlaka kontrol edilmeli.	X	X		
Rulmanların yağlanması.			X	

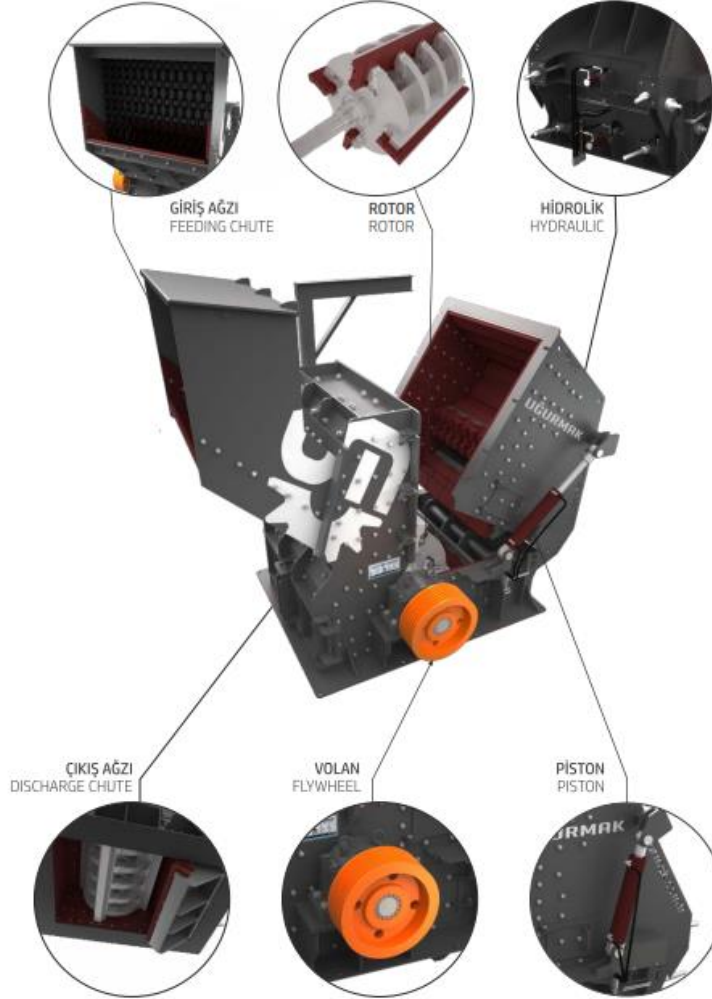
Sekonder (İkincil) Darbeli ve Tersiyer (Üçüncül) Kırıcı

Darbeli kırıcıların çalışma prensibi, rotordaki kinetik enerji kullanılarak kırma barı, sabit ya da hareketli çekiçlerin malzemeye çarparak, malzemeyi zayıf ve süreksizlik yerlerinden ayırıp küçültmesi esasına dayanır.

²Yıldız N., a.g.e.

¹⁵UĞURMAK Firması, URL-14: <https://www.ugurmak.com.tr/bakim/UME-1030-TR.pdf>

Kırma odasına giren malzeme rotorun çarpması ile parçalanır ve parçalar belirli bir hız kazanır. İlk darbe ile küçülen malzemelerin birbirlerine, kırma odası cidarlarındaki barlara ve diğer rotora çarpması ile döngü şeklinde devam eder.²

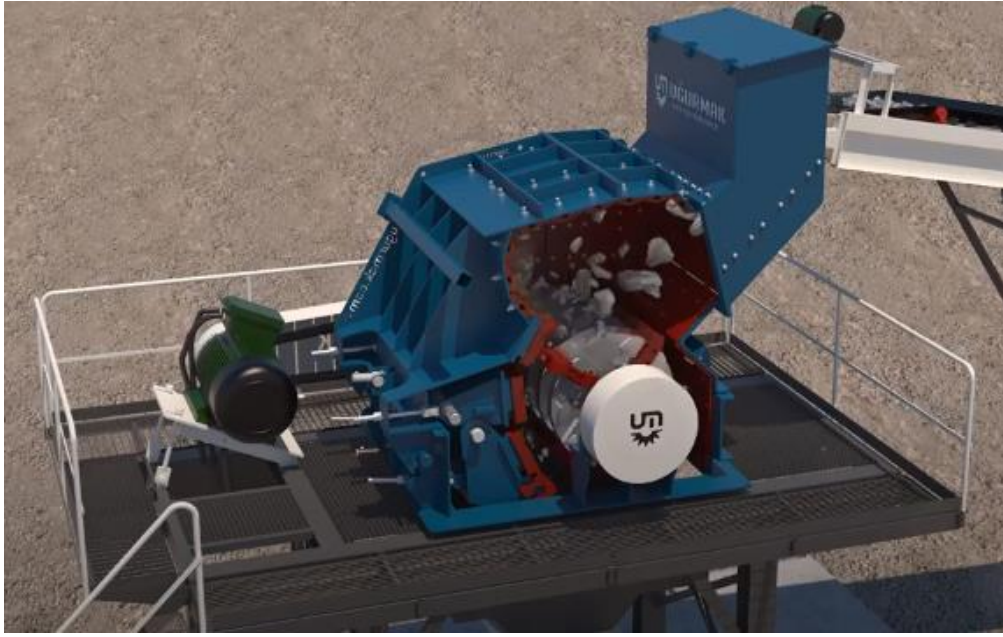


Şekil 15a. Sekonder darbeli ve tersiyer kırıcı kısımları¹⁶

Sekonder/tersiyer darbeli kırıcının besleme kırma odasına (Şekil 16a) besleme yapılmış görüntüsü aşağıdaki şekilde verilmiştir.

² Yıldız, a.g.e.

¹⁶UĞURMAK Firması, URL-15: <https://www.ugurmak.com.tr/brosur/SMK-2020.pdf>



Şekil 16a. Sekonder/tersiyer darbeli kırıcının kırma odasına cevher beslenmesi¹⁷

Sekonder/tersiyer darbeli kırıcıların içinde, çekiç ve gövde plakaları bulunmakta olup, çarpma ve aşınmaya dayanıklı olan manganlı çelikten imal edilirler. Aşınması halinde ters yüz edilerek kullanılır, bu kısmın da aşınması halinde yenisi ile değiştirilirler.

Darbeli kırıcılar hem sekonder hem tersiyer olarak kullanılmaktadır. Çarpırma özelliklerinden dolayı kübik malzeme üretirler.

Kırma ve eleme tesislerinde üretim kapasitesinin sağlıklı ve üretimin verimli olabilmesi kırıcılar arasındaki kırma dengesinin sağlanmasına bağlıdır¹⁸. Sert ve aşındırıcı malzeme kırmada kullanılan darbeli kırıcıların bakımları (Tablo 3a) daha sık yapılmalıdır. Bu da işletme maliyetlerini yükseltmektedir.

¹⁷UĞURMAK Firması, URL-16: <https://www.youtube.com/watch?v=HQNq-uWxAD0>

¹⁸ Adil Halili, 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Agregat Üretiminde Kırma-Eleme ve Taşın Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Önemi, Kocaeli, 2003

Tablo 3a. Darbeli kırıcı bakım periyotları¹⁹

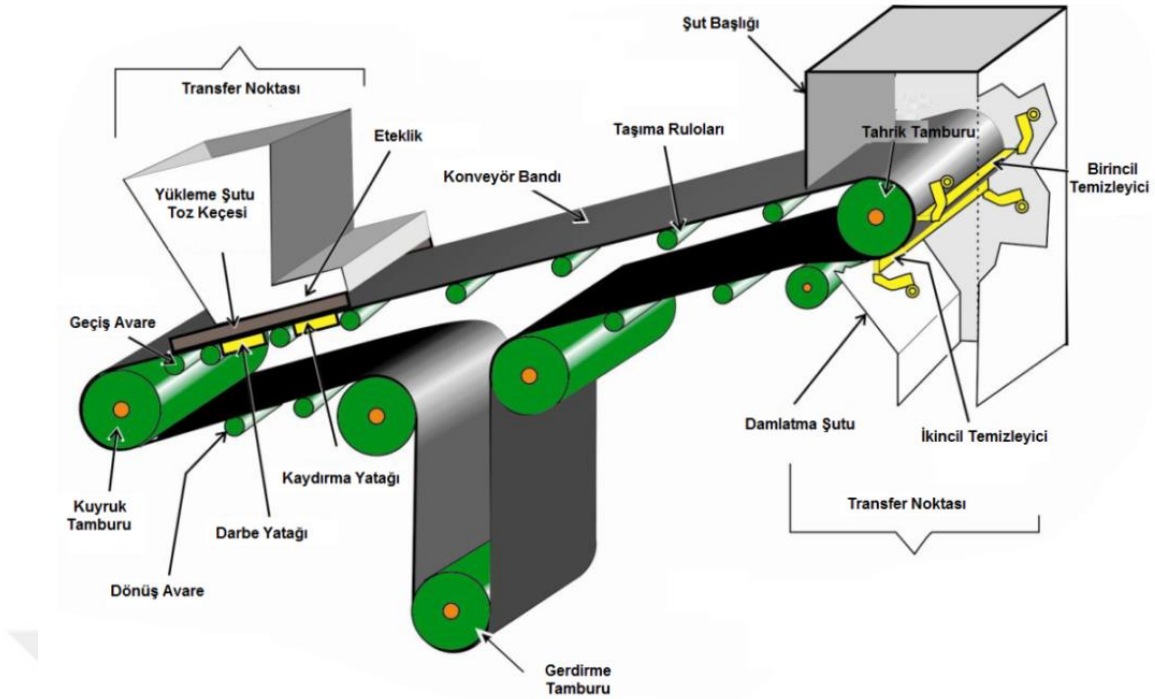
DARBELİ KIRICI	İLK ÇALIŞMA	GÜNLÜK	HAFTALIK	AYLIK
Makine çevresindeki biriken maddeleri temizleyin.			X	
Tahrik ekipmana açılan kapakların kilitlerini kontrol edin.	X	X		
Gövde cıvatalarının sıklığını ve sağlamlığını kontrol edin.	X	X		
Gövde astarlarındaki aşınma ve kırılmaları kontrol edin.	X		X	
V kayışlarının gerginliğini kontrol edin.			X	
Yataklardaki olası gürültüyü kontrol edin.				X
Paletlerin aşınma durumlarını kontrol edin.		X		
Paletlerin sıklığını kontrol edin.	X	X		
Ayarlama sistemlerinin durumunu kontrol edin.			X	
Hidrolik ekipmanları ve sıklığını kontrol edin.	X			
Yatakların çalışma sıcaklığını kontrol edin.		X		
Rotorun bağlantılarını ve aşınmışlık durumunu kontrol edin.		X		
Ayar yapma mekanizmasının durumunu ve yay uzunluklarını kontrol edin.			X	
Hidrolik sistemde kaçak olup olmadığını kontrol edin.		X		
Hidrolik boru ve hortumların durumunu kontrol edin.			X	
Acil durdurma cihazlarının işlevselliğini kontrol edin.			X	
Kapı ve kapak menteşelerini yağlayın.				X
Çalışma platformu, merdiven, ray ve diğer koruyucuların durumunu kontrol edin.				X

Konveyör Bant

Bunkerden titreşimli eleğe, elekten kırıcılara olan tüm süreçteki cevher hareketi konveyör bantlar (Şekil 17a) vasıtasıyla yapılır ve şase üzerine yerleştirilen alt ve üst taşıyıcı makaralarla çalışırlar. Kafa ve kuyruk bölümlerinde bulunan tamburlar hareket mekanizmasını sağlarlar ve bandın kaymaması için yan bölmelerde istikamet makaraları bulunur¹⁹

² Yıldız, a.g.e

¹⁹ UĞURMAK Firması, URL-17: <https://www.ugurmak.com.tr/bakim/SMK-TR.pdf>



Şekil 17a. Konveyör bant kısımları²⁰

Konveyör bantlarda cevherin taşınması esnasında, cevherin banda yapışması, banttın dökülmesi, şutlarda birikmesi ve tıkanıklık oluşturması, motorun veya ekipmanların dökülen cevher tozlarından dolayı daha erken sürede bozulması gibi durumlar yaşanılmaktadır. Süreç boyunca çok sayıda hareketli parça bulunduğu için, cevherin dökülmeden ve verimli şekilde taşınabilmesi için bu parçaların koordinasyonunun kontrolü önemlidir.^{21 22}

Konveyör bantlarda kapasite kullanımı %70 olarak seçilir.²

Konveyör bantlarda görülen birçok problem bulunsa da, üniteye konveyör bantlarda yaşanan bazı problemler ve nedenleri Tablo 4a, Tablo 5a, Tablo 6a'da, Tablo 7a'da paylaşılmıştır;

²⁰ TEKNOFİLTİR Firması, URL-18, <http://teknofilter.com/blog/bantli-konveyorlerde-toz-toplama/>

²¹ MARTIN ENGINEERING Firması, URL-19: <https://www.martin-eng.com.tr/content/solution/4988/maximize-profitability-solution>

²² XINBEX Firması, URL-20: <http://m.tr.tpu-belt.com/news/conveyor-belt-failure-modes-20659209.html>

Tablo 4a. Konveyör bant genel problemleri²³

Genel Problemler	
Problem	Sebep
Bant sarkması	Yetersiz bant gerginliği, Yanlış destek silindir yerleşimi
Kat ayrılması	Kasnak çapı çok küçük Kimyasal madde, ısı, yağ etkisi Bant ve ek yeri üzerine aşırı yükleme Bandın kenara sürtmesi
Bant kenarının bükülmesi, bandın şaseye değmesi	İki tambur arasındaki ayarsızlık

Tablo 5a. Konveyör bant gezme problemi²³

Gezme Problemi	
Problem	Sebep
Hat boyunca bandın tek tarafa kayması	Tambur eksen, gönyesi, paralelliği uygun değil Hatalı tambur bombajı Kimyasal madde, ısı ve mekanik eklerden zarar görmesi Ek yeri uygulamasının hatalı olması
Bandın çift taraflı gezmesi	Düzensiz yükleme Tamburların düzensizliği Yetersiz bombaj Malzeme birikmesi
Tahrik tamburundan bandın gezmesi	Tamburların düzensizliği Tambur kaplamasında aşınma Malzeme birikmesi Avare ruloların düzensiz dönmesi Düzensiz yükleme
Germe tamburunda bant kayması	Yetersiz bant gerginliği Tamburların düzensizliği Avara silindirin sıkışması Malzeme birikmesi Tamburların yetersiz bombajı

²³ GRUP MAKİNA Firması, URL-21 http://www.grupmakina.com.tr/upload/pdf/konveyor_bant_sorun_giderme.pdf

Tablo 6a. Konveyör bant patinaj problemi²³

Bant Patinaj Problemi	
Problem	Sebep
Çalışırken bandın patinajı	Tahrik tamburu ile bant arasına pislik birikmesi
	Yetersiz bant tansiyonu
	Tambur kaplamasında yıpranma
	Saç ya da rulo üzerinde malzeme birikmesi
	Avare silindirin sıkışması

Tablo 7a. Konveyör bandın normalden fazla uzaması²³

Bandın Normalden Fazla Uzaması	
Problem	Sebep
Parçalanma, oyuk, çatlak, bazı bölgelerde bantta yumuşama	Bant ve ek yerine kuvvetli darbe
	Malzeme birikmesi
	Kimyasal madde, ısı ve mekanik bileşen tarafından meydana gelen hasar
Yüzeyde sertleşme ve çatlaklar	Kimyasal madde, ısı ve yağ tarafından meydana gelen hasar
	Hatalı saklama ve taşıma
	Soğuk veya dondurucu ortam veya malzeme sıcaklığı

Jet Pulse Toz Toplama Sistemi

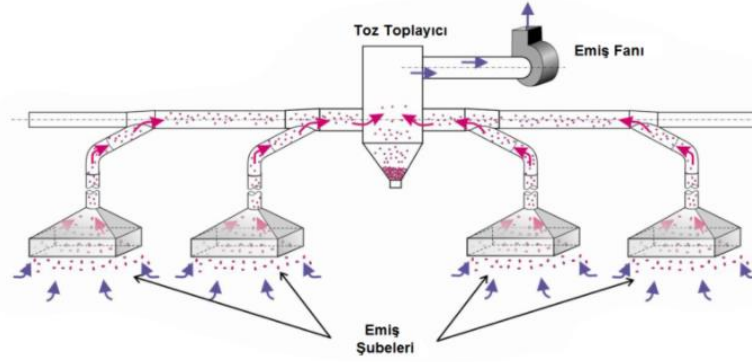
Kırma eleme devrelerinde bunkerin boşaltıldığı alanda, kırıcıların kırma işlemi esnasında, konveyör bantlar ile taşınan cevherin boşaltılması esnasında toz ortaya çıkmaktadır. Toz, tesislerin elektrik elektronik devrelerine, makineye ve çevreye zarar vermektedir. Bu etkileri azaltabilmek için kuru veya ıslak filtrasyon sistemi kurulmaktadır.² Filtrasyon seçimi yapılırken; kırılacak malzemenin cinsi, kırma ve eleme esnasında oluşan tozun boyutu, miktarı, ortam sıcaklığı, uygulanan proses, işletme koşulları, ilk yatırım maliyetleri gibi faktörleri dikkate alınır¹⁸. En kolay toz tutma sistemi toz kaynağına su püskürtmektedir. Üniteye toz toplama sistemi haricinde tozu bastırmak için ilaveten fiskeye ile su püskürtme sistemi bulunmaktadır ancak Jet pulse toz toplama sistemi (Şekil 18a) ile birlikte fiskeye sisteminin birlikte kullanılması halinde toz taneciklerinin ıslanarak beze yapışmasına ve toz filtresi bezlerinin veriminin düşmesine²

² Yıldız N., a.g.e.

¹⁸ Adil Halili, 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Agregat Üretiminde Kırma-Eleme ve Taşın Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Önemi, Kocaeli, 2003

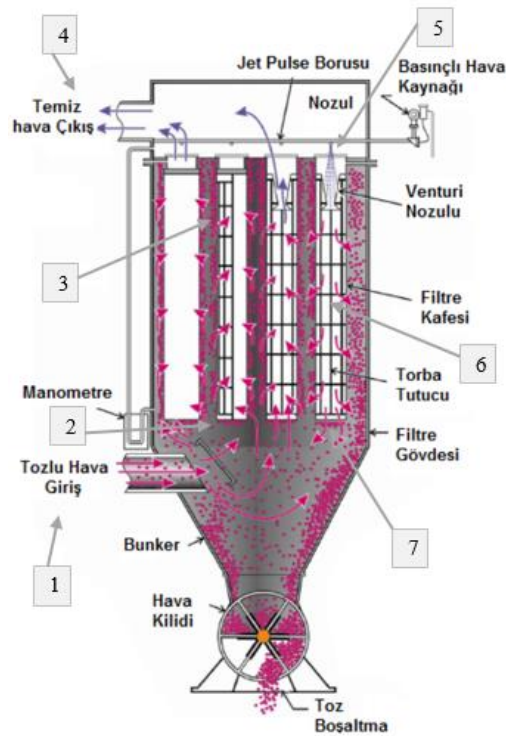
²³ GRUP MAKİNA Firması, URL-21 http://www.grupmakina.com.tr/upload/pdf/konveyor_bant_sorun_giderme.pdf

neden olduğundan çoğu zaman istenilen sonuç alınamamıştır ve ünite nadiren kullanılmaktadır.



Şekil 18a. Toz toplama sistemi²⁴

Jet Pulse Filtrasyon işlemi (Şekil 19a), kuru bir toz ve partikül toplama işlemidir. Toz toplamada kullanılan toz emiş filtre torbaları, dokuma veya keçeli kumaştan, oval veya yuvarlak boru şeklinde imal edilip çapları genellikle 90 - 200 mm arasındadır. Torbalı filtreler genellikle parçacık boyutu çok daha küçük olduğu durumlarda bile %99 veya daha iyi bir toz ve partikül toplama verimliliğine sahiptir.



Şekil 19a. Jet pulse toz toplama sistemi çalışma prensibi ²⁴

²⁴TEKNOFİLTİR Firması, URL-22: <http://teknofilter.com/blog/endustriyel-toz-toplama-sistemleri-filtreleri-unitesi/>

Çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir (Şekil 19a): Cevherin kırılması/ boşaltılması esnasında açığa çıkan toz, toz oluşumunun olduğu yerlerde bulunan toz toplama borusu ile vakum etkisiyle fan içine çekilir. Fan içerisine giren toz yüklü hava, hava akımından daha ağır partiküllerin düştüğü hazneye (1) girer. Daha hafif parçacıklar hava akımında sıkışmakta ve filtre torbalarına (2) yükselmektedir. Hava, filtre torbasından geçerken, toz partikülleri filtre torbalarının (3) dış yüzeyi üzerinde toplanır ve temizlenen hava, toplayıcı (4) üzerinden dışarı atılır. Kesin aralıklarla sıkıştırılmış yüksek basınçlı hava püskürtme venturisinden (5) geçerek kuvvetli bir sekonder hava akışı oluşturur ve hava akımını torbalara kısaca ters çevirir. Bu, torbanın uzunluğunu aşarak torbanın dışarı doğru bastırıp bükülmesine neden olan bir iç şok dalgası üretir (6). Bunu, torbanın dışındaki biriken tozu toplama haznesine (7) düşen ters çevrilmiş hava akışı sağlar. Bu temizleme yöntemiyle, bir dizi torba içerisindeki hava akışı, saniyenin yalnızca bir kısmı için ters çevrilir ve toz toplayıcı boyunca sabit hava akışı koşullarına neden olur. Temizleme işlemi kolaylıkla ayarlanabilen zamanlayıcı ile kontrol edilir. Bir fark basıncı göstergesi, zamanlayıcıyı optimum şekilde ayarlamaya izin verir. Sıkıştırılmış hava tüketimini en aza indirmek için darbe süreleri ve darbe aralıkları (0.1 s - 0.2 s) zamanlayıcıda basit ve doğru bir şekilde ayarlanabilmesini sağlar²⁵. Bez üzerindeki küçük bir yırtık oluşması ya da bezlerde tıkanma olması halinde toz tutucu işlevini kaybeder². Buna karşın toz toplama sisteminin hareketli parçaların minimum sayıda olması sistemin verimliliğini ve dayanıklılığını artırır.

Toz toplama sistemlerinde meydana gelen birçok problem olsa da, incelenen üniteye karşılaşılan bazı problemler ve çözümlerine yönelik bilgiler aşağıda verilmiştir;

1 - Yüksek diferansiyel basınç

Genel olarak dizayn diferansiyel basınç değeri 75 - 100 mmSS 'dür. Ancak 25 - 100 mmSS normal kabul edilmelidir. Diferansiyel basınç değeri limit değerlerin üzerine çıkmış ve düşmüyorsa aşağıda yöntemler önerilir:

- Basınçlı hava girdisi doğru değerde değildir. 6.5 - 7 kg/cm² normal basınç ihtiyacıdır. Daha iyi temizleme için 8 kg/cm² 'ye kadar çıkarılmalıdır.
- Pilot selonoid valf çalışmaz ise sızıntı yapan diyafram temizleme enerjisini azaltır. Bu valfin açılma zamanını yavaşlatır veya hiç açılmamasına sebep olur.
- Doğru olmayan zamanlayıcı (timer) çalışması: bütün valflerin istenen sıraya göre açılıp açılmadığını, sinyalin gelip gelmediğini kontrol edilir.

² Yıldız N., a.g.e.

²⁵ ONAY MAKİNA Firması, URL-23.<http://www.onaymakina.com.tr/assets/filtretilavuz.pdf>

- Hava kaçıran rotary valf veya toz boşaltma sistemi: tozun alınamaması yüzünden aşırı yüklemelere sebep olur.

- Rutubetten körlenmiş torbalar: fanı çalıştırmadan yalnızca silkeleme sisteminin çalıştırılması ile torbaların açılması imkân dâhilindedir. İhmal edilmeyecek miktarda tozun temiz hava bölmesinde görülmesi (daha önceleri delinen bir torbadan kaçan kaçaklar) temizleme sisteminin verimini ters hava üflemedeki emiş esnasında taşıdığı tozu iç yüzeyine taşıması dolayısıyla düşürür. Temiz gaz bölmesi mutlaka temiz tutulmalıdır.

2 - Görünür toz deşarjı

- Gevşek torba baskıları,
- Yırtılmış veya delik torba,
- Birleşim yerlerinde yanlış montaj veya eksik sızdırmazlık elemanı kullanılması.

3 - Yeterli olmayan emiş

- Fan dönüş yönü terstir.
- Yüksek diferansiyel basınç vardır.
- Fan kayışlarında kayma olabilir. Gerginliğini kontrol ediniz.
- Kanallar, bakım kapaklarında patlama kapaklarında, toz boşaltma sisteminde, rotary valfte kaçak vardır, kontrol edilmelidir.
- Kanallar tıkanmış olabilir, kapak veya klapeler kapalıdır.

4 - Basınçlı hava basıncı devamlı düşük

- Selonoid valf açık kalmış olabilir. Kontrol ediniz, temizleyiniz. Mekik yay sistemi kontrol edilmelidir.
- Bağlantılarınızda kısa devre vardır, valf devamlı açık duruyor olabilir.
- Timer sinyali çıkışında arıza vardır veya üfleme zamanı 0.1 saniyeden uzundur.
- Hatalı bağlantı, kompresör veya borularda kaçak vardır.²⁵
- Selonoid valflerin kapanması için minimum basınç 0.3 kg/cm²'dir. Kapama vanasından sonra basınçlı hava borularının çok uzun olması 0.3 kg/cm² lüzumlu kapama basıncını sağlamayabilir. Çözüm: Basınçlı hava tankı ve kapatma vanasını toz kolektörü yakınına monte edilmelidir.

²⁵ONAY MAKİNA Firması, URL-23.<http://www.onaymakina.com.tr/assets/filtrekilavuz.pdf>

5 - Filtre torbası problemleri (k r lenme, kısa ömür vb.)

- Filtre torbaları sıcaklık sınırı ve çalışma sıcaklıklarının kontrol edilmesi
- Çalışma rutubetini ve torba çekme rutubeti kontrol edilmelidir. Serbest rutubet, rutubetin çok düşük olması halinde statik elektrik meydana getirir.
- Bunkerde toz malzemenin köprü yapıp yapmadığını kontrol edilmelidir. Malzemenin filtre torbalarına kadar yükselmesi torbaları hasara uğratır.
- Torbaların tam düşey ve gezgin olduğunu kontrol edilmelidir.
- Aşınmalar yüksek hızda gelen toz partiküllerinin torbalara çarpması sonucu meydana gelir. Giriş difüzörü kontrol edilir, yoksa yenisini imal edilir²⁵.



²⁵ ONAY MAK NE Firması, URL-23.<http://www.onaymakina.com.tr/assets/filtrekilavuz.pdf>

Ek 2. Risk Değerlendirme Yöntemleri

Risk değerlendirme teknikleri kantitatif, kalitatif ve karma olarak üçe ayrılmaktadır¹ Kantitatif (nicel) metotta riskin gerçekleşme ihtimali ile riskin şiddetine sayısal değerler verilir. Bu tür nicel metotlar içerisinde deneyimler, sayı bazında kayıt edilen gözlemler ve anketler bulunur. Kalitatif (nitel) metotta risk hesaplamasında yüksek, orta, düşük gibi tanımlayıcı değerler bulunur. Bu tür nitel araştırmalar kavramların, fikirlerin, deneyimlerin anlamının çözülmesi, kelimelerle aktarılan ve anlaşılır kılınan gözlemleri ifade etmekte tercih edilir.¹ Karma metot ise hem nicel hem nitel yöntemleri içermektedir.² Günümüzde nicel ve nitel yöntemlerin uygulandığı birçok risk değerlendirme yöntemleri mevcuttur. Bunlardan yaygın kullanılanları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Olursa ne olur? - (What if...?)
- Ön tehlike analizi - PHA(Preliminary Hazard Analysis)
- İş güvenlik analizi - JSA (Job Safety Analysis)
- Kontrol listeleri kullanılarak birincil risk analizi (Check list)
- Tehlike ve işletebilme analizi (Hazard and Operability Analysis, HAZOP)
- Hata türü ve etkileri analizi (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)
- Güvenlik denetimi (Safety Audit)
- Hata ağacı analizi (Fault Tree Analysis, FTA)
- Olay ağacı analizi (Event Tree Analysis, ETA)
- Hata ağacı analizi ve olay ağacı analizinin birleşimi olan Papyon Analizi (Bow Tie)²
- L tipi matris
- X tipi matris
- Neden-sonuç analizi

Risk değerlendirme metodolojilerine ilişkin karşılaştırma tablosu Tablo 1b’de ve Tablo 2b’de sunulmuştur.

¹ Marhavilas, P.K., Koulouriotis, D., Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24, 477-523

² Çabuk A., Atalay H., Erdem E., ve Aksöz Ş. (2021). Papyon Modeli Risk Değerlendirme Metodu Kullanılarak Proaktif ve Reaktif Önlemlerin Belirlenmesi, Depo Örneği, *İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi*, 4 (1), 83-91

Tablo 1b. Risk değerlendirme metodolojileri karşılaştırma tablosu³ (Özkılıç, 2003)

Kriterler	What if..?	PHA	JSA	Check List	HAZOP	FMEA	Güvenlik Denetimi	FTA	ETA	L Tipi Matris	X Tipi Matris	Neden - Sonuç Analizi
Gerekli doküman ihtiyacı	Çok Az	Orta	Çok fazla	Orta	Çok fazla	Çok fazla	Çok Az	Çok fazla	Çok fazla	Çok az	Çok fazla	Çok fazla
Tim çalışması	Bir analist ile yapılabilir	Bir analist ile yapılabilir	Tim çalışması	Tim çalışması	Tim çalışması	Tim çalışması	Bir analist ile yapılabilir	Tim çalışması	Tim çalışması	Bir analist ile yapılabilir	Tim çalışması	Tim çalışması
Tim liderinin tecrübesi	Orta düzey deneyim	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Çok fazla deneyim	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Çok fazla deneyim	Orta düzey deneyim	Çok fazla deneyim	Çok fazla deneyim
Kalitatif / Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif / Kantitatif	Kalitatif / Kantitatif	Kalitatif	Kalitatif	Kalitatif / Kantitatif
Özel bir branşa yönelik	Basit prosedürlü işler	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Kimya endüstrisi	Elektrik / Makine / Hizmet	Her Sektöre Uyar	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar	Basit prosedürlü işler	Her sektöre uyar	Her sektöre uyar, ancak özellikle kimya sektöründe kullanılır.
Uygulama başarı oranı	Risklerin belirlenmesi aşamasında tek başına yeterli değildir. Tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir.	Birincil risk değerlendirme yöntemidir. Risklerin belirlenmesi aşamasında tek başına yeterli değildir. Tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir.	Özellikle kişilerin görev tanımları iyi yapılmışsa başarı sağlanabilir.	Çeklistlerin uzman kişilere hazırlanması halinde başarı oranı değişir.	Oldukça zor bir yöntemdir. Yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir.	Analiz öncesinde FTA yapılması başarı oranını artırır	Risklerin belirlenmesi aşamasında tek başına yeterli değildir. Tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir.	Yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir. Risklerin belirlenmesinde çok etkili bir yöntemdir.	Yüksek tecrübe ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir. Risklerin belirlenmesinde çok etkili bir yöntemdir.	Basit prosedürlü işlerde uygulanabilir. Tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir.	Tüm sektörlerde rahatlıkla uygulanır. Tim liderinin tecrübesine göre başarı oranı değişir.	Yüksek tecrübesi ve takım üyelerinin yüksek performansını gerektirir. Risklerin belirlenmesinde çok etkili bir yöntemdir.

³ Özkılıç, Ö. (2005). İş Sağlığı Ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. TİSK.

Tablo 2b. Yaygın olarak kullanılan risk değerlendirme metodolojilerinin kıyaslanması⁴

RİSK DEĞERLENDİRME METODU	What if...? Analizi	Kontrol Listesi	HAZOP	FMEA	Güvenlik Denetimi	Papyon (Bow-Tie)
AVANTAJLARI	• Uygulanması kolaydır. • Genelde tek başına kullanılabildiği gibi başka bir metoda yardımcı teknik olarak da kullanılabilir. • Veri tabanı ile entegre edilebilir.	• Kolay uygulama sağlar. • Tek bir analist veya küçük bir grup tarafından yapılabilir. • Veri tabanı ile entegre edilebilir. • Bütün sektörlere uygundur.	• Sistematiktir. • Sistemin sapmalarını, sapmalar sonucu ortaya çıkabilecek istenmeyen sonuçları ve sapmaların sıklığını azaltmak için çözüm önerilerini ortaya belirler.	• İşyerindeki makine, ekipman ve insan hatalarının ve çevresel faktörleri birlikte inceler. • Nitel ve nicel değerlendirme sağlar. • Kök neden analiz yapar.	• Kolay uygulama sağlar. • Ekipmana, üretime veya çevreye zarara yol açabilecek riskleri ele alır.	• Hata ağacıyla çeşitli senaryoların birlikte veya ayrı ayrı (ve / veya) gerçekleşme olasılıklarıyla olaya gidilirken önleyici kontrolleri belirler. • Kaza ağacında ise olayın farklı şekillerde gerçekleşen sonuçlarına göre iyileştirici kontroller belirlenir.
DEZAVANTAJLARI	• Sadece tehlikelerinin sonuçlarının neler olacağını ortaya çıkartır. • Nitel sonuçlar verir. • Farklı disiplinlerden uzmanların katılımı ile gerçekleştirilir. • Değerlendirmenin kalitesi uzmanların tecrübesi ile doğru orantılıdır.	• Kompleks tehlike kaynaklarının analizinde uygun değildir. • Sadece nitel sonuçlar verir. • Değerlendirmenin kalitesi, hazırlanan soruların kalitesine ve takımın ya da analistin deneyimine göre değişiklik gösterebilir.	• Uygulaması zordur ve zaman alır. • Sadece nitel sonuçlar verir. • Farklı disiplinlerden uzmanların katılımı ile gerçekleştirilir.	• Karmaşıktır. • Uygulaması zor ve zaman alıcıdır.	• Teknik donanımdan kaynaklanan tehlikeleri belirleyemez. • Risk değerlendirmesi sonucunda şirket yönetiminin uygulanan prosedürleri güvenlik yönünden gözden geçirmesini gerektiren bir rapor elde edilir, herhangi bir aksiyon planı hazırlanmaz.	• Makine ve ekipman kaynaklı risklerin belirlenmesi için daha uygundur. • Uygulanması detaylı ve zaman alıcıdır.

⁴ Muratdağı T. (2015) Rüzgar türbinlerinin kurulum ve bakım süreçlerindeki risklerin tespiti, değerlendirilmesi ve çözüm önerilerinin sunulması. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara

Ek 3. FMEA İle İlgili Kavramlar

Yöntemin uygulanmasından önce bilinmesi ve anlaşılması gereken bazı temel kavramlar aşağıda verilmiştir.

Tehlike: Gerçekleşme ihtimali bulunan fakat istenmeyen sakıncalı durum olarak tanımlanmaktadır¹.

Risk: Zarara uğrama tehlikesi¹,

Hata: Sürecin işleyişindeki düzensizlik, istenmeyen durumlar, uygulandığı kuralsızlık hata olarak tanımlanır. Karşılaşılan hatalarla beraber gerçekleşmesi olası görülen olaylar da hata olarak değerlendirilir².

Hata türü: Hatanın ortaya çıktığı fiziksel durum ve şartları doğru sıfatlarla özetleyen kısa ve genel ifadelerdir^{3 4}

Hata nedeni: Hata veya hataların meydana gelmesine zemin hazırlayan esas nedendir³. Kök nedenin belirlenmesi ve derinlemesine araştırılması bu sorundan kaynaklı diğer hataların giderilmesine yardımcı olacaktır.

Özel karakteristikler: Ürün veya üretim prosesine ait proses parametreleridir. Yasalara uyum, uygunluk, fonksiyon, performans veya bir sonraki prosese ait emniyet ve uygunluğu tarif eder.⁵

Müşteri: Hata türünden etkilenebilecek son kullanıcı, iç veya dış bölümler, kişiler ve proseslerdir.

Fonksiyon: Bir proses veya üründen gerçekleştirmesi beklenen amaçlardır.⁶

¹ Türk Dil Kurumu sözlükleri

²Stamatis, D. H. (2003). Failure mode and effects analysis – FMEA from theory to execution, *ASQC Quality Pres*, Wisconsin, 28-34.

³ Chrysler, Corp., Ford Motor Co., ve General Motors Corp., (1995). Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Reference Manual, 2nd ed., equivalent to SAE J-1739.

⁴ Department of Defence (1980). MIL-STD-1629A: Procedures for Performing a Failure Mode Effects and Criticality Analysis. Department of Defence, Washington D.C.

⁵ Standart Kalite Eğitim Firması, URL: http://www.standartkalite.com/iso16949_otomotiv_tanimlar.htm

⁶ Durhan D. (2006) *Hata türü ve etkileri analizi (FMEA) ve bir uygulama*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Ek 4. Doğrudan Operatör Kaynaklı Hatalar - FMEA No 1

X A.Ş.		X A.Ş. PFMEA Formu												
Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		1		Başlama Tarihi		Tez süreci				
Bölüm Adı		DOĞRUDAN OPERATÖR KAYNAKLI HATALAR		Proses Sorumlusu				Revizyon No						
PFMEA Ekibi		Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni						Revizyon Tarihi		30 Ara 2021				
								Hamılayan		Ecem BULAT				
Yapısal Analiz (2. adım)		Fonksiyonel Analiz (3. adım)				Hata Analizi (4. adım)				Risk Analizi (5. adım)				
1. Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3. Proses iş elemanları (4M)	1. Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adımının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S)/FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (FC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)/FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)/FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)
Kırma Eleme Ünitesi	Vardiya çalışması	Operatör	Silo boş kalmaksızın öğütmeye uygun tane boyutunda cevher kırılması	Üretim kesintisiz devam etmesi istenir	Operatör: Kırma eleme ünitesindeki makinaların işletilmesi ve bakımından sorumludur	Kırma işlemi sonucunda siloya giden cevherin 12 mm'den büyük olması halinde öğütme ünitesinde primer değirmen giriş boğazında tıkanmalar meydana gelir. *Öğütme işlemi için daha fazla enerji harcanmasına ve tıkanıklığın giderilmesi için üretimin durması gerekir. *Makina/ekipmanların kırma işlemi öncesi kontrol edilmemesi durumunda oluşabilecek hatalar fark edilemez ve uzun duruşlara neden olabilecek başka hatalar ortaya çıkabilir.	7	Uyumsuz kalınlıması	*Operatörlerin uyuklarını alamamaları nedeniyle vardiya değişimlerine uyum sağlayamamaları/ adapte olmalarında zorlanmaları nedeniyle dikkat dağınıklığı olması	Vardiya içerisindeki rutin bakım ve acil arızalar dışında diğer bakım işlerinden sorumlu tutulmaz.	9	Formenin 16.00 - 24.00 ve özellikle 00.00 - 08.00 vardiyanında operatörlerin iş takibini yapması	4	Yüksek
							2				8		4	Orta
							8				9		3	Yüksek
Kırma Eleme Ünitesi	Görev bilinci	Operatör	Rutin bakım ve sorumlulukların yerine getirilmesi	Meslek standardında yer alan yükümlülüklerin yerine getirilmesi beklenir.	Operatör: Kırma eleme ünitesindeki makinaların işletilmesi ve bakımından sorumludur	*Makina/ekipmanların kırma işlemi öncesi kontrol edilmemesi durumunda oluşabilecek hatalar fark edilemez ve uzun duruşlara/bakımlara neden olabilecek başka hatalar ortaya çıkar. *Kırcılarda besleme düzensizliğine bağlı olarak tıkanıklık olur.	10	Görev tanımının yerine getirilmesinde eksiklikler	Makina/Ekipmanların bilinçli kullanımında yetersizlik Bakım ve kontrol periyotlarında düzensizlik Veri kaydında eksiklikler ve dikkatsizlik Gelecek vardiya bilgisi aktarımında yetersizlik	Görev tanımındaki yükümlülüklerin yerine getirilip getirilmediğinin denetlenmesi	9	Formen ve Vardiya Müh. tarafından operatörlerin çalışma performanslarının gözlemlenmesi	3	Yüksek
							10				8		3	Yüksek
							8				7		2	Yüksek
							8				7		2	Yüksek
Kırma Eleme Ünitesi	Tecrübe	Operatör	Rutin bakım ve sorumlulukların yerine getirilmesi	Makine ve ekipmanların işletilmesi	Operatör: Kırma eleme ünitesindeki makinaların işletilmesi ve bakımından sorumludur	Kapasitenin altında çalışılması ve tıkanıklık oluşumuna neden olur. Makinelerdeki olası arızaları öngöremediğinden kısa süreli bir arıza uzun süreli bir duruşa neden olur.	10	Tecrübe eksikliği	*Operatör tecrübesiz olduğunda beslemeyi düzenli yapamaz ve kapasitenin altında çalışmış olur. Ayrıca tıkanıklık oluşumuna neden olur. Makinelerin sesleri ve çalışma şekillerinden olası arızaları öngöremez. * Hata oluştuğunda giderilmesi için gerekli tedbirleri almakta yetersiz kalır.	Tecrübeli operatörler ile tecrübesiz operatörlerin aynı vardiya birlikte çalışmaları ve tecrübesiz operatörlerin yetiştirilmesi	8	Operatörün çalışma esnasında formeni tarafından gözlemlenmesi, olası besleme hatalarının çalışması esnasında tespiti.	3	Yüksek

Ek 4. (Devamı)

X A.Ş.		X A.Ş. PFMEA Formu										
Müşteri	KIRMA ELEME ÜNİTESİ	FMEA No	1	Başlama Tarihi	Tez süreci							
Bölüm Adı	DOĞRUDAN OPERATÖR KAYNAKLI HATALAR	Proses Sorumlusu		Revizyon No								
		Gizlilik Derecesi	Normal	Revizyon Tarihi	30 Ara 2021							
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kıрма Eleme Ünitesi Formeni			Hazırlayan	Ecem BULAT							
Optimization (6. adım)												
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Sapama (D)	Özel karakteristikler	Aksiyon önceliği (AP)	Açıklama
Doğrudan operatör kaynaklı hataların operatörün kendiyle ilişkili olmasından ve operatörlerin bu hatalarının üretim ve enerji verimliliğini olumsuz etkilemesinden dolayı görev tanımını yerine getirmediği gerekçesiyle tutanak tutulmuştur. Operatörlerin üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkilerine ve ünitadaki rollerine yönelik önemin vurgulandığı bilgilendirme eğitimi düzenlenmiştir.	Formen ve vardiya mühendisi tarafından yapılan gözlemler ve habersiz denetimler	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi Tesis Şefi	30 Ara 2021	Devam ediyor	Tutanaklar tutularak personellerin savunmaları istenmiştir.	Tez süreci	7	8	4		Yüksek	
							2	8	4		Orta	
							8	8	3		Yüksek	
Meslek standardında yer alan yükümlülüklerin yerine getirilmediği gerekçesiyle tutanak tutulmuştur. Operatörlerin üretim ve enerji verimliliği üzerindeki etkilerine ve ünitadaki rollerine yönelik önemin vurgulandığı bilgilendirme eğitimi düzenlenmiştir.	Formen ve vardiya mühendisi tarafından yapılan gözlemler ve habersiz denetimler	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi Tesis Şefi	30 Ara 2021	Devam ediyor	Tutanaklar tutularak personellerin savunmaları istenmiştir.	Tez süreci	9	8	3		Yüksek	
							9	7	3		Yüksek	
							7	6	2		Orta	
							7	6	2		Orta	
*Operatörlerin tekrarladıkları hatalara karşı farkındalık kazandırılması. *Tesisin ve ünitenin işleyişine yönelik bilgilendirilmesi ve eğitim verilmesi. Farklı türde çevre beslenmesi halinde proseste oluşabilecek hatalara karşı hazırlıklı olunması. Prosesin dikkatli takip edilmesi.	*Operatörlerin bilgilendirilmesi *Eğitim sonrası sonrası personel üzerinde gözlem yapılması. *Tecrübesiz operatörlerin çalışması esnasında tecrübeli operatörler ve formen tarafından gözlemlenmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30 Ara 2021	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi	Tez süreci	9	7	3		Yüksek	

Ek 5. Bunker ve Titreşimli Besleyici - FMEA No 2

Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		2		Başlama Tarihi		Tez süreci				
Bölüm Adı		BUNKER VE TİTREŞİMLİ BESLEYİCİ		Proses Sorumlusu				Revizyon No						
				Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021				
PFMEA Ekibi		Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni						Hazırlayan		Ecem BULAT				
X.A.Ş. PFMEA Formu														
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)					
1.Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3.Proses iş elemanları (4M)	1.Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adımının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Sıklık (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)
Bunker ve Titreşimli Besleyici	Bunker haznesi	Operatör Cevher	Bunker: Stok sahasından gelen cevherin kırıcıya beslenmeden önce biriktirildiği hazne	Stok sahasından gelen cevheri kırıcılara ulaştırılmak üzere geçici olarak depolar	Operatör: Stok sahasındaki cevherin bunkere boşaltılmasının kontrolünü yapar.	*Bunker içi ve yanlarının aşınması zamanla bunker haznesine zarar vermekle beraber bu kısımlardan cevher dökmeleri olur. Temizliği için ekstra işgücü kaybı oluşur. *Aşınan kısımlar fark edilmediği ve büyüdüğünde hatayı gidermek için gerekli süre uzar	2	*Bunker içi ve yanlarının aşınması: *Aşınmaya bağlı yıpranma	Kırma işlemi öncesinde bunkerin kontrol edilmemesi/ gözden kaçırılması	Kırma işlemi öncesinde ve sonrasında bunker haznesinin kontrol edilmesi	7	Operatörün yaptığı kontrollerin sıklığının denetlenmesi	5	Orta
					Cevher: Kırılmak üzere bunkere beslenen tüvenen.		3		Cevherin aşındırıcı yapısı nedeniyle bunker zamanla delinir		8	Rutin kontrollerin yapılması	5	Yüksek
		Operatör Cevher Çevre		Akışın düzenli şekilde akmasını ve çeneli kırıcıya beslenmesini sağlar.	Operatör: *Çalışma esnasında bunkerdan besleyiciye düzenli cevher ilave edip etmediğini kontrol eder. *Cevherin beslenmesine engel olan tıkanıklığı giderir.	*Tıkanıklık olmaması için besleme az yapılsa kapasitenin altında çalışılmış olur. *Besleme fazla olursa tıkanıklık oluşma ihtimali artar.	8		Operatörün beslemeyi düzensiz yapması	Tecrübeli operatörler ile tecrübesiz operatörlerin aynı vardiya birlikte çalışmaları ve tecrübesiz operatörlerin yetiştirilmesi	8	Operatörün besleme yaparken formeni tarafından gözlemlenmesi, olası besleme hatalarının çalışma esnasında tespiti.	2	Yüksek
					Cevher: Kırılmak üzere bunkere beslenen tüvenen.	*Kısa sürede giderilebilecek bir tıkanıklık ise, besleme kesileceğinden makinalar kısa süreli kapasitesinin altında boşa çalışmış olur. *Uzun sürede giderilebilecek bir tıkanıklık ise, besleme yapılamadığından ünite durdurulur. Bu süreçte siloda yeterli cevher yoksa Öğütme Ünitesinin durmasını gerektirir.	9	*Bunkerin tıkanması: *Tıkanıklığa bağlı besleme kesintisi ve/veya beslemenin durması	*Beslenen cevherin yapısından (kıllı yapıda olması) ve ıslak/nemli olmasından dolayı ortaya çıkan hata *Bunker haznesinin yüzeyine yapışan ve kaplanan cevherin besleme akıcılığının kesilmesi *Yabancı maddelerden dolayı akıcılığın engellenmesi	*Cevherin kuru beslenilmesi *Yabancı maddelerin önceden fark edilerek ayrılması	6	Cevher yapısına göre oluşan tıkanma sıklığının gözlenmesi. Yabancı maddelerin cevherde görülme sıklığının kontrolü	2	Yüksek
					Cevher: İklim koşulları (yağmur, kar)		7		*İklim koşulları nedeniyle ıslak/nemli şekilde bunkere beslenmesi *Cevherin bulunduğu ortamdaki suyun tahliye edilmemesi / yağışa maruz kalması	Stok sahasına korunaklı bir yer yapılması	5	Beslenen cevherin içindeki yabancı miktarının gözlenmesi	5	Yüksek

Ek 5. (Devamı)

X A Ş		X A Ş. PFMEA Formu									
Müşteri	KIRMA ELEME ÜNİTESİ	FMEA No	2	Başlama Tarihi	Tez süreci						
Bölüm Adı	BUNKER VE TİTREŞİMLİ BESLEYİCİ	Proses Sorumlusu		Revizyon No							
		Gizlilik Derecesi	Normal	Revizyon Tarihi	30 Ara 2021						
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni				Hazırlayan	Ecem BULAT					
Optimización (6. adım)											
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Özel karakteristikler	Açıklama
* Operatörün oluşan hataya yönelik bilgilendirilmesi *Bunkerin sıklıkla aşınan bölgelerinin operatörler tarafından daha dikkatli şekilde kontrol edilmesinin sağlanması	*Operatörlerin iş takibinin yapılması	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30 Ara 2021	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	2	6	5		Orta
*Operatörün tekrarladıkları hatalara, cevherin yapısına, besleme şekline yönelik bilgilendirilmesi ve eğitim verilmesi. Farklı türde cevher beslenmesi halinde proseste oluşabilecek hatalara karşı hazırlıklı olunması. Prosesin dikkatli takip edilmesi.	*Operatörlerin bilinçlendirilmesi Eğitim sonrası sonrası personel üzerinde gözlem yapılması. *Tecrübesiz operatörlerin çalışması esnasında tecrübeli operatörler ve formen tarafından gözlemlenmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30 Ara 2021	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	7	6	2		Orta

Ek 5. Bunker ve Titreşimli Besleyici - FMEA No 2

X.A.Ş. PFMEA Formu																
Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ			FMEA No		2		Başlama Tarihi			Taz süreci				
Bölüm Adı		BUNKER VE TİTREŞİMLİ BESLEYİCİ			Proses Sorumlusu					Revizyon No						
					Günlük Derecesi		Normal			Revizyon Tarihi			30 Ara 2021			
PFMEA Elibi		Taz Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formanı									Hazırlayan			Ecem BULAT		
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)				Hata Analizi (4. adım)				Risk Analizi (5. adım)					
1. Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3. Proses iş elemanları (4M)	1. Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adınının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Ölçülebilir (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Alçıyon önceliği (AP)		
Bunker ve Titreşimli Besleyici	Titreşimli besleyici	Operatör Cevher	Bunker: Stok sahasından gelen cevherin kırıcıya beslenmeden önceki biriktirildiği hazne	Çeneli kırıcıya 90 mm'den büyük cevherin beslenmesi için cevherin ayrılması ve küçük boyuttaki cevherin şuta gönderilmesi	Operatör: *Çalışma esnasında titreşimli besleyiciden kırıcılara düzenli cevher besler. *Cevherin beslenmesine engel olan tıkanıklığı giderir.	Besleyicinin ızgaraları aşındığında ızgara altına büyük boyutlu cevherin geçişi olur. Bu durum kırıcıların yükünü artırır.	7	Titreşimli besleyicinin aşınması ve tıkanması	Kırma işlemi öncesi titreşimli besleyicinin ızgara aralıklarının kontrol edilmemesi ve düzenli besleme yapılmaması	Kırma işlemi öncesi ve sonrasında açıklık ayarı kontrolünün yapılması	6	Operatörün besleme yaparken formeni tarafından gözlemlenmesi, olası besleme hatalarının çalışma esnasında tespiti.	3	Yüksek		
			Titreşimli Besleyici: Bunkerde biriken cevherin çeneli kırıcıya akıcı şekilde beslenmesini sağlayan endüstriyel ekipman		Cevher: Kırılmak üzere bunkere beslenen tüvenan.	Tıkanması halinde besleme kesileceğinden üretimde aksamalar olur.	Aşınmaya bağlı yıpranma	7	Tıkanıklığa bağlı besleme kesintisi ve/veya beslemenin durması	Cevherin aşındırıcı yapısı nedeniyle zamanla elek aralıkları açılır ve elek ızgaraları aşınır. ızgara aralıklarına cevher sıkışarak küçük boyutlu cevherlerin ayrılması engel olur.	Aşının kısımların tespiti ve besleyicinin değiştirilmesi	5	Rutin kontrollerin yapılması	3	Yüksek	
Bunker ve Titreşimli Besleyici	Titreşim motoruna bağlı elektrik motoru (Vibromotor)	Operatör Makine Çevre	Titreşim Motoru: Titreşimli besleyicinin titreşim hareketini sağlar	Titreşimli besleyicinin titreşim hareketini yapmasını sağlamak için elektrik enerjisinin gücünü eksantrik ağırlıklara iletir.	Operatör : Elektrik motorunun çalışması ve kontrolü	* Titreşim motoru arızalandığında besleme akıcılığı durur ve besleme kesilir. Arıza kısa sürede giderilemezse çeneli kırıcıya yeterli kapasitede cevher beslemesi yapılamaz. Titreşim olmayınca üst üste beslenen cevherler tıkanıklık oluşturur. Bu durumda ünite durdurulur. *Aşırı yüklenme yapılması sonucu motorun ısınır ve arızalanır	9	Elektriksel ve mekaniksel arıza	*Kırma işlemi öncesi kontrol etmemesi, periyodik bakımların aksatılması *Aşırı yüklenme yapılması *Motorun soğutma fanının kontrol edilmemesi	Kırma işlemi öncesinde ve esnasında elektrik motorunun kontrol edilmesi	3	Motor sıcaklığının ölçülmesinin yapılması. Çalışması esnasında soğutma fanından hava çıkıp çıkmadığının kontrol edilmesi	2	Orta		
					Cevre: Çalışma ortamında toz olması	Ortamdaki toz nedeniyle elektrik motoru soğutma fan toz ile kaplanır ve motor ısınır.	9		*Toz ve kir nedeniyle motorun hava alamaması ısınmadan kaynaklı izolasyon zayıflaması *Motor yüzeyinin ve dönen yük yüzeyinin kirli, tozlu olması motorlarda vibrasyona ve rulman hasarlarına neden olur.	Toz oluşumunun azaltılması	2	Motor üzerindeki toz miktarının gözlenmesi	2	Düşük		
Bunker ve Titreşimli Besleyici	Kayış	Operatör Cevher Kayış	Kayış-kasnak mekanizması: İki mil üzerine monte edilen silindirik yapıtı kasnaklar ve bu elemanlara sarılan bükülebilir bir elastik elemandan (kayış) oluşan, dönme hızı ve moment dönüşümünü sağlayan mekanizma	Titreşimli besleyicinin vibromotoru ile eş zamanlı çalışarak titreşim hareketini oluşturur	Operatör: Makinelerin kayış kontrolünü yapmak		6	*Aşınmaya bağlı yıpranma *Yıpranmaya bağlı olarak besleme kesintisi ve/veya beslemenin durması	Kırma işlemi öncesinde kayışların kontrol edilmemesi/ göden kaçırılması	Kırma işlemi öncesi, esnasında ve sonrasında kontrol edilmesi	7	Operatörün yaptığı kontrollerin sıklığının denetlenmesi	5	Yüksek		
					Cevher: Kırılmak üzere bunkere beslenen tüvenan.	Titreşim sağlanmadığında titreşimli elek yeterince hareket üretmez. Titreşimli besleme ve ızgaralardan ayırma işlemi yeterince yapılamaz. Çok düşük kapasitede çalışılır.	6		*Kayış arasına cevher sıçrayarak sıkışması	* Kırılmak üzere bunkere beslenen tüvenanın sıçraması ve kayış arasına girmesi	8	*Cevher sıçradığı fark edildiğinde, beslemenin durdurularak kayış arasından alınması	4	Yüksek		
					Kayış: Elektrik motorundan alınan hareket gücünü vibromotora iletir		5		*Kayışın aşınması ve kopması	Kontrol sonrası ihtiyaç durumuna göre kayışın yenilenmesi	6	Kayışın kontrol edilmesi	3	Orta		

Ek 5. (Devamı)

X A Ş		X A Ş PFMEA Formu									
Müşteri	KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		2 <th colspan="2">Başlama Tarihi</th> <td colspan="3">Tez süreci</td>	Başlama Tarihi		Tez süreci			
Bölüm Adı	BUNKER VE TİTREŞİMLİ BESLEYİCİ	Proses Sorumlusu					Revizyon No				
		Gizlilik Derecesi		Normal			Revizyon Tarihi		30 Ara 2021		
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni					Hazırlayan		Ecem BULAT			
Optimization (6. adım)											
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Sıddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Özel karakteristikler	Açıklama
*Her vardiya kırma işlemi öncesinde ızgara aralıklarının kontrol edilmesi *Besleme esnasında tıkanıklığa sebebiyet verecek parçaların temizlenmesi.	Formen tarafından ekipman ve makinaların genel kontrolü	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	5	5	3		Orta
Operatörün oluşan hataya yönelik bilgilendirilmesi, periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitimi verilmesi	Periyodik kontrollerin denetlenmesi	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	9	2	2		Düşük
Operatörün oluşan hataya yönelik bilgilendirilmesi, periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitimi verilmesi	Periyodik kontrollerin denetlenmesi	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	6	6	5		Yüksek

Ek 6. Primer Çeneli Kırıcı -FMEA No 3

X A.Ş.		X A.Ş. PFMEA Formu											
Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		3		Başlama Tarihi		Tez süreci			
Bölüm Adı		PRİMER ÇENELİ KIRICI		Proses Sorumlusu				Revizyon No					
				Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021			
PFMEA Ekibi		Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formanı						Hamlayan		Ecem BULAT			
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)				
1.Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3.Proses iş elemanları (4M)	1.Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adımının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Sıklık (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/DC	Aksiyon önceliği (AP)
Primer Çeneli Kırıcı	Primer çeneli kırıcı	Operatör Cevher Çevre	Primer Kırıcı: Cevheri ön kırma işlemi yaparak,titreşimli eleğe uygun tane boyut aralığına getirir Titreşimli Elek: Primer kırıcıdan gelen cevherin, sekonder ve tersiyer kırıcılara uygun boyut aralığında beslenmesi üzere cevherin elenmesi ve ayrılması işlemini yapar. Şut: Kırıcıdan çıkan cevherin döküldüğü hazne	Titreşimli eleğe gönderilecek büyük boyutlu (+90 mm) cevherlerin kırılarak boyutlarının küçültülmesi	Operatör: Çeneli kırıcıda cevherin beslenmesini ve üretimin sürekliliğini sağlar	Tıkanıklık olmaması için besleme az yapılırsa kapasitenin altında çalışılmış olur. Besleme fazla olursa tıkanıklık oluşma ihtimali artar.Tıkanıklık olunca hata giderilene dek geçen süreçte makinalar boşa çalışmış olur. Hatanın uzun sürmesi halinde ünite durdurulduğundan dolayı üretim durur.	7	*Kırıcı içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanması	Operatörün beslemeyi düzensiz yapması	Tecrübeli operatörler ile tecrübesiz operatörlerin aynı vardiya birlikte çalışmaları ve tecrübesiz operatörlerin yetiştirilmesi	Operatörün besleme yaparken formeni tarafından gözlemlenmesi, çalışma esnasında oluşan hataların tespiti.	7	Yüksek
					Cevher: Kırılmak üzere çeneli kırıcıya beslenen tüvenan.	Kırıcının iç yüzeyine kaplanan cevher nedeniyle kırma işleminde zorluk yaşanması ve kapasitenin altında çalışılması *Yabancı maddeler nedeniyle cevher akışının engellenmesi	7	*Tıkanıklığa bağlı besleme kesintisi ve/veya beslemenin durması	*Cevherin doğası gereği kırıllı yapısı ve yeraltından çıkarılan cevherin ıslak olması *cevher içinde yabancı maddelerin bulunması	Cevherin kuru beslenilmesi *Yabancı maddelerin önceden fark edilerek ayrılması	Cevher yapısına göre oluşan tıkanma sıklığının gözlenmesi. *Yabancı maddelerin cevherde görülme sıklığının kontrolü	7	Yüksek
					Çevre: İklim koşulları (yağmur, kar)	Nakliye sırasında veya stok sahasında üzeri açıkta kalan cevherin yağmur, kar vb. hava durumlarından etkilenmesi	6		İklim koşulları nedeniyle cevherin ıslak/nemli beslenmesi durumunda kalınması	Nakliye yapılan ve stok sahasında depolanan cevherin üzeri kapatılabilir.	Tıkanma sıklığının gözden geçirilmesi	5	Yüksek
Primer Çeneli Kırıcı	Astar	Operatör Cevher	Astar: Kırıcının zarar görmemesi için kırıcı içine takılan, aşınması halinde değiştirilen parçalar	Kırıcı iç yüzeyinin aşınması ve zarar görmesini engeller	Operatör: Kırma işlemini yapan makinelerin astar değişimi ve bakımından sorumludur	Astarlar zamanla aşınarak kırıcıya zarar verir. Astarlar aşındığında kırma işlemi sonucu istenen boyut aralığında kırma işlemi yapılamaz. Yabancı maddelerden dolayı aşınma gerçekleştiğinde plan dışı duruş olur ve astar değişimi gereksinimi doğar.	6	Cevher ve yabancı maddelerden dolayı aşınmaya bağlı yıpranma	Astarların kontrolünün belirlenen periyotta yapılmaması.	Operatörün proses koşullarına, cevher yapısına karşı bilgilendirilmesi ve periyodik kontrollerin düzenli yapılması	Aşınabilecek kısımların kontrolü	7	Yüksek
					Cevher: Kırılmak üzere bunkere beslenen tüvenan.		7		Cevherin sert yapısından dolayı kırıcının astarı aşınır *Cevherin içinde gelen yabancı maddelerden dolayı belirlenen periyottan hızlı aşınır	Cevherin içindeki yabancı maddelerin önceden fark edilerek ayrılması	Aşınmanın sıklıkla olduğu bölgelerin dikkatlice kontrol edilmesi	7	Yüksek

Ek 6. (Devamı)

X A.Ş.		X A.Ş. PFMEA Formu									
Müşteri	KIRMA ELEME ÜNİTESİ	FMEA No		3	Başlama Tarihi		Tez süreci				
Bölüm Adı	PRİMER ÇENELİ KIRICI	Proses Sorumlusu			Revizyon No						
		Gizlilik Derecesi		Normal	Revizyon Tarihi		30 Ara 2021				
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kıрма Eleme Ünitesi Formeni					Hazırlayan		Ecem BULAT			
Optimization (6. adımı)											
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Sapıtma (D)	Özel karakteristikler	Açıklama
Operatörün hatalarına yönelik bilinçlendirme eğitimi yapılması. Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiya tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	7	6	5		Yüksek
Tıkanıklığın oluşturaacağı üretim kaybı ile birlikte,plan dışı astar değişimine neden olabilecek iş gücü ve maddi kayıplara karşı farkındalık oluşturularak, operatörlerin besleme yapılırken dikkatle işlerine odaklanması hususunda bilinçlendirme eğitiminin yapılması	Hangi vardiya ne sıklıkla hataların tekrarlandığının tespiti	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	6	6	5		Yüksek

Ek 6. Primer Çeneli Kırıcı - FMEA No 3

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu												
Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		3		Başlama Tarihi		Tez süreci				
Bölüm Adı		PRİMER ÇENELİ KIRICI		Proses Sorumlusu				Revizyon No						
				Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021				
PFMEA Ekibi		Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni						Hazırlayan		Ecem BULAT				
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)					
1.Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3.Proses iş elemanları (4M)	1.Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adınının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Olaanlık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Aktyon önceliği (AP)
Primer Çeneli Kırıcı	Plaka vidaları- Ağır takozları- Astar civataları	Operatör Cevher	Plaka vidaları: Çeneli kırıcının plakalarına takılan vidalar. Ağır takozları : Çeneli kırıcının dengeli kalması için kullanılan parçalar Astar civatası: Çeneli kırıcının iç kısmında bulunan astarların bağlandığı vidalar.	Kırıcı iç yüzeyinin cevherden kaynaklı aşınmasına karşı korunmasını sağlayan parçalarının yerinde durmasını sağlar	Operatör: Titreşim nedeniyle gevşeyen civataların vidaların sıkılması Cevher: Kırılmak üzere çeneli kırıcıya beslenen tüvenan.	Zamanla gevşeyen civatalar kontrol edilmediğinde astarlar düşer ve kırıcıya zarar verir. Civataları sıkamak kısa süreli bir çözümken astarların düşmesi halinde kırıcı için ayrılacak bakım süresi uzar. Bu süreçte üretim durur. Silolar yeterince dolu değilse Öğütme Ünitesi durmak zorunda kalır	4	Titreşim ve aşınmaya bağlı yıpranma	Astar değişimi sonrası gevşeyen parçaların kırma işlemi öncesi kontrol edilmemesi/ gözden kaçırılması Cevherin sert yapısından ve titreşimden dolayı astar civatalarının gevşemesi	Operatörlerin rutin kontrolleri düzenli yapmaları gereklidir. Özellikle astar değişimi sonrası ilk bir iki hafta sıkı takip edilmelidir.	7	Kırma işlemi öncesinde astar ve vidalarının kontrolü	6	Yüksek
							5							
Primer Çeneli Kırıcı	Kırıcının açıklık ayarı	Operatör Cevher	Kırıcı açıklık ayarı : Kırıcının istenen tane boyut aralığında cevher kırabilmesine için yapılan ayar	Çeneli kırıcıda kırılarak, titreşimli elek ve diğer kırıcılara gidecek olan cevherin miktarının belirlenmesi	Operatör: Kırıcının açıklık ayarının kontrolünü ve ayarlamasını yapmak Cevher: Kırılmak üzere çeneli kırıcıya beslenen tüvenan.	Kırma işlemi sonucu ve titreşimin etkisiyle aşınan ve açılan ayar kısmı fazla açılırsa, prosese fazla kırılmadan istenenden daha büyük boyutlu cevher gitmesi nedeniyle kapasitenin üstünde malzeme beslemesine neden olur. *Açıklık mesafesi az olduğunda ise çeneli kırıcı istenen boyut aralığından daha küçük boyuta kırar, kapasitein altında çalışmış olur. Ayrıca astarlar daha kısa sürede aşınır.	3	*Aşınmaya bağlı yıpranma *Açıklık ayarına bağlı olarak kapasitenin üstünde veya altında çalışması	Açıklık ayarı kontrolünün yapılmaması	Kırma işlemi öncesi açıklık mesafesinin kontrol edilmesi	6	Açıklık ayarı kontrolünün yapılması	6	Yüksek
							4		Aşındırıcı sıklığının kontrol edilmesi					
Primer Çeneli Kırıcı	Elektrik motoru	Operatör Cevher	Elektrik motoru: Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.	Elektrik motorundan aldığı hareketi çeneli kırıcı kayışına aktarır ve çalışmasını sağlar	Operatör: Elektrik motorunun çalışması ve kontrolü Cevher: Kırılmak üzere çeneli kırıcıya beslenen tüvenan.	Çeneli kırıcı çalıştırılmaz ve üretim durur	6	Elektriksel ve mekaniksel arıza	*Kırma işlemi öncesi kontrol edilmemesi * Motorun soğutma fanının kontrol edilmemesi	Kırma işlemi öncesinde ve esnasında elektrik motorunun kontrol edilmesi	2	Tesis devreye alındığında besleme başlatılmadan önce motorun kontrol edilmesi	1	Düşük
						Ortamdaki toz nedeniyle elektrik motoru soğutma fan toz ile kaplanır ve motor ısınır.	7			Toz oluşumunun azaltılması	3	1		

Ek 6. (Devamı)

X A.Ş.		X A.Ş. PFMEA Formu										
Müşteri	KIRMA ELEME ÜNİTESİ	FMEA No	3	Başlama Tarihi	Tez süreci							
Bölüm Adı	PRİMER ÇENELİ KIRICI	Proses Sorumlusu		Revizyon No								
		Gizlilik Derecesi	Normal	Revizyon Tarihi	30 Ara 2021							
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kıрма Eleme Ünitesi Formeni				Hazırlayan	Ecem BULAT						
Optimization (6. adım)												
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Özel karakteristikler	Aksiyon önceliği (AP)	Açıklama
Basit ve kısa süreli önlemler alınması ile, üretim ve iş gücü kaybının önüne geçilebilmesine yönelik bilinçlendirme eğitimlerinin yapılması.	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	4	6	6		Yüksek	
Operatörlere periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitimi verilmesi	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	3	5	7		Yüksek	

Ek 7. Titreşimli Elek - FMEA No 4

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu												
Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		4		Başlama Tarihi		Tez süreci				
Bölüm Adı		TİTREŞİMLİ ELEK		Proses Sorumlusu				Revizyon No						
PFMEA Ekibi		Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni		Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021				
								Hazırlayan		Ecem BULAT				
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)					
1. Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3. Proses iş elemanları (4M)	1. Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçasının ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adımının ve ürün karakteristiklerini n fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Siddet (S)-FE	2. Odak parçasının Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC-FM	Akışın önceliği (AP)
Titreşimli Elek	Elek içi ve şutu	Operatör Cevher	Titreşimli Elek: Primer, sekonder ve tersiyer kırıcılardan kırıcıdan gelen cevherin, uygun boyut aralığında elenmesi ve siloya gönderilecek cevherin ayrılması işlemini yapar. Mıknatıs: Titreşimli eleğe giriş ve çıkışlarda konveyör bant üzerinde bulunan, metal parçaların ayrılmasını sağlar aşınma ve tıkanmaları engellemesi Şut : Titreşimli elekten elendikten sonra çıkan cevherin döküldüğü hazne	Üretimde beklenen boyut aralığındaki cevherin siloya gönderilmek üzere ayrılmasını, büyük boyuttaki cevherin ise sekonder ve tersiyer kırıcılarda kırılması işlevini yürütür.	Operatör: Kırma eleme işlemini yapan makinaların kontrolünden sorumludur	Eleğin ve şutlarının cevher ve/veya yabancı maddeler ile tıkanması akışa engel olur. Elekten elenen cevher sekonder ve tersiyer kırıcılara yetersiz beslenir ve/veya beslenemez. Bu durumda makineler/kapasitesinin altında çalışmış olur. Ayrıca uzun süreli giderilebilecek tıkanıklıklarda ünite durdurulacağından üretim durur. *Elek şutların aşınması durumunda zamanla bu bölgeden cevher döküntüleri olur ve aşınan parça büyüdüğüce onarılması için geçen süre uzar.	8	Elek içinin ve şutunun cevher ve yabancı maddeler ile tıkanmasına bağlı besleme kesintisi ve/veya beslemenin durması	Operatörün beslemeyi düzenli yapmaması. Operatörün mıknatıs üzerinde biriken parçaları zamanında toplamaması halinde bant üzerinden geçen parçaların mıknatısa tutunmaması ve ayrılmaması. Bariz belli olan plastik gibi büyük parçalı maddelerin alınmaması/ gözden kaçırılması.	Operatörün besleme yaparken formeni tarafından gözlemlenmesi, hatalarının tespiti. Ardından operatörün hatalarla ilgili bilgilendirilmesi	7	Operatörlerin proses akışına uygun şekilde tecrübeli personel veya formeni tarafından takibi	5	Yüksek
					Cevher: Elenmek üzere kırıcılardan gelen tüvenan.		Cevherin kuru beslenilmesi * Yabancı maddelerin önceden fark edilerek ayrılması		7					
Titreşimli Elek	Elek	Operatör Cevher Yabancı Maddeler	Titreşimli Elek: Primer, sekonder ve tersiyer kırıcılardan kırıcıdan gelen cevherin, uygun boyut aralığında elenmesi ve siloya gönderilecek cevherin ayrılması işlemini yapar.	Üretimde beklenen boyut aralığındaki cevherin siloya gönderilmek üzere ayrılmasını, büyük boyuttaki cevherin ise sekonder ve tersiyer kırıcılarda kırılması işlevini yürütür.	Operatör: Kırma eleme işlemini yapan makinaların kontrolünden sorumludur	Elek yüzeyi ve elek içinin aşınması, zamanla eleğin kendinde aşınmalara neden olur. Üst eleğin altına büyük boyutlu (+25mm) cevher geçtiğinde tersiyer kırıcıya (-25mm +12mm) kapasite üstünde cevher beslenir. Bu durumda bir süre sonra alt elek aşınır ve siloya istenenden daha büyük boyutlu cevher gider. Öğütme ünitesi olumsuz etkilenir.	6	Elek içinin ve şutunun cevher ile aşınmasına bağlı yıpranma	*Aşınan kısımların periyodik kontrollerde gözen kaçması veya ertelenmesi *Elek yüzeyinde oluşan yırtılmaların üretim esnasında fark edilmemesi nedeniyle siloya büyük boyutlu cevher beslenmesi	Üretim esnasında kırılan ve elenen cevher boyutlarının takibi	7	Formen tarafından proses kontrolünün yapılması	4	Yüksek
					Cevher: Elenmek üzere kırıcılardan gelen tüvenan.	6	Mıknatıslarda biriken yabancı maddelerin kırma işlemi öncesi ve sonrasında kontrolünün yapılması		7					
Titreşimli Elek	Kayış	Operatör Cevher Kayış	Kayış-kısnak mekanizması; iki mil üzerine monte edilen silindirik yapıtlı kasnaklar ve bu elemanlara sarılan bükülebilir bir elastik elemandan (kayış) oluşan, dönme hızı ve moment dönüşümünü sağlayan mekanizma	Titreşimli eleğin titreşim hareketini sağlar.	Operatör: Kayışların kontrolünü yapmak	Kayış kopmuşunda ve titreşim sağlanmadığında titreşimli elek eleme yapamaz ve düşük kapasitede çalışır. *Kırıcılardan gelen cevherler elek içinde birikir ve tıkanıklık oluşturur. *Kayış aşındığında veya kopmuşunda besleme kesilerek üretim durdurulur. Bu süreçte elek değişimi yapılırken kırıcılar boşta çalışmış olur.	7	*Aşınmaya bağlı yıpranma *Yıpranmaya bağlı olarak besleme kesintisi ve/veya beslemenin durması	Kırma işlemi öncesinde kayışların kontrol edilmemesi/ gözden kaçırılması	Kırma işlemi öncesi, esnasında ve sonrasında kontrol edilmesi	7	Operatörün yaptığı kontrollerin sıklığının denetlenmesi	5	Yüksek
					Cevher: Elenmek üzere kırıcılardan gelen tüvenan.	6	*Kayış arasına cevher sıçrayarak sıkışması		8	*Cevher sıçradığı fark edildiğinde, beslemenin durdurularak kayış arasından alınması				
					Kayış: Elektrik motorundan alınan gücü titreşimli eleğe iletir.	5	*Kayışın aşınması ve kopması		7	Kayışın kontrol edilmesi	3			

Ek 7. (Devamı)

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu										
Ünite Adı	KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No	4		Başlama Tarihi	Tez süreci					
Bölüm Adı	TİTREŞİMLİ ELEK		Proses Sorumlusu			Revizyon No						
			Gizlilik Derecesi	Normal		Revizyon Tarihi	30 Ara 2021					
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni					Hazırlayan	Ecem BULAT					
Optimization (6. adım)												
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Siddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Özel karakteristikler	Aksiyon önceliği (AP)	Açıklama
Operatörlerin proses akışına uygun şekilde tecrübeli personel veya formeni tarafından takibine ek olarak eğitim verilmesi. Operatörlerin cevher yapısına yönelik bilgilendirilmesi. Farklı cevher beslenmesi halinde proseste oluşabilecek hatalara karşı hazırlıklı olması. Prosesin dikkatli takip edilmesi.	Tekrarlanan hatanın üretim üzerindeki olumsuz etkileri hakkında farkındalık/ bilinçlendirme çalışması yapılması	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	7	6	5		Yüksek	
Ünitede oluşan hatalar ile proseste etkilerine ve hataların kısa sürede giderilmesi ile iş gücü kayıplarının azaltılmasına yönelik farkındalığın artırılması	Formen tarafından operatörleri takibi	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	4	7	4		Yüksek	
Operatörün oluşan hataya yönelik bilgilendirilmesi, periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitimi verilmesi	Periyodik kontrollerin denetlenmesi	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	7	6	5		Yüksek	

Ek 8. Sekonder Darbeli ve Tersiyer Kırıcı - FMEA No 5

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu												
Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		5		Başlama Tarihi		Tez süreci				
Bölüm Adı		SEKONDER DARBELİ VE TERSİYER KIRICI		Proses Sorumlusu				Revizyon No						
				Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021				
PFMEA Ekibi		Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni						Hazırlayan		Ecem BULAT				
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)					
1.Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3.Proses iş elemanları (4M)	1.Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu, (sayısal değer opsiyonel)	2. Proses adının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Siddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)
Darbeli Sekonder ve Tersiyer Kırıcı	Darbeli Sekonder ve Tersiyer Kırıcı	Operatör Cevher	Sekonder Kırıcı: Titreşimli elekte elendikten sonra 25 mm üstünde kalan(+25mm) cevherleri kırarak kırıcı Tersiyer kırıcı: Titreşimli elekte elenerek 25 mm ile 12 mm boyutları(-25 mm +12mm) aralığında cevher kırarak kırıcı Şut : Kırıcıdan kırılarak ve/veya Titreşimli elekten elendikten sonra çıkan cevherin döktüğü hazne	Sekonder ve Tersiyer Kırıcılarda kırılan cevherin titreşimli eleğe gönderilmesi	Operatör: Sekonder ve Tersiyer kırıcılara cevherin beslenmesini ve üretimin sürekliliğini sağlar	Tıkanıklık olmaması için besleme az yapılırsa kapasitenin altında çalışılmış olur. Besleme fazla olursa tıkanıklık oluşma ihtimali artar.Tıkanıklık olunca hata giderilene dek geçen süreçte makinalar boşa çalışmış olur. Hatanın uzun sürmesi halinde ünite durdurulur dolayısıyla üretim durur.	7	*Kırıcıların ilerinin ve şutunun cevher ile tıkanması *Tıkanıklığa bağlı olarak ünitenin durması	Operatörün beslemeyi düzensiz yapması	Operatörlerin farklı cevherlerle ve özellikle de ıslak cevherle çalışırken daha dikkatli besleme yapılması	7	Tıkanma sıklığının gözden geçirilmesi	5	Yüksek
					Cevher: Kırılmak üzere kırıcıya beslenen tüvenan.	Kırıcının iç yüzeyine kaplanan cevher nedeniyle kırma işleminde zorluk yaşanması ve kapasitenin altında çalışılması *Yabancı maddeler nedeniyle cevher akışının engellenmesi	8		*Cevherin doğası gereği kilitli yapısı ve yeraltından çıkarılan cevherin ıslak olması *cevher içinde yabancı maddelerin bulunması	Cevherin kuru beslenmesi + Yabancı maddelerin önceden fark edilerek ayrılması	7	Cevher yapısına göre oluşan tıkanma sıklığının gözlenmesi. Yabancı maddelerin cevherde görülme sıklığının kontrolü	5	Yüksek
Sekonder ve Tersiyer Kırıcı	Astar ve çekici	Operatör Cevher	Astar ve çekici: Kırıcının zarar görmemesi için kırıcı içine takılan, aşınması halinde değiştirilen parçalar	Kırıcı iç yüzeyinin cevherden kaynaklı aşınmasına karşı korunmasını sağlar	Operatör: Kırıcıların astar ve çekicilerinin kontrolünü ve değişimini yapar	*Astarlar zamanla aşınarak kırıcıya zarar verir. *Astarlar aşındığında kırma işlemi sonucu istenen boyut aralığında kırma işlemi yapılamaz. Titreşimli eleğin eleme yükü artar. Kırıcıların kırma yükü artar	7	Astar ve çekicilerin aşınmasına bağlı yıpranma	Astarların kontrolünün belirlenen periyotta yapılmaması.	Operatörün proses koşullarına, cevher yapısına karşı bilgilendirilmesi ve periyodik kontrollerin düzenli yapılması	7	Aşınma sıklığının ve hangi bölgelerde fazla olduğunun tespiti	6	Yüksek
					Cevher: Kırılmak üzere kırıcıya beslenen tüvenan.	Zamanla gevşeyen civatalar kontrol edilmediğinde astarlar düşer ve hızla çarpan cevherler kırıcıya zarar verir. Civataları sıkılamak kısa süreli bir çözümdür astarların düşmesi halinde kırıcı için ayrılmak bakım süresi uzar. Bu süreçte üretim durur. Silolar yeterince dolu değilse Öğütme Ünitesi durmak zorunda kalır.	7		Cevherin sert yapısından dolayı kırıcının astarı aşınır *cevherin içindeki yabancı maddelerden dolayı belirlenen periyottan hızlı aşınır	Cevherin içindeki yabancı maddelerin önceden fark edilerek ayrılması	7	Aşınmanın sıklıkla olduğu bölgelerin dikkatlice kontrol edilmesi	6	Yüksek
Sekonder ve Tersiyer Kırıcı	Astar civatalarının gevşemesi	Operatör Cevher	Astar civatası: Kırıcıyı darbelerle karşı koruyan astarların bağlandığı civatalar	Kırıcı iç yüzeyinin cevherden kaynaklı aşınmasına karşı korumasını sağlayan parçalarının yerinde durmasını sağlaması	Operatör: Kırıcıların astar ve çekici civatalarının kontrolünü ve değişimini yapar	Zamanla gevşeyen civatalar kontrol edilmediğinde astarlar düşer ve hızla çarpan cevherler kırıcıya zarar verir. Civataları sıkılamak kısa süreli bir çözümdür astarların düşmesi halinde kırıcı için ayrılmak bakım süresi uzar. Bu süreçte üretim durur. Silolar yeterince dolu değilse Öğütme Ünitesi durmak zorunda kalır.	6	*Astar civatalarının gevşemesi *Aşınmaya bağlı yıpranma / beslemenin durması	Kırıcı astar civatalarının kırma işlemi öncesi kontrol edilmemesi/ gözden kaçırılması	Operatörlerin rutin kontrolleri düzenli yapmaları gereklidir. Özellikle astar değişimi sonrası ilk bir iki hafta sıkı takip edilmelidir.	6	Vidaların gevşeme sıklığının gözden geçirilmesi.	3	Yüksek
					Cevher: Kırılmak üzere kırıcıya beslenen tüvenan.		7		Cevherin sert yapısından dolayı astarı aşınır *cevherin içindeki yabancı maddelerden dolayı belirlenen periyottan hızlı aşınır	Cevherin içindeki yabancı maddelerin önceden fark edilerek ayrılması	6	Aşınmanın sıklıkla olduğu bölgelerin dikkatlice kontrol edilmesi	3	Yüksek

Ek 8. (Devamı)

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu										
Ünite Adı	KIRMA ELEME ÜNİTESİ	FMEA No		4	Başlama Tarihi	Tez süreci						
Bölüm Adı	TİTREŞİMLİ ELEK	Proses Sorumlusu			Revizyon No <td></td>							
		Gizlilik Derecesi		Normal	Revizyon Tarihi	30 Ara 2021						
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kirma Eleme Ünitesi Formeni				Hazırlayan	Ecem BULAT						
Optimization (6. adım)												
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Özel karakteristikler	Aktiyon önceliği (AP)	Açıklama
Operatörün hatalarına yönelik bilinçlendirme eğitimi yapılması. Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiya tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi *Tıkanıklığın oluşturacağı üretim kaybı ve iş gücü kayıplarına karşı farkındalık oluşturularak, operatörlerin besleme yapılırken dikkatle işlerine odaklanması hususunda bilinçlendirme eğitiminin yapılması	Formenin besleme yaparken operatörü kontrol etmesi. Hatalarının tespiti	Kirma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	7	6	5		Yüksek	
Operatörün çevre yapısına yönelik bilgilendirilmesi. Farklı çevre beslenmesi halinde proseste oluşabilecek hatalara karşı hazırlıklı olması. Prosesin dikkatli takip edilmesi. *Plan dışı oluşan aşınmalarla astar değişimine neden olabilecek iş gücü ve maddi kayıplara karşı farkındalık oluşturularak, operatörlerin besleme yapılırken dikkatle işlerine odaklanması hususunda bilinçlendirme eğitiminin yapılması	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kirma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	7	6	6		Yüksek	
Sekonder ve Tersiyer kırıcıda oluşabilecek bir hatada müdahale süresi primer kırıcıya kıyasla daha fazla olacağından çalışanların proses ekipmanlarını yakından tanımaları gerekmektedir. Oluşabilecek hatalara yönelik bilgilendirme eğitimi verilmiştir.	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kirma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	5	6	3		Orta	

Ek 8. Sekonder Darbeli ve Tersiyer Kırıcı - FMEA No 5

X.A.Ş.			X.A.Ş. PFMEA Formu											
Ünite Adı			KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		5		Başlama Tarihi		Tez süreci			
Bölüm Adı			SEKONDER DARBELİ VE TERSİYER KIRICI		Proses Sorumlusu				Revizyon No					
					Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021			
PFMEA Ekibi			Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni						Hazırlayan		Ecem BULAT			
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)					
1.Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3.Proses iş elemanları (4M)	1.Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu, (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (FC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)
Sekonder ve Tersiyer Kırıcı	Kırıcının açıklık ayarı	Operatör Cevher	Kırıcı açıklık ayarı : Kırıcının istenen tane boyut aralığında cevher kırılabilmesine için yapılan ayar	Sekonder ve tersiyer kırıcıda kırılarak, titreşimli eleğe gidecek olan cevher miktarının belirlenmesi	Operatör: Kırıcının açıklık ayarının kontrolünü ve ayarlamasını yapmak	Kırma işlemi sonucu ve titreşimin etkisiyle aşınan ve açılan ayar kısmı fazla açılırsa, titreşimli eleğe fazla kırılmadan istenenden daha büyük boyutlu cevher gitmesi nedeniyle eleme yükünün artması * Açıklık mesafesi az olduğunda ise kırılan cevher boyutu daha küçük olur ve kapasitenin altında çalışmış olur. Ayrıca astarlar daha kısa sürede aşınırlar.	4	Aşınmaya bağlı yıpranma Açıklık ayarına bağlı olarak kapasitenin üstünde veya altında çalışılması	Açıklık ayarı kontrolünün yapılmaması	Kırma işlemi öncesi açıklık mesafesinin kontrol edilmesi	6	Açıklık ayarı kontrolünün yapılması	7	Yüksek
					Cevher: Kırılmak üzere kırıcıya beslenen tüvenan.		5		Cevherin aşındırıcı etkisi, titreşim ve astarların aşınması nedeniyle kırıcılar arasındaki açıklığın artması	Aşındırıcı sıklığının kontrol edilmesi	6		6	Yüksek
Sekonder ve Tersiyer Kırıcı	Rulman	Operatör Cevher	Elektrik motoru: elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir. Rulman: Elektrik motorundan alınan elektrik enerjisini kayış kasnak mekanizmasına ileterek kırıcı milinin hareketinin minimum sürtünme ile yapmasını sağlayan, daha az güç harcanarak, daha yüksek devirlere çıkabilmesine olanak sağlayan bir makine elemanıdır.	*Elektrik motorundan alınan elektrik enerjisini kayış kasnak mekanizmasına ileterek kırıcı milinin hareketinin minimum sürtünme ile yapmasını sağlar * Daha az güç harcanarak, daha yüksek devirlere çıkabilmesine olanak sağlar	Operatör: Kırıcı rulmanlarının temizlik ve bakımının kontrolü	Rulman arızalandığında kırıcının durdurulması gerektiğinden dolayı üretim durur.	6	Aşınmaya bağlı yıpranma	Rulmanların kestirimci bakımının (sıcaklık, temizlik, balans ayarının) kontrol edilmemesi sonucu rulman arızalarının oluşması	Kestirimci bakımların ihmal edilmemesi	5	Kırma işlemi öncesi ve esnasında rulmanların kontrol ve takibi	3	Orta
					Cevher, Toz: Kırılmak üzere kırıcıya beslenen tüvenan.		7				5		3	Yüksek
Sekonder ve Tersiyer Kırıcı	Elektrik motoru	Operatör Cevher	Elektrik motoru: elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.	Elektrik motorundan aldığı hareketi çeneli kırıcı kayışına aktarır ve çalışmasını sağlar	Operatör : Elektrik motorunun çalışması ve kontrolü	Kırıcılar çalıştırılmaz ve üretim durur	6	Elektriksel ve mekaniksel arıza	*Kırma işlemi öncesi kontrol edilmemesi + Motorun soğutma fanının kontrol edilmemesi	Kırma işlemi öncesinde ve esnasında elektrik motorunun kontrol edilmesi	3	Tesisin devreye alınması esnasında kontrolü	1	Düşük
					Cevher: Kırılmak üzere çeneli kırıcıya beslenen tüvenan.	Ortamdaki toz nedeniyle elektrik motoru soğutma fan toz ile kaplanır ve motor ısınır.	7			Toz oluşumunun azaltılması	3		1	Düşük

Ek 8. (Devamı)

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu									
Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		5		Başlama Tarihi		Tez süreci	
Bölüm Adı		TİTREŞİMLİ ELEK		Proses Sorumlusu				Revizyon No			
				Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021	
PFMEA Ekibi		Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni						Hazırlayan		Ecem BULAT	
Optimization (6. adım)											
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Siddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Özel karakteristikler	Açıklama
Operatörlere periyodik kontrollerin önemine yönelik bilinçlendirme eğitimi verilmesi	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	3	5	7		Yüksek
Sekonder ve Tersiyer kırıcıda oluşabilecek bir hatanın proses üzerine etkisi hakkında operatörlere bilgilendirme eğitimi verilmelidir.	Personellerin operatörleri tarafından iş takibinin yapılması, makine/ekipmanların kontrol edilmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	6	5	3		Orta

Ek 9. Konveyör Bant - FMEA No 6

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu												
Ünite Adı	KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No	6		Başlama Tarihi	Tez süreci							
Bölüm Adı	KONVEYÖR BANT		Proses Sorumlusu			Revizyon No								
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formanı		Gizlilik Derecesi	Normal		Revizyon Tarihi	30 Ara 2021							
						Hazırlayan	Ecem BULAT							
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)					
1. Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3. Proses iş elemanları (4M)	1. Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adımının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)
Konveyör bant	Konveyör bant	Operatör Cevher	Konveyör bant: kırılan cevherin nakledilmesini sağlayan yük taşıma ve iletme aracı. Bant : Kırıncılara veya eleğe cevher beslenmesini sağlayan, dönen iki kasnak ile hareketini sürdüren, cevheri taşıyan kauçuk malzeme	Konveyör bant üzerine belirli bir akışta cevher dökülmesini sağlar.	Operatör: Kırılan ve elenen cevherin taşınması esnasında cevherin ve olası yabancı maddelerin kontrolü Cevher: Kırılmak ve elenmek üzere taşınan tüvenan.	Bandın kopması durumunda besleme yapılamayacağından üretim durur. Bu süreçte siloda yeterli cevher yoksa Öğütme Ünitesinin durması gerekir	8 9	Aşınmaya bağlı yıpranması ve kopması, beslemenin durması	Kırma işlemi öncesi bantların kontrol edilmemesi ve/veya yırtılan kısmı gömülmesi veya gözden kaçırılması. Yırtılma büyümeden önlem alınmaması Cevherin aşındırıcı etkisi ve cevher içinde gelen yabancı maddelerin aşındırıcı etkisi nedeniyle bandın yırtılması	Yırtılma büyümeden önlem alınması. *Aşınmanın tespit edilmesinin ardından, yırtılma durumuna göre en kısa zamanda müdahale edilmesi	6 6	Kırma işlemi öncesi bantların kontrolü Yabancı maddelerin bant üzerinde geçişi esnasında tespiti	5 5	Yüksek Yüksek
Konveyör bant	Bant	Operatör Cevher	Konveyör bant: kırılan cevherin nakledilmesini sağlayan yük taşıma ve iletme aracı. Bant : Kırıncılara veya eleğe cevher beslenmesini sağlayan, dönen iki kasnak ile hareketini sürdüren, cevheri taşıyan kauçuk malzeme	Kırıncılara ve/veya eleğe cevher beslenmesini sağlar	Operatör: Kırılan ve elenen cevherin taşınması esnasında kontrolü Cevher: Kırılmak ve elenmek üzere taşınan tüvenan.	Bant sıkıştığında veya kaydıığında üzerindeki yükü iletmez veya cevherin saçılarak iletmesine neden olur. *Cevher döküldüğünde bant aşınır. Aşınma durumuna ve miktarına göre ünitenin durması gerekebilir. Bandın daha kısa sürede aşınması ve beklenmedik bir zamanda koparak üretimin durmasına neden olur. Ayrıca dökülen cevherin temizliği için fazladan iş gücü gerekir	4 4	Bandın sıkışması - kayması - aşınması	Bantta küçük bir aşınma-kayma-sıkışma görüldüğünde kısa süreli alınabilecek bir önlem ile bandın bir süre daha kullanılması sağlanabileceken, küçük aşınmaların gözardı edilmesi. Rulo etrafında cevher birikme yaptığı silindirin çığı artarak bandın gerilmesine neden olur. Bantta sapmalar görülebilir.	Kırma işlemi öncesi bantların durumunun kontrol edilmesi. Aşınan kısımların tespit edilmesi halinde gerekli müdahalenin yapılması	8 9	Kırma işlemi öncesi bantların durumunun kontrol edilmesi. Aşınan kısımların tespit edilmesi	2 2	Orta Orta
Konveyör bant	Sıyırıcı	Operatör Cevher	Sıyırıcı: Bant üzerinde biriken cevherin sıyırılmasını ve temizlenmesini sağlayan aparat Tambur: Bandın dönüşünü sağlamak üzere karşılıklı iki kısımdan sarılarak, hareketinin sağlandığı ve gerginlik ayarının yapıldığı kısım	Konveyör bandın temiz kalmasını sağlar.	Operatör: Kırılan ve elenen cevherin taşınması esnasında kontrolü Cevher: Kırılmak ve elenmek üzere taşınan tüvenan.	Sıyırıcılar aşındığında bant üzerinde biriken cevher temizlenemez. Cevher bant üzerinde sürekli taşınarak tambur üzerinde zamanla birikme yaratır ve bantta kayma oluşur.	2 3	Sıyırıcıların etrafında cevher birikmesi/cevherden aşınması nedeniyle kaplanma	Kırma işlemi öncesi kontrol yapılmaması/ dikkatsiz kontrol Cevher ıslak/nemli olduğunda tambur etrafında birikme oluşur. Tamburun etrafında cevher kaplandıkça bandın gerilmesine neden olur. Bantta kaymalar görülür	Kırma işlemi öncesinde sıyırıcıların temiz bırakılması. Aşınan sıyırıcıların değişimi	6 6	Kırma işlemi öncesi bant sıyırıcılarının durumunun kontrol edilmesi,	3 3	Düşük Orta

Ek 9. (Devamı)

X A.Ş.		X A.Ş. PFMEA Formu										
Ünite Adı	KIRMA ELEME ÜNİTESİ	FMEA No	6	Başlama Tarihi	Tez süreci							
Bölüm Adı	KONVEYÖR BANT	Proses Sorumlusu		Revizyon No								
		Gizlilik Derecesi	Normal	Revizyon Tarihi	30 Ara 2021							
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni				Hazırlayan	Ecem BULAT						
Optimization (6. adım)												
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Septama (D)	Özel karakteristikler	Aksiyon önceliği (AP)	Açıklama
Operatörün hatalarına yönelik bilinçlendirme eğitimi yapılması. Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiyada tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	7	6	5		Yüksek	
Operatörün hatalarına yönelik bilinçlendirme eğitimi yapılması. Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiyada tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	4	7	2		Orta	

Ek 9. Konveyör Bant - FMEA No 6

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu												
Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		6		Başlama Tarihi		Tez süreci				
Bölüm Adı		KONVEYÖR BANT		Proses Sorumlusu				Revizyon No						
				Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021				
PFMEA Ekibi		Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kıрма Eleme Ünitesi Formanı						Hazırlayan		Ecem BULAT				
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)					
1.Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3.Proses iş elemanları (4M)	1.Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adımı ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Siddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (PC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Saptama (D)-FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)
Konveyör bant	Kayış	Operatör Cevher Kayış	Kayış-kasnak; iki mil üzerine monte edilen silindirik yapılı kasnaklar ve bu elemanlara sarılan bükülebilir bir elastik elemandan (kayış) oluşan, dönme hızı ve moment dönüşümünü sağlayan mekanizma Elektrik motoru: elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.	Elektrik motoru: motordan alınan gücün, konveyör bandın tamburunun döndürülmesini sağlamak için kullanılır.	Operatör: Kayışların kontrolünü yapmak	Kayış koptuğunda elektrik motorundan alınan gücü iletemez ve tambur dönmeyi. Kayış aşındığında veya koptuğunda besleme kesilerek üretim durdurulur.	6	*Aşınmaya bağlı yıpranma	Kırma işlemi öncesinde kayışların kontrol edilmemesi/ gözden kaçırılması	Kırma işlemi öncesi, esnasında ve sonrasında kontrol edilmesi	7	Operatörün yaptığı kontrollerin sıklığının denetlenmesi	5	Yüksek
					Cevher: Kırılmak ve elenmek üzere taşınan tüvenan.		6	*Yıpranmaya bağlı olarak besleme kesintisi ve/veya beslemenin durması	*Kayış arasına cevher sıçrayarak sıkışması	* Kırılmak üzere bunkere beslenen tüvenanın sıçraması ve kayış arasına girmesi	7	*Cevher sıçradığı fark edildiğinde, beslemenin durdurularak kayış arasından alınması	3	Yüksek
					Kayış: elektrik motorundan alınan gücü titreşimli eleğe iletir		5		*Kayışın aşınması ve kopması	Kontrol sonrası ihtiyaç durumuna göre kayışın yenilenmesi	6	Kayışın kontrol edilmesi	3	Orta
Konveyör bant	Elektrik motoru	Operatör Cevher	Elektrik motoru: elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.	Elektrik motorundan aldığı hareketi konveyör bant motorundan kayışa aktarır ve çalışmasını sağlar	Operatör : elektrik motorunun çalışması ve kontrolü	Motor yandığında/ arızalandığında kırıcılar çalıştırılmaz ve üretim durur	6	Elektriksel ve mekaniksel arıza	*Kırma işlemi öncesi kontrol edilmemesi *Tamirat esnasında yanlış müdahale edilmesi	Kırma işlemi öncesinde ve esnasında elektrik motorunun kontrol edilmesi	7	Tesisin devreye alınması esnasında kontrolü	1	Orta
					Cevher: Kırılmak ve elenmek üzere taşınan tüvenan.	Ortamdaki toz nedeniyle elektrik motoru soğutma fan toz ile kaplanır ve motor ısınır.	7		*Aşırı yük *Motorun soğutma fanının kontrol edilmemesi	Toz oluşumunun azaltılması	3		1	Düşük

Ek 9. (Devamı)

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu									
Ünite Adı	KIRMA ELEME ÜNİTESİ	FMEA No	6				Başlama Tarihi	Tez süreci			
Bölüm Adı	KONVEYÖR BANT	Proses Sorumlusu					Revizyon No				
		Gizlilik Derecesi	Normal				Revizyon Tarihi	30 Ara 2021			
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni						Hazırlayan	Ecem BULAT			
Optimizasyon (6. adım)											
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Özel karakteristikler	Açıklama
Operatörün hatalarına yönelik bilinçlendirme eğitimi yapılması. Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiyada tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	6	6	5		Yüksek
Operatörün hatalarına yönelik bilinçlendirme eğitimi yapılması. Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiyada tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi.	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	6	6	1		Düşük

Ek 10. Toz Toplama Sistemi - FMEA No 7

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu												
Ünite Adı		KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		7		Başlama Tarihi		Tez süreci				
Bölüm Adı		TOZ TOPLAMA SİSTEMİ		Proses Sorumlusu				Revizyon No						
				Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021				
PFMEA Ekibi		Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni						Hazırlayan		Ecem BULAT				
Yapısal Analiz (2. adım)			Fonksiyonel Analiz (3. adım)			Hata Analizi (4. adım)			Risk Analizi (5. adım)					
1.Proses parçası, Sistem, alt sistem, parça, bileşen ya da proses adı	2. Proses adımı, İstasyon no ve odak parça adı	3.Proses iş elemanları (4M)	1.Proses parçasının fonksiyonu, Sistemin, alt sistemin, parçanın ya da prosesin fonksiyonu,	2. Proses adımının ve ürün karakteristiklerinin fonksiyonu. (sayısal değer opsiyonel)	3. Proses iş elemanlarının (4M) ve proses karakteristiklerinin fonksiyonu.	1. Bir üst seviye eleman ve/veya son kullanıcı için Hata Etkileri (FE)	Şiddet (S)-FE	2. Odak parçanın Hata Türü (FM)	3. İş elemanlarının Hata Nedeni (FC)	Mevcut önleme kontrolleri (FC) (hata nedeni için)	Olasılık (O)-FC	Mevcut saptama Kontrolleri (DC) (hata nedeni ve türü için)	Sapama (D)-FC/FM	Aksiyon önceliği (AP)
Toz toplama sistemi	Toz toplama boruları	Operatör Cevher	Toz toplama sistemi: Ünite kırma eleme işlemi sırasında açığa çıkan tozun bertarafını sağlayan fan.	Kırma eleme işlemi esnasında ortamda oluşan tozlanmayı ve cevher kaçaklarını önler	Operatör: Toz toplama sisteminin çalıştırılmasından sorumludur Cevher: Kırılan ve elenen tüvenan parçaları	Toz toplama boruları aşındığında, fan dışardaki havayı da içine çekecek ve ekstra enerji tüketimine yol açacaktır. Ayrıca bu kısımlardan toz kaçağı da olacaktır.	4	Toz toplama borularının aşınması	Operatörün kırma işlemi öncesi toz toplama borularını kontrol etmemesi veya gözden kaçırmaması	Sıklıkla aşınan bölgelerin daha dikkatli incelenmesi	6	Formenin ilgili bölgede oluşabilecek aşınmalara karşı kontrol etmesi	2	Orta
							5		Cevherin aşındırıcı yapısı					
Toz toplama sistemi	Toz toplama borusu girişindeki ızgaralar	Operatör Cevher (Yabancı Maddeler)	Toz toplama sistemi: Ünite kırma eleme işlemi sırasında açığa çıkan tozun bertarafını sağlayan fan. Iğara: Cevher içinde gelen yabancı plastik parçalarının fan içine girmesini engelleyen parça.	Toz toplama borusu içerisinde yabancı madde girmesini ve filtre bezinin tıkanmasını önler.	Operatör: Toz toplama sisteminin çalıştırılmasından sorumludur Yabancı maddeler: Cevher içerisinde gelen istenmeyen parçalar	Iğara yabancı maddeler ile kapandığında tozun fan içerisine çekilmesi engellenir ve fan işlevini yerine getiremez. Ayrıca enerji kaybı olur.	2	*Toz toplama borusu girişindeki ızgaraların kapanması *Verimsiz çalışma	Operatörün kırma işlemi öncesi ızgaraları kontrol etmemesi veya gözden kaçırmaması	Operatörlerin kırma işlemi öncesi ünite başlatılmadan önce ızgaraların kontrolünü yapması ve tüm ızgaraların açık olduğundan emin olunması	8	İlgili bölgede oluşabilecek yabancı maddelerin temizlenmesi	2	Düşük
							3		Yabancı maddeler (Plastik parçalar) tarafından tıkanması					
Toz toplama sistemi	Filtre torbaları/ bezleri	Operatör Cevher	Filtre torbası: Toz toplama sistemi içerisinde bulunan, tozun ayrılmasında kullanılan torba Patlağ:Toz toplama sisteminde ani basınçlı hava etkisinin oluşmasını sağlar	Toz toplama boruları ile gelen cevher filtre torbaları ile filtrelendir ve tozun biriktirilmesi sağlanır	Operatör: Toz toplama sisteminin çalıştırılmasından sorumludur Cevher: Kırılan ve elenen tüvenan parçaları	Valfen sürekli kaçak hava sesi gelir.Patlağlar arızalı olduğunda filtre torbası üzerine yapışan cevherler dökülemez ve birikir. Bu durumda fan işlevini tam olarak yerine getiremez ve verimsiz çalışır.	5	*Filtre torbalarının tıkanması *Verimsiz çalışma	Operatörün toz toplama sisteminde bulunan patlağları kontrol etmemesi.	Kırma işlemi öncesi ve sonrasında patlağları ve filtre torbalarının kontrolü	7	Formenin toz toplama sisteminin kontrolü	5	Yüksek
							4		Cevherin nemli/ıslak olması nedeniyle beze yapışarak yeterince emiş yapılamaması					
Toz toplama sistemi	Elektrik motoru	Operatör Cevher	Elektrik motoru: elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirir.	Elektrik motorundan aldığı hareket ile toz toplama fanının çalışmasını sağlar	Operatör : elektrik motorunun çalışması ve kontrolü Cevher: Kırılmak ve elenmek üzere taşınan tüvenan.	Motor yandığında/arızalandığında makineler çalışmaya devam eder fakat ünite içerisinde toz miktarı artar. Ortamdaki toz nedeniyle elektrik motoru soğutma fan toz ile kaplanır ve motor ısınır.	6	Elektriksel ve mekaniksel arıza	*Kırma işlemi öncesi kontrol edilmemesi *Tamirat esnasında yanlış müdahale edilmesi *Aşırı yük	Kırma işlemi öncesinde ve esnasında elektrik motorunun kontrol edilmesi Toz oluşumunun azaltılması	7	Tesisin devreye alınması esnasında kontrolü	1	Orta
							7		*Motorun soğutma fanının kontrol edilmemesi					

Ek 10. (Devamı)

X.A.Ş.		X.A.Ş. PFMEA Formu									
Ünite Adı	KIRMA ELEME ÜNİTESİ		FMEA No		7		Başlama Tarihi		Tez süreci		
Bölüm Adı	TOZ TOPLAMA SİSTEMİ		Proses Sorumlusu				Revizyon No				
PFMEA Ekibi	Tez Öğrencisi, Tesis Müdür Yardımcısı, Tesis Şefi, Vardiya Mühendisi, Kırma Eleme Ünitesi Formeni		Gizlilik Derecesi		Normal		Revizyon Tarihi		30 Ara 2021		
							Hazırlayan		Ecem BULAT		
Optimization (6. adım)											
Önleyici faaliyetler	Saptayıcı faaliyetler	Sorumlu kişiler	Termin	Durum	Yapılan faaliyetler ve kanıtları	Yapılış tarihi	Şiddet (S)	Olasılık (O)	Saptama (D)	Orta karakteristikler	Açıklama
Aşınabilecek kısımlara ve sıklığına karşı operatörlere bilinçlendirme yapılması	Periyodik kontrollerin denetlenmesi	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	4	6	2	Orta	
Operatörlerin toz toplama sistemine yönelik bakımları dikkate alması konusunda farkındalığının artırılması	Formen tarafından operatörlerin gözlemlenmesi	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	5	6	5	Yüksek	
Operatörün hatalarına yönelik bilinçlendirme eğitimi yapılması. Hatanın tekrarlanması halinde aynı vardiyada tecrübeli başka bir operatörün bilgi ve tecrübelerinden faydalanarak kendini yetiştirmesi	Operatörün formeni tarafından kontrol edilmesi	Kırma Eleme Ünitesi Formeni Vardiya Mühendisi	30.Ara.21	Devam ediyor	*Formen tarafından kontrol ve gözlemlerin yapılması *Eksikliklerin vardiya mühendisine bildirilmesi *Eksikliklerin vardiya tutanaklarına yazılması	Tez süreci	6	6	1	Düşük	

ÖZGEÇMİŞ

Ecem BULAT ilk, orta ve lise öğrenimi Adana’da tamamladı. 2012 yılında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümüne başladı ve 2016 yılında mezun oldu. Lisans eğitimine ek olarak 2013 -2017 yıllarında Makine Mühendisliği Yan dal Programını tamamladı. 2015 yılı bahar döneminde Avrupa Birliği Erasmus+ Programı ile Portekiz’de (Instituto Politécnico de Castelo Branco - Escola Superior de Tecnologia) bir dönem eğitim aldı. 2017 yılında T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının düzenlemiş olduğu Enerji Yöneticisi eğitimi ve sınavını başarıyla tamamlayarak sertifika almaya hak kazandı.

2017 yılı itibariyle günümüze dek geçen süreçte özel bir maden firmasında Enerji Sistemleri Mühendisi pozisyonunda çalışmaya devam etmektedir. Çalışma hayatında maden sektörünün yanı sıra demir çelik, enerji ve tekstil sektörlerinde tecrübe edinme fırsatı olmuştur.

Saha çalışmalarını akademik çalışmalarla desteklemek üzere 2019 yılında Gümüşhane Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına başlamış, ilk bildirisini 2021 yılında, Karadeniz Teknik Üniversitesi 5. Uluslararası Anadolu Enerji Sempozyumu’na hazırlamıştır. Yabancı dili İngilizcedir.