İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YATLARDA YANGIN, YAKIT VE SİNTİNE SİSTEMLERİ TASARIMINDA DFMEA UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre ÖZEN

Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

Ocak, 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YATLARDA YANGIN, YAKIT VE SİNTİNE SİSTEMLERİ TASARIMINDA DFMEA UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre ÖZEN
508091018

Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Şebnem HELVACIOĞLU

Ocak, 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 508091018 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Emre ÖZEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"YATLARDA YANGIN, YAKIT VE SİNTİNE SİSTEMLERİ TASARIMINDA DFMEA UYGULANMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Yrd. Doç. Dr. Şebnem HELVACIOĞLU** İstanbul Teknik Üniversitesi
Eş Danışman :	**Yrd. Doç. Dr. Ayhan MENTEŞ** İstanbul Teknik Üniversitesi
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Mustafa İNSEL** İstanbul Teknik Üniversitesi
	Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ Yıldız Teknik Üniversitesi
	Yrd. Doç Dr. İsmail BAYER Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **10 Ocak 2014**

Değerli Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın, daha sonra yapılabilecek çalışmalar için bilim dünyasına ve araştırmacılara rehber olması ve katkıda bulunması benim için büyük bir gurur vesilesi olacaktır.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca beni hep destekleyen ve cesaret veren, bu çalışmanın ortaya çıkmasında yardımlarını ve desteğini hiç bir zaman esirgemeyen, çalışmamın her aşamasında güven ve huzurla ilerlememi sağlayan ve yol gösteren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Şebnem HELVACIOĞLU'na ve özellikle tez çalışması sırasında verdiği destek ve yönlendirmeleri için eş danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Ayhan MENTEŞ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında verdiği değerli bilgiler, görüş ve değerlendirmeler için başta Hüseyin DOĞAR olmak üzere diğer tüm uzman katılımcılar; Rasim YILMAZ, Ali ÖZEN, Aydın DOĞAN, Uruzhan AVCI ve Burak Çağlar KARSAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin oluşumu ve yazımı sırasında her zaman yanımda olan, beni daima koşulsuz, çıkarsız ve sonsuz sevgisiyle saran ve anlayışıyla destekleyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2013

Emre Özen
Gemi İnş. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR

DFMEA	**:** Tasarım Hata Türleri ve Etkileri Analizi
	: (Design Failure Mode and Effects Analysis)
FMEA	**:** Hata Türleri ve Etkileri Analizi
	(Failure Mode and Effects Analysis)
KHA	**:** Kritik Hata Analizi
BKT	**:** Bulanık Küme Teorisi
BHA	**:** Bulanık Hata Ağacı
NRA	**:** Nicel Risk Analizi
RÖS	**:** Risk Öncelik Sayısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

YATLARDA YANGIN, YAKIT VE SİNTİNE SİSTEMLERİ TASARIMINDA DFMEA UYGULANMASI

ÖZET

Bir çok sektörde sistemlerin potansiyel hata türlerini analiz etmek için, hataları olasılıklarına ve benzerliklerine göre sınıflandıran bir ürün geliştirme ve operasyon yöntemi olarak Hata türleri ve etkileri analizi (FMEA: Failure mode and effects analysis) yöntemi kullanılır. Ürünlerin, sistemlerin tasarım aşamasında da Tasarım hata türleri ve etkileri analizi (DFMEA: Design failure mode and effect analysis) yöntemi tercih edilir. FMEA bir mühendisin ya da ekibin, sistem ya da ürünü tasarlanmış gibi düşünerek (bu düşüncelerin içine geçmişte yaşanan tecrübeler ve endişelere dayanan ve yanlış gitme ihtimali olan maddelerin analizi de dahil olmak üzere) ve bunu simule ederek oluşturduğu bir senaryonun özetidir. Bu sistematik yaklaşım mühendisin herhangi bir tasarımın hayata geçmesi durumundaki bilimsel ve teknik aşamaları simule eder, tasarımı yapacak bir sonraki mühendis ya da ekip için bunları dokümante eder.

Başarılı bir hata türü analizi, benzer ürünlerin, proseslerin ve uzmanların geçmiş deneyimlerine dayanarak hata türlerinin tanımlanmasına yardımcı olur, hataların sistemden minimum kaynak kullanımı ve çabayla atılmasını sağlamakla beraber geliştirme zamanını ve maliyetini düşürür. Genellikle üretim sektöründe ürünlerin çeşitli aşamalarında kullanılmakla beraber hizmet sektöründe de kullanım alanı artmıştır.

Bu çalışmada, kullanım alanı hızla artan DFMEA, yat inşaasında potansiyel risk taşıyan sistem tasarımları olarak öngörülen yangın, yakıt ve sintine sistemleri tasarımlarına uygulanmıştır. Bu özelliğiyle çalışma bu konudaki ilklerden biri olmaktadır. Sektörde tecrübe sahibi uzmanların görüşlerinden faydalanarak bahsi geçen sistemlerin tasarım aşamalarındaki olası hataları öngörüp, uygulama sırasında oluşabilecek etkilerini engellemek amacıyla DFMEA yöntemi ile risk analizi ve değerlendirmesi yapılmıştır. Uzman görüşlerine dayanılarak bahsi geçen yat sistemlerinin aşamaları belirlenip, bu aşamalara karşılık gelen hata türleri

tanımlanmış ve DFMEA formatı oluşturulmuştur. Daha sonra her bir hata türü için şiddet,olasılık ve saptanabilirlik değerleri belirlenmiştir. Bu üç kavram için belirlenen değerler çarpılmasıyla risk öncelik sayısı el de edilerek hata türleri için risk sıralaması yapılmıştır. Riskli bulunan hata türleri için tavsiye edilen eylenmler belirlenerek, bu hata türlerinin risk potansiyelleri düşürülmeye çalışılmıştır. Çalışmanın sonuç kısmında yat sistemleri tasarımlarına DFMEA uygulamasının çıktıları değerlendirilmiştir.

DFMEA APPLICATION FOR FIRE, FUEL AND BILGE SYSTEM DESIGNS OF YATCHS

SUMMARY

In most industrial sectors, to analyze potential failure modes of a system, to classify the failures according to possibilities and similarities, FMEA (Failure mode and effects analysis) is utilized. In design level of the products or systems, DFMEA (Design failure mode and effect analyses) is preferred. The knowledge of failure modes which can be acquired from a group of experts are linguistic terms including vagueness. FMEA aims to rank the failure modes from high to less risky in order to take the corrective actions. The traditional FMEA determines the risk priorities of failure modes using the risk priority numbers (RPNs) which require the risk factors like occurrence (O), severity (S) and detection (D) of each failure mode. It is known that RPN method cannot emphasize the nature of the problem, which is multi attributable and has a group of experts' opinions. Furthermore, attributes are subjective and have different importance levels.

FMEA methodology starts with analysing all of the systems step by step, examining systems' and subsystem's functions. For serial processes, process levels or design levels are listed one by one. A table is generated to gather all the information for tracking the steps easily. Every single process or function step has a number starts with 1 and until the quatity of the process steps. A potential failure mode corresponds for every process or function level and it has the same number with the process or function level. If the process or function level corresponds more then one potential failure mode, the extra potential failure modes is shown with an additional letter. There fore it would be provided to track all the processes or funtions and potential failure modes until the revised risk priority number.

An engineering system, design, process or product may be very complicated and may usually have risk potentials, potential failure modes, causes and correspondingly effects of mentioned failure modes. Therefore, each mentioned failure mode should be ranked, assessed and be in an order from high risky or the most dangerous to low

risky one according to priority. FMEA uses experiences of area, experts and databases accordingly to rank the failure modes of any system, design or product according to three rating scales known as, severity (S), occurrence (O) and detection (D). These three terms have a scale from ten to one which corresponds from very hazardous to very low risky. Using mentioned scales severity, occurrence and detection values are determined. To rank the failure modes Risk Priority Number (RPN) value is calculated by multiplying these three terms. The failure mode which has the highest RPN number points the most risky one and the lowest points the low risky. But multiplying of different S, O, D values can give the same result, so the method can be supported by more developed decision making methods.

A successful failure mode analysis helps to define the failure modes according to past experiences of similar products', processes' and experts'. It also helps to eliminate the failures from the system with minimum source and effort and accordingly reduces the development time and the cost. Mostly it is used in production fields but also grows in service sectors.

In this study DFMEA is applied to fire, fuel and bilge system designs which have potential risk in yacht construction. Choosing mentioned three systems among all yatch systems is the common decision of a group of experts consisted of surveyors, and people experienced for years in sector. To apply DFMEA during design level of a yatch makes the study one of the first studies accordingly. The method is commonly used in automotive sector and it was the inspiration for the opinion to apply DFMEA to yatch system designs. With support of opinions of the experts who are experienced in the sector, to foresee the failures in design level and to avoid the effects of mentioned failures during production, risk analysis and assessment is applied. According to experts' opinions design levels of mentioned systems and corresponding failure modes are determined and following the format of DFMEA fulfilled. Then for every single failure mode, experts determined severity, occurrence and detection values. By multiplying mentioned three values, risk priority number is calculated, which makes a ranking among the failure modes. After that for the failure modes which are determined as risky, recommended actions are decided, therefore mentioned failure modes' risk potentials are reduced.

In the result section, outputs of applying DFMEA to yacht systems are evaluated. FMEA is a very important and practical method to use for engineering. To rank the

design and process levels, to foresee corresponding failure modes forms the design significantly and sets up a systematical auto control mechanism. Although the method is simple it provides lots of advantages and realistic outputs. This makes the method very practical and therefore the method is used widely in most of the industrial areas.

Yachts are generally produced as custom purchases, not in serial processes. Therefore to construct a prototype would be very expensive and inefficient way to see the defects of the design. FMEA points out the defects in design level and provides to be foreseen. As a result of that it creates an opportunity to avoid the failures which will cause lots of cost and time loss.

Although risk priority number is not the best way to evaluate the results it gives an opinion to its user. When the user looks at the ranking of the risk priority numbers of each failure modes it can be said risky for the failure mode which has a high risk priority number. On the other hand it can be said less risky for a failure mode which has a low risk priority number.

This study has shown and given an opinion abaout that risk assessment, quality and process development tools of different sectors may be used for anothers. And this may provide the opportunity and ability to see the processes and design levels with a wider angle. It may facilitate to see the much more technical details and it may avoid to overlook the possible risks.

In this study FMEA method could be applied to only three yacht systems, which are considered as the most risky ones by the experts, but future studies should be applied more systems and fields in yacht sector and naval architecture. Failure modes should be multiplied and detailed by a FMEA team with the attendance of shipyard crew, people who has profound experieces about sector and related areas. Every single suggestion about failure modes, potential causes of the failures, potential effects of the failures and also recommended actions from experienced staff in FMEA team would improve the FMEA. In this way more risk can be foreseen, more losses can be avoided and more resources can be saved.

1.GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Hata türü ve etkileri analizi (Failure Mode and Effect Analysis) – (FMEA), otomotiv sektörü başta olmak üzere birçok sanayi kolunda üretim ve tasarım süreçlerinde çok sık kullanılan ve karşılaşılan bir risk analiz yöntemidir.

Otomotiv sektöründe standart hale gelmiş bazı tasarım ve üretim tekniklerinin gemi inşaasında da uygulanabilmesi mümkündür. Birçok sektörde başarı ile uygulanan bu yöntemin yat tasarımında kullanımı pek fazla görülmemektedir. Bu çalışma bu anlamda ilklerden biridir. Bu tekniklerden biri olan Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi (DFMEA: Design Failure Modes and Effects Analysis) riskleri önceden tahmin ederek hataları önlemeye yönelik bir analiz tekniğidir. Hatanın ortaya çıkması ile doğacak problemin, müşteri bakış açısıyla algılanması prensibine dayanır. Hatanın yaratabileceği olası etkiler sayısal olarak değerlendirilir ve belirlenen değerlere ve müşteri beklentilerine göre yüksek olarak öngörülen risk unsurlarına karşı önleyici uygulamalar devreye sokulur. Hataları üretim ya da müşteri seviyesine gitmeden önce önlemeyi ve dolayısıyla müşteri memnuniyetini arttırmayı hedefler.

Bu çalışma kapsamında gemi ve yat sörveyörlerinden oluşan bir uzman grubu oluşturulmuştur. Belirlenen uzman grubunun ortak görüşü olarak yatlarda en yüksek risk potansiyeli , yakıt, yangın ve sintine sistemleri olarak belirlenmiştir. Bu sistemler, DFMEA yöntemi kullanılarak risk analizine tabi tutulmuştur. DFMEA uygulamasının her aşamasında oluşturulan uzman grubunun değerlendirmeleri alınmıştır. Başlangıç aşamasında, belirtilen sistemlerin tasarım aşamaları listelenmiştir. Bu tasarım aşamalarında, sektörde uzun yıllar çalışan ve söz konusu hataları tecrübe eden uzmanların görüşlerine dayanarak olası hata türleri tespit edilmiştir. Hata türlerinin belirlenmesinin ardından, hatanın potansiyel etkisi, sebebi, hatayı saptamak ve önlemek için hali hazırda kullanılan yöntemler uzmanların sektörde edindikleri tecrübelere dayanarak belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra ise uzmanlar her bir hata türü için şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlendirmelerini

sayısal olarak yapmışlardır. Uzmanlar tarafından belirlenen şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinin çarpılmasıyla başlangıç risk öncelik sayıları hesaplanmış ve başlangıç risk öncelik sayısı öngörülen değerlerden yüksek olarak çıkan hata türleri için uzmanlardan önleyici faaliyet tavsiyesi istenmiştir. Uzmanların önerdiği faaliyetler ile hata türlerinin değişen şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerleri revize edilmiştir. Revize edilmiş şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlerinin çarpılmasıyla revize risk öncelik sayısıları elde edilmiştir. Böylece potansiyel risk unsurları öngörülmüş ve etkilerinin azaltılması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Bölüm 2'de mühendislikte risk kavramı özetlenmiş, Bölüm 3'de DFMEA yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır. Bölüm 4'de Hata Türleri ve Etkileri Analizi yönteminin yatlardaki üç temel sisteme uygulanması anlatılmıştır. Uzmanların görüşlerine dayanılarak, hata türleri ve düzeltme önlemleri tablolar halinde verilmiştir. Bölüm 5'de uygulamanın güçlü ve zayıf yönleri ortaya çıkartılarak, yat tasarımına uygulamanın kazançları ve ileride yapılabilecek çalışmalar verilmiştir.

2. MÜHENDİSLİKTE RİSK KAVRAMI VE HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ

2.1 Risk Kavramı

Sistem dizaynı mühendislik disiplinlerinde çok önemli bir yere sahiptir. Bir çok mühendislik sistemi de gerçekten karmaşık süreçlere sahip olabilmektedir. Ancak daha önce yapılan çalışmalardan ve tecrübelerden faydalanılarak oluşturulan modeller analiz edilerek, tasarlanacak sistemler hakkında bir takım kabuller yapılabilir. Problem çözümü safhasında birçok olası durum ve faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Arora, 2004).

Risk, hata yapma olasılığının bir ürünü olarak tanımlanabilir veya bahsedilen hatanın sonucunun büyüklüğü ile ölçülebilir. Mühendisliğin konusu beklentileri karşılamak için tasarım, inşa ve üretim yapmak olarak tanımlansa da, bütçe, planlama, teknolojik yenilikler ve risk kavramını da göz önünde bulundurmak çok önemli bir hale gelmiştir. (Mierzwicki, 2003).

Risk nitelik ve nicelik olarak ölçülebilir ve tanımlanabilir. Nitelik olarak Wang & Roush (2000) riski proje çıktılarının tahmin edilen değerden sapması olarak tanımlarlar.

Modarres (1992) riski "tehlikeye karşı korunaksız bir durumun sonucu olan potansiyel kayıp ya da sakatlık" olarak tanımlar. Açık bir tehlike kaynağı olduğunda ve bu tehlikeye karşı hiçbir önlem olmadığında, kayıp ya da sakatlık olasılığı vardır ve bu da "risk" olarak adlandırılır. *Modarres*, " Karmaşık mühendislik sistemlerde, sıkça, görülen tehlikelere karşı önlem alınır, ne kadar yüksek seviye güvenlik tedbiri, o kadar düşük risk anlamına gelir" diyerek risk ve sistem güvenliği arasındaki bağlantının altını çizmiştir.

Riskin bu ve benzeri birçok açıklaması vardır. Ancak risk nasıl tanımlanırsa tanımlansın, değişmeyen bir gerçek vardır; "Projeler karmaşık hale geldikçe, risk artar" (Mirerzwicki, 2003).

Risk mühendisliği, sistemin karmaşıklığını ve mühendislik dinamiklerini anlamayı içerir. Wang & Roush' (2000) göre " Risk Hatayı anlamak, mühendislik konusunda başarılı olmak için çok kritik bir noktadır. Her hata, sebebinin mantıklı bir sonucudur. Her şeye rağmen sebebi bulmak zor olabilir. Mühendisler hatanın kök sebebini bulmalıdırlar ve bu anlayış mühendislik başarısına giden yolu garanti edecektir.

Risk kavramını tanımlamak, mühendislik tasarımının limitlerini iyi anlamayı gerektirir (Mentes, 2010). Her mühendislik tasarımının limitleri ve kırılma noktaları vardır. Mümkün olabilecek tüm hata mekanizmalarını öngörebilmek, sağlıklı bir mühendislik tasarımının daha da gelişerek tüm potansiyel risklerin en aza indirilmesine olanak sağlar. Risk değerlendirmesi sistem yapısını ve sistemin operasyon şartlarıyla olan ilişkisini tanımlayarak başlar. Wang ve Roush (2000) risk öğesini teknik performansla, maddi kaynakla veya plan çıktısıyla ilgili herhangi bir belirsizlik olarak tanımlamıştır. Risk değerlendirmesi hangi risk faktörünün projeyi etkileyebileceğini belirlemek ve saptanan faktörün detaylı olarak dokumante edilmesinden ibarettir. Risk maddelerini değerlendirmek bir seferde yapılıp bitirilecek bir işlem değildir; proje boyunca temel bir prensiple uygulamaya devam edilmelidir. Risk maddelerini tespitlerinde oluşabilecek içsel ve dışsal tüm riskler öngörülebilmelidir. İçsel riskler, proje ekibinin kontrol ya da etki edebileceği risklerdir. Kaynak yönetimi, bütçe yaklaşımları buna örnek olarak gösterilebilir. Dış kaynaklı riskler ise, proje ekibinin kontrol ya da etki sahasının ötesindedir. Wang ve Rush' a göre (2000), belirsizlik kullanılan malzemenin mühendislik tasarımının, üretim prosesinin ve operasyonel çevrenin doğasında vardır. Kabul edilebilir risk, sadece mühendislik çevriminin her safhasıyla ilgili belirsizlikleri kontrol edebilme yeterliliğiyle tehlike olmaktan çıkarılabilir.

Risk analiz yöntemleri; nicel ve nitel yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Nicel risk analiz yöntemi, matematiksel bir model kurmak için her kayıp bileşenin bilinen ve varsayılan karakteristiklerini kullanır ve bunun için de aşağıda sıralanan bilgilerin bir kısmını veya tamamını birleştirir:

- Hata oranları,
- Tamir oranları,
- Hedeflenen zaman,

- Sistem mantığı,
- Tamir zamanlamaları,
- İnsan hatası.

Nicel risk analizi, risk hesaplarında sayısal yöntemlere başvurur. Nicel risk analizinde tehdidin olma ihtimali, tehdidin etkisi gibi değerlere sayısal değerler verilir ve bu değerler matematik ve mantık metotları ile işlenip risk değeri bulunur.

Nicel risk değeri;

Risk = Tehdidin Olma İhtimali * Tehdidin Etkisi

formülü kullanılarak hesaplanır.

Nitel risk analizi, olası risk faktörlerini belirlemek ve olası risk faktörlerinin sonuçlarını veya sıklıklarını azaltmak, uygun tedbirleri saptamak için kullanılır. Bu teknik üzerinde düşünülen sistemin potansiyel kayıplarının bir listesini üretmeyi amaçlar. Yöntem bir giriş verisi olarak kayıp veriler yerine, mühendislik tahminlerine ve geçmiş tecrübelere dayanır. Nitel risk analizinde, risk değerini hesaplarken ve/veya ifade ederken sayısal değerler yerine yüksek, çok yüksek gibi tanımlayıcı sözel değerler kullanılır.

Risk analizi yöntemleri risk analizi sürecinin matematik işlemler ve yorumlarının yapıldığı çekirdek kısmını oluşturur. Aşağıdaki belli başlı risk analiz yöntemleri sıralanmıştır (Özkılıç, 2005):

- Risk Haritası Yöntemi,
- Başlangıç Tehlike Analizi Yöntemi,
- İş Güvenlik Analizi Yöntemi,
- “Eğer ne” Analizi,
- Birincil Risk Analizi Yöntemi
- Kontrol Listeleri Kullanılarak Birincil Risk Analizi Yöntemi
- Risk Değerlendirme Karar Matrisi Yöntemi,
- Tehlike ve İşletilebilme Çalışması Yöntemi,
- Tehlike Derecelendirme İndeksi Yöntemi,
- SWOT Analizi Yöntemi,

- Hızlı Derecelendirme Yöntemi,
- Hata Ağacı Analizi Yöntemi,
- Olası Hata Türleri ve Etki Analizi Yöntemi,
- Güvenlik Denetimi Yöntemi,
- Olay Ağacı Analizi Yöntemi,
- Neden – Sonuç Analizi Yöntemi.

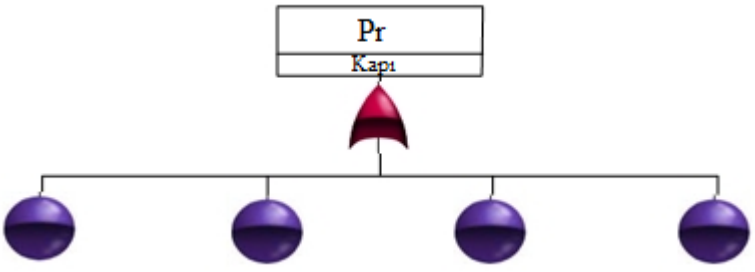
Risk Analiz Yöntemleri

Bu bölümde yukarıda sıralanan risk analiz yöntemleri kısaca özetlenmiştir.

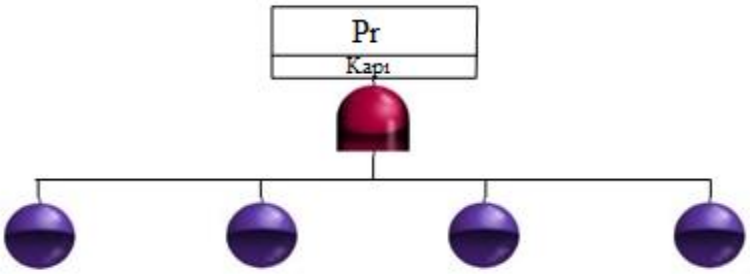
Hata ağacı analizi, tümdengelimli mantığa dayanan, sistematik ve grafik analiz tekniğidir. Bu yöntem kök olayların ve belirli istenmeyen bir kazanın olasılığını hesaplamakta kullanılır. KHA (Kritik Hata Analizi) yönteminde, kritik hatalar veya ana hataların sebepleri ve potansiyel karşıt önlemler şematik olarak gösterilir.

KHA yönteminde önce hataların gidiş yolları, fizik ve insan kaynaklı hata olaylarına sebep olacak yollar tanımlanır. Daha sonra muhtemel alt olayları mantıksal bir diyagramla gösterilir. Grafik olarak insan ya da malzeme kaynaklı hataların muhtemel kombinasyonlarını oluşturur. İhtimallerini ortaya çıkarabileceği önceden tahmin edilebilen istenmeyen hata olayını (zirve olay) grafik olarak gösterir.

Bir sistemin hatası, hata ağacında zirve olay olarak temsil edilir. Hata ağacında ‘veya’ ve ‘ve’ kapıları gibi mantık işaretleri çeşitli olaylar arasındaki ilişkiyi temsil etmek için kullanılır (Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3).



Şekil 2.1 : ‘veya kapısı’

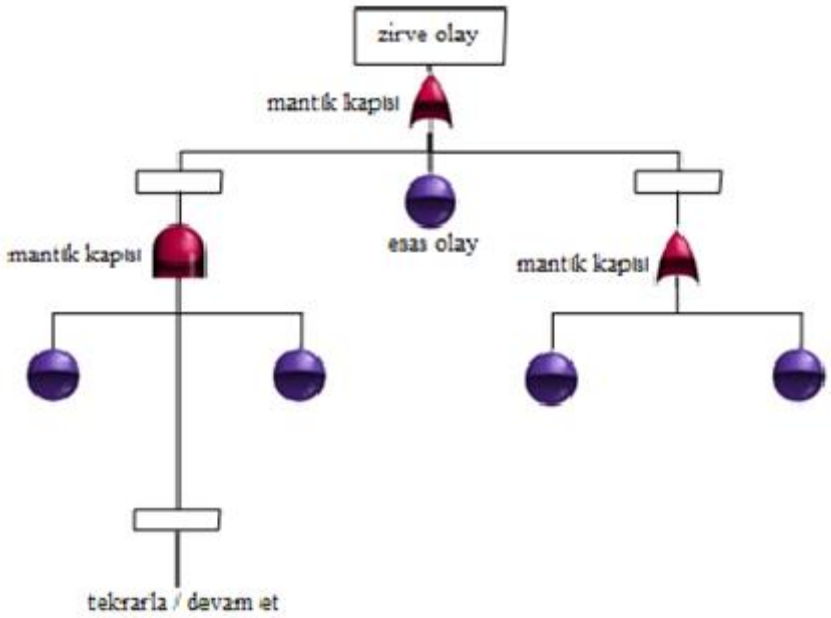


Şekil 2.2 : 've kapısı'

KHA her düzeyde tehlike oluşturabilecek hataların analizini yapar ve bir mantık diyagramı aracılığıyla en büyük olayı (kaybı) yaratan hataların ve problemlerin olası tüm kombinasyonlarını gösterir.

Hata ağacı analizinin ana hedeflerini şu şekilde ifade etmek mümkündür:

- Analizi yapılacak sistemin güvenilirliğinin tanımlanması,
- Sisteme etki eden karmaşık ve birbirleriyle ilişki içinde bulunan olumsuzlukların belirlenmesi ve bu olumsuzlukların olasılıklarının değerlendirilmesi,
- Sistemde tehlikeye yol açan tüm problem ve olasılıkların sistematik olarak sıralanması.



Şekil 2.3 : Hata ağacı oluşum aşamaları

Hata ağacı sistem analizi, hata ağacının oluşturulması ve değerlendirme safhalarından oluşur.

KHA yönteminde bir sistemin zirve hata olasılığı sistemin temel bileşenlerinin hata olasılığı kesin değerler olacak şekilde hesaplanır (Yuhua ve Datoo, 2005). Ancak, pek çok sistem için, sistemi oluşturan bileşenlerin kesin hata oranlarını veya olasılık değerlerini bilmek çok zordur. Belirgin yaklaşım bulanık ve belirsiz bir ortamda gerçekleşen sistemlerin modellenmesinde, her bileşenin hata oranını tespit etmekte yetersiz kalmaktadır (Liang ve Wang, 1993). Bir sistemin modellenmesinde başarı ya da başarısızlık durumları için kesin sınırlar çoğu durumda mevcut değildir. Doğasında bulanık, belirsiz ve eksik veri bulunan temel bileşenlerden oluşan sistemlerin risk analizinde, BKT'yi esas alan Bulanık Hata Ağacı (BHA) yöntemi kullanılır. BHA yönteminde, bileşenlerin kesin olasılık değerleri, bulanık gerçel sayılarla ifade edilebilmektedir (Mentes, 2010) .

Risk Analizi karmaşık bir süreç olup, çok boyutludur ve doğası gereği disiplinler arasıdır. Mühendislerin eğilimleri nitel yöntemlerden çok nicel yöntemlere doğrudur, buna bağlı olarak literatür ve araştırmalar da öncelikle nicel risk analizi (NRA) yöntemlerini anlamaya odaklıdır . Bahsi geçen " NRA" olaylara hasarın derecesi ya da olasılığı mantığıyla yaklaşır ve temel olarak tehlikenin oluşma ihtimali ya da potansiyel hata modları konseptine bağlıdır (Mierzwicki, 2003).

Bahr ve Modarres (1993), Kaplan ve Garrick' in "riskin nicel tanımlaması" çalışmasından bahsetmişlerdir. Bahr, Kaplan ve Garrick' in risk terimini 3 soruda tanımladığına dikkat çekmiştir; Modarres risk analizinin aşağıdaki 3 soruların cevaplarından oluştuğunu vurgulamıştır:

1. Tehlike unsuru oluşturabilecek ne yanlış gidebilir?
2. Bu ne sıklıkta olur?
3. Eğer olursa, ne gibi sonuçları olur?

Bu üç temel soru aynı zamanda, bu tezin esas çalışması olan yat sistemlerine FMEA yöntemiyle risk analizi yapma konusunun temellerindendir.

Kaplan ve Garrick' in tanımlamasını baz alarak, risk tanımlamasını bu üçlüyle geliştirmiştir; olay senaryosu, oluşma ihtimali ve sonuçları.

Wang & Roush risk analizini, potansiyel hata ölçüsü olarak tanımlar;

“Eğer Bildiğimiz bir şeyi sayısal formatta açıklayamazsak, o şey hakkında çok da şey bilmiyoruz demektir. Eğer o şey hakkında çok şey bilmiyorsak, kontrol etmeyi de başaramayız. Bu nedenle potansiyel hataları ölçmeliyiz”.

3. DFMEA (TASARIM HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ)

Hata türleri ver etkileri analizi (FMEA), günümüzde endüstride tasarımların başlangıç aşamalarında güvenlik değerlendirmesi yapmak için çok sık kullanılan bir yöntemdir. FMEA tarihi 1950' lerin başında yöntemin uçuş kontrol sistemlerinin tasarım ve geliştirilmesinde kullanılmasıyla başlamıştır. Tasarımdaki değişikliklerin tanımlanması ihtiyacını karşılayan bir parametre olmuştur. Tüm bunların ötesinde yöntem, alt sistemlerin ve bu alt sistemlere ait tüm parçaların potansiyel hata modlarını içeren bir liste ihtiyacı doğurmuştur.

Aşağıda FMEA tekniğinin uygulanması için izlenmesi gereken 7 ana adım görülmektedir:

1) Sistemin tanımlanması
2) Temel kuralların belirlenmesi
3) Söz konusu sistemlerin tanımlanması
4) Alt sistemlerin tanımlanması
5) Hata türleri ve etkilerinin tanımlanması
6) Kritik adımların listelenmesi
7) Sonuçların derlenmesi

3.1 DFMEA Kullanımının Amacı

DFMEA aşağıdaki maddeleri hedefleyen, sistemli bir grup aktivite olarak tanımlanabilir;

Bir ürünün ya da tasarımın potansiyel hatasını ve bunun etkilerini teşhis etmek ve değerlendirmek, söz konusu potansiyel hatanın oluşmasını önleyecek ya da oluşma şansını azaltacak aksiyonlar belirlemek, bu işlemi dökumante etmek ki bu da müşterinin isteklerini karşılayabilecek bir tasarım yapma konusunda tamamlayıcı bir faktör olacaktır (Ford, 2011).

DFMEA metodunun bu çalışmadaki amacı, yat tasarım sürecinde tasarlanan sistemlerin çalışması sırasında çıkabilecek problemlerin ve etkilerinin öngörülmesi ve bu etkilerin azaltılması ya da tamamen önlenebilmesinin sağlanmasıdır.

3.2 DFMEA Metodolojisi

DFMEA genel olarak, bir ürün ya da tasarımdan sorumlu tasarım mühendisi ve ekibi tarafından, mümkün sınırlar içinde, potansiyel hata türlerini ve ilgili hata türlerinin nedenlerini ve işleyişlerini belirleyebilmek ve tanımlayabilmek için kullanılan analitik bir tekniktir. İlk aşamasından itibaren tüm ilgili sistemler boyunca alt sistemler ve bileşenler de dahil olmak üzere çok iyi incelenmelidir. En kısa tanımlamayla FMEA bir mühendisin ya da ekibin, sistem ya da ürünü tasarlanmış gibi düşünerek (bu düşüncelerin içine geçmişte yaşanan tecrübeler ve endişelere dayanan ve yanlış gitme ihtimali olan maddelerin analizi de dahil olmak üzere) ve bunu simule ederek oluşturduğu bir senaryonun özetidir. Bu sistematik yaklaşım mühendisin herhangi bir tasarımın hayata geçmesi durumundaki bilimsel ve Teknik aşamaları simule eder, tasarımı yapacak bir sonraki mühendis ya da ekip için bunları dökümante eder.

DFMEA yönteminde aşağıdaki maddeler uygulanır bu sayede hata riski azaltılır ve tasarım sürecini desteklenir; (Ford, 2011)

- Tasarım gereksinimlerinin ve alternatiflerinin objektif olarak değerlendirilmesini sağlar.
- Başlangıç tasarımına üretim gereksinimlerinin belirlenmesi için yardımcı olur.
- Sistemlerin ve bileşen operasyonlarının tasarım ve geliştirilmesinde potansiyel hata türleri ve bunların etkilerinin göz önünde bulundurulmasını sağlar.
- Yapılan tasarım sonrasında, bu tasarımı izleyen tasarımların, testlerin ve geliştirme programlarının planlanmasına yardımcı olabilecek bilgiler sağlar.
- Tasarlanan sistemin son kullanıcıya “müşteriye” etkilerine göre sıralanan bir potansiyel hata modları listesi oluşturur. Bu da sistem tasarımının

- iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için, en az kurulumu tamamlanmış sisteme uygulanacak geliştirme ve onay testlerinin ya da analizlerinin sonuçları kadar güvenilir bir sistem oluşturur.
- Tavsiye edilebilir ve kayıt tutulabilir bir açık konular listesi formatı sağlar.
- Gelecekte yaşanabilecek sorunların analizine, tasarım değişikliklerinin değerlendirilmesine ve üst düzey tasarımların geliştirilmesine yardımcı bir referans görevi görür (Ford, 2011).

3.3 DFMEA Uygulaması

Üreticilerin ürünlerini, sürekli olarak geliştirmeye duydukları bağlılıktan dolayı, DFMEA tekniğini, potansiyel endişeleri saptamak ve elimine etmek üzere bir kontrol – denetim tekniği olarak kullanma ihtiyacı her zamanki kadar yüksektir. Konuyla ilgili örnek çalışmalar göstermiştir ki, DFMEA uygulamalar risk unsuru olarak tanımlanabilecek durumların tehlikeli sonuçlarını önlemede başarılı olmuştur.

DFMEA hazırlama sorumluluğunun tek bir kişiye verilmesi gerekse de, DFMEA girdileri bir takım çalışmasıyla belirlenmelidir. Bahsi geçen takım, konuyla ilgili bilgi sahibi olan bireylerden oluşmalıdır. Bu kişiler tasarım, üretim, montaj, servis ve kalite ve güvenilirlik konusunda uzman mühendisler olmalıdırlar.

DFMEA uygulamasındaki en önemli faktörlerden biri zaman planıdır. Uygulama bir "olaydan önce" çalışması olmalıdır, "gerçekleşenden sonra" değil. En iyi değerlere ulaşmak için, DFMEA tasarımdan ya da üretimdeki bir hata modu farkında olunmadan tasarlanmadan önce yapılmalıdır.

Üründe ya da işlemde değişikliklerin en kolay ve en ucuza uygulanabileceği aşamalarda ve hatta bu aşamalara gelmeden kapsamlı bir DFMEA yapmak, geç kalınmış değişikliklerin yaratabileceği problemlerin azaltılmasının ve hatta önlenebilmesini sağlayacaktır.

DFMEA, tasarımın her aşamasında problemin bir önceki aşamada olduğundan daha büyük hale getirebilecek bir değişikliğin uygulanma şansını düşürür ve ya yok eder. Eksiksiz uygulandığında üretimin sonuna kadar devam edecek yaşayan, yani duruma gore üzerinde güncelleme yapılabilir bir dokümandır.

Var olan bir tasarımın yeni bir çevrede, lokasyonda ya da uygulamada kullanılması.durumunda DFMEA' nın amacı yeni çevrenin veya lokasyonun var olan tasarım üzerindeki etkisidir.

Etkili önleyici eylemlerde bulunma tüm etkilenen aktivitelerle ilişkili olmalıdır. İyi tasarlanmış ve iyi geliştirilmiş bir DFMEA etkili önleyici ve düzeltici eylemler içermelidir.

Sorumlu mühendis, DFMEA' daki tüm önerilen eylemlerin doğru uygulandığından ve doğru dağıtıldığından emin olmakla yükümlüdür. FMEA yaşayan bir dokumandır ve üretim başladıktan sonra oluşan tüm durumlara anında reaksiyon gösterebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Sorumlu mühendis karar verilen eylemlerin uygulandığından birkaç maddeyle emin olur;

1. Tasarım, üretim süreçleri ve teknik çizimler, alınan önlemlerin uygulanıp uygulanmadığı konusunda gözden geçirilir.
2. Tasarım ve üretim arasındaki işbirliğinin sağlandığından emin olunur.
3. DFMEA ve bundan yola çıkarak hazırlanan proses FMEA ve kontrol planlarının gözden geçirilmesi.

DFMEA tasarım aşamasında ve tasarımın tüm detay adımlarında, tamamlanmış olan ürünün birincil ve diğer fonksiyonlarını yerine getirememe riskini ortadan kaldırmak, öngörmek, engellemek, en azından olasalık ve şiddetini düşürmek için kullanılır (Ford, 2011).

3.4 DFMEA Formunun İçeriği

3.4.1 FMEA numarası

Oluşturulan DFMEA dokümanına bir numara vermek, daha sonra olası yayınlanacak olan düzeltmeler düşünülerek izlenebilirliğin sağlanmasında önemlidir.

3.4.2 Sistem, alt sistem veya bileşen numaraları

Numaralandırmak için uygun bir analiz seviyesi belirlenir ve daha sonra bu seviyede analiz edilen sistemi alt sistem ve bileşenler isimlendirilip numaralandırılır.

FMEA takım üyeleri daha sonra bunların belirli eylemlerini tanımlayabilmek için sistemi, alt sistemi veya bileşenleri nelerin oluşturduğuna karar vermelidir.

Sistem, alt sistemler veya bileşenler rasgele seçilmiş olup bunlara DFMEA takım üyeleri karar vermelidir.

Sistem çeşitli alt sistemlerin oluşturduğu bir yapı olarak tanımlanabilir. Bu alt sistemler de değişik tasarım ekipleri tarafından tasarlanabilir. Bir kaç tipik DFMEA örneğinde system tanımlanamaları şu şekilde olabilir; örneğin bir araba için; şase sistemi, güç birimleri sistemi, iç hacim sistemi. Bu sebeple DFMEA' nın bir bileşeni olan sistem FMEA' nın asıl odaklandığı nokta diğer araçlardan müşteri geri bildirimlerinden edinilen tecrübelerin sonucu olan arabirimleri de içerecek şekilde, tüm ara birim ve etkileşimlerin, üzerinde çalışılan sistemi oluşturduğundan emin olmaktır.

Bir alt sistem DFMEA genel olarak kendisinden daha büyük bir sistemin kuruluşunu sağlayan bir birimdir. Örneğin; bir süspansiyon sistemi bir aracın şase sisteminin bir alt sistemidir. Bu sebeple bir alt system DFMEA kendisini oluşturan bileşenlerin bir bütünü olmaya odaklıdır (Ford, 2011).

3.4.3 Tasarım sorumlusu

Bu kısma tasarım şirket ve bölüm ismi yazılır, gerek görüldüğü tkdirde tedarikçi ismi de yazılabilir.

3.4.4 Hazırlayan

DFMEA' yın hazırlayan sorumlu mühendisin adı soyadı, telefon numarası ve şirketinin adının yazıldığı kısımdır.

3.4.5 Anahtar tarih

Başlangıç FMEA tarihinin termin tarihinin yazıldığı kısımdır. Bu tarih daha önceden belirlenen tasarımın sunuş tarihini geçmemelidir.

3.4.6 FMEA tarihi

Orijinal DFMEA derleme ve varsa düzeltme tarihinin yazıldığı kısımdır.

3.4.7 Takım üyeleri

DFMEA konularının belirlenmesi ve tanımlanması sürecinde rol oynamış ve pay sahibi tüm kişi ve departmanların isimlerinin bulunduğu listedir. (Ayrı bir listed tüm katılımcı takım üyelerinin isim soyadı bilgilerinin yanı sıra telefon numarası, adres, departman vs. bilgilerinin de tutulması tavsiye edilir.

3.4.8 Madde / fonksiyon

Analiz edilecek madde veya fonksiyonların isim ve numaralarının yazılacağı kısımdır. Analiz edilen fonksiyon veya sistemler mümkün olduğunca kısaca ve özetle tasarım içeriğinin tanımlanmasını sağlayacak şekilde yazılmalıdır. İlgili sistemin içinde çalışacağı çevre ile ilgili de bilgi içermektedir. (örneğin; sıcaklık, basınç, nem aralıkları tanımlanabilir). Eğer fonksiyon birden fazla hata moduna sahipse, tüm fonksiyonlar ayrı ayrı listelenmelidir.

Beyin fırtınası ve benzeri teknikler en temel seviyede fonksiyonları listeleme konusunda kullanışlı olacaktır. (Bu tezin ilgili ve sonraki aşamalarında da beyin fırtınası tekniği kullanılmıştır.)

3.4.9 Potansiyel hata türü

Potansiyel hata türü bir sistemin, alt sistemin ya da bileşenin ilgili tasarım içeriğini ve gereksinimlerini yerine getirememesine neden olabilecek bir hatayla karşılaşma

potansiyeli olarak tanımlanmaktadır. Bunun dışında potansiyel hata modu kendisinden daha yüksek seviyede bir sistemin, alt sistemin ya da bileşenin hata türünün sebebi ya da kendisinden daha düşük seviyede bir bileşenin hata türünün etkisi olabilir.

Her bir fonksiyonun karşısına ilgili hata türü gelecek şekilde listelenir. Hatanın oluşabileceği yönünde bir varsayım yapılır, ancak kesin oluşacaktır diyerek yapılmaz. Bu varsayımlarda tavsiye edilen çıkış noktası daha önceki çalışmalarda aksayan noktaların gözden geçirilmesi, raporlar, ve takım halinde yapılan beyin fırtınaları olabilir.

Potansiyel hata türlerinin net olarak belirlenmiş kullanım ve operasyon koşulları ile tanımlanması gerekliliği göz ardı edilmemelidir. (Ford, 2011)

3.4.10 Potansiyel hata etkileri

Potansiyel hata etkileri, müşterinin gözünden, ilgili fonksiyonda karşılaşılabilecek hata türlerinin etkileri olarak tanımlanmaktadır.

Hata türü etkileri müşterinin deneyimleyebileceği ya da farkedebileceği açıdan değerlendirilmeli ve buna göre tanımlanmalıdır. Bu yaklaşım yapılırken kullanıcının ilk kullanıcıdan son kullanıcıya tüm aşamalarda olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Fonksiyon güvenlik açısından mı etkilenir yoksa hata türü sonrasında işlemsel bir uygunsuzluk mu olur, bu ayrımın iyi yapılması ve belirlenmesi gerekir.

Etkiler her zaman analiz edilen belli bir sistem, alt sistem ya da bileşen açısından belirlenmelidir.

Sistem, alt system ve bileşenler arasında hiyerarşik bir sıralama olduğu unutulmamalıdır.

Örneğin; bir parça çatlaktır, bu parçanın montajı yapıldığında titreşim yapmasına sebep olabilir ve bu da kesintili bir sistem operasyonu ile sonuçlanır. Kesintili sistem operasyonu performansın düşmesine neden olur, ki bu da en son seviyede müşteri memnuniyetsizliği olarak ortaya çıkar. Buradaki anafikir hatanın olası etkilerini öngörebilmektir.

3.4.11 Şiddet

Şiddet, gerçekleşme ihtimali sonucunda, oluşabilecek potansiyel hata türünün kendisinden bir sonraki bileşene, alt sisteme, sisteme ya da müşteriye olabilecek etkisinin ciddiyetinin bir değerlendirmesidir. Şiddet sadece etkiye uygulanır. Şiddet sıralamasındaki bir düşüş hata türünü ortadan kaldıran bir tasarım değişikliği vasıtasıyla oluşabilir. Şiddet 1-10 aralığında bir değerle öngörülmeli ve tanımlanmalıdır.

Potansiyel hata sebebi girilmeden şiddet değeri tanımlanmalıdır (Ford, 2011).

Hata şiddetinin sonuçlarını hafifleten bir takım tasarım değişiklikleriyle şiddet bazen düşürülebilir. Örneğin, emniyet kemeri bir kazanın oluşturabileceklerinin şiddetini düşürebilir.

Şiddet tanımının hangi değerde olduğunu belirlemek üzere oluşturulmuş ölçek Çizelge 3.1 ‘ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Şiddet Değerlendirme Tablosu (Ford, 2011)

Etki	Etkinin şiddeti	Derece
İkazsız Tehlike	Sistemin güvenle çalısmasını engelleyecek hata - yasalarla uyumsuz hata. Hata herhangi bir ikaz olmadan meydana gelir. Olağanüstü tasarımcı - operatör dikkati ve acil eylem gerektirir.	10
İkazlı Tehlike	Sistemin güvenle çalısmasını engelleyecek hata - yasalarla uyumsuz hata. Hata sesli ya da alarm gibi görsel bir ikazla meydana gelir.	9
Çok yüksek	Sistem kullanılmaz hale gelip temel fonksiyonlarını kaybeder.	8
Yüksek	Sistem düşük performans ile çalısır.Müsteri büyük bir hoşnutsuzluk duyar	7
Orta	Sistem çalısır fakat kolaylık/rahatlık sağlayan bazı parçalar çalısmaz. Müsteri hoşnutsuzluk duyar. Normal dikkat gerektirir.	6
Düşük	Sistem çalışır fakat düsük performansta çalısır. Müşteri bazı rahatsızlıklar duyar.	5
Çok Düşük	Sistem çalışır fakat düsük performansta çalısır. Tecrübeli bir tasarımcı - operator tarafından uygulanmalıdır. Hata büyük çoğunluk tarafından fark edilir. (> 75 %).	4
Önemsiz	Sistemin performansı ya da toplam ömrü düşer.Hata müsterilerin %50'si tarafından fark edilir.	3
Çok Önemsiz	Sistemin performansı ya da toplam ömrü düşer.Hata müsterilerin %50'si tarafından fark edilir.	2
Etkisi Yok	Hiç etki yok	1

Farklı bir bakış açısı olarak; Eğer potansiyel hata türünün etkisi müşteri şikayetiyle sonuçlanacaksa puanlama 5-10 aralığında, eğer olmayacaksa 1-4 aralığında olmalıdır.

1-2 aralığında şiddet değerine sahip bir hata modu diğerlerine göre daha az dikkat gerektirir. Bu da, bu hata türü için, anlık daha fazla işin ertelenmesi anlamına gelir.

Eğer bir hata modu için 9-10 mertebesinde bir şiddet değeri girildiyse söz konusu problemin mümkün olduğunca fazla potansiyel temel nedeninin bulunması için özel çaba harcanmalıdır.

Şiddet değerinin 8-10 arası olduğu bir durumda, olasılık ve saptanabilirlik değerleri 1-2 mertebelerinde olsa da, hata türünün veya hata sebebinin hala üretim

başladığında karşılaşılma ihtimalinin olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Böyle durumlarda söz konusu hata türü tasarım FMEA' dan süreç FMEA' ya taşınmalı ve düzeltici eylem alınmalıdır.

9-10 mertebesinde bir şiddet genellikle bir tasarım değişikliğiyle sonuçlanır ve eylemler bu yönde alınır.

3.4.12 Hatanın potansiyel sebebi

Hatanın potansiyel sebebi genellikle bir zayıf tasarım göstergesidir. Bu, potansiyel hata türüdür. Her hata türü için mümkün olan ve öngörülebilen tüm olası sebepler listelenir.

3.4.13 Oluşma sıklığı – olasılık

Oluşma sıklığı, belirli bir hata türünün dizayn sürecinde öngörülen olma ihtimalidir. Tasarım değişikliği ya da tasarım süreç değişikliği yoluyla hata türleri nedenlerini önlemek ya da kontrol altına almak olasılık değerini düşürebilecek tek yoldur. Tasarım sürecinin değişimi gözden geçirme, planlama ya da kontrol listesi hazırlama yoluyla yapılabilir.

Potansiyel hatanın gerçekleşme olasılığı 1-10 ölçeğinde değerlendirilir. Olasılık öngörüsü yapılırken sorulan sorulardan örnek bir kaçı aşağıdaki gibidir;

- Benzer bileşenin ya da alt sistemin çalışma deneyimlerinin kayıtları nelerdir?
- Bileşen bir öncekinin devamı ya da bir seviye öncekinin benzeri mi?
- Bir önceki seviye alt sisteme göre ne derece önemli değişiklikler yapılmış?
- Bileşen bir önceki seviyeden tamamen değişik mi?
- Bileşenin uygulama şekli bir öncekine göre değişik mi?
- Çevresel değişiklikler nelerdir?
- Karşılaştırmalı olasılık öngörüsü için bir mühendislik analizi kullanıldı mı?
- Önleyici kontroller devreye girdi mi?

(Ford, 2011)

Olaslılık değerlendirme kriterleri;

Çizelge 3.2' de olasılık aralığını belirlemek için gerekli kriterlere yer verilmiştir. Bu olaslık kriterlerine göre 1 – 10 arasında bir değer belirlenir.

Çizelge 3.2: Olasılık değeri belirleme (Ford, 2011)

Hata İhtimali	***Kriter: Hata Nedeninin Oluşma Sıklığı - DFMEA (İlgili Sistemin Tasarın sürecinde)***	***Kriter: Hata Nedeninin Oluşma Sıklığı - DFMEA (Sayısal)***	***Değerlendirme***
Çok Yüksek	Daha önce denenmemiş yeni teknoloji / yeni tasarım	≥ binde 100/ ≥ 10'da 1	10
	Hata yeni tasarımla, yeni uygulamayla veya operasyon koşullarındaki değişiklikle önlenemez.	Binde 50 / 20'de 1	9
	Hata yeni tasarımla, yeni uygulamayla veya operasyon koşullarındaki değişiklikle muhtemelen önlenemez.	Binde 20 / 50'de 1	8
	Hata yeni tasarımla, yeni uygulamayla veya operasyon koşullarındaki değişiklikle önlenebileceği kesin değil.	Binde 10 / 100'de 1	7
Orta	Benzer tasarımlarla ya da tasarım simülasyonları ve testleriyle ilgili sık yaşanan hatalar	Binde 2 /500' de 1	6
	Benzer tasarımlarla ya da tasarım simülasyonları ve testleriyle ilgili seyrek yaşanan hatalar	Binde 0.5/ 2000' de 1	5
	Benzer tasarımlarla ya da tasarım simülasyonları ve testleriyle ilgili çok nadir yaşanan hatalar	Binde 0.1/ 10000' de 1	4
Düşük	Bir öncekinin neredeyse aynısı olan tasarımlarla ilgili çok nadir hatalar	Binde 0.01/ 100000' de 1	3
	Bir öncekinin neredeyse aynısı olan tasarımlarla ilgili hiç gözlemlenmemiş hatalar	Binde 0.001/ 1000000' da 1	2
Çok Düşük	Önleyici kontrol vasıtasıyla elimine edilen hatalar	Önleyici kontrol vasıtasıyla elimine edilen hatala	1

3.4.14 Saptanabilirlik

Saptanabilirlik, tasarımdaki olası potansiyel hata türlerinin çeşitli kontrol yöntemleriyle saptanabilirliğinin değerlendirildiği bir kısımdır. Çizelge 3.3' de saptanabilirlik değeri değerlendirmesi görülmektedir.

Çizelge 3.3: Saptanabilirlik değeri belirleme (Ford, 2011)

Saptama	Saptanma sıklığı	Derece
Kesin Belirsizlik	Tasarım doğrulaması - kontrolü potansiyel hata sebebi dolayısıyla hata tespit edemez, tasarım doğrulanamaz	10
Çok Uzak	Tasarım doğrulaması - kontrolünün potansiyel hata sebebi, dolayısıyla hata tespit etme şansı çok uzak	9
Uzak	Tasarım doğrulaması - kontrolünün potansiyel hata sebebi, dolayısıyla hata tespit etme şansı uzak	8
Çok Düşük	Tasarım doğrulaması - kontrolünün potansiyel hata sebebi, dolayısıyla hata tespit etme şansı çok düşük	7
Düşük	Tasarım doğrulaması - kontrolünün potansiyel hata sebebi, dolayısıyla hata tespit etme şansı düşük	6
Orta	Tasarım doğrulaması - kontrolünün potansiyel hata sebebi, dolayısıyla hata tespit etme şansı orta derecede	5
Ortadan Yüksek	Tasarım doğrulaması - kontrolünün potansiyel hata sebebi, dolayısıyla hata tespit etme şansı orta dereceden yüksek	4
Yüksek	Tasarım doğrulaması - kontrolünün potansiyel hata sebebi, dolayısıyla hata tespit etme şansı yüksek	3
Çok Yüksek	Tasarım doğrulaması - kontrolünün potansiyel hata sebebi, dolayısıyla hata tespit etme şansı çok yüksek	2
Neredeyse Kesin	Tasarım doğrulaması - kontrolü potansiyel hata sebebi dolayısıyla hatayı neredeyse kesin olarak tespit eder	1

3.4.15 Başlangıç risk öncelik sayısı

Risk öncelik sayısı (RÖS), şiddet (Ş), olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerlerinin çarpılmasıyla ortaya çıkan bir değerdir.

$$RÖS = (Ş) \times (O) \times (S)$$

Risk öncelik sayısı tasarımdaki riskin bir ölçüsü niteliğindedir. RÖS değeri 1 ile 1000 arasındadır. Tasarım FMEA yı (DFMEA) bir sürekli iyileştirme aracı olarak kullanıldığında, yüksek RÖS değerleri hesaplanması durumunda sorumlu tasarım ekipleri bu yüksek RÖS değerini düşürmek üzere bir takım düzeltici faaliyetler uygulamalıdır. Bunun yanısıra, genel olarak şiddet değeri 9-10 olarak tespit edildiğinde ilgili madde özel bir çalışma gerektiriyor olarak algılanmalıdır (Ford, 2011).

3.4.16 Önerilen faaliyetler

Düzeltici ve önleyici faaliyet niteliğindeki mühendislik uygulamaları ilk olarak yüksek şiddet ya da yüksek RÖS değerine sahip maddelere yönlendirilmelidir. Önerilen faaliyetlerin asıl amacı, şiddet, olasılık, saptanabilirlik sıralamasıyla söz konusu değerleri düşürme şeklindedir.

Genel uygulamada şiddet değeri 9 – 10 olan maddelere RÖS değerine bakılmaksızın önleyici – düzeltici yani önerilen faaliyet alınmalıdır. Özetle her durumda, tanımlanan potansiyel hata türünün sonuçlarının son kullanıcıya zarar verme ihtimali varsa hata türünün sebeplerini ortadan kaldırmak için önerilen faaliyetler uygulanmalıdır.

Önerilen faaliyetlerin bir numaralı amacı tasarımı geliştirerek riskleri düşürmek ve müşteri memnuniyetini arttırmaktır.

Bir kaç potansiyel faaliyet örneği aşağıdaki gibidir;

- Olayı bilgisayarda simüle ederek istenen şartlarda çalışıp çalışmadığından emin olmak.
- Malzeme testleri uygulamak.
- Önleyici uygulamaları arttırmak.
- Tasarımda değişikliğe gitmek.

- Kontrol birimlerini arttırmak.

3.4.17 Düzeltilmiş risk öncelik sayısı

Önerilen faaliyetler devreye alındıktan sonra, şiddet, olaslık ve saptanabilirlik değerleri tekrar öngörülür ve kaydedilir. Yeni şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerleri çarpılarak bir RÖS hesaplanır. Eğer hiç bir önerilen faaliyet uygulanmamışsa bu kısım boş kalacaktır. Bu adımın amacı, uygulanan önerilen faaliyetin RÖS değerini istenilen ölçüde düşürüp düşüremediğini görmektir. (Ford, 2011)

4. DFMEA' NIN YAT SİSTEMLERİNE UYGULANMASI

Yat sistemleri, bir yatın yangına karşı güvenlik önlemleri ve ilgili tertibatı, su geçirmez bütünlüğünün korunması, yakıt tüketiminin düzenlenmesi ve yönetilebilmesi ve dolayısıyla yatın seyrini güvenli ve sorunsuz şekilde devam ettirebilmesi için sevk ve dümen sistemine yardımcı sistemler olarak tanımlanabilmektedir. Bunların yanı sıra, yat sistemleri teknedeki tüm sıvı ve gaz akışını düzenleyen boru donanımı ve ekipmanları içerir. Bahsi geçen sistemlerin tasarımı, her tasarım sürecinde olduğu gibi ilgili sistemden beklenen ihtiyaçlar ve olası problemler öngörülerek yapılır. İlgili devreler gereklilik halinde su geçirmez perdelerden geçer veya tekne kabuğunu delerek su emişi ya da atışı yapabilirler. Bu durum teknenin su geçirmez bütünlüğünün korunması için en ciddi tehtidi dolayısıyla riski oluşturmaktadır. Sistem tasarımı aşamasında, devrelerin kendi ana işlevlerini yerine getirirken teknenin bütününü oluşturan diğer bileşenlere zarar vermemeleri öncelikli göz önünde bulundurulması gereken bir parametredir.

Yat sistem tasarımı genellikle yeni yöntem ve teknolojileri kapsar ki bu durum doğasında risk unsurları barındırır. Bu uygulamalar çoğu zaman kendi türünde ilklerdir. Hata, istenen performans ile elde edilen performans arasındaki farklarla, aşılan bütçelerle ve taahhüt edilen tarihe uyamama gibi sonuçlarla fark edilir. Bu tip riskler, sonuçlarıyla ve sonuçlarının boyutlarıyla ölçülebilirler.

FMEA bir çok mühendislik alanına uygulanmıştır. Açık deniz yapıları da bu uygulamaların en çok görüldüğü alanlardandır. Wall et al. (2002) FMEA yönteminin yüzen yapılarda, yükleme ve boşaltma teknelerinde ve diğer yüzen depolama ünitelerinde nasıl kullanıldığını açıklamıştır. Pillay and Wang (2003 a) bir deniz vinci çekme sistemi için FMEA uygulaması örneği vermişlerdir. Wang and Trbojevic (2007) deniz ve açık deniz sistemlerinin güvenlik tasarımını netleştirme sırasında ilgili sistemler için FMEA uygulamaları yapmıştır. Vinnem (2007), FMEA yöntemini kalitatif bir risk analiz yöntemi olarak kabul ettikten sonra geçmiş deneyimlerden çıkarımlar yapabilmek adına bir çok uzak deniz kazası için yöntemi

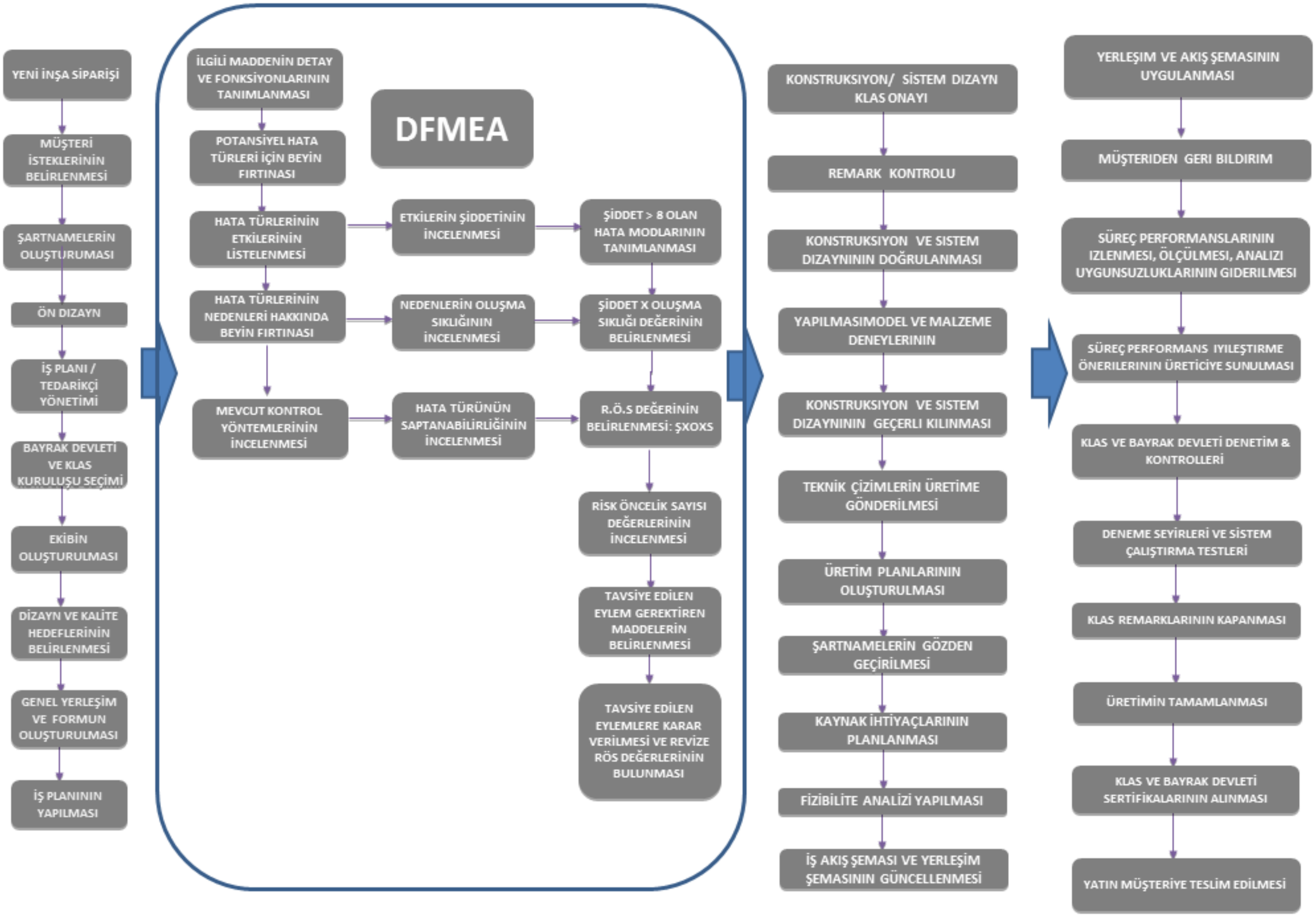
uygulamıştır. Yat sistemleri için FMEA uygulamalarına oldukça seyrek rastlanmaktadır.

Yat sistemlerinden herhangi birinin tasarımı sırasında karşılaşılabilecek potansiyel hataları ve bunun etkilerini teşhis etmek ve değerlendirmek, söz konusu potansiyel hataların oluşmasını önleyecek ya da oluşma şansını düşürecek aksiyonlar belirlemek ürün güvenliğini arttıracaktır. Bu arguman ve değerleri dökumante etmek ki bu da müşterinin isteklerini karşılayabilecek bir tasarım yapma konusunda tamamlayıcı bir faktör olacaktır.

4.1 Süreç Akışı

4.1.1 Süreç akış diyagramı

Yat sistemleri tasarımına hata türleri ve etkileri analizi (DFMEA) uygulamasının, bir yat tasarımı sürecinin hangi kısmında sürece dahil olduğunu gösteren diyagram Şekil 4.1’ de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Yat tasarımı süreç akışı

4.2 Yat Sistemlerine DFMEA Uygulamasında Kullanılan DFMEA İçeriği

4.2.1 DFMEA numarası

Yat sistemleri tasarım aşamalarında oluşturulacak her dokümana bir numara verilmelidir.

4.2.2 Sistem, alt sistem veya bileşen numaraları

Yat tasarımı sistemleri için çalıştırılan dizayn FMEA sırasında numaralandırma konusunda uygun bir analiz seviyesi belirlenir ve bu seviyede analiz edilen sistemi alt sistem ve bileşenler isimlendirilip numaralandırılır.

FMEA takım üyeleri daha sonra bunların belirli eylemlerini tanımlayabilmek için sistemi, alt sistemi veya bileşenleri nelerin oluşturduğuna karar vermelidir.

Yat sistemleri için oluşturulan DFMEA çalışmasında kullanılan bileşenlerin numaralandırılması Çizelge 4.1' de verilmiştir. Her bir tasarım aşamasına 1' den başlayarak ardışık sayılar verilmiştir. İlgili tasarım aşamasında 1 den fazla hata modu olduğunda ise ilgili numaranın yerine A ile başlayarak miktarı kadar harf alfabetik sırayla atanmıştır.

İşlem No ile belirtilen sütunda her bir proses bir numara ile tanımlanır. Dizayn FMEA daha sonraki aşamalarda bu işlemler tanımlandıkları numaralarla referans gösterilirler ve bu şekilde her aşamada her bir işlem izlenebilirliğini sağlamış olur.

Çizelge 4.1: Alt sistemlerin ve bileşenlerin numaralandırılması

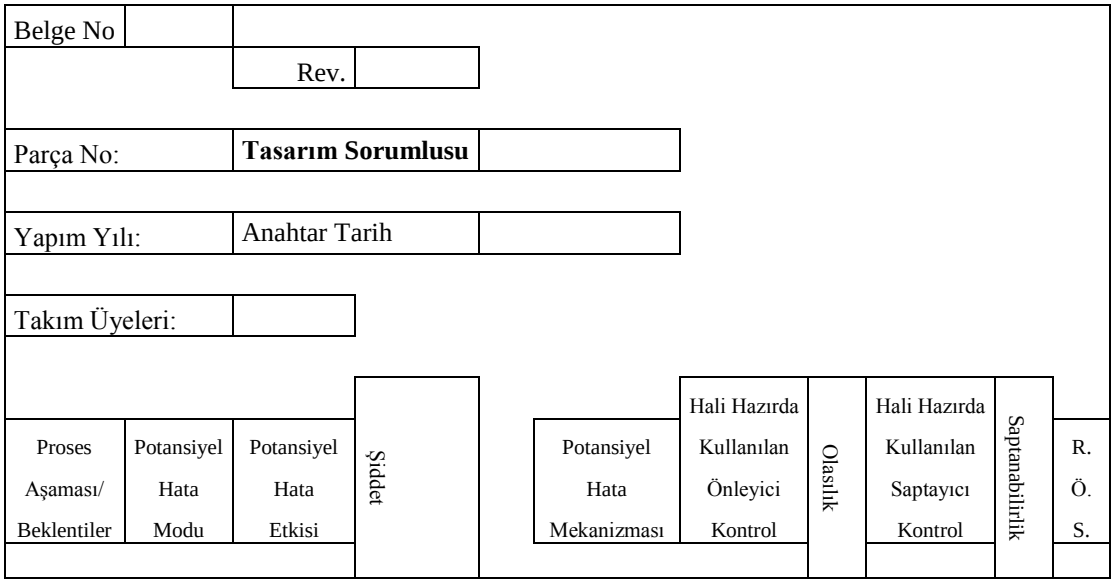
	Süreç Aşaması/ Beklentiler	Potansiyel Hata Modu	Potansiyel Hata Etkisi	ŞİDDET					
				U1	U2	U3	U4	U5	U6
1	Pompaların kapasitesinin belirlenmesi	Sistemdeki basım debisinin düşük kalması	Yangın söndürülemez	8	8	7	8	8	7
1A		Sistemdeki basım debisinin yüksek kalması	Yangın hortumu kontrol edilemez	5	5	5	4	4	4
2	Pompa tipi seçimi	Pompa tipinin yanlış seçilmesi	Sistemde yeterli debi sağlanamaz ve yangın söndürülemez	8	7	7	7	7	7
2A		Pompa tipinin yanlış seçilmesi	Pompa aşırı ısınır ve yangın çıkar	8	8	8	7	8	8
3	Boru malzeme, çap ve et kalınlığının belirlenmesi	Boru malzemesinin yanlış belirlenmesi	Devredeki borunun işlevini yitirmesi (yanması)	8	8	8	7	7	7
3A		Boru çapının yanlış belirlenmesi	Debi düşük ya da yüksek kalır ve yangın söndürülemez	8	8	8	8	6	6
3B		Boru et kalınlığının yanlış belirlenmesi	Yapısal dayanımının yeterli olmaması	8	8	7	7	8	8
4	Perde geçişleri izolasyonu	Kompartman geçişlerinde ısı iletimi	Isı geçişi olan kompartmanda yangın çıkabilir	6	7	7	7	6	5
5	Yangın istasyonlarının yerleştirmesi	Yeterli miktarda ve gerekli yerlere yangın istasyonu yerleştirilmemesi	Teknenin her yerine müdahale edilememesi	7	7	7	8	7	6

Çizelge 4.1 (devam) : Alt sistemlerin ve bileşenlerin numaralandırılması

6	Kinistin yeri tasarımı	Sistemin hava yapması	Pompa arızalanır	7	6	6	6	6	6
6A		Dipten kum ve çamur emilmesi	Deniz suyu filtreleri tıkanır	7	7	7	7	7	6
7	Hortum ve nozul seçimi	Hortumun yanlış seçilmesi	Hortum su basıncına dayanamaz	5	6	6	6	6	6
7A		Nozulun yanlış seçilmesi	Nozul yeterli uzaklık ve çapta su basamaz	6	6	6	6	6	6
8	Yangın dedektorlerinin yerleşimi	Yangın dedektorlerinin yanlış yerlere yerleştirilmesi	Yangın tespit edilemez	7	8	8	7	8	7
8A	Yangın dedektör tipi seçimi	Yangın dedektörünün yanlış seçilmesi	Yangın tespit edilemez	6	8	8	7	8	8
8B			Yanlış yangın alarmı verilmesi	7	7	7	6	4	6
9	Dedektörlerinin kablolanması	Dedektör kablo devresinin yanlış tasarlanması	Yangın ın yeri tespit edilemez	5	7	7	7	7	7
10	Sabit yangın sondurme sistemi seçimi	Gaz konsantrasyonunun yanlış hesaplanması	Yangın sırasında CO2 basılır	7	8	8	8	8	8

4.2.3 Tasarım sorumlusu

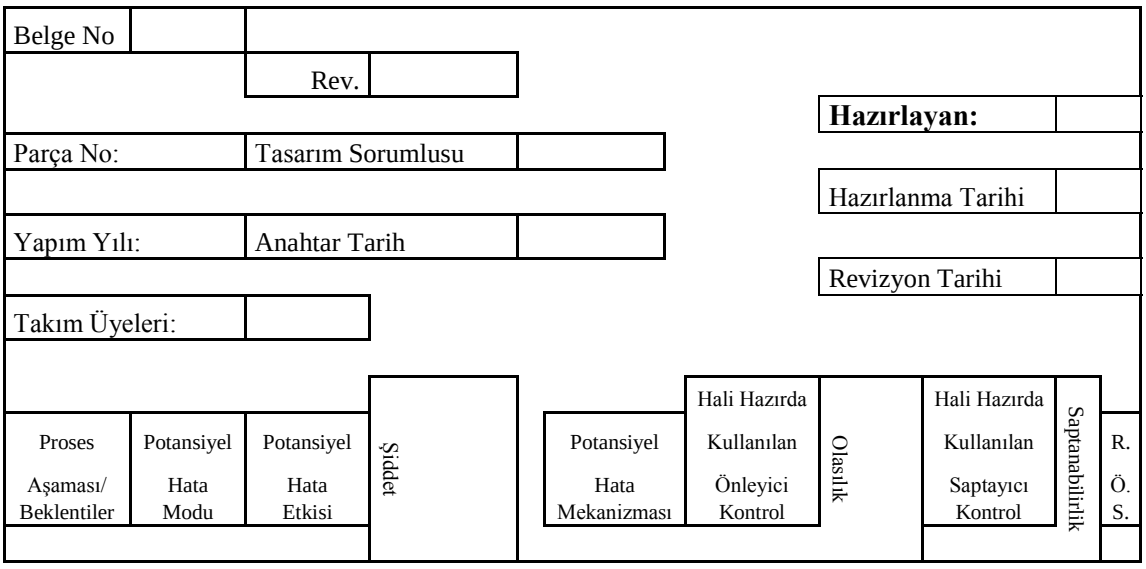
Yat sistemlerinde dizayn FMEA uygulaması yapılırken de bu kısma tasarımı yapan şiket ve mühendisin ismi yazıldı.



Şekil 4.2 : Tasarım sorumlusunun FMEA formundaki yeri

4.2.4 Hazırlayan

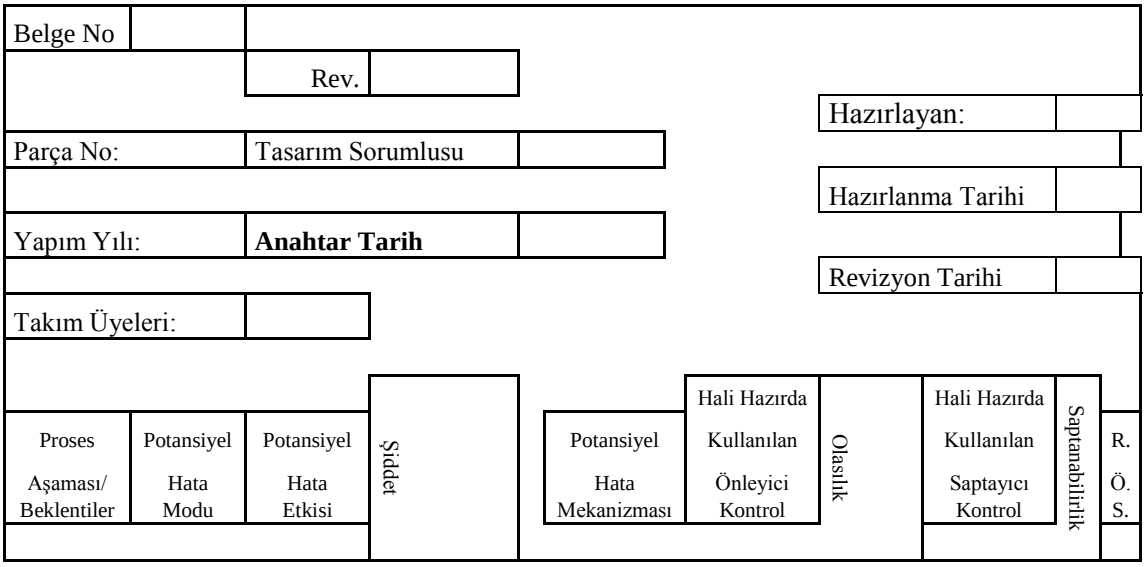
DFMEA' yı hazırlayan sorumlu mühendisin adı soyadı , telefon numarası ve şirketinin adının yazıldığı kısımdır.



Şekil 4.3 : Formu hazırlayan sorumlunun FMEA formundaki yeri

4.2.5 Anahtar tarih

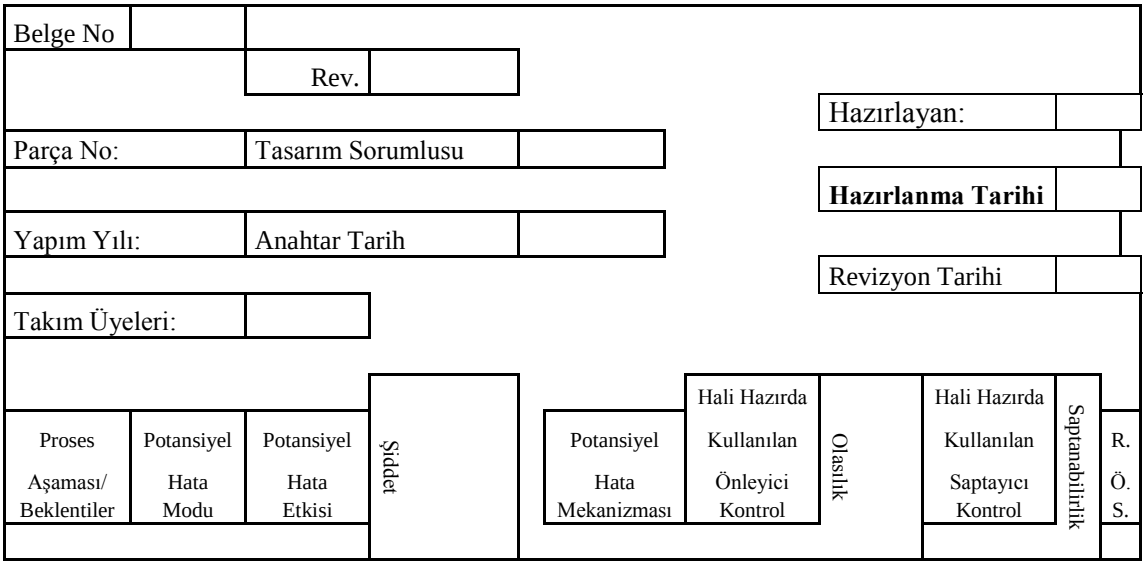
Başlangıç FMEA tarihinin termin tarihinin yazıldığı kısımdır. Bu tarih daha önceden belirlenen tasarımın sunuş tarihini geçmemelidir.



Şekil 4.4 : Anahtar tarihin FMEA formundaki yeri

4.2.6 FMEA tarihi

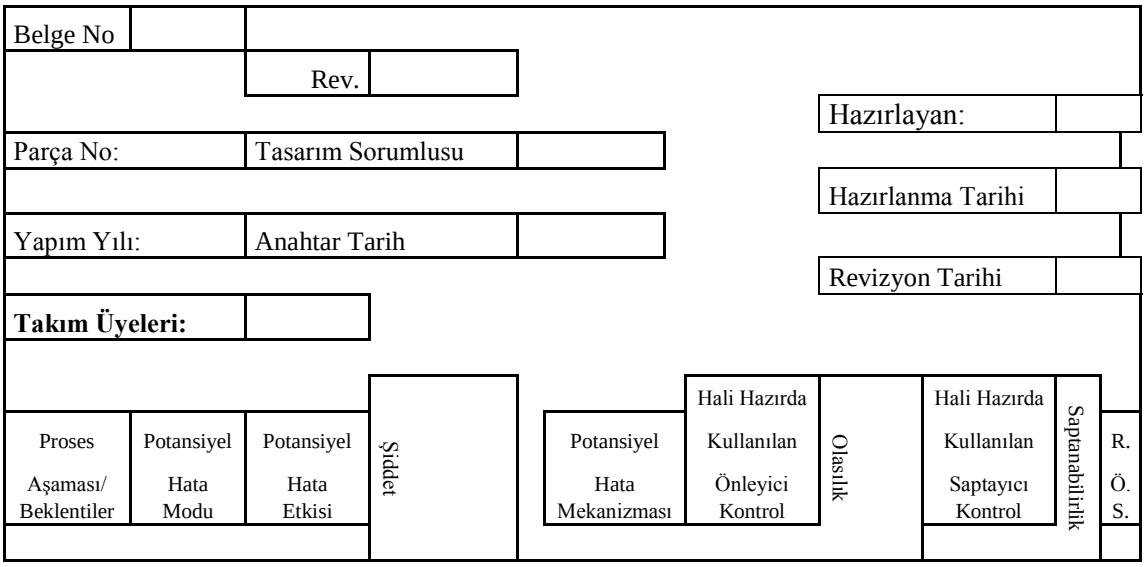
Orijinal DFMEA derleme ve varsa revizyon tarihinin yazıldığı kısımdır.



Şekil 4.5 : FMEA tarihinin FMEA formundaki yeri

4.2.7 Takım üyeleri

DFMEA konularının belirlenmesi ve tanımlanması sürecinde rol oynamış ve pay sahibi tüm kişi ve departmanların isimlerinin bulunduğu listedir. Ayrı bir listed tüm katılımcı takım üyelerinin ad-soyadı bilgilerinin yanı sıra telefon numarası, adres, bölüm vs. bilgilerinin de tutulması tavsiye edilir.



Şekil 4.6 : FMEA tarihinin FMEA formundaki yeri

4.2.8 Madde / fonksiyon

Yat sistemlerinden analiz edilmek üzere belirlenen, sintine, yangın ve yakıt devrelerinin tasarım aşamalarının/adımlarının isim ve numaralarının yazıldığı kısımdır. Çalışmada, tasarım aşamalarındaki işlemler tasarım yapılırken izlenen sıraya paralel olarak tabloya işlenmiştir. Çizelge 4.2' de yangın sisteminin tasarım aşamaları görülmektedir. Yangın sistemi tasarlanırken tasarımcı pompa kapasitelerinin belirlenmesiyle tasarım sürecini başlatır ve bunu izleyen süreçlerle tüm sistemin tasarımını oluşturur. Analiz edilen fonksiyon veya sistemler mümkün olduğunca kısa ve özetle tasarım içeriğinin tanımlanmasını sağlayacak şekilde yazılmaya dikkat edilmiştir. İlgili sistemin içinde çalışacağı çevre hakkında da bilgi içermektedir, (örneğin; sıcaklık, basınç, nem aralıkları tanımlanabilir). Fonksiyonların birden fazla hata moduna sahip olduğu kısımlarda, tüm fonksiyonlar ayrı ayrı listelenmiştir.

Çalışmada tasarımları analiz edilen sintine, yangın ve yakıt devrelerinde en temel seviyede fonksiyonları listeleme konusunda uzmanlarla beyin fırtınası ve benzeri tekniklerden fayadalanılmıştır.

Çizelge 4.2 : Madde/Fonksiyon

	Proses Aşamaları / Beklentiler		Proses Aşamaları / Beklentiler
1	Pompaların kapasitesinin belirlenmesi	6	Kinistin yeri tasarımı
1A		6A	
2	Pompa tipi seçimi	7	Hortum ve nozul seçimi
2A		7A	
3	Boru malzeme, çap ve et kalınlığının belirlenmesi	8	Yangın dedektorlerinin yerleşimi
3A		8A	Yangın dedektör tipi seçimi
3B		8B	
4	Perde geçişleri izolasyonu	9	Dedektörlerinin kablolanması
5	Yangın istasyonlarının yerleştirmesi	10	Sabit yangın sondurme sistemi seçimi

4.2.9 Potansiyel Hata Türü

Yat sistemlerinde potansiyel hata türleri belirlenirken, uzmanların sektörde edindikleri tecrübelerden faydalanılmıştır. Yangın sisteminde her bir fonksiyonel adım için yaşanması muhtemel hata veya hatalar Çizelge 4.3' de görüldüğü gibi listelenmiştir.

Çalışmada tasarımları analiz edilen sintine, yangın ve yakıt devrelerinde potansiyel hata türlerini öngörme ve belirleme konusunda uzmanlarla beyin fırtınası ve benzeri tekniklerden fayadalanılmıştır.

Çizelge 4.3 : Potansiyel Hata Türü

1	Sistemdeki basım debisinin düşük kalması	6	Sistemin hava yapması
1A	Sistemdeki basım debisinin yüksek kalması	6A	Dipten kum ve çamur emilmesi
2	Pompa tipinin yanlış seçilmesi	7	Hortumun yanlış seçilmesi
2A	Pompa tipinin yanlış seçilmesi	7A	Nozulun yanlış seçilmesi
3	Boru malzemesinin yanlış belirlenmesi	8	Yangın dedektorlerinin yanlış yerlere yerleştirilmesi
3A	Boru çapının yanlış belirlenmesi	8A	Yangın dedektörünün yanlış seçilmesi
3B	Boru et kalınlığının yanlış belirlenmesi	8B	
4	Kompartman geçişlerinde ısı iletimi	9	Dedektör kablo devresinin yanlış tasarlanması
5	Yeterli miktarda ve gerekli yerlere yangın istasyonu yerleştirilmemesi	10	Gaz konsantrasyonunun yanlış hesaplanması

4.2.10 Potansiyel hata etkileri

DFMEA hazırlanırken potansiyel hata etkileri, son kullanıcı ya da ara kullanıcılar gözünden, ilgili fonksiyonda karşılaşılabilecek hata türlerinin etkileri olarak tanımlanmaktadır.

Hata türü etkileri son kullanıcının deneyimleyebileceği ya da fark edebileceği açıdan değerlendirilir ve buna göre tanımlanır. Bu yaklaşım yapılırken kullanıcının ilk kullanıcıdan son kullanıcıya tüm aşamalarda olabileceği göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışmada tasarımları analiz edilen sintine, yangın ve yakıt devrelerinde potansiyel hata etkilerini öngörme konusunda uzmanlarla beyin fırtınası ve benzeri tekniklerden fayadalanılmıştır.

Sistem, alt sistem ve bileşenler arasında hiyerarşik bir sıralama olduğu göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır.

Örneğin; perde geçişleri gerektiği gibi izole edilmezse, bu bölümlerde su geçişi olabilir. Bu durum teknenin sephiye sağlayan kısımlarının su almasına sebep olabilir ve bu da son kullanıcıda memnuyetsizlikle sonuçlanabilir.

Yangın sisteminde her bir fonksiyonel adım için yaşanması muhtemel potansiyel hata etkileri Çizelge 4.4’ de görüldüğü gibi listelenmiştir.

Çizelge 4.4 : Potansiyel Hata Etkisi

1	Yangın söndürülemez	6	Pompa arızalanır
1A	Yangın hortumu kontrol edilemez	6A	Deniz suyu filtreleri tıkanır
2	Sistemde yeterli debi sağlanamaz ve yangın söndürülemez	7	Hortum su basıncına dayanamaz
2A	Pompa aşırı ısınır ve yangın çıkar	7A	Nozul yeterli uzaklık ve çapta su basamaz
3	Devredeki borunun işlevini yitirmesi (yanması)	8	Yangın tespit edilemez
3A	Debi düşük ya da yüksek kalır ve yangın söndürülemez	8A	Yangın tespit edilemez
3B	Yapısal dayanımının yeterli olmaması	8B	Yanlış yangın alarmı verilmesi
4	Isı geçişi olan kompartmanda yangın çıkabilir	9	Yangın ın yeri tespit edilemez
5	Teknenin her yerine müdahale edilememesi	10	Yangın sırasında CO2 basılır

4.2.11 Şiddet

Yat sistemleri için DFMEA hazırlanırken şiddet değeri yine gerçekleşmesi ihtimali sonucunda, oluşabilecek potansiyel hata türünün kendisinden bir sonraki adıma, kendisine bağlı bir sisteme, ya da son kullanıcıya veya bir sonrakine olabilecek etkisinin ciddiyetinin bir değerlendirmesi olarak göz önüne alınmıştır. Şiddet sıralamasındaki bir düşüş hata türünü ortadan kaldıran bir tasarım değişikliği vasıtasıyla oluşabilir. Şiddet değeri belirlenirken bir önceki bölümde bahsedilen ölçütlere uygun olarak 1 – 10 arasındaki bir ölçekten değerler belirlenmiştir.

Çizelge 4.5’ te yat sistemleri için DFMEA uygulaması sırasında, tüm uzmanların Çizelge 3.1’ deki şiddet değerlendirme tablosunu referans alarak, yangın sistemi tasarımındaki şiddet sütunu için uygun gördükleri değerler görülmektedir verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Şiddet

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
1	8	8	7	8	8	7
1A	5	5	5	4	4	4
2	8	7	7	7	7	7
2A	8	8	8	7	8	8
3	8	8	8	7	7	7
3A	8	8	8	8	6	6
3B	8	8	7	7	8	8
4	6	7	7	7	6	5
5	7	7	7	8	7	6

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
6	7	6	6	6	6	6
6A	7	7	7	7	7	6
7	5	6	6	6	6	6
7A	6	6	6	6	6	6
8	7	8	8	7	8	7
8A	6	8	8	7	8	8
8B	7	7	7	6	4	6
9	5	7	7	7	7	7
10	7	8	8	8	8	8

4.2.12 Potansiyel hata mekanizması

Çalışmada belirlenen hataların potansiyel sebepleri ilgili sistem tasarımlarında öngörülen zayıf / eksik noktalar sonucunda belirlenmiş ve bu potansiyel sebebplerin doğal sonuçları da potansiyel hata türleri olarak öngörülmüştür. Her hata türü için formata uygun şekilde mümkün olan ve öngörülebilen tüm olası hata sebepleri listelenmiş ve sonuçlar çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Potansiyel Hata Mekanizması

1	Kompleks izometri	6	Tasarımcı hatası
1A	Tasarımcı hatası	6A	Operasyon hatası
2	Tasarımcı hatası	7	Tasarımcı hatası
2A	Tasarımcı hatası	7A	Tasarımcı hatası
3	Tasarımcı hatası	8	Tasarımcı hatası
3A	Tasarımcı hatası	8A	Tasarımcı hatası
3B	Tasarımcı hatası	8B	Tasarımcı hatası
4	Tasarımcı hatası	9	Tasarımcı hatası
5	Tasarımcı hatası	10	Tasarımcı hatası

4.2.13 Oluşma sıklığı – olasılık

Yat sistemleri için DFMEA hazırlanırken, uzmanlar olasılık değerlendirmesini 3. Bölümdeki olaslılık kısmında belirtilen kriterleri dikkate alarak yapmışlardır ve belirlenen potansiyel hata türünün oluşma ihtimalini öngördüler.

Aşağıda, Çizelge 4.7' da yat sistemleri için DFMEA uygulaması sırasında, uzmanlardan birinin 3. Bölümdeki Çizelge 3.2' de bulunan şiddet değerlendirme tablosunu referans alarak, yangın sistemi tasarımındaki olasılık sütunu için 1 ile 10 arasında uygun gördükleri değerler görülmektedir. Her bir uzman ayrı ayrı kendine ait şiddet değerini belirlemiştir.

Çizelge 4.7 : Oluşma Sıklığı – Olasılık

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
1	2	2	2	2	2	2
1A	3	2	2	3	4	3
2	2	2	2	2	2	2
2A	3	2	3	4	2	3
3	3	3	2	4	3	3
3A	3	3	3	3	5	3
3B	3	3	4	2	3	3
4	6	4	2	2	5	3
5	4	3	3	3	4	4

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
6	4	2	2	2	2	2
6A	3	2	2	2	3	4
7	3	2	2	2	3	3
7A	3	2	2	2	3	2
8	5	4	4	4	4	2
8A	6	3	3	4	3	3
8B	5	3	4	3	4	4
9	4	2	2	2	3	2
10	3	2	2	2	3	2

4.2.14 Saptanabilirlik

Yat sistemleri için DFMEA uygulaması yapılırken uzmanlar olası hata türlerinin öngörülen kontrol yöntemleriyle saptanabilirliğini 3. Bölümde geçen Çizelge 3.3' e göre değerlendirdiler.

Aşağıda, Çizelge 4.8' de yat sistemleri için DFMEA uygulaması sırasında, tüm uzmanların 3. Bölümdeki Çizelge 3.3' de bulunan şiddet değerlendirme tablosunu referans alarak, yangın sistemi tasarımındaki saptanabilirlik sütunu için 1 ile 10 arasında uygun gördükleri değerler ve ortalamaları görülmektedir.

Çizelge 4.8 : Saptanabilirlik

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
1	3	3	3	3	3	3
1A	3	3	3	3	3	3
2	3	3	3	4	3	3
2A	4	3	3	3	3	3
3	3	4	3	4	3	3
3A	3	3	3	3	3	3
3B	3	3	4	3	3	3
4	3	4	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3	3

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
6	3	3	3	3	3	4
6A	4	3	3	3	3	4
7	3	3	3	3	3	3
7A	3	3	3	3	3	3
8	3	4	3	4	3	4
8A	3	3	3	3	3	3
8B	3	3	3	4	4	3
9	3	3	3	3	3	3
10	3	3	3	3	3	3

4.2.15 Başlangıç risk öncelik sayısı

Uzman değerlendirmeleriyle belirlenen şiddet (Ş), olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerlerinin çarpılmasıyla başlangıç risk öncelik sayıları (RÖS) hesaplanmıştır. Çizelge 4.10' da sintine sistemi RÖS değerleri örnek olarak verilmiştir. Çizelge 4.9' da ise tüm uzmanların yangın sistemi için belirlediği RÖS değerleri ve bu değerilerin ortalamaları örnek olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Başlangıç Risk Öncelik Sayısı / RÖS = (Ş) x (O) x (S)

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
1	48	48	42	48	48	42
1A	45	30	30	36	48	36
2	48	42	42	56	42	42
2A	96	48	72	84	48	72
3	72	96	48	112	63	63
3A	72	72	72	72	90	54
3B	72	72	112	42	72	72
4	108	112	42	42	90	45
5	84	63	63	72	84	72

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
6	84	36	36	36	36	48
6A	84	42	42	42	63	96
7	45	36	36	36	54	54
7A	54	36	36	36	54	36
8	105	128	96	112	96	56
8A	108	72	72	84	72	72
8B	105	63	84	72	64	72
9	60	42	42	42	63	42
10	63	48	48	48	72	48

Çizelge 4.10 : Sintine sistemi RÖS değerlendirmeleri

	UZMAN														
SİNTİNE SİSTEMİ	U1	HATA TÜRÜ	3	2	10	*3A*	1	1A	3B	7	5	8	9	6	4
		RÖS	63	72	72	*75*	84	84	84	84	90	96	105	105	120
	U2	HATA TÜRÜ	7	2	3	*3A*	3B	1	1A	10	5	9	6	8	4
		RÖS	63	72	84	*84*	84	84	84	84	90	105	126	120	120
	U3	HATA TÜRÜ	7	2	5	*1*	1A	3	3A	10	3B	4	9	6	8
		RÖS	63	72	75	*84*	84	84	84	84	96	105	105	120	120
	U4	HATA TÜRÜ	1	2	3B	*3*	7	1A	3A	5	8	4	9	10	6
		RÖS	45	54	60	*63*	63	72	72	75	75	84	84	84	126
	U5	HATA TÜRÜ	1A	2	7	*9*	1	3A	3B	10	4	5	8	3	6
		RÖS	45	54	63	*63*	81	84	84	84	90	90	90	100	108
	U6	HATA TÜRÜ	9	8	6	*2*	1A	3A	7	10	3	1	3B	5	4
		RÖS	45	54	60	*63*	72	72	72	72	75	84	84	90	120

4.2.16 Önerilen faaliyetler

Yat sistemlerine DFMEA uygulamasında, uzmanların hata modları için belirlediği şiddet (Ş), olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerlerinin çarpılmasıyla bulunan RÖS değerlerinden, değeri 100' ü bulan ya da 100' e yaklaşanlar için düzeltici ve önleyici faaliyet önerildi. Bu sayede şiddet (Ş), olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerlerinden biri önerilen düzeltici ve önleyici faaliyetin niteliğine gore düşürüldü.

Revise edilen yeni değerlerin çarpımıyla oluşan düzeltilmiş risk öncelik sayısı değerleri, hata modunu risk tanımından çıkarmış ve risk olarak önceliğini düşürük güvenli bir seviyeye çekmiştir.

Genel uygulamada, özellikle müşterinin özel istekleri doğrultusunda DFMEA da belirlenen bir hata modunun şiddet değeri 9-10 olan maddelere bakılmaksızın düzeltici ve önleyici faaliyet alınabilir. Ancak bu çalışmada sadece RÖS değerleri 100 mertebesinde olan hata modları için düzeltici ve önleyici faaliyet alınmıştır.

Önerilen faaliyetlerin bir numaralı amacı tasarımı geliştirerek riskleri düşürmek ve müşteri memnuniyetini arttırmaktır.

Uygulamada geçen bir kaç potansiyel faaliyet örneği aşağıdaki gibidir;

- Olayı bilgisayarda simüle ederek istenen şartlarda çalışıp çalışmadığından emin olmak.
- Malzeme testleri uygulamak.
- Önleyici uygulamaları arttırmak.
- Tasarımda değişikliğe gitmek.
- Kontrol birimlerini arttırmak.

Çizelge 4.11' de tüm uzmanların yangın sistemi için belirlediği önerilen faaliyetler örnek olarak verilmiştir. Karşıları boş olan maddelere önerilen faaliyet getirme gereği görülmemiştir.

Çizelge 4.11 : Önerilen Faaliyetler

1		6	
1A		6A	Alçak ve yüksek olarak çift yükseklikte kinistin tasarımı
2		7	
2A	Deniz suyu için santirfuj pompa kullanılması	7A	
3	Sertifikalı (yangına dayanıklı) malzeme kullanılması	8	Kaçış güzergahlarına dedektor yerleştirilmesi
3A		8A	Know-How desteği
3B	SCH Standart tablodan kalınlık tayini	8B	Know-How desteği
4	Çelik boru geçişlerinin perde geçişleri dışında da izole edilmesi	9	
5	Min. 2 İstasyon yerleşimi yapmak - Genel yerleşim üzerinden kontrol etmek	10	

4.2.17 Düzeltilmiş risk öncelik sayısı

Uzmanlar tarafından önerilen düzeltici ve önleyici faaliyetler devreye alındıktan sonra, şiddet (Ş), olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerleri tekrar değerlendirildi, düşürüldü ve buna bağlı olarak bu üç değerin çarpılmasıyla oluşan RÖS değeri de revise edildi. Önerilen düzeltici ve önleyici faaliyetlerin şiddet (Ş), olasılık (O) ve saptanabilirlik (S) değerlerini, dolayıyla RÖS değerlerini istenilen ölçüde düşürdüğü gözlenmiştir.

Çizelge 4.11 ’ de tüm uzmanların yangın sistemi için belirlediği RÖS değerleri örnek olarak verilmiştir. Karşıları boş olan maddelere önerilen faaliyet getirme gereği görülmemiştir. Dolayısıyla ilgili maddelerin risk öncelik sayıları revise edilmemiştir.

Çizelge 4.12 : Düzeltillmiş Risk Öncelik Sayısı

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
1						
1A						
2						
2A	64	48	72	63	48	72
3	72	64	48	56	63	63
3A						
3B	72	72	84	42	72	72
4	72	84	42	42	72	45
5	63	63	63	72	63	72

	U1	U2	U3	U4	U5	U6
6						
6A	56	42	42	42	63	72
7						
7A						
8	84	64	72	84	72	56
8A	72	72	72	84	72	72
8B	63	63	84	72	64	72
9						
10						

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) yönteminin yatlarda yangın, sintine ve yakıt sistemlerine uygulaması anlatılmaktadır. Otomotiv sektöründe bu yöntemin kullanımından esinlenilerek yola çıkılmış ve yatlarda üç farklı sisteme uygulanmıştır. FMEA mühendislikte birçok alanda uygulanırken, yat sistemlerinde henüz yaygın olarak kullanılmaya başlanmamıştır. Bu çalışma FMEA'in yat sistemlerinde ilk uygulamalardan biridir.

Yatların yangın, sintine ve yakıt sistemleri baz alınarak, hata modlarının ortaya çıkartılması için, sektörde tecrübeli, altı uzmandan destek alınmış ve hata tabloları hazırlanmıştır.

Çalışma sonucunda çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibi maddelenmiştir;

1) FMEA mühendislikte kullanılması çok pratik ve önemli bir yöntemdir. Tasarım - üretim aşamalarının sıralanması, bu adımlara karşılık gelen potansiyel hata türlerinin öngörülmesi, yapılan tasarımları ciddi ölçüde şekillendirmekte ve sistematik bir otokontrol mekanizması oluşturmaktadır. Sistemin basitliğine karşın, sağladığı fayda ve gerçekçi çıkarımlar yöntemi son derece pratik bir hale getirmekte ve bugün bir çok endüstri kolunda geniş bir kullanım oranına ulaşmasını sağlamaktadır.

2) Yatlar genel olarak seri değil kişiye özel siparişle üretilir. Hatalarını görmek için bir yatın prototipini yapmak çok pahalı ve dolayısıyla verimsiz bir deneme yanılma yöntemi olacaktır. FMEA kurduğu hata türleri ve etkileri modeliyle söz konusu yat yapısal ve sistem tasarımlarındaki potansiyel hatalara dikkat çekmekte, bunların öngörülmesini sağlamaktadır. Bu durumun çok önemli bir sonucu da üretim sırasında maliyetleri çok arttıran yanlış işlemlerin düzeltilmesinin büyük ölçüde önüne geçilmesini sağlanmasıdır.

3) Şiddet, olasılık ve saptanabilirlik derecelerinin çarpılmasıyla elde edilen risk öncelik sayısı (RÖS) yöntemin sonuçlarını değerlendirme konusunda yetersiz kalmaktadır. Yöntem bu noktaya kadar çok tutarlı ve sonuçlarına güvenilir

iken bu noktadan sonra, çıkan sonuçları değerlendirmek için yardımcı bir karar verme yöntemi gerekliliği özellikle göze çarpmıştır.

4) RÖS sonuç değerlendirme için yeterli bir yöntem olmamakla beraber yöntem kullanıcısına fikir vermektedir. Çizelge 4.10' da her uzmana göre sintine sistemi için RÖS değerleri düşükten yükseğe doğru sıralanmaktadır. Bu tabloya bakarak RÖS değeri düşük olan hata modları için risk potansiyelinin düşük olduğu yorumu yapılabilir. RÖS değeri yüksek olan hata modları ise yüksek risk potansiyeli olan maddeler olarak değerlendirilebilir. Bu durumda çizelgedeki hata türleri risk potansiyeli düşük olandan yüksek olana doğru sıralanmıştır denilebilir.

5) Bu yöntem sayesinde, konu ile ilgili uzman bilgisi kayıt altına alınmış ve herkesin kullanımına sunulmuş olmaktadır.

Çalışma sırasında, RÖS yöntemi ile hataların sıralanması, en kritik hata türlerinin belirlenmesindeki yetersizlikler görülmüştür. Farklı karar verme yöntemleri ile sıralamaların yeniden yapılması, yöntemi çok daha verimli kullanılır hale getirecektir.

Bu tez kapsamında, zaman sınırlaması nedeni ile sadece üç sistem incelenebilmiştir. Gelecek çalışmalarda tüm sistemler için FMEA tabloları geliştirilmeli ve yatlarda farklı alanlara uygulanmalıdır.

REFERANSLAR

Arora, Jasbir S., (2004), Introduction to Optimum Design,

Bahr, N.J. (1997). System Safety Engineering and Risk Assessment: A Practical Approach. Taylor & Francis, Washington D.C.

Kaplan, S., Apostolakis, G., Garrick, B.J., Bley, D.C., and Woodard, K. Methodology for Probabilistic Risk Assessment of Nuclear Power Plants, Report PLG-0209, Pickard, Lowe and Garrick, Inc., Newport Beach, CA.

Menteş A., (2010), Açık Deniz Yapıları Bağlama Sistemlerinin Dizaynında Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması, Doktora Tezi, İTÜ.

Mierzwicki T. S., (2003), Risk Index For Multi-Objective Design Optimization of Naval Ships, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.

Modarres, M. (1992). What Every Engineer Should Know about Reliability and Risk Analysis. Marcel Dekker, NewYork.

Özkılıç, Ö., (2005). İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu Yayınları, no 246.

Pillay A. and Wang J., (2003) a, Technology and Safety of Marine Systems, Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 7

Pillay A. and Wang J., (2003) b, Modified failure mode and effects analysis using, approximate reasoning, Reliability Engineering and System Safety 79 (2003) 69–85

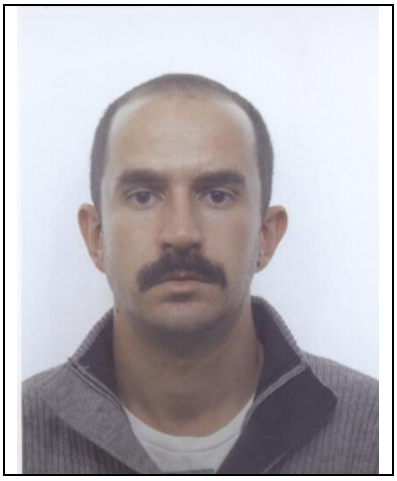
Wang,J.X. and M.L. Roush. (2000). What Every Engineer Should Know About Risk Engineering and Management (What Every Engineer Should Know, V. 36). Marcel Dekker, New York.

Wall M., Pugh H.R., Reay A. and Krol J., (2002), Failure modes, reliability and integrity of floating storage unit (FPSO, FSU) turret and swivel systems, Offshore Technology Report, 2001/073, HSE Books

Vinnem J.E., 2007, Offshore Risk Assessment, Principles, Modelling and Applications of QRA Studies, 2. Edition, Springer-Verlag London

Ford, FMEA Guidebook, (2011)

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: **Emre Özen**

Doğum Yeri ve Tarihi: **İzmir, 1985**

Adres: **Değirmenyolu cad. 96/12**
Altıntepe/Maltepe/İSTANBUL

E-Posta: **emreozn@gmail.com**

Lisans: **Yıldız Teknik Üniversitesi**

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Fuzzy Based Failure Modes and Effect Analysis for Yacht System Design
Sebnem Helvacioglu, Emre Ozen (Makale Ocean engineering' de yayın aşamasında)

Safety Desıgn Engıneerıng: FMEA Based Generalızed Mıxture Operators For Yacht Systems
Ayhan Menteş, Emre Ozen (Makale Ocean engineering' e sunuldu)