



İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesinde Hata Türleri ve Etkileri Analizinin (FMEA) Kullanımı

Use of Failure Modes and Effects Analysis in Occupational Health and Safety Risk Assessment

Burak Birgören¹ , Meryem Yalçınkaya¹ 

¹Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71451 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 17/07/2018

Kabul/Accepted: 26/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Otomotivden uzaya kadar birçok imalat sektöründe risk değerlendirme aracı olarak kullanılan FMEA yönteminin (Failure Modes and Effects Analysis – Hata Türleri ve Etkileri Analizi) son yıllarda İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) uygulamalarında yoğun kullanımı dikkat çekmektedir. İSG'nin başlı başına bir uzmanlık alanı olması da FMEA terminolojisi ve yaklaşımının İSG'ne göre uyarlanma gerekliliğini beraberinde getirmiş ve bunun için mevzuatlar hazırlanmıştır. Ancak şimdiye kadarki operasyonel risk uygulamalarında iş sağlığı ve güvenliğine dair özel değerlendirmelerin olmaması FMEA'nın İSG'nde nasıl uygulanacağı konusunda bir boşluk olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada İSG çatısı altında FMEA yönteminin etkin kullanımı için FMEA terminolojisinin İSG'deki karşılıkları ve farklılıkları üzerinde durulacak, yöntemin ilerleyişinde olası hataların altı çizilerek dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanacak ve günümüzde genellikle iş sağlığı risklerinin analize dahil edilmemesine karşın iş güvenliği ve iş sağlığı risklerinin birlikte FMEA'da nasıl kullanılacağı izah edilecektir.

Anahtar Kelimeler

“FMEA, Risk Değerlendirmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği”

Abstract

As an effective risk assessment tool used in several industrial sectors ranging from automotive to aerospace industries, FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) technique has experienced an increasing use in Occupational Health and Safety (OHS) in recent years. The fact that the OHS is a professional field in itself requires the necessity of adaptation of the terminology and the approach of FMEA to the needs of OHS. However, no such systematic adaptation has been proposed in the literature of operational risk applications of FMEA, yet. For an effective use of FMEA under OHS framework, this study will focus on the provisions and differences of FMEA terminology in OHS and highlight important points to take into consideration for avoiding potential mistakes in applications of FMEA. Besides, because occupational health risks are not usually included in the analysis, special attention will be given to how occupational health and safety risks can be treated together in FMEA.

Key Words

“FMEA, Risk Assessment, Occupational Health and Safety”

1. GİRİŞ

Rekabetin arttığı yerel ve küresel pazarda büyüme ve sürdürülebilirlik için İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) yönetiminin önemi giderek artmaktadır. İSG yönetiminin de belkemiği risk yönetimidir. Sağlıklı ve sürdürülebilir bir risk yönetimi için de işyerlerinin risk değerlendirmesi süreçlerini etkin bir şekilde çalıştırmaları gerekir. İşyerlerinde risk değerlendirmesi gelişmiş ülkelerde bir yasal zorunluluk olmakla birlikte birçok büyük işletme risk değerlendirmesinden azami faydayı sağlayabilmek için etkin risk değerlendirmesi yöntemleri seçmekte ve en iyi şekilde uygulamaya gayret göstermektedir.

En çok kullanılan yöntemler arasında risk değerlendirmesi matrisleri, Fine-Kinney yöntemi ve FMEA sayılabilir (Birgören, 2017, Popov vd., 2016). FMEA ülkemizde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe dünya genelinde kullanımından dolayı Türk otomotiv sektöründe de yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir. Geleneksel olarak FMEA sistem, alt-sistem, süreç ve donanımların güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Ancak günümüzde bir işyerindeki her türlü operasyonel riskin değerlendirmesinde kullanılmaktadır; bu çerçevede iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi uygulamalarında da tercih edilen bir yöntemdir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununa dayalı çıkarılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğine (ÇSGB, 2012) göre risk değerlendirme süreci şu adımlardan oluşmaktadır: Tehlikelerin tanımlanması, risklerin belirlenmesi ve analizi, risk kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, uygulanması, izlenmesi ve risk değerlendirmesinin yenilenmesi. Literatürde risk değerlendirme yöntemi olarak ifade edilen birçok yöntem bu aşamalardan sadece bir ya da birkaçını gerçekleştirecek araçlar sunarken FMEA tüm bu adımları gerçekleştirebilmektedir.

FMEA, 2010 sonrasında yayımlanan üç uluslararası risk değerlendirmesi standardında da önemli risk değerlendirme yöntemleri arasında sayılmaktadır. Bunlar IEC/ISO 31010:2009 Risk Yönetimi – Risk Değerlendirmesi Yöntemleri (IEC/ISO 31010, 2009), ANSI/ASSE Z690.3-2011 Amerikan Ulusal Standardı – Risk Değerlendirme Yöntemleri (ANSI/ASSE Z690.3, 2011) ve ANSI/ASSE Z590.3-2011 – Tasarım Yoluyla Önleme: Tasarım ve Yeniden Tasarım Süreçlerinde İş Tehlikeleri ve Riskleriyle ilgili kılavuzdur (ANSI/ASSE Z590.3, 2011) (Bu standartların Türkçeleri mevcut değildir).

FMEA için güvenilirlik çalışmalarına yönelik sistem, tasarım ve süreç FMEA uygulamalarını ayrı ayrı açıklayan kılavuzlar vardır (örnek olarak bakınız: SEMATECH (1992) kılavuzu ve Ford FMEA (1992) kılavuzu). Diğer taraftan FMEA'nın genel olarak operasyonel risklere uygulamalarını ele alan çalışmalara ancak yakın yıllarda rastlanmaktadır. Bu açıdan Popov vd. (2016) yukarıda bahsi geçen üç standartla uyumlu olacak şekilde FMEA'nın nasıl kullanılacağına dair bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak bu yaklaşımda İSG'ne dair özel değerlendirmeler yer almamaktadır.

Bu çalışmada FMEA yönteminin İSG kullanımına odaklanılarak etkin bir uygulama için dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanacaktır. İSG'ndeki ve FMEA'daki temel kavramlar arasındaki farklılıklar üzerinde durulacak, güvenilirlik boyutu için hazırlanmış kılavuzlar takip edildiğinde düşülebilecek hataların altı çizilerek bunlardan nasıl kaçınılacağı izah edilecektir.

2. FMEA YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ

FMEA yönteminde anahtar kavram hata türüdür. Hata türü literatürde farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Burada konumuz açısından kullanışlı iki tanım verilecektir:

Hata Türü¹: Hata oluşturan ya da doğru çalışmayan şey (ANSI/ASSE Z590.3, 2011).

Hata türü²: Bir nesne (parça/madde/ürün ya da ekipman) ya da sürecin kendisinden beklenen fonksiyon ya da zorunlulukları yerinde getirememesi ya da karşılayamama şekli (Carlson, 2012)

FMEA yönteminde hata türlerinin öncelikleri bir Risk Öncelik Sayısı (RÖS) üretilerek belirlenir. RÖS değeri hataların Olasılıkları (*O*), Şiddeti (*Ş*) ve Fark edilebilirlik (*F*) değerlerinin çarpımıyla elde edilir.

$$RÖS = O \times \text{Ş} \times F$$

O: Her bir hata türünün oluşma olasılık değeri

Ş: Şiddet, diğer bir deyişle zararın ne kadar önemli olduğunun değeri

F: Fark edilebilirlik, diğer bir deyişle zarar meydana getirecek durumun keşfedilmesinin zorluk derecelendirilmesi

Bu çarpanların her biri 1 ile 10 arasında puan alır. Tekrardan kaçınmak için güvenilirlik uygulama kılavuzlarındaki genel puan tanımlamalarına yer verilmeyecek, bunun yerine bir sonraki bölümde İSG için önerilen puanlar ve karşılıkları ele alınacaktır.

FMEA süreci, FMEA'nın kapsam ve sınırlarının belirlenmesi, kapsama göre uygun bir ekibinin kurulması ve incelenecek sürecin belirlenmesi ile başlar. FMEA süreci yürütülürken Tablo 1'de gösterildiği gibi FMEA amacını, ekip rollerini, sorumluluklarını, hata türlerini ve iyileştirmeye yönelik aksiyonların tanımının yapıldığı bir çalışma sayfası kullanılmalıdır (SEMATECH, 1992). Bu sayfa aynı zamanda bir FMEA çalışmasının nasıl yürütüldüğünü de anlamak açısından faydalıdır. FMEA çalışma sayfasında dokümanite edilmesi gereken alanları da açıklamak gerekirse;

Alt sistem modülü ve fonksiyonu: FMEA’da incelenecek süreç büyük ise üzerinde çalışmak zor olacağı için, süreç alt süreçlere ayrılmalı, her bir alt süreç için ana fonksiyon ve sistemi oluşturan parçaların tasarım fonksiyonları tanımlanmalı ve sürece göre özel ekipler kurulmalıdır (Özkılıç, 2016). Bununla birlikte çapraz fonksiyonlu ve çok disiplinli bir FMEA takım sorumluluğu için ekibin her üyesi kendi süreci dışında diğer süreçleri de takip edebilmelidir. Ekip büyüklüğü için uygun sayı 4-6 kişidir (Hosseini, 2011).

Potansiyel hata türü: FMEA ekibi geçmiş dönemlere ait kayıtlar, süreç akış diyagramları, tasarım özelliklerinin yer aldığı formlar vb. belgeler rehberliğinde sorumlu oldukları sürecin her adımında “burada nasıl bir hata oluşabilir?” sorusunu sorar ve mevcut durumda oluşmamış fakat oluşabilecek potansiyele sahip hata türlerini Tablo 1’in ikinci sütununda fiziksel özellikleri ile tanımlar.

Potansiyel lokal ve sonuç hata etkileri: Tablo 1’in üçüncü ve dördüncü sütunlarında, olası hatanın gerçekleşmesi ile bu durumun ekipmanı veya makineyi kullanan operatör veya çevre üzerindeki etkileri ele alınır. Burada lokal ifadesi ile olası hatanın alt sisteme olan etki/etkilerinden; sonuç ifadesi ile de alt sistemin hatasının, sistemin çıktısı (işlevi) üzerindeki güncel etki/etkilerinden bahsedilir. Lokal hata etkilerinin incelenmesi, sistemin o düzeydeki destek teçhizatının veya düzeltici çalışmaların etkinliğini belirlemede yardımcı olacaktır (Özkılıç, 2016).

Şiddet: Hatanın gerçekleşmesi durumunda operatör ve çevre üzerinde ne kadar etki yaratacağı analiz edilir ve sonuç şiddet tablosundaki (bakınız Tablo 2) 1-10 skor aralığına değerlendirilerek Tablo 1’de ilgili sütuna kaydedilir. Hataların şiddeti genellikle, felaket getirici, kritik, büyük ve küçük olarak sınıflandırılır.

Kritik Güvenlik (Cr) hata türü: Bir hatanın sonuç etkisi, tehlikeli veya felakete yol açabilir şeklinde sınıflandırılıyorsa ilgili hata, kritik güvenlik hata türü olarak değerlendirilir ve ilgili sütuna evet anlamında “E” yazılır (SEMATECH,1992).

Potansiyel nedenler: Tablo 1’in potansiyel hata nedeni sütununda hatanın meydana gelmesine neden olabilecek sebepler ve koşullar listelenir. Potansiyel nedenler açık ve net olmalıdır. Belirsiz ve kesin olmayan sebepler yazılmamalıdır. Potansiyel nedenleri tanımlamak için beyin fırtınası, sebep-sonuç diyagramları, hata ağacı analizleri kullanılabilir (Özkılıç, 2016).

Olasılık: Grup üyelerinin bilgi birikimi ve tecrübelerine göre hata türünün oluşma sıklığı Tablo 3’teki 1-10 skor aralığına göre derecelendirilir ve derece notu Tablo 1’de ilgili sütuna kaydedilir.

Mevcut kontroller/Hata tespiti: Tablo 1’in dokuzuncu sütununda hatanın olmasının önüne geçmeye yönelik olan önleyici kontroller ve hata oluştuğundan sonra hatayı tespit etmeye yarayan keşfedici kontroller listelenir.

Fark edilebilirlik: Mevcut kontroller sonucunda olası hatanın istenmeyen sonuçlara yol açmadan tespit edilebilme derecesi Tablo 1’de ilgili sütuna işlenir. Personelin hatayı saptama olasılığının değeri fark edilebilirlik tablosundaki (bakınız Tablo 4) 1-10 skor aralığına göre derecelendirilir.

RÖS: FMEA ekibi her hata türü için 1-10 skalasında belirledikleri şiddet, olasılık ve fark edilebilirlik değerlerinin çarpımları ile 1-1000 arasında değişen bir risk öncelik katsayısını oluştururlar. Bu katsayı ilgili hata türünün risk barındırma kritiklik derecesini göstermektedir. FMEA ekibi, hata türlerini RÖS değeri en yüksek olandan en düşük olana göre sıralar ve bu önceliğe göre düzeltici, önleyici ya da kalite iyileştirici faaliyetler geliştirerek bu RÖS değerini düşürmeye çalışır.

Önerilen Faaliyetler – FMEA ekibi hata olasılığını azaltmak, hatanın gerçekleşmesi durumunda şiddetini azaltmak ve hata tespit edebilme kabiliyetini geliştirmek için faaliyet önerilerinde bulunurlar ve bunları çalışma sayfasına işlerler. Örneğin FMEA ekibi hata türünün olasılığını düşürmek adına plan, şartname, üretim yöntemleri, üretim akış yöntemleri, tasarım ve çevre ve koruma koşullarında değişiklik gibi önerilerde bulunabilirler. Diğer yandan, fark edilebilirlik yeteneğini geliştirmek için kontrol sıklıklarının ve kontrol yöntem güvenilirliğinin artırılması gibi öneriler geliştirebilirler.

Sorumluluk ve Tamamlanma Zamanı – Önerilen faaliyetler için sorumluluk sahibi kişi/ kişiler ve termin zamanlarının listelendiği alandır.

Yapılan faaliyetler: Önerilen faaliyetler uygulandıktan sonra, faaliyetle ilgili kısa bir açıklama ve faaliyetin yürürlük tarihinin girildiği alandır.

Faaliyet Sonuçları: Önleyici/düzeltilici faaliyet tamamlandıktan sonra son duruma göre şiddet, olasılık ve fark edilebilirlik dereceleri yeniden gözden geçirilmeli ve yeni RÖS değer, çarpan değerleri ile birlikte Tablo 1’in son dört sütununa kaydedilmelidir. Son RÖS değer için başka faaliyetler gerekli ise analizler tekrar edilmelidir. Her zaman sürekli iyileştirme üzerine odaklanmalıdır.

Tablo 1. FMEA Çalışma Sayfası

SİSTEM:

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA/FMEA)

TARİH:

ALT SİSTEM:

ARIZA KODU

SAYFA:

REFERANS ÇİZİMİ:

HAZIRLAYAN:

Alt Sistem Modülü & Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Lokal Hata Etkileri	Potansiyel Sonuç Hata Etkileri	Şiddet	Cr	Potansiyel Hata Nedenleri	Olasılık	Mevcut Kontroller /Hata Tespiti	Farkedilebilirlik	RÖS	Önerilen Faaliyetler	Sorumluluk ve Tamamlanma Zamanı	Yapılan Faaliyetler	Faaliyet Sonuçları			
														Şiddet	Olasılık	Farkedilebilirlik	RÖS
Alt Sistem ismi ve fonksiyonu	"Bu alt sistem işlevini nasıl yerine getiremiyor?" "Operatör ne görecektir?"	Alt sistemin veya son kullanıcının lokal etkisi.	1.Sistemdeki kesinti süreleri 2. Güvenlik 3. Çevresel 4. Hurda kaybı	7	E	Bu hata nasıl olabilir? " 1.Düzeltililebilecek veya kontrol edilebilecek bir şey açısından tanımlayın. 2. Belirli hatalara veya arızalara bakın	5	"Bu nedenin etkisini tespit edebilecek, önleyecek ya da en azı indirebilecek mekanizmalar var mı?"	6	210	"Problemi ortadan kaldırmak için tasarımı nasıl değiştirebiliriz?" "Bu hatanın nedenini nasıl tespit edebiliriz (hata yalıtımı)?" "Arzanın giderildiğinden emin olmak için nasıl test yapmalıyız?" "Hangi PM prosedürlerini tavsiye etmeliyiz?"	"Ne sorumluluk alınacak?" "Ne zaman bitecek?"	"Sorunu düzeltmek için ne yapıldı?" Örnekler: Mühendislik değişikliği, Yazılım revizyonu, Eskime nedeniyle şu anda önerilen işlem yok.	6	1	6	6
Kritik Arıza sembolü (Cr) Ele alınması gereken kritik hataları tanımlamak için kullanılır. (örneğin Güvenlik hususunda).																	
Şiddet (Ağırlık) Sıralaması (Ş) (1-10) (bkz. Şiddet Tablosu)																	
Olasılık Sıralaması (O) (1-10) (bkz. Olasılık Tablosu)																	
Fark Edilebilirlik Sıralaması (F) (1-10) (bakınız Fark Edilebilirlik Tablosu)																	
Risk Öncelik Sayısı (RÖS) = O (olasılık) × Ş (şiddet) × F (fark edilebilirlik)																	
"Yapılan faaliyetler" RÖS'ü nasıl değiştirdi?																	

3. FMEA YÖNTEMİNİN İSG İÇİN KULLANIMI

FMEA yönteminin İSG uygulamalarında yukarıda verilen tanımlamalar yeterli olmamaktadır; çünkü İSG başlı başına bir uzmanlık alanıdır. Bu alan batı ülkelerinde ve ülkemizde yasal mevzuatla düzenlenmiştir ve bu alanın kendine ait terminolojisi ve yaklaşımları vardır.

İş sağlığı ve güvenliğinde tehlike ve risk kavramları konuyla yakından ilgilidir. Avrupa Birliğindeki İSG yaklaşımı esas alınarak hazırlanan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunundaki tanımlamalar şöyledir (ÇSGB, 2012):

- Tehlike: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli.
- Risk: Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali.

Kanundaki bu tanımlamaya göre tehlike, zarar veya hasar oluşturabilecek potansiyel bir durumu, hareketi ya da herhangi bir şeyi ifade eder. Tehlikeler genellikle tehlikeli durumlar ve olaylar olarak ikiye ayrılır. Örneğin belli bir kimyasal ile yapılan yapıştırma işlemi ya da merdiven üzerinde çalışma tehlikeli olaylardır; ortam havasında yoğun metal tozu bulunması ise tehlikeli durumdur. Risk ise tehlikelerden kaynaklanan muhtemel yaralanma, hastalık veya zarardır (Birgören & Yılmaz, 2015).

3.1. Hata Türleri ve İSG Tehlikeleri

Yukarıdaki tanımlar değerlendirildiğinde FMEA'daki hata türlerinin İSG çerçevesinde tehlike olarak ele alınması gerektiği açıktır. İncelenen birçok FMEA uygulama örneğinde de hata türlerinin tehlike tanımına uyduğu görülmektedir. Hata türlerinin doğrudan risk yani muhtemel yaralanma ve hastalık olarak ele alınması yanlış bir uygulamadır; Tablo 1'den de görülebileceği gibi böyle yapılırsa hata türünün olası etkilerinden bahsetmek mümkün olmaz. Bu tabloda hata türleri tehlike olarak ele alındığında ise olası etkileri arasında yaralanmalar, hastalıklar, maddi hasarlı kazalar, durmalar, bozulmalar vs.den bahsetmek mümkün olacaktır; öyle ki tüm bunlar İSG risk tanımı içine girer. Örneğin bir makinenin üreteceği olası bir arıza, hata türü olarak tabloya girilecek, bunun yol açacağı olası kazalar, üretim kaybı vs. hatanın olası etkileri sütununda bahsedilecektir.

Tablo 2'deki derece ve açıklamalar SEMATECH (1992) kılavuzunda, çevre, güvenlik ve sağlık için önerildiği şekliyle alınmıştır; iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında doğrudan kullanılabilir.

Tablo 2. Çevre, Güvenlik ve Sağlık Şiddet Seviye Tanımları

Derece	Önem	Düzye Açıklaması
10	Felaket I	Arıza, personelin ağır yaralanmasına veya ölümüne neden olur.
7 -9	Kritik II	Arıza; personelde hafif yaralanma, personelin zararlı kimyasallara veya radyasyona maruz kalması, uzuv kaybı, yangın veya çevreye kimyasal maddelerin salınması ile sonuçlanır.
4-6	Büyük III	Arıza, personelin tehlikeye düşük seviyede maruz kalmasıyla sonuçlanır veya tesis alarm sistemini aktive eder. İlk yardım dışında tıbbi yardım gerektiren yaralanmalarla sonuçlanabilir.
1-3	Küçük IV	Arıza, küçük sistem hasarlarına yol açar, ancak personelin yaralanmasına neden olmaz. Operasyonel veya hizmet personeli üzerinde göz ardı edilebilir düzeyde, olumsuz etki yaratır. İlk yardım yeterlidir. Kimyasalların çevreye salınmasına izin verilir.

3.2. Hata Türlerinin Olasılıkları

İSG risk değerlendirmesinde yaygın şekilde kullanılan risk matrislerinde riskin olasılık ve şiddeti derecelendirilerek risk puanı hesaplanır. Riskin olasılığının sağlıklı şekilde hesaplanması ise geçmiş kaza ve hastalık istatistiklerinin kullanılmasını gerektirir. Bu özellikle KOBİ niteliğindeki işletmelerde oldukça zordur; istatistikler tutulmamaktadır, risk olarak ifade edilen birçok kaza henüz işyerinde hiç yaşanmamıştır, genellikle bunlar için olasılık hesaplaması yapılacak donanımda bir risk değerlendirme ekibi yoktur.

Diğer taraftan az önce ortaya konduğu üzere hata türleri tehlikeleri ifade etmektedir, bu yüzden FMEA'daki RÖS hesabında riskler yerine tehlikelerin olasılıkları kullanılır. Tehlikeli olaylar ve durumların olasılıkları Tablo 3 (SEMATECH,1992) kullanılarak daha rahat bir şekilde üretilebilir. Örneğin belli bir atölyede baretsiz çalışma olasılığı geçmiş gözlemlerden rahatlıkla tahmin edilebilir. Ancak bundan kaynaklı bir yaralanmanın olasılığını tahmin etmek, özellikle de henüz böyle bir kaza olmamışsa, çok daha zordur.

Tablo 3. Olasılık Sıralama Ölçütleri

Sıra	Açıklama
1	Ortaya Çıkması Olası Olmayan Hatalar: Birim işleme aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları sıfıra yakındır. Tek bir hata türü için bu olasılık 0.001'den (1000 saatte 1 hatadan) küçüktür.
2-3	Ortaya Çıkma Olasılığı Uzak Olan Hatalar: Birim işleme aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları çok küçüktür (Örneğin iki ayda bir gibi). Tek bir hata türü için bu olasılık 0.001 -0.01 aralığındadır.
4-6	Ara Sıra Gözükten Hatalar: Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları küçüktür (Örneğin ayda bir gibi). Tek bir hata türü için bu olasılık 0.01 - 0.10 aralığındadır.
7-9	Ortaya Çıkma Olasılığı Oldukça Yüksek Olan Hatalar: Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları orta düzeydedir (örneğin iki haftada bir gibi). Tek bir hata türü için bu olasılık 0.10 - 0.20 aralığındadır.
10	Ortaya Çıkma Olasılığı Çok Yüksek Olan Hatalar: Birim işleme zaman aralığında hataların ortaya çıkma olasılıkları çok yüksektir (Örneğin haftada bir gibi). Tek bir hata türü için bu olasılık 0.20'den büyüktür.

3.3. Hata Türleri, Meslek Hastalıkları ve İşle ilgili Hastalıklar

İSG risklerinin olasılık tahmini zordur, ancak iş kazaları için bu yine sübjektif de olsa yapılabilir. Diğer taraftan meslek hastalıkları ve işle ilgili hastalıklar için olasılık değerlendirmesi daha da içinden çıkılmaz bir hal alır. Çünkü kazalar, kısa bir zaman içinde gerçekleşir, eğer kaza istatistiklerinin kaydı tutuluyorsa belli bir zaman zarfında kaç adet olduğu hesaplanabilir. Diğer taraftan hastalıklar kimyasallara, biyolojik vb. etmenlere maruziyet nedeniyle yavaş yavaş gelişirler. Öyle meslek hastalıkları vardır ki on yılı aşkın bir maruziyetin ardından ortaya çıkar ve tanı konulabilir. Dolayısıyla hastalıkların teşhis edilmesini bekleyip önlem alınması son derece yanlış bir yaklaşımdır.

İş sağlığında işyeri hekimlerinin temel görevi koruyucu hekimliktir. İşyeri hekimi sağlık gözetimi yapmakla yükümlüdür; bunun için işyeri ortamını etkileyen psikososyal, ergonomik, biyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlike kaynaklarını saptamalıdır ve alınması gerekli önlemleri kararlaştırmalıdır (Atlı vd., 2012). Dolayısıyla doğrudan iş sağlığı tehlikelerine bakarak, henüz hiçbir hastalık emaresi olmasa dahi, gerekli önlemlerin alınması iş sağlığı uygulamalarında temel yaklaşımdır. Bu nedenle bazı işyeri hekimleri iş sağlığı risklerinin risk değerlendirmesinde puanlanmasının yanıltıcı olduğunu dahi iddia etmektedirler. Çünkü genellikle iş sağlığı risklerinin (hatalıkların) olasılık puanları, işyerinde kimseye tanı konmadığı ya da çok az kişiye tanı konduğu için düşük verilmekte, bu da risk puanını düşürmektedir.

Türkiye'de genellikle işyeri risk değerlendirmesi çalışmalarında sadece iş güvenliği risklerinin risk analizine tabi tutulduğu, iş sağlığı risklerinin ise analize tabi tutulup puanlanmadığı gözlenmektedir. Ayrıca Türkiye'de meslek hastalıkları ve işle ilgili hastalıkların teşhisi konusunda da ciddi sıkıntılar söz konusu olduğu için teşhis istatistiklerine dayalı olasılık değerleri tahmini neredeyse imkansızdır.

Ancak bu hastalıklara yol açan nedenler, yani tehlikeler iş sağlığı literatüründe bellidir. Bir işyerinde bunlara maruziyetin ne sıklıkla ortaya çıktığını tahmin etmek ise nispeten kolaydır. Örneğin belli bir tehlikeli kimyasala solunum yoluyla maruziyetin ne sıklıkla olabileceği tahmin edilebilir. FMEA'da hastalıkların görülme sıklığını tahmin yerine tehlikeye maruziyetin sıklığı puanlanacağı için iş sağlığı risklerinin olasılık boyutunun hesaba katılması daha kolay olacaktır.

FMEA uygulamalarında iş sağlığı risklerinin hesaba katılmadığı, literatürde de bu konunun ele alınmadığı gözlenmiştir. İşyeri hekimliğinde riskin büyüklüğü tehlikenin varlığı ve buna maruziyetle ölçüldüğü için işyeri hekimlerinin bu yaklaşımı benimsemelerinin daha kolay olacağı öngörülebilir.

Tablo 3'deki olasılık değerlerinin iş sağlığı uygulamalarında nasıl kullanılabileceği, takip eden bölümdeki örneklerle izah edilecektir.

3.4. Hatanın Fark Edilebilirliği

FMEA'nın güvenilirlik uygulamalarında hatanın fark edilebilirliği, hatayı keşfetme zorluk derecesi olarak tanımlanmaktadır, ancak bu İSG uygulamalarında yanlış yorumlanabilmektedir. Popov vd. (2016) bunun yerine "alınan önlemlerin etkinliği"nin değerlendirilmesi gerektiği belirtmektedir. Örneğin bir atölyede baretless çalışma yapıldığının tespiti kolaydır. Ancak bunu önlemek için alınması gerekli tedbirler alınmış ve uygulanıyorsa fark edilebilirlik puanı düşecektir, bu da RÖS değerini aşağı çekecektir. Çünkü bu durumda baretless çalışılmasını etkin şekilde engelleyen önlemler devrededir.

Popov vd. (2016)'un bu konudaki önerisi 1 ile 5 arasında değişen bir puanlamadır. Bu puanlama, Tablo 4'te gösterilen geleneksel fark edilebilirlik tablosuna (SEMATECH,1992) uyarlanarak Tablo 5'teki gibi özetlenebilir.

Tablo 4. Fark Edilebilirlik Sıralama Ölçütleri (SEMATECH,1992)

Sıra	Açıklama
1-2	Hatanın tespit edilme olasılığı çok yüksektir. Doğrulama ve/veya kontrollerle bir eksiklik veya kusurun varlığı hemen hemen kesin fark edilecektir.
3-4	Hatanın tespit edilme olasılığı yüksektir. Doğrulama ve/veya kontroller, bir eksiklik veya kusurun tespiti için iyi bir fırsata sahiptir.
5-7	Hatanın tespit edilme olasılığı ortadır. Doğrulama ve/veya kontrollerle bir eksiklik veya kusurun fark edilebilirliği ortadır.
7-9	Hatanın tespit edilme olasılığı düşüktür. Doğrulama ve/veya kontrollerle bir eksiklik veya kusurun fark edilebilirliği uzak bir ihtimaldir.
10	Hatanın tespit edilme olasılığı oldukça düşüktür. Doğrulama ve/veya kontrollerle bir eksiklik veya kusurun fark edilebilirliği sifıra yakındır veya varlığı fark edilemez haldedir.

Tablo 5. Fark Edilebilirlik Sıralama Ölçütleri

Sıra	Açıklama
1-2	Tehlikelerle kaynağında mücadele yapılmaktadır
3-4	Mühendislik kontrolleri yapılmaktadır
5-7	Uyarılar ve idari kontroller yapılmaktadır
8-9	Kişisel koruyucu donanım kullanılmaktadır
10	Hemen hiçbir güvenlik önlemi alınmamıştır

Tablo 5, İSG'de kontrol hiyerarşisini esas almıştır. Bu tablo uygulanırken kontrollerin ve önlemlerin düzenli ve etkin bir şekilde uygulanması esastır. Örneğin belli bir tehlike için çalışanlara uyarılar ve idari önlem uygulaması düzensiz şekilde yapılıyorsa, ancak kişisel koruyucu donanım kullanımı etkin bir şekilde gerçekleştiriliyorsa 8-9 aralığında bir puan verilmelidir. Risk değerlendirmesi ekibi uyarı ve idari kontrollerin düzenli ve etkin şekilde yapıldığına kanaat getirdiğinde puan 5-7 aralığına düşürülebilir. İki açıklama arasında tereddütte kalındığında muhafazakar bir yaklaşımla yüksek puanlı açıklamanın tercih edilmesi tavsiye edilir.

4. ÖRNEK UYGULAMALAR

Bu bölümde bir operasyonun yol açabileceği iş güvenliği ve iş sağlığı riskleri kullanılarak uygulamanın nasıl yapılacağı izah edilecektir.

Bir çalışanın gerçekleştirdiği belli bir elle taşıma operasyonunu ele alalım. Bu operasyonda çalışan iki eliyle tuttuğu metal parçaları, önünde oturduğu taşıma makinesine bağlı dönen bir taşa temas ettirerek taşlamaktadır. FMEA'da bu elle taşıma operasyonu fonksiyon başlığı altına yazılır. Bu operasyonda çalışanın eli, yüzü ve gözü yaralanabilir. Ayrıca çalışan metal parçadan çıkan toksik ve kanserojen krom tozuna maruz kalmaktadır. Tablo 6'da bu fonksiyonla ilgili "elin taşla teması", "taşlamada parça sıçraması" ve "krom tozu salınımı" olmak üzere üç hata türü yazılmıştır. Burada operatörün nadiren çıkarsa da düzenli olarak koruyucu eldiven ve gözlük kullandığı, ancak taşıma makinesindeki yüz koruyucu olarak kullanılan cam siperin sökülüp devre

dışı bırakıldığı gözlenmiştir. Ayrıca solunum yolunu korumak için bir lokal havalandırma sistemi yoktur, çalışan toz maskesi kullanılmamaktadır.

FMEA tablosunda üç hata türünün nedenleri, yol açacağı yaralanma ve hastalıklar ve mevcut önlemler ilgili sütunlara not edilmiştir. Hata türlerinin net bir ifadeyle yazılması, nedenleri, sonuçları ve önlemlerle ilgili de net ifadeler yazılabildiğini sağlar. Burada “dikkatsiz çalışma”, “kurallara uymama”, “idari önlemlerin eksikliği” gibi genel ve muğlak hata türü ifadeleri kullanımından kaçınılmalıdır.

Elin taşla teması ilk yardım gerektiren bir yaralanma ile sonuçlanacağı için $S = 3$ verilmiştir; elle temas birkaç haftada bir olmaktadır, bu nedenle $O = 7$ 'dir; KKD kullanımı sağlandığı ve idari kontroller yapıldığı için $F = 6$ verilmiştir. Burada O yaralanma olasılığı değildir, elle temas olasılığıdır, elle her temas ilk yardım gerektirmez, elin taşla ne sıklıkla temas ettiği ramak kala olay raporlarından ya da doğrudan çalışanın sözlü beyanından öğrenilebilir.

Taşlamada parça sıçramasının yüzde ufak yaralanmalardan kalıcı görme kaybına kadar giden sonuçları olabilir. Bu durumda bunların en şiddetlisi olan kalıcı görme kaybı esas alınır, dolayısıyla $S = 8$ 'dir; haftada birden çok sıçrama olduğu saptanmıştır, bu yüzden $O = 10$ 'dur; KKD kullanılmaktadır, ancak yüz koruyucu siper devre dışıdır, idari ve mühendislik kontrolleri (parça kalite kontrol) yetersizdir, bu yüzden $F = 8$ verilmiştir.

Yukarıda sayılan hata türleri iş kazalarına yol açmaktadır. Diğer taraftan krom tuzu salınımının bir meslek hastalığına (kanser) yol açma potansiyeli vardır. Şiddet düzeyi saptanırken mesleki kanserin olası bir ölümlü sonuçlanması göz önüne alınarak $S = 10$ verilmiştir. Henüz hiçbir hastalık gözlenmemiş olsa bile tehlikeye, yani krom tozuna düzenli maruziyet olduğu için (Tablo 3'e göre haftada birden sık) $O = 10$ verilmiştir. Solunum yolunun korunması için hiçbir önlem alınmadığı için de $F = 10$ 'dur.

Tablo 6'da sorumlular, tamamlanma zamanı ve yapılan faaliyetlere dair sütunlar doldurulmamıştır. Alınan önlemler tamamlandığında yeniden RÖS puanları hesaplanarak en sağdaki sütunlara yazılır, böylece ne ölçüde iyileşme sağlandığı gözlenebilir. Örneğin bu üç hata türünden RÖS puanı en yüksek olanın krom tozu salınımı olduğu görülmektedir. Buna öncelik verilerek uygun toz maskesi düzenli kullanımının sağlandığını, uyarı ve sıkı denetim olduğunu varsayalım. Çalışanın nadiren (birkaç ayda bir) maskesiz çalıştığı gözlenmiş olsun. Bu durumda puanlar $O = 3$, $F = 6$ olarak yeniden verilmiştir. Ancak $S = 10$ olacaktır, çünkü olasılık değerleri ne kadar düşerse düşsün, halen mesleki kanser riski vardır. Bu durumda $RÖS = (3)(10)(6) = 180$ değerine düşecektir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada FMEA yönteminin İSG risk değerlendirmesi uygulamalarında etkin bir şekilde nasıl kullanılabileceği ele alınmıştır. Bu çerçevede hata türlerinin İSG uygulamalarında tehlikeli olay ve durumlara karşılık geldiği; Risk Öncelik Sayısı bileşenlerinden Olasılık değerinin tehlikelerin olasılığı olarak yorumlanması gerektiği, bu nedenle FMEA yönteminin iş güvenliği risklerinin değerlendirmesine ek olarak iş sağlığı risklerinin değerlendirmesinde de başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya konmuştur. Ayrıca Fark edilebilirlik bileşeninin alınan önlemlerin etkinliği şeklinde yorumlanması gerektiği belirtilerek fark edilebilirlik düzey ve açıklamaları bir tablo olarak verilmiş, benzer şekilde literatürden İSG uygulamaları için uygun Olasılık ve Şiddet tabloları önerilmiştir. Tüm bu hususların nasıl uygulanacağı da hem iş güvenliği hem de iş sağlığı risklerini içerek bir örnek üzerinde izah edilmiştir.

Bilimsel literatürde FMEA yönteminin İSG risk değerlendirmesinde nasıl kullanılması gerektiğine dair bu kapsamda bir çalışmaya rastlanmadığından bu çalışmanın İSG alanında bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir. Buna ek olarak bu çalışmanın, İSG risk değerlendirmesinde çok sık kullanılan bu risk değerlendirmesi yönteminin uygulayıcılarına da yol gösterici nitelikte bir kılavuz olacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 6. Örnek FMEA Çalışma Sayfası

SİSTEM:

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA/FMEA)

TARİH:

ALT SİSTEM:

ARIZA KODU

SAYFA:

REFERANS ÇİZİMİ:

HAZIRLAYAN:

Alt Sistem Modülü & Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Lokal Hata Etkileri	Potansiyel Sonuç Hata Etkileri	Şiddet	Ç	Potansiyel Hata Nedenleri	Olasılık	Mevcut Kontroller /Hata Tespiti	Farkedilebilirlik	RÖS	Önerilen Faaliyetler	Sorumluluk ve Tamamlanma Zamanı	Yapılan Faaliyetler	Faaliyet Sonuçları			
														Şiddet	Olasılık	Farkedilebilirlik	RÖS
Stübp taşıma operasyonu	Elin taşla teması	Parmak yaralanması, ilk yardım yeterli	Üretimde kesinti, iş gücü kaybı	3		Eldiven kullanılmaması	7	Çalışanın gün içinde KKD kullanımı birçok kez kontrol edilmektedir. Kullanmıyorsa uyarılmakta ve takatılmaktadır.	6	126	Çalışana işbaşı eğitimi						
	Taşlamada parça sıçraması	Göze ya da yüze sıçrayan parçanın batması	Üretimde kesinti, iş gücü kaybı, kalıcı görme kaybı	8	E	Taşın körlenmesi, parçada yüzey problemleri	10	Taşın kontrolü operatördedir. Parça yüzey problemleri kontrol edilmektedir.	8	640	Çalışana işbaşı eğitimi, taşın mühendislik kontrolü, yüz siperinin devreye alınması.						
	Krom tozu salınımı	Zehirlenme ve Mesleki kanser	Üretimde kesinti, iş gücü kaybı, işyeri havasının zehirlenmesi	10	E	Parçada krom olması, lokal havalandırma olmaması	10	Lokal havalandırma sistemi yoktur. Toz maskesi kullanılmamaktadır. Kontrol yoktur. Ölçüm yapılmamıştır.	10	1000	Öncelikle uygun toz maskesi seçimi ve düzenli kullanılması, çalışana işbaşı eğitimi (ardından lokal havalandırma sistemi kurulması)	Uygun toz maskesi düzenli kullanımı sağlandı, uyarı ve sıkı denetim yapılmaktadır.	10	3	6	180

REFERANSLAR

- ANSI/ASSE Z690.3-2011 (2011). American National Standard – Risk Assessment Techniques. Des Plaines, IL: The American Society of Safety Engineers.
- ANSI/ASSE Z590.3-2011 (2011). Prevention Through Design: Guidelines for Addressing Occupational Hazards and Risks in Design and Redesign Processes. Des Plaines, IL: American Society of Safety Engineers.
- Athi, K., Froneberg, B., Matisane, L., Yıldız, A. N., Şimşek, C., Demirkol, D. & Rodoplu, S. (2012). Çalışma Yaşamında Sağlık Gözetimi Rehberi. Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının İyileştirilmesi Projesi (İSGİP) – TR0702.20-01/001 (AB Projesi, Yararlanıcı: İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü).
- Birgören, B. & Yılmaz, F. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Standartlar ve Mevzuat ve Çerçevesinde Etkin Risk Yönetimi ve Değerlendirmesi. International Journal of Engineering Research and Development, 7(2), 1-14.
- Birgören, B. (2017). Fine Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri, International Journal of Engineering Research and Development, 9(1), 19-25.
- Carlson, C.S. (2012). Effective FMEAs – Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. Resmi Gazete, 28512. Ankara.
- FORD (1992). FMEA Handbook, Ford Motor Company Engineering Materials and Standarts. Dearborn, Michigan.
- Hosseini, A. M. (2011). Risk Assessment by FMEA Method and Comparison of RPN Before and After Corrective Action in Bafq Direct Iron Reduction Projects. Seventh National Conference on Occupational Health and Safety. Quzvin, Iran.
- International Organization for Standardization (2009). IEC/ISO 31010: 2009. Risk Management – Risk Assessment Techniques. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/51073.html>.
- International SEMATECH (1992). Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry. Technology Transfer #92020963B-ENG. Albany, NY: SEMATECH.
- Özkılıç, Ö. (2016), FMEA / FMECA - Hata Modu ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis- Failure Mode and Critically Effects Analysis). Retrieved from <https://tr.linkedin.com/pulse/fmea-fmeca-hata-modu-ve-etkileri-analizi-failure-mode-%C3%B6zlem-%C3%B6zkili%C3%A7>.
- Popov, G., Lyon, B.K. & Hollcroft, B. (2016). Risk assessment: A practical guide to assessing operational risks. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.