

Makine imalatı yapan bir işletmede tasarım hata türü ve etkileri analizi ile hata kaynaklarının belirlenmesi ve kalitenin iyileştirilmesi

Muzaffer KADIOĞLU*, Emine Uçmuş†, Demet GÖNEN‡
BAÜ. MMF. Endüstri Mühendisliği Bölümü 10145 Çağış/Balıkesir

Özet

Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), mevcut veya olası hataları ortaya koyan, bu hataların yaratabileceği etkileri göz önünde bulunduran ve etkilerine göre hataları önceliklendirerek oluşmalarının minimize edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Hata maliyet getirir, bu nedenle, mevcut veya olası hataların nedenlerine inilerek oluşmalarının önlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, bir ürünün tasarımından kaynaklanabilecek hataların, üretime başlamadan belirlenmesi amacıyla Tasarım FMEA çalışması yapılmış ve çalışmanın değerlendirilmesi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalite, hata türü, tasarım hata türü ve etkileri analizi,

Definition of fault resources and quality improvement by design failure mode and effect analysis for machinery manufacturing company

Abstract

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is a method which displays existing or probable faults and also takes into consideration the effects of them and by giving priorities to faults effects to provide opportunities of minimizing their effects.

Faults mean costs, that is why the main reasons of existing and probable faults must be found in order to prevent their occurrences.

In this study, determining the design failures of a product before its production is intended to make FMEA analysis and the evaluation of this study is presented.

Keywords: Quality, failure mode, design failure mode and effect analysis

* Muzaffer KADIOĞLU, kadioglu@balikesir.edu.tr, Tel: (266) 612 11 94

† Emine UÇMUŞ, ucmus@balikesir.edu.tr, Tel: (266) 612 11 94

‡ Demet GÖNEN, dgonen@balikesir.edu.tr, Tel: (266) 612 11 94

1. Giriş

Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA); sistem, tasarım, süreç ve/veya servisten kaynaklanan bilinen ve/veya olası hataların, sorunların müşteriye ulaşmadan önce tanımlanması, belirlenmesi ve yok edilmesinde kullanılan bir mühendislik tekniğidir (1).

FMEA, bilinen veya olası hata türleri ve bunların nedenleri ve etkilerini tanımlamada, tanımlanan hata türlerini önceliklendirmede ve hata türleri için düzeltici faaliyetleri gerçekleştirmede yardımcı olur. FMEA'nın temel amacı, bilinen veya olası hataların müşteriye ulaşmasını önlemektir. Bu amaçla, her hata riski değerlendirilmeli ve önceliklendirilmelidir (2).

Hata Türü ve Etkileri Analizi ilk olarak 1950'lerin başında ABD'de uçuş kontrol sistemlerinin gelişiminde kullanılmıştır. İlk resmi uygulaması, 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından gerçekleştirilen APOLLO projesidir (1,3).

FMEA'nın sistem, tasarım, süreç ve servis olmak üzere dört türü bulunmaktadır. Çalışmada Tasarım FMEA üzerinde durulacaktır. Araç üstü ekipman üretimi yapan bir firmada gerçekleştirilen Tasarım FMEA çalışmasında; bilinen veya olası hatalar, bu hataların nedenleri ve müşteri üzerinde yaratacağı etkiler, hataların ortaya çıkma sıklıkları, fark edilebilirlikleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan risk öncelik sayıları belirlenmiş ve uygun iyileştirici faaliyetler ile elde edilen kazanımlar formlar üzerinde gösterilmiştir.

2. Tasarım FMEA

Tasarım FMEA, ürünün güvenilirlik ve/veya emniyetine zarar verebilecek durumları belirlemek için tasarımın analiz edilmesinde kullanılan bir tekniktir. Tasarım esnasında yapılan bir hata, ciddi maddi kayıplara neden olabileceğinden, bütün yeni parçalarda, eski parçaların yeni uygulamalarında ve tasarım değişikliklerinin düşünüldüğü durumlarda uygulanabilmektedir. Bu nedenle temel amaç, tasarım hatalarının yaratacağı olumsuz sonuçların oluşmasını önlemektir (1,4,5).

Tasarım FMEA, tasarım geliştirme faaliyetleriyle ilgili önceliklerin tespit edilmesinde, önemli ve kritik özelliklerin belirlenmesinde, tasarım iyileştirmeleri ve geliştirme testleri için bir öncelik sisteminin oluşturulmasında ve öncelik derecesi yüksek olan faaliyetler için tedbirlerin alınmasında yardımcı olmaktadır. Böylece zaman ve işgücünden tasarruf sağlanacak, ayrıca tasarım süresinin kısaltılmasında da önemli katkı yaratacaktır (1,6).

2.1 Tasarım hata türü ve etkileri analizinin uygulama süreci

Tasarım FMEA çalışmasına başlamak için öncelikle analiz edilecek ürün belirlenmeli ve bu ürünün seçilme nedenleri ortaya konulmalıdır. Analizin yapılmasını isteyen ve analizi yapacak kişiler, hedeflenen tamamlanma tarihi, tamamlanması durumunda elde edilmesi amaçlanan sonuçlar belirlenmelidir. Hazırlık aşamasında, ürün ve analiz ile ilgili bilgiler toplanmalı ve seçilen projeye bağlı olarak uygun bir ekip oluşturulmalıdır. Ekip tarafından, incelenecek ürünün işlevleri alt alta yazılmalıdır.

İncelenen üründe oluşan/oluşabilecek hata türleri listelenmelidir. Hata türü, bir ürün veya parçanın beklenen görevini yerine getirememesi veya istenen performansı sağlayamamasıdır. Hata türleri listelenirken, daha önce yapılmış FMEA çalışmalarından kalite kontrol kayıt ve raporlarından, deney sonuçlarından, benzer ürünlerin çalışmalarından, müşteri şikayetlerinden yararlanılmaktadır. Eğer yeni bir üründen, ekiptekilerin konuya yakınlığı dikkate alınmaktadır (1).

Hatanın oluşması durumunda müşteri üzerinde yaratacağı etki belirlenmelidir. Etkinin anlamı, müşteri tarafından algılanan işlev üzerindeki hatanın sonucudur.

Bir hatanın önemi müşteriye etkisi yönünden 1 ile 10 arasında değerlendirilmektedir. Hata önem dereceleri için hatanın müşteri üzerine etkisi esas alındığından, belirli bir hatanın bütün olası nedenlerine aynı önem derecesi verilmelidir. Hatanın önem değeri tasarım değişikliği ile azaltılabilmektedir (1).

Hatanın önem derecesi 8'den ve olasılık derecesi de 1'den büyük ise olası bir "kritik özellik", önem derecesi 9'dan küçük ve olasılık derecesi 3'den büyük ise ve hata müşteri tatminini etkiliyorsa olası bir "önemli özellik" vardır denilmektedir (1).

Hata türünü oluşturacak tasarım zayıflıkları hata nedeni olarak tanımlanmaktadır. Bu yüzden hataya neden olabilecek bütün olası nedenler göz önüne alınmalıdır. Bir hatanın nedeni başka bir hata olduğundan hata nedeninin doğru tanımlanması, hatanın oluşmasının önlenmesi için önemlidir. Nedenlerin belirlenmesinde, ekibin bilgisinden, benzer ürün hatalarının geçmiş verilerinden, konu ile ilgili yapılan proje veya araştırma çalışmalarından, test raporlarından, servis verileri gibi kaynaklardan yararlanılmalıdır (1,6).

Hatanın oluşma olasılığı, ürünün parçalarında ortaya çıkabilecek hataların parçanın üretim sayısına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu değer iki sayı arasında olduğu takdirde, yüksek olan değer seçilmektedir. Olasılık değeri tahmin edilirken, hata türü nedenlerini belirlemek için kullanılacak kontrol önlemlerine dikkat edilmelidir. Kontrol önlemleri ile hata nedeninin ortaya çıkma olasılığı azaltılabiliyorsa, olasılık derecesini tahmin ederken azaltma göz önünde bulundurulmalıdır (1).

Keşfedilebilirlik, önerilen kontrol önlemleri ile hatanın fark edilebilme olasılığının derecesidir. Keşfedilebilirlik derecesinin artırılması için kontrol işlemlerinin uygun olup olmadığı ve etkinliği incelenerek iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Tasarım aşamasında hata türünü keşfetmek için kontrol noktaları veya parametreleri belirlenmektedir (1).

Keşfedilebilirlik çizelgesine göre hatanın keşfedilebilirliği hemen hemen kesine 1, olanaksız ise 10 puan almaktadır. Hatanın müşteriye gitmeden fark edilebilmesi büyük önem taşımaktadır.

Belirlenen her bir olası hata türünün puanlandırılması ve bu puanlandırılmaya göre öncelik sırasının belirlenmesi risk öncelik sayısına (Risk Priority Number) göre yapılmaktadır. Hata türlerinin önceliklendirilmesindeki amaç, hangi hatanın öncelikle incelenmesi ve düzeltici önlemlerin alınması gerektiğine karar vermektir. Risk öncelik sayısının eşitlik gösterimi;

$$RPN = \text{Önem} \times \text{Ortaya Çıkma Sıklığı} \times \text{Keşfedilebilirlik} \quad (1)$$

şeklindedir (1).

Ekibin hangi hatalar üzerinde iyileştirme çalışmaları yapacağını belirlemek için, hataların oluşma nedenlerine ait RPN değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmalı, kritik ve önemli özellikteki hatalar da göz önüne alınarak, iyileştirici faaliyetler $RPN \geq 100$ olan hata nedeninden başlamalıdır. Kritik özellikteki hataların RPN değerleri düşük bile olsa bu hataların önem değerleri yüksek olduğundan öncelikle üzerinde durulması gereken hatalardır.

Farklı önem, oluşma sıklığı ve keşfedilebilirlik değerlerinden aynı RPN değerleri elde edilebilir, ancak risk etkileri tamamıyla farklı olabilir. Bu kaynak ve zaman israfına yada bazı durumlarda yüksek riskli bir olayın fark edilmemesine yol açabilir (2,7). Böyle bir durumda, ilk olarak “önem” değeri, ikinci olarak da “keşfedilebilirlik” değeri yüksek olan hata seçilmelidir. “Önem” hatanın etkisiyle doğrudan ilgilidir ve önceliklidir, diğer yandan müşteri bağlantılı olduğundan “keşfedilme”, “oluşma” ya göre önceliklidir (6)

Hatalar için önerilen iyileştirici faaliyetler kısaca tanımlanmalı ve bu faaliyetler ile hatanın ortaya çıkma sıklığı, önemi azaltılmalı veya keşfedilebilirliği artırılmalıdır. Eğer hiçbir düzeltici önlem gerekmiyorsa, bu sütuna GEREKSİZ ifadesi yazılmalıdır (1).

Önerilen iyileştirmelerle ulaşılabilecek yeni olasılık, önem ve keşfedilebilirlik dereceleri tahmin edilmekte ve RPN değeri tekrar hesaplanmaktadır. Bu tahmin bilgileri FMEA formunun ilk doldurulduğunda gösterilmelidir.

Düzeltilen önlemler tamamlandıktan sonra, Tasarım FMEA ekibince hatanın ortaya çıkma sıklığı, önemi ve keşfedilebilirliği yeniden değerlendirilmektedir. Düzeltmeler esnasında değerler, birinci değerlendirmedeki tahmin değerlerinin üzerlerine bir çizgi çizilip altına yazılarak gösterilmektedir.

Tasarım FMEA, bir tasarım kararını belirtmekte ve bu tasarım kararına göre ürünün üretilmeyeceğini varsaymaktadır. Tasarım FMEA yaşayan bir belgelendirme sürecidir ve tasarım kavramının tamamlanmasıyla başlatılmalı, ürünün geliştirilme evrelerindeki değişikliklerle sürekli olarak güncelleştirilerek son çizimlerle tamamlanmalıdır (1).

3. Uygulama

Tasarım FMEA çalışması İzmir Kemalpaşa’da bulunan araç üstü ekipman üretimi yapan EFE Endüstri ve Ticaret A.Ş.’de yapılmıştır. Firma tasarımını analiz ederek, tasarım hatalarını ve neden olacağı maliyetleri azaltmayı ve müşteri memnuniyetini arttırmayı amaçlamaktadır.

Firma; belirtilen tasarım esaslarına göre ürün imalatının gerçekleştirilmesi için bir çalışma ekibi oluşturmuştur. Bu çalışma ekibi, firmanın ana üretimi olan hidrolik sıkıştırıcı çöp kasaları (HSÇK) mekanizmasını uygulama örneği olarak seçmiştir.

HSÇK mekanizmasında, üretimi gerçekleştirilen ürünün ana gövdesi araç üzerine monte edilmiştir. Ana gövde; ön görülen tonaja uygun bir çöp haznesi, bu hazneye doldurulan çöplerin sıkıştırılmasını sağlayan ve otomatik olarak açılıp-kapanabilen bir kapak ve sıkıştırma sırasında çöplere basınç uygulayan bir sıkıştırma-boşaltma perdesinden oluşmaktadır. Ana gövde üzerinde ayrıca; bir konteyner kaldırma düzeneği ve gerekli tahrik gücünü araçtan alan bir hidrolik tahrik donanımı bulunmaktadır (6).

FMEA çalışması HSÇK'sı bileşenlerinden konteyner sistemi üzerinde yapılmıştır (Şekil 1). Konteyneri kaldırıp çöplerin çöp toplama haznesine boşaltılmasını sağlayan konteyner sistemi incelenmiş ve hatalar, bunların nedenleri ve etkileri (Ek 1-4)'de verilmiştir.



Şekil 1. Konteyner sistemi

Bu temel hatalarla ilgili kısa açıklamalar izleyen şekilde yapılabilir; Konteyner silindirinin açılmamasına hidrolik sistem problemi neden olmaktadır. Hatanın oluşması durumunda yaratacağı etki, sistemin çalışmamasıdır. Önemli bir hatadır. Oluşma olasılığının düşük ve mevcut kontrolün etkili olması hatanın hesaplanan risk öncelik değerini azaltmaktadır.

Kol malzemesinin yorulması konteyner kollarının eğilmesi sonucunu oluşturmaktadır. Bu hatanın olası etkisi sistemin problemlili çalışmasıdır. Firmada, kolların üretimi esnasında gözle kontrol yapılmakta, montaj işleminde %100 fonksiyonel test uygulanmaktadır.

Kol kulaklarının kırılmasının nedeni, kaynak yönteminin yanlış seçilmesi ve malzeme seçiminin hatalı olmasıdır. Montaj esnasında fonksiyonel test ve %100 kontrol yapılıyor olması hatanın fark edilebilirliğini arttırmaktadır.

Yanlış malzeme seçiminin neden olduğu bara eğilmesinin olası etkisi, sistemin problemlili çalışmasıdır. Mevcut kontrolün yetersiz kalması hatanın keşfedilebilirliğini azaltmakta ve risk değerini arttırmaktadır.

Döndürme kolunun kırılması, tasarım esnasında eksenleme ölçülerinin yanlış seçilmesi ile oluşmaktadır. Önem derecesi yüksek olan bir hatadır. Hatanın oluşması durumunda sistem çalışmamaktadır.

Silindir kulağı kaynak çatlaması hatasına, kaynak yönteminin yanlış seçilmesi neden olmaktadır. Mevcut kontrol yöntemi yetersizdir ve hatanın hesaplanan risk öncelik değeri yüksektir.

Konteynerin uygun olmayan tasarımı ve konstrüksiyon hatası, çöpün yere dökülmesine neden olmaktadır. Bu hatanın olası etkileri; sistemin problemlili çalışması, çevre kirliliği, ilave temizlik işçiliği ve müşteri memnuniyetsizliğidir.

Çöp dökme açısının az olması, sistemin problemlili çalışmasına, ek temizlik işçiliğine ve müşteri memnuniyetsizliğine yol açmaktadır. Hata, çöp tutma sacı açısının doğru ayarlanmamasından, konteyner ölçülerinin bilinmemesinden, konstrüksiyon hatasından ve yanlış eksen ölçülerinden kaynaklanmaktadır.

Konteyner kapağının kepçeye çarpması, tasarım aşamasında konteynerin kepçeye çarpıp çarpmadığının kontrol edilmemesi ve konteyner ölçülerinin bilinmemesi sonucu olmaktadır. Bu hatanın oluşması ile çöp yeterince dökülememekte, konteynerde çarpmadan dolayı deformasyon oluşmakta ve boya hasarı görülmektedir. Mevcut kontrolün yetersiz ve hatta olmayışı hatanın müşteriye ulaşma olasılığını arttırmaktadır.

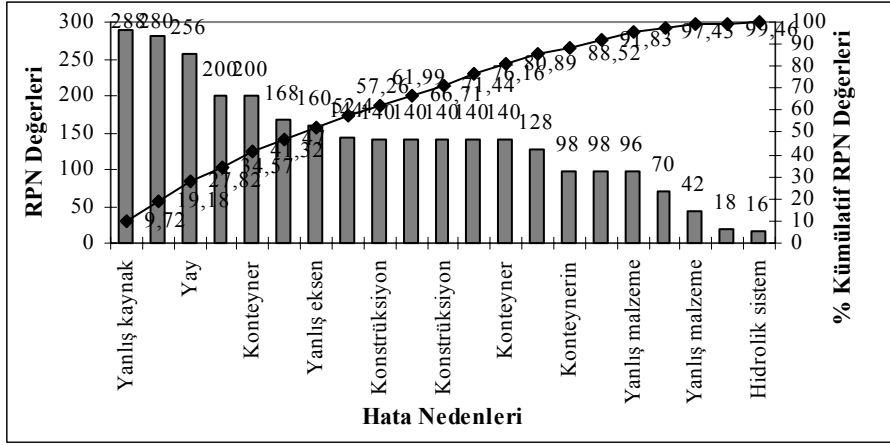
Konteynerin üst saca çarpması, konteyner deformasyonuna, üst sac deformasyonuna ve çöpün aracın içine tam dökülememesine neden olmaktadır. Hatanın oluşmasında, konteyner ölçülerinin ve konteynerin üst saca çarpıp çarpmadığının kontrol edilmemesi etkili olmaktadır.

Konteynerin koldan kurtulmaması durumunda hatanın müşteri için önemi yüksektir. Konteyner kolundaki bırakma açısının yetersiz olmasından kaynaklanan bu hata önemli hata sınıfına girmektedir. Hata, konteyner deformasyonuna, kolun kırılmasına ve zaman kaybına yol açmaktadır.

Kolların konteyneri çarpık tutması sonucunda; konteyner düşmekte, kollar eğilmekte, çöp aracın içine tam dökülememektedir. Bu hatayı, konteyner bağlantı malzemelerinin yanlış seçimi ve deformasyona uğraması ile zamanla oluşan boşluklar ortaya çıkarmaktadır.

Dayama kulaklarının eğilmesi; yay eksenlerinin düzgün ayarlanmamasından ve yay kalitesinin uygun olmayışından kaynaklanmaktadır. Hatanın olası etkileri, kol açıklığının değişmesi, konteynerin düzgün kaldırılamaması ve hatta düşmesidir. Hatanın müşteri için önemi yüksektir. Mevcut kontrolün yetersiz kalması hatanın oluşması durumunda müşteriye gitme riskini arttırmaktadır.

Konteyner sisteminde mevcut veya olası hatalar incelenmiş ve hatalara ait RPN değerleri için pareto diyagramı oluşturulmuştur. Diyagram Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Konteyner sistemi için pareto diyagramı

Belirlenen olası hatalar, bunların nedenleri ve etkileri dikkate alınarak RPN değerleri hesaplanmıştır. RPN değerlerine göre çizilen pareto diyagramında %80 sınırını oluşturan hatalar belirlenmiş ve bu hatalar için düzeltici faaliyetler önerilmiştir.

Bara eğrilmesi hatası için test düzeneği ile kontrol yapılması düşünülmüştür. Bu öneri ile hatanın müşteriye ulaşma olasılığı azaltılmış ve RPN'de azalma sağlanmıştır.

Tasarımda eksenleme ölçülerinin hatalı verilmesi sonucu döndürme kolu kırılmasının etkisi sistemin çalışmamasıdır. Önemli bir hatadır. Kalite Güvence Bölümü tarafından montaj kontrol noktası oluşturularak hatanın kritiklik değeri düşürülmüştür.

Silindir kulağı kaynak çatlaması için test düzeneği oluşturulması ve kaynak kontrolü yapılması önerilmiştir. Sonuçta hatanın fark edilebilirliği artırılmıştır.

Çöpün yere dökülmesi hatası için konteyner ölçülerinin önceden temin edilmesi önerilmiş ve böylece konteynerin uygun olmayan tasarımından kaynaklanan hatanın oluşma olasılığı azaltılmış ve hatanın keşfedilebilirliği artırılmıştır.

Konteyner sisteminde görülen diğer bir hata çöp dökme açısının az olmasıdır. Firmanın konteyner üretmemesi ve gelen siparişlerdeki konteyner ölçülerinin bilinmemesi bu sorunu ortaya çıkarmaktadır. Mevcut kontrolün olmayışı nedeniyle ilk olarak kontrol uygulanması önerilmiştir. Kalite Güvence Bölümü sorumluluğunda %100 kontrol yapılarak RPN değeri düşürülmüştür. Hatanın konstrüksiyondan kaynaklanması durumunu için aynı öneri düşünülmüş ve sonuçta kritiklik değeri azaltılmıştır. Yanlış eksen ölçüleri verilmesi ile oluşan çöp dökme açısının az olması sonucu, kaldırılan konteynerin tam olarak hazneye denk gelmemesi ile konteyner içindeki çöplerin yere dökülme olasılığı bulunmaktadır. Ek temizlik işçiliğinin yanında müşteri memnuniyetsizliğini de beraberinde getiren bu hatanın RPN değeri önerilen kontrol yöntemi ile iyileştirilmiştir.

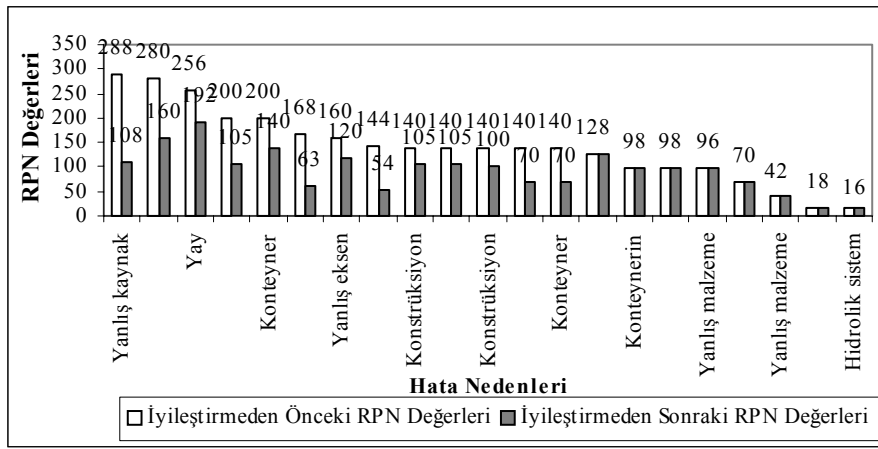
Konteyner sisteminin konteyneri kaldırması ile konteyner kapağı kepçeye çarpmakta, çöpler hazneye tam dökülmemekte, deformasyon ve boya hasarı oluşmaktadır. Bu hataya tasarım aşamasında konteynerin kepçeye çarpıp çarpmadığının kontrol edilmemesi ve konteyner ölçülerinin bilinmemesinin yol açtığı belirlenmiştir. Burada öncelikle yapılması gereken konteyner ölçülerinin önceden temin edilmesidir. Böylece

hatanın oluşma olasılığı azaltılacak ve bu değerlere bağlı olarak RPN değerinde iyileşme sağlanacaktır.

Konteyner kolu bırakma açısının yetersiz olması sonucunda kola takılan konteynerin koldan çıkarılmasında zorluk yaşanmaktadır. Bu hatanın montajda %100 kontrol ile önleneceği düşünülmüştür.

Yay eksenlerinin düzgün ayarlanmaması sonucu oluşan dayama kulaklarının eğilmesi hatası için, Proje bölümünün sorumluluğunda test düzeneği oluşturulması önerilmiştir.

Konteyner sistemi için yapılan çalışma sonucunda elde edilen RPN değerleri ile alınan önlemlerden sonra yeniden hesaplanan RPN değerleri Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Konteyner sistemi için iyileştirmeden önceki ve sonraki RPN değerleri

Konteyner Sistemi için iyileştirmeden önceki ve sonraki RPN değerlerinin verildiği şekle bakıldığında, önerilen düzeltici faaliyetler ile hataların oluşma olasılıkları, önem değerleri azaltılmış yada hataların keşfedilebilirlikleri arttırılmıştır. Sonuçta, önemli ve kritik hataların risk değerlerinde iyileştirmeler sağlanmıştır. Hataların risk öncelik değerlerinin hesaplanmasında kullanılan çizelgeler ve diğer detaylar (6) numaralı kaynakta bulunmaktadır.

Firma gerçekleştirilen Tasarım FMEA çalışmasının, ISO 9001:2000 Kalite Yönetim Sistemi'nin alınması aşamasında ve askeri standart olarak bilinen AQAP Kalite Güvence Sistemi çalışmalarında çok fazla yararını görmüştür.

4. Sonuç

FMEA çalışmaları, sisteme erken bakış imkanı sağladığı için firmalar açısından önemli rol oynamaktadır. Firmalar, ürettikleri ürünlerin ve sundukları hizmetlerin kalitesi ile piyasada ayakta kalabilmektedirler. Rekabetin yoğun yaşandığı günümüzde, firmaların rakiplerinden bir adım önde olabilmek için ürünlerinde çeşitliliğe gidebilmeleri, yeniliğe adapte olabilmeleri gerekmektedir. Bu durum beraberinde zaman ve maliyeti getirmektedir. Zaman ve maliyetin ön plana çıkması ile FMEA çalışmalarının önemi


artmaktadır. FMEA çalışmaları ile mevcut veya olası hatalar ve bu hataların nedenleri belirlenerek oluşmaları önlenmektedir.

FMEA çalışmaları firmalara, tasarımlarından başlayarak tüm süreçlerini analiz etme ve gerekli iyileştirmeleri yaparak, müşterilerine kaliteli, güvenilir ürün/hizmet sunabilme imkanını vermektedir.


Teşekkür: EFE Endüstri ve Ticaret A.Ş.'ne bu çalışmanın gerçekleştirilmesi süresince sağladıkları katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar


- (1) Stamatis, D.H., “**Failure Mode and Effect Analysis FMEA from Theory to Execution**”, Quality Press, Milwaukee (1995)
- (2) Chin. K.-S., ve diğerleri, “Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach”, **Computers & Operations Research**, 36, p:1768–1779 (2009)
- (3) Potential Failure Mode And Effects Analysis In Design (Design FMEA) And Potential Failure Mode And Effects Analysis In Manufacturing And Assembly Processes (Process FMEA) Reference Manual-SAE J1739 JUL94 SAE Recommended Practice
- (4) Musubeyli, N., “Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği için Bir Model ve Uygulaması”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, Cilt: 15, Sayı: 3, Sayfa:17-26 (2002).
- (5) Potential Failure Mode And Effects Analysis (FMEA) Reference Manual, Third Edition, April (2001), DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation
- (6) Gönen, D., “Hata Türleri ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama Çalışması”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir (2004).
- (7) Narayanagounder S., and Gurusami K., “A New Approach for Prioritization of Failure Modes in Design FMEA using ANOVA”, **Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology**, 37, (2009)

TASARIM FMEA ANALİZ FORMU															
 Parça...endüstri ve ticaret a.ş.			Tasarım Yükümlülüğü: E.Tuncel					Hazırlayan :			Form No:.....				
Ürün: HSÇK			Planlanan Tamamlanma Tarihi:.....					FMEA Gerçekleşme Tarihi:.....			Rev No:.....				
Ekip Üyeleri: T.Hayret, E.Tuncel, E.Ergün, D.Gönen			Sayfa: 1												
İşlevler	Olası Hatalar	Hataların Olası Etkileri	Önem	Sınıf	Hatanın Olası Nedenleri	Oluşma	Mevcut Kontroller	Keşfedilebilirlik	RPN	Önerilen Düzeltici Önlemler	Sorumlular ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Düzeltici Faaliyet Sonuçları			
												Düzeltici Önlem Sonucu	Önem	Oluşma	Keşfedilebilirlik
Konteyner sistemi	Konteyner silindiri açılmıyor	Sistem çalışmaz	8		-hidrolik sistem problemi	2	-Silindir montajı esnasında örnekleme şeklinde fonksiyonel test yapılıyor - Konteyner kolları ve barası oluşturulurken %100 kontrol ve %100 fonksiyonel test yapılıyor	1	16						
	Kollar eğriliyor	Sistem problemlili çalışır	6		-Kol malzemesinin yorulmuş olması	3	-kolların üretimi esnasında gözle kontrol -kolun montajı esnasında gözle kontrol ve %100 fonksiyonel test yapılıyor	1	18						
	Kol kulakları kırılıyor	Konteyner kaldırılamaz		7	Ö	-Kaynak yönteminin yanlış seçilmesi	5	-montaj esnasında fonksiyonel test ve %100 kontrol yapılıyor	2	70					
-Malzeme seçimi hatalı olabilir						3	-montaj esnasında fonksiyonel test ve %100 kontrol yapılıyor	2	42						


EK 1. Konteyner sistemi için tasarım FMEA formu

TASARIM FMEA ANALİZ FORMU																
 Parça...endüstri ve ticaret a.ş. Ürün: HSÇK Ekip Üyeleri: T.Hayret, E.Tuncel, E.Ergün, D.Gönen		Tasarım Yükümlülüğü: E.Tuncel Planlanan Tamamlanma Tarihi:.....					Hazırlayan : FMEA Gerçekleşme Tarihi:.....					Form No:..... Rev No:..... Sayfa: 2				
															Düzeltilici Faaliyet Sonuçları	
İşlevler	Olası Hatalar	Hataların Olası Etkileri	Önem	Sınıf	Hatanın Olası Nedenleri	Oluşma	Mevcut Kontroller	Keşfedilebilirlik	RPN	Önerilen Düzeltici Önlemler	Sorumlular ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Düzeltilici Önlem Sonucu	Önem	Oluşma	Keşfedilebilirlik	RPN
Konteyner sistemi	Bara eğriliyor	Sistem problemlili çalışır	6		-yanlış malzeme seçimi	3	-prototip kontrol ama formal değil	8	144	Test Düzenegi ile Kontrol (2 Kat Emniyetli yükte)	Proje Bölümü 05.07.2003		6	3	3	54
	Döndürme kolu kırılıyor	Sistem çalışmaz	7	Ö	-tasarımda eksenleme ölçülerinin hatalı verilmesi	3	-prototip kontrol ama formal değil	8	168	Montaj Kontrol noktası oluşturulacak	Kalite Güvence Bölümü 15.06.2003		7	3	3	63
	Silindir kulağı kaynak çatlaması	Sistem çalışmaz	6		-kaynak yönteminin yanlış seçilmesi	6	-prototip kontrol ama formal değil	8	288	Test Düzenegi Oluşturulacak, Kaynak Kontrolü yapılacak	Kalite Güvence Bölümü 15.06.2003 Test Düzenegi: Proje Bölümü 05.07.2003		6	6	3	108
	Çöp yere dökülüyor	-Sistem problemlili çalışır -Çevre kirliliği -İlave temizlik işçiliği	5	Ö	-konteynerin uygun olmayan tasarımı		-kontrol yok	10	200	Konteyner ölçülerinin önceden temini	Satış Bölümü 20.06.2003 Satış Bölümü 20.06.2003		5	3	7	105
konstrüksiyon-dan kaynaklanabilir						-prototip kontrol ama formal değil	7	140								


EK 2. Konteyner sistemi için tasarım FMEA formu (devamı)

TASARIM FMEA ANALİZ FORMU																			
 Parça.....endüstri ve ticaret a.ş.		Hazırlayan :										Form No:.....							
		Ürün: HSÇK										FMEA Gerçekleşme Tarihi:.....				Rev No:.....			
Ekip Üyeleri: T.Hayret, E.Tuncel, E.Ergün, D.Gönen		Tasarım Yükümlülüğü: E.Tuncel										Planlanan Tamamlanma Tarihi:.....				Sayfa: 3			
		İşlevler	Olası Hatalar	Hataların Olası Etkileri	Önem	Sımf	Hatanın Olası Nedenleri	Oluşma	Mevcut Kontroller	Keşfedilebilirlik	RPN	Önerilen Düzeltici Önlemler	Sorumlular ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Düzeltilici Faaliyet Sonuçları					
Düzeltilici Önlem Sonucu	Önem													Oluşma	Keşfedilebilirlik	RPN			
Konteyner sistemi	Dayama kulaklarının eğrilmesi	-kol açıklığı değişir -konteyner düzgün kaldırılma-maz -konteyner düşebilir	8	Ö	-yay eksenlerinin düzgün ayarlanmaması	4	-prototip kontrol ama formal değil	8	256	Konteyner ölçülerinin önceden temini	Proje Bölümü 05.07.2003		5	3	7	105			
					-yay kalitesinin uygun olmayışı	4	-kontrol yok	8	128	Test Düzeneği Oluşturulacak		8	4	6	192				
Çöp dökme açısı az	-sistem problemleri çalışır -ilave temizlik işçiliği	-sistem problemleri çalışır -ilave temizlik işçiliği	5	Ö	-çöp tutma sacı açısının doğru ayarlanmaması	4	-prototip kontrol ama formal değil	7	140	Konteyner ölçülerinin önceden temini	Satış Bölümü 20.06.2003		5	3	3	105			
					-konteyner ölçülerinin bilinmemesi	4	-prototip kontrol ama formal değil	10	200	Montaj %100 Kontrol	Kalite Güvence Bölümü 15.06.2003		5	4	7	140			
					konstrüksiyondan kaynaklanabilir	4	-prototip kontrol ama formal değil	7	140	Montaj %100 Kontrol	Kalite Güvence Bölümü 15.06.2003		5	4	5	100			
					-yanlış eksen ölçüleri	4	-prototip kontrol ama formal değil	8	160	Montaj %100 Kontrol	Kalite Güvence Bölümü 15.06.2003		5	4	6	120			

EK 3. Konteyner sistemi için tasarım FMEA formu (devamı)

TASARIM FMEA ANALİZ FORMU																
 Parça.....endüstri ve ticaret a.ş. Ürün: HSÇK Ekip Üyeleri: T.Hayret, E.Tuncel, E.Ergün, D.Gönen		Tasarım Yükümlülüğü: E.Tuncel Planlanan Tamamlanma Tarihi:.....					Hazırlayan : FMEA Gerçekleşme Tarihi:.....			Form No:..... Rev No:..... Sayfa: 4						
															Düzeltilen Faaliyet Sonuçları	
İşlevler	Olası Hatalar	Hataların Olası Etkileri	Önem	Sınıf	Hatanın Olası Nedenleri	Oluşma	Mevcut Kontroller	Keşfedilebilirlik	RPN	Önerilen Düzeltici Önlemler	Sorumlular ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Düzeltilen Faaliyet Sonuçları	Önem	Oluşma	Keşfedilebilirlik	RPN
Konteyner sistemi	Konteynerin kapağının kepçeye çarpması	-çöpün yeterli dökülmemesi -konteynerde deformasyon -boya hasarı	7		-tasarım aşamasında konteynerin kepçeye çarpıp çarpmadığının kontrol edilmemesi	2	-prototip kontrol ama formal değil	7	98							
					-konteyner ölçülerinin bilinmemesi	2	-kontrol yok	10	140	Konteyner ölçülerinin önceden temini	Satış Bölümü 20.06.2003		7	1	10	70
Konteyner üst saca çarpıyor	-konteyner deformasyonu -üst sac deformasyonu -çöpün az dökülmesi (aracın içine)		7		-konteyner ölçülerinin kontrol edilmemesi	2	Kontrol yok	10	140	Konteyner ölçülerinin önceden temini (Satış Ekibi tarafından)	Satış Bölümü 20.06.2003		7	1	10	70
					-tasarım aşamasında konteynerin üst saca çarpıp çarpmadığının kontrol edilmemesi		-prototip kontrol ama formal değil	7	98							

EK 4. Konteyner sistemi için tasarım FMEA formu (devamı)

TASARIM FMEA ANALİZ FORMU																
 Parça.....endüstri ve ticaret a.ş. Ürün: HSÇK Ekip Üyeleri: T.Hayret, E.Tuncel, E.Ergün, D.Gönen			Tasarım Yükümlülüğü: E.Tuncel Planlanan Tamamlanma Tarihi:.....					Hazırlayan : FMEA Gerçekleşme Tarihi:.....			Form No:..... Rev No:..... Sayfa: 5					
İşlevler	Olası Hatalar	Hataların Olası Etkileri	Önem	Sınıf	Hatanın Olası Nedenleri	Oluşma	Mevcut Kontroller	Keşfedilebilirlik	RPN	Önerilen Düzeltici Önlemler	Sorumlular ve Hedef Tamamlanma Tarihi	Düzeltilen Faaliyet Sonuçları				
												Düzeltilen Önlem Sonucu	Önem	Oluşma	Keşfedilebilirlik	RPN
Konteyner sistemi	Konteyner koldan kurtulmuyor	-konteyner deformasyonu -kol kırılabilir -zaman kaybı	8	Ö	-konteyner kolundaki bırakma açısının yetersiz olmasından dolayı koldan kurtulmuyor, deforme oluyor	5	-prototip kontrol ama formal değil	7	280	Montaj %100 Kontrol	Kalite Güvence Bölümü 15.06.2003		8	5	4	160
	Kollar konteyneri çarpık tutuyor	-konteyner düşebilir -kollar eğrilebilir -çöp az dökülür (aracın içine)	6		-konteyner bağlantı malzemelerinin yanlış seçimi ve deformasyona uğraması ile zamanla oluşan boşluklar	2	-prototip kontrol ama formal değil	8	96							

EK 5. Konteyner sistemi için tasarım FMEA formu (devamı)