

TASARIM HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNİN ETKİNLİĞİ İÇİN BİR MODEL VE UYGULAMASI

Nihal MUSUBEYLİ ERGİNEL

Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Hata Tütü ve Etkileri Analizi, yüzlerce hata türü için iyileştirme yapılmasının planlanması yerine, sistemin bütünü üzerinde en büyük katkıyı sağlayacak hata türlerini önceliklendiren bir yöntemdir. Ancak yüzlerce hata türü için, veri derleme ve analizi de büyük zaman ve işgücü gerektirmektedir. HTEA'nin başlangıcında ön eleme yapmak ve sadece önemli olarak belirlenen parçalar için veri derlemek, HTEA'nin etkinliğini arttıracaktır. Tasarım aşamasında pek çok parça için HTEA yapılmasına ihtiyaç duyulabileceğinden önerilen model, ürün tasarım ve planlama süresini de kısaltmış olacaktır.

Bu çalışmada mekanik termostatın parçaları, müşteri gereksinim ve beklentileri kriter alınarak Analitik Hiyerarşi Süreci ile önceliklendirilmiş ve önceliklendirilen parçalara tasarım HTEA uygulanmıştır. Tüm parçalar göz önüne alınarak yapılan tasarım HTEA'ndeki hata türleri sayısı ile, önerilen modeldekiler karşılaştırılmış ve %35 azalma tespit edilmiştir. Bu da aynı oranda zaman ve maliyet tasarrufuna karşılık gelmektedir.

Anahtar kelimeler: Analitik Hiyerarşi Süreci, Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizi

ABSTRACT

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is a method for prioritizing the failure modes that provides the largest contribution on the product instead of improvement planning on many failure modes. But, data collecting and analyzing for many failure modes require a lot of time and human work. Selecting significant parts of a product and collecting / analyzing data for only these parts as an effective way for FMEA applications. At the same time, this reduces the product design and planning time for lots of products in the design stage.

In this study, I have used Analytical Hierarchical Process to prioritize the parts of mechanical thermostat by taking the customer expectations and requirements as criteria. And, design FMEA was applied on prioritized parts. The number of failure types of design FMEA with all parts and prioritized parts were compared and 35% reduction was identified with the proposed model. This means that the same reduction can be achieved in time and cost.

Keywords: Analytical Hierarchical Process, Design Failure Mode and Effect Analysis

GİRİŞ

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), hatalar üzerine odaklanarak bilinen veya potansiyel hataların risklerini ortaya koyan ve bu risklere göre hata türlerini önceliklendiren bir yöntemdir. Böylece hataların erken safhalarda ortadan kaldırılabilesine olanak sağlanır. Tasarım HTEA, ürün henüz tasarım aşamasında iken muhtemel hataların belirlenmesi, önceliklendirilmesi ve iyileştirme çalışmaları ile hata ortaya çıkmadan giderilmesini amaçlamaktadır. Tasarım HTEA için gerekli olan veriler giriş kalite kontrol kayıtlarından, yardımcı sanayi kontrol sonuçlarından, üretim/ montaj hata oranları kayıtlarından, ürünün servis kayıtları ve bunun gibi kayıtlardan elde edilebilmektedir. Doğru sonuçlar için tüm verilerin toplanması, uygun bir şekilde derlenmesi ve analiz edilmesi gereklidir. Bu aşamada ürünü oluşturan parçalar ne kadar çok olursa, o kadar nitelikli işgücü zamanı ve maliyet gerekecektir. Ayrıca ürünü piyasaya sunma süresi uzayacağı için piyasa kaybı da söz konusu olacaktır. Ancak ürünü oluşturan parçaların müşteri beklentileri göz önüne alınarak önceliklendirilmesi ve sadece öncelik derecesi yüksek parçalar için Tasarım HTEA uygulanması, zaman ve işgücünden tasarruf sağlayacak, ayrıca tasarım süresinin de kısaltmasında etkili olacaktır. Önceliklendirme için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır. Tasarım HTEA'nin etkinliğini arttırmak için önerilen modelin adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Ekibin belirlenmesi

Adım 2: Ürün ağacının oluşturulması

Adım 3: Parçaların AHP'ye göre önceliklendirilmesi

Adım 4: Tasarım HTEA'nin önceliklendirilen parçalara uygulanması

Bu çalışmada birinci bölümde modelin gerekliliği üzerinde durulmuş, ikinci ve üçüncü bölümlerinde sırasıyla HTEA ve AHP konularında temel açıklamalara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde Tasarım HTEA'nin etkinliğini arttırmak için önerilen modelin uygulamasından söz edilmiş, son bölümde ise sonuç ve öneriler sunulmuştur.

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

HTEA ilk defa NASA tarafından 1963 yılında kullanılmış, ilk endüstriyel uygulaması ise 1977 yılında otomobil endüstrisinin başta gelen kuruluşlarından Ford tarafından yapılmıştır. Daha sonra pek çok kuruluşta, özellikle Chrysler ve General Motors'da uygulanmıştır [1].

HTEA yönteminin ilk ortaya çıktığı zamanlarda Legg [2] mühendisleri bilgilendirme çalışmaları yapmıştır. Kara-Zaitri ve diğerleri de [3] önem derecelerinin belirlenmesinde mühendislere yardım etmiştir. Price [4], HTEA'deki hataların mümkün bütün olasılıklarının benzetim yardımıyla göz önüne alınması ve önemli olanlarının otomatik olarak seçilmesi konusunda çalışmıştır.

Elektrik sistemleri üzerine HTEA uygulamaları Price ve diğerleri tarafından [5, 6], ısı transferleri üzerindeki uygulamaları Pinna ve diğerleri tarafından [7], ivmelendirici mıknatıslar üzerindeki uygulamaları ise Bellomo ve diğerleri tarafından [8] yapılmıştır. Çevresel risklerin değerlendirilmesi üzerinde ise Vandenbrande çalışmıştır [9]. Glichrist [1] ise HTEA'nde maliyet analizini de içeren bir model önermiş, Ben-Daya ve Abdul [10] de önerilen bu modeli eleştirmiş ve geliştirilmiş bir model önermiştir. Ayrıca risklerin önceliklendirilmesinde bulanık mantığın kullanılmasını Sankar ve Prabhu [11] ve Pillay ve Wang [12] önermişlerdir.

Bazı durumlarda da, müşteri gereklilikleri HTEA uygulamalarının yapılmasını teşvik etmiştir. Örneğin bazı ana otomobil üreticileri, Ford-Q101, General Motors-Target For Excellence, Chrysler-Pentastar gibi, tedarikçi sertifikasyon standartlarında HTEA uygulamalarını zorunlu kılmışlardır [13].

HTEA'nin çeşitli kaynaklarda farklı tanımları yer almaktadır. Müşteriye gitmeden önce sistemden, tasarımdan, süreçten ve/veya servisten kaynaklanan bilinen ve/veya potansiyel hataların, problemlerin, yanlışların tanımlanması, belirlenmesi ve giderilmesine yarayan bir mühendislik tekniğidir [13]. HTEA, ürünün tasarımını ve montaj süreçlerinin değişkenliklerini daha

iyi kontrol altına alabilmek veya ortadan kaldırmak için kullanılan çok güçlü bir kalite aracıdır [14].

HTEA'nin tasarımı, süreç, servis ve sistem HTEA olmak üzere dört tipi bulunmaktadır [11]. Ürün tasarımı veya geliştirilmesinde Tasarım HTEA, süreç tasarımı veya geliştirilmesinde Süreç HTEA, servisin müşteriye ulaşmadan analiz edilmesinde Servis HTEA ve sistem ile alt sistemlerin kavram ve tasarım aşamasında analiz edilmesi için de Sistem HTEA kullanılmaktadır.

HTEA ayrıca hataların önlenmesi için düzeltici ve önleyici faaliyetleri de tanımlamaktadır. Böylece ürün veya serviste en yüksek dayanıklılık, kalite ve güvenilirlik sağlanacaktır. Yukarıdaki tanımlardan da anlaşılacağı üzere HTEA, hatalar ortaya çıkmadan önce bir sistematik yaklaşım çerçevesinde, geçmiş verilere dayanarak potansiyel hataların önceliklendirilmesini ve tedbir alınmasını sağlayan bir metottür. HTEA sadece tasarım veya sürece ait potansiyel hata türlerini dokümanete etmek değil aynı zamanda konu ile ilgili tüm sorumlu kişilerin birbirleri ile iletişimini sağlamalarına da yardımcı olmaktadır.

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ

AHP, Saaty tarafından çok ölçütlü karmaşık problemlerin çözümü için tasarlanmıştır. AHP bir hiyerarşi çerçevesinde basit ikili karşılaştırmalar ile, göreceli büyüklüklerin oranlarını türeterek önceliklendirilmeyi sağlamaktadır. AHP'de n adet faaliyetin (karar seçeneklerinin) varlığı ve bu faaliyetleri değerlendiren kişilerin, nesnelere birbirleri ile göreceli olarak karşılaştırma yapabilecek ve niteliksel olarak derecelendirebilecek seviyede uzman oldukları varsayılmaktadır [15]. İkili karşılaştırmalar matrisinin genel hali Tablo-1'de verilmiştir. İlgili matriste w_i/w_j oranı, i. ölçütün j. ölçüte göre kaç kat önemli olduğunu göstermektedir. Önem dereceleri belirlenirken Tablo-2'de verilen kriterler esas alınmaktadır [15]. Arada kalan değerler de orta değer olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde, her bir ölçütün hedefe göre göreceli önem dereceleri ve her bir karar seçeneğinin ilgili ölçüte göre göreceli önem dereceleri belirlenmiş olmaktadır.

Tablo 1. İkili Karşılaştırmalar Matrisi

$$W = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

Tablo 2. Önem Derecelerinin Belirlenmesi İçin Kriterler

Önem derecesi	Kriterler
1	Eşit derecede önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Aşırı derecede önemli

AHP'nin ilk aşaması hedefi, ölçütleri ve karar seçeneklerini belirlemektir. Bunlar her probleme göre farklılık gösterecektir. İkinci aşama ise, her bir ölçütün hedefi başarmadaki katkısının belirlenmesidir. Bu katkı, hedefi başarmak için Tablo-2'deki kriterler göz önüne alınarak, ölçütlerin birbirleri ile ikili karşılaştırmaları ile belirlenmektedir. Oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisinde normalleştirme işlemi yapılır [15]. Böylece hedefi başarmak için ölçütlerin öncelikleri belirlenmiş olur.

Üçüncü aşama ise, karar seçeneklerinin her bir ölçütü başarmadaki katkısının belirlenmesidir. Tablo-2'deki kriterler göz önüne alınarak karar seçeneklerinin birbirleri ile ikili karşılaştırmaları yapılır ve ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur. Karar seçeneklerinin öncelikleri, ikili karşılaştırmalar matrisinde ikinci aşamada tarif edilen işlemler yapılarak belirlenir. Böylece her bir ölçüt için karar seçeneklerinin öncelikleri tespit edilmiş olur.

Dördüncü aşama olarak, tutarlılık analizi ile ikili karşılaştırmaların değerlendirilmesi yapılır. Tutarlılık analizinde amaç sadece "A, B'den daha önemli; B'de C'den daha önemli ise, A, C'den de önemlidir" şeklinde

bir tutarlılığı değil aynı zamanda "A, B'den 2 kat; B'de C'den 3 kat önemli ise, A, C'den 6 kat önemlidir" şeklinde oransal bir tutarlılığı da sağlamaktır [17]. Tutarlılık analizi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad CR = \frac{CI}{RI}$$

Burada;

λ_{\max} : en büyük özdeğer

CI: Tutarlılık göstergesi

RI: Rassallık göstergesi (n=12 için 1,54'dür [15].)

CR: Tutarlılık oranı'dır.

Eğer tutarlılık oranı 0,10'dan az ise, ikili karşılaştırma matrisleri tutarlıdır, AHP yöntemine devam edilir. Değil ise, ikili karşılaştırmalar tutarlılık sağlanana kadar gözden geçirilir.

Son aşamada ise, hedef için ölçütlerin öncelikleri ile, her bir ölçüt için karar seçeneklerinin ölçütleri çarpılarak, ulaşılmak istenen karar seçeneklerinin hedefi başarmadaki öncelikleri elde edilmiş olur.

TASARIM HTEA'NİN ETKİNLİĞİ İÇİN ÖNERİLEN MODEL VE UYGULAMASI

Soğutma sisteminin önemli bir parçası olan mekanik termostatın hata oranlarının azaltılması için tasarım yeni baştan ele alınarak incelenmiştir. Bu doğrultuda, önerilen model ile öncelikle mekanik termostat parçaları içinden önemli olanlar AHP ile tespit edilmiş, bu parçalara da Tasarım HTEA uygulanmıştır. Bu şekilde hata türlerinin önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Uygulanan yöntem çalışmanın ilerleyen kısımlarında anlatılmıştır.

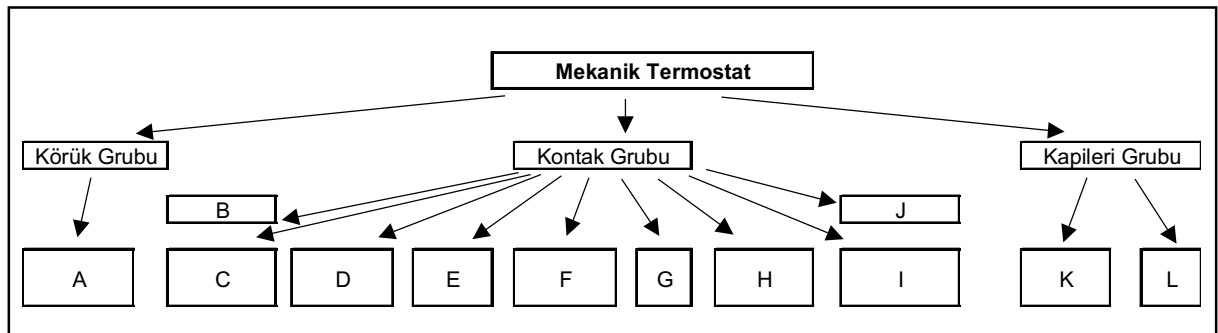
Ekibin Belirlenmesi

Model uygulanırken ekibin belirlenmesi ilk ve en önemli adımdır. Ekip doğru kişilerden seçilmediği zaman yapılan analizler de doğru olmayacaktır. Seçilen çalışmaya bağlı olarak uygun bir ekibin belirlenmesi gereklidir. İşletme içinde genel bir ekibin tanımlanmaması gerekmektedir. Çünkü problemlerin tanımlanması ve analizi, bilgi ve tecrübe gerektirir. Aynı zamanda ekip, görevleri ve birimleri farklı kişilerden oluşmalıdır.

Bu çalışmada ekip ilgili ürün geliştirme mühendisi, giriş kalite kontrolde parçanın kabulünden sorumlu mühendisler, montajından sorumlu üretim mühendisi ve montaj, üretim ve son aşama testlerini takip eden ve ürünün servis verilerini inceleyen kalite mühendisinden oluşmuştur. Buna ek olarak, parça yan sanayide üretildiğinden yan sanayiden ürünü ve üretim sürecini bilen bir mühendis de ekibe katılmıştır.

Ürün Ağacının Oluşturulması

Mekanik termostatın genel çalışma prensibi, soğutma sistemlerinin iç sıcaklığındaki değişimlere bağlı olarak kompresörü açıp/ kapatmasına dayanmaktadır. Soğutma sistemlerinin iç sıcaklığı ile kapileri içindeki gaz genişerek körüğü şişirmekte ve kompresöre güç sağlayan elektrik akımını devreye sokmaktadır. Soğutma sisteminin iç sıcaklığı belli bir dereceye kadar soğuduğunda ise, körük kapanarak elektrik akımını kesmektedir. Mekanik termostat için oluşturulan ürün ağacı Şekil-2'de kodlanarak verilmiştir [18].

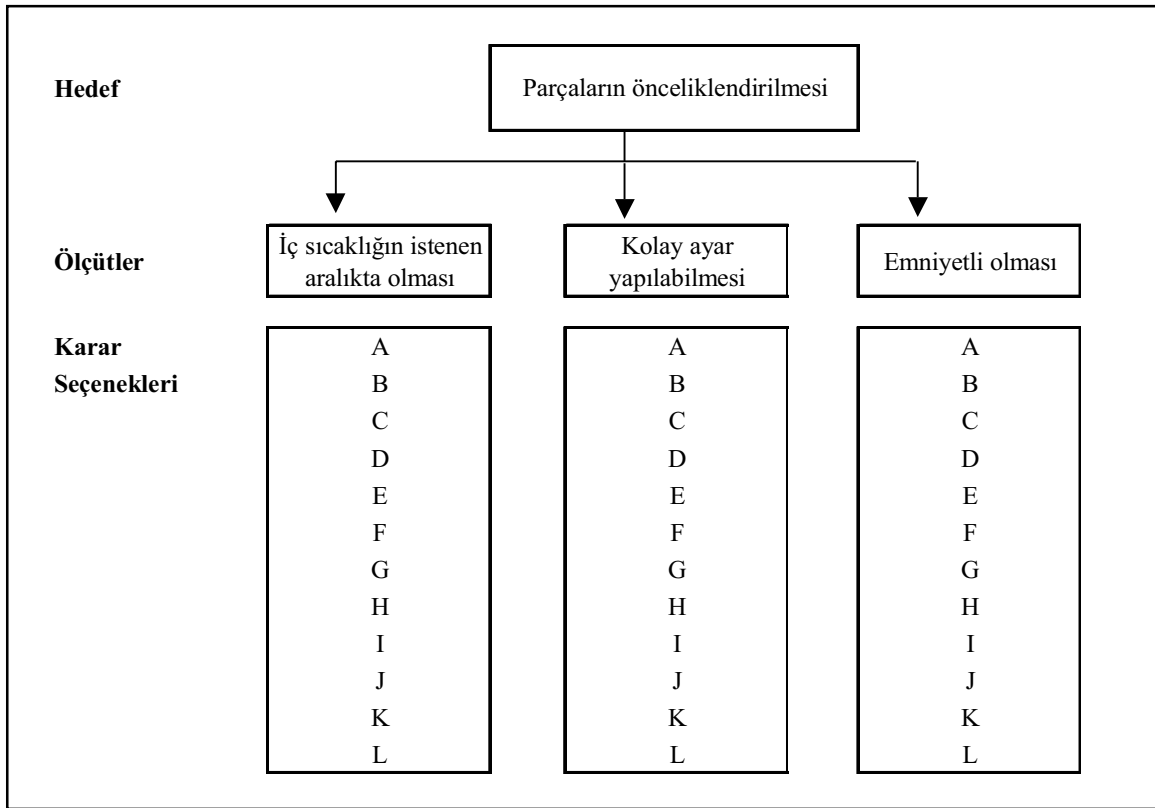


Şekil 2. Mekanik Termostat Ürün Ağacı

Parçaların AHP'ye göre önceliklendirilmesi

AHP'de hedef karar seçeneklerinin önceliklendirilmesidir. Ölçütler olarak müşteri gereksinim ve beklentileri alınmıştır. Müşteri beklentileri daha önceden yapılan çalışmalarda, mekanik termostatdan beklenen fonksiyon olan "iç sıcaklığın istenen aralıkta olması", müşteri kullanımını kolaylaştıracak "kolay ayar yapılabilmesi" ve müşteri gereksinimi olarak da müşterinin emniyetini sağlayacak "emniyetli olması"

olarak tespit edilmiştir. Karar seçenekleri ise, mekanik termostatı oluşturan parçalardır. AHP'nin ilk aşaması olan mekanik termostat için hedef, ölçütler ve karar seçenekleri Şekil-3'de verildiği gibi belirlenmiştir. Müşteri gereksinim ve beklentileri için belirlenen ikili karşılaştırmalar matrisi ekip ile belirlenmiş ve Tablo-3'de gösterilmiştir. AHP'nin ikinci aşamasında anlatılan işlemler yapılarak ölçütler için öncelikler hesaplanmış ve Tablo-4'de verilmiştir.



Şekil 3. Mekanik Termostat İçin AHP Yapısı

Tablo 3. Müşteri Gereksinim ve Beklentileri (ölçütler) İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

	İç sıcaklığın istenen aralıkta olması	Kolay ayar yapılabilmesi	Emniyetli olması
İç sıcaklığın istenen aralıkta olması	1	1/3	4
Kolay ayar yapılabilmesi	3	1	7
Emniyetli olması	1/4	1/7	1

Tablo-4: Müşteri gereksinim ve beklentileri için hesaplanan öncelikler

$$\begin{bmatrix} 0,211 \\ 0,084 \\ 0,705 \end{bmatrix}$$

Karar seçenekleri olan parçaların, "İç sıcaklığın istenen aralıkta olması" ölçütüne göre ikili karşılaştırma matrisi, ekip ile belirlenmiş ve Tablo-5'de verilmiştir. Aynı şekilde "kolay ayar yapılabilmesi" ölçütüne göre ikili karşılaştırma matrisi ve "emniyetli olması" ölçütüne göre ikili karşılaştırma matrisi de belirlenmiştir. Bu

Tablo 5. "İç sıcaklığın istenen aralıkta olması" Ölçütüne Göre İkili Karşılaştırma Matrisi

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	1	1/3	1/5	1/4	1	1/2	1/2	1/3	1/5	1	5	6
B	3	1	1/3	1/5	1	2	2	1	1/3	1/3	4	6
C	5	3	1	1/3	1/2	5	5	2	1	1	6	9
D	4	5	3	1	2	4	1	3	1	1	7	9
E	1	1	2	1/2	1	3	2	1	4	3	5	6
F	2	1/2	1/5	1/4	1/3	1	1/3	1/2	1/3	1	5	6
G	2	1/2	1/5	1	1/2	3	1	3	1	1	7	9
H	3	1	1/2	1/3	1	2	1/3	1	1/3	1/2	5	7
I	5	3	1	1	1/4	3	1	3	1	1	5	8
J	1	3	1	1	1/3	1	1	2	1	1	7	9
K	1/5	1/4	1/6	1/7	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/7	1	2
L	1/6	1/6	1/9	1/9	1/6	1/6	1/9	1/7	1/8	1/9	1/2	1

Tablo 6. Karar Seçeneklerinin Her Bir Müşteri Gereksinim ve Beklentilerine Göre Öncelikleri

Parçalar	Parçaların "İç sıcaklığın istenen aralıkta olması" ölçütüne göre öncelikleri	Parçaların "Kolay ayar yapılabilmesi" ölçütüne göre öncelikleri	Parçaların "Emniyetli olması" ölçütüne göre öncelikleri
A	0,081	0,034	0,027
B	0,058	0,328	0,061
C	0,030	0,205	0,049
D	0,022	0,118	0,047
E	0,048	0,039	0,033
F	0,080	0,039	0,032
G	0,048	0,040	0,135
H	0,054	0,042	0,041
I	0,025	0,039	0,233
J	0,033	0,039	0,256
K	0,218	0,039	0,040
L	0,303	0,039	0,047

matrislerin her biri için üçüncü aşamada anlatılan işlemler yapılmış ve karar seçeneklerinin her bir müşteri gereksinim ve beklentilerine göre öncelikleri hesaplanmıştır. İlgili matrislere ve yapılan hesaplamalara metin içerisinde yer verilmemiş ancak sonuçları Tablo-6'da gösterilmiştir. Dördüncü aşamada ise, ikili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık analizleri yapılmış ve ölçütler için $CR=0,03$; iç sıcaklık matrisi için $CR=0,09$; kolay ayar yapılabilmesi için $CR=0,02$ ve emniyetli olması için $CR=0,03$ olarak bulunmuştur. Hepsinin tutarlılık oranının 0.10'un altında olduğundan, ikili karşılaştırma matrisleri tutarlıdır.

Müşteri gereksinim ve beklentileri için en önemli ölçüt %70,5 ile "emniyetli olması" ölçütüdür. Daha sonra %21 ile "iç sıcaklığın istenen aralıkta olması" ve son olarak da %8,5 ile "kolay ayar yapılabilmesi" ölçütü gelmektedir. Son aşamada ise, müşteri gereksinim ve beklentilerine göre mekanik termostatın parçaların öncelikleri, ölçütlerin öncelikleri (Tablo-4) ile her ölçüt için parçaların önceliklerinin (Tablo-6) çarpılması ile elde edilmiştir. AHP yöntemine göre elde edilen mekanik termostatın parçalarının öncelikleri Tablo-7'de verilmiştir. Böylece müşteri gereksinim ve beklentileri açısından en önemli olan parçalar seçilmiştir. Bundan sonraki aşamada ise, öncelik sıralamasında ilk %50 içine giren parçalar için Tasarım HTEA'nin uygulanmıştır.

Tablo 7. AHP Yöntemine Göre Parçaların Öncelikleri

Parçalar	Öncelik değerleri
J	0,191
I	0,173
G	0,109
L	0,100
B	0,083
K	0,077
C	0,058
D	0,048
H	0,044
F	0,043
A	0,039
E	0,037

Tasarım HTEA'nin önceliklendirilen parçalara uygulanması

Tasarım HTEA, parçalar bazında gidilerek, olabilir hata türlerini ortaya koyan ve bunları önceliklendiren bir metottür. İlerleyen kısımlarda mekanik termostatın önceliklendirilen parçalarına Tasarım HTEA uygulanması aşamasında yapılan faaliyetler, dikkat çeken noktalar ile birlikte verilmiştir.

Hata Türleri

Parçaların belirlenen fonksiyonları yerine getirememesi "hata" olarak tanımlanmaktadır. Uygulamada parçaların fonksiyonları da göz önüne alınarak oluşabilecek hata türleri, üretici firmanın tecrübelerinden, geçmişte ortaya çıkan hata kayıtlarından ve servis verilerinden elde edilmiştir. Özellikle servisler ile görüşülüp, hata türleri hakkında gerekli bilgiler elde edilmiştir. Hata türleri belirlenirken hem mekanik termostatın üretimi esnasında yapılabilecek, hem soğutma sistemine monte edilirken çıkabilecek, hem de farklı kullanım koşullarında zaman içinde meydana gelebilecek hatalar göz önüne alınmıştır. Hataların parça bazında araştırılması, gözden kaçabilecek hataları da en aza indirmiştir. Böylece aynı parçadan oluşabilecek birden fazla hata türü de ayrı ayrı ele alınabilmektedir.

Hata Sebeplerinin, Etkilerinin ve Kontrol Önlemlerinin Belirlenmesi

Hata sebepleri belirlenirken, her bir hata türüne neden olabilecek bütün olası sebepler göz önüne alınmıştır. Hata sebeplerinin doğru tanımlanması, hatanın giderilmesinde önemli rol oynamaktadır. Tasarım HTEA'nde olası hata türlerine, ya ilgili tasarımın yetersiz olması ya da toleranslar içerisinde üretilmemesi veya monte edilememesi sebep olmaktadır [16]. Dolayısıyla hata sebepleri belirlenirken hem tasarım hem de üretim ve montajı esnasındaki durumlar ele alınmıştır.

Hatanın etkisi, hata meydana geldiği durumda, hatanın soğutma sistemi ve kullanıcı üzerindeki etkisi olarak düşünülmüştür. İlgili hata meydana geldiğinde soğutma sistemi performansının üzerine etkisi, görünüş,

ses gibi özellikleri üzerindeki değişiklikler veya mekanik termostatin beklenen işlevi yerine getirememesi, ilgili yasal düzenlemeler karşısındaki durumu, müşteride güvenlik/ emniyet açısından yaratacağı tehlikeler hatanın etkisi belirlenirken göz önüne alınmıştır.

Soğutma sisteminin müşteriye hatasız gitmesi için gerek tasarımda gerekse, üretim ve montajda çeşitli kontrol önlemleri uygulanmaktadır. Kontrol önlemleri belirlenirken, ilgili kontrol talimatları göz önüne alınmıştır. Hiç düşünülmemiş kontroller ortaya çıktığında, iyileştirmeler kapsamında bu kontroller tanımlanmış ve yürürlüğe sokulmuştur. Kontrollerin amacı, hata türlerini ve sebeplerini belirleyebilmek ve hataların oluşmasına karşı önlem alabilmektir. Tasarım HTEA'nde yapılan kontrollerin tanımlanmasının nedeni ise, ek kontrollerin gerekip gerekmediğini tespit edebilmektir.

Hata Türlerinin Önceliklendirilmesi

Belirlenen her bir hata türünün ağırlıklandırılması ve bu ağırlıklandırmaya göre öncelik sırasının belirlenmesi aşamasıdır. Hata türlerinin önceliklendirilmesinin amacı, hangi hatanın öncelikle göz önüne alınarak iyileştirme yapılacağına karar vermektir.

Önceliklendirme, Risk Öncelik Göstergesi (RÖG)'ne göre yapılmaktadır [13]. Hatanın ortaya çıkma olasılığı ve etki derecesi en az 1, en çok 10 ve sınıf sayısı on olacak şekilde düzenlenmiştir. Hatanın keşfedilebilirliği

ise en yüksek 1, en az 10 olmak üzere onlu skalada derecelendirilmiştir. Mekanik termostat için ilgili üç değer, her bir hata türü ve sebebi için, bu amaçla geliştirilmiş tablolar yardımı ile tespit edilmiştir.

Ürünü oluşturan parçaların tasarım ömrü boyunca ortaya çıkarabileceği her bir hata için hata sebebi sayılarının ilgili parça üretim sayısına oranı, hata türünün ortaya çıkma olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Mekanik termostat hata türlerinin ortaya çıkma olasılığı belirlenirken, giriş kalite kontrol verileri, yardımcı sanayi kontrol sonuçları, üretim/ montaj hata oranları, ürünün servis durumları gibi verilerin analiz edilmesi ile elde edilmiştir.

Etki derecesi ise, daha önce belirlenen hatanın etkisinin derecelendirilmesidir. Mekanik termostat hata türünün etki derecesi, hem mekanik termostat, hem soğutma sistemi hem de müşteri üzerindeki etkileri göz önüne alınarak derecelendirilmiştir. Eğer hatanın etki derecesi 9 ve üzeri ise, ilgili hata önemli bir hatadır ve başka kriterlere bakılmaksızın iyileştirilmesi gereken hata olarak ele alınmalıdır. Çünkü ortaya çıkma olasılığı az bile olsa ürünün kullanımını engelleyen ve kullanıcının can güvenliğini tehlikeye atan veya atma olasılığı yüksek bir hata söz konusudur.

Hatanın keşfedilebilirliği ise, hatanın son kullanıcıya ulaşmaması olasılığı veya işletmenin uyguladığı kontrol işlemlerine bağlı olarak hatayı yakalayabilme yeteneğidir. Hatanın keşfedilebilirliği, bir başka ifade ile, benzer durumdaki kontrol

Tablo 8. Tasarım HTEA Formu Genel Hali

Parça Adı: Parça Kodu:					Tarih: Formu Dolduran:											
					MEVCUT KOŞULLAR					DÜZELTİCİ ÖNLEMLER			İYİLEŞTİRİLEN KOŞULLAR			
Parça adı	Parçanın fonksiyonu	Hata türü	Hata sebebi	Hatanın etkisi	Kontrol Önlemleri	ortaya çıkma olasılığı	şiddet derecesi	keşfedilebilirlik	RISK ÖNCELİK GÖSTERGESİ	Önerilen iyileştirmeler	Tamamlanma Planı ve Sorumluluk	Tamamlanan önlemler	Ortaya çıkma olasılığı	Şiddet derecesi	Keşfedilebilirlik	RISK ÖNCELİK GÖSTERGESİ

yöntemlerinin uygunluk ve etkinlik açısından derecelendirilmesidir. Keşfedilebilirlik yeterince sağlanabiliyor olsa bile, fazla miktarda kontrol etmenin maliyet ve zaman açısından yük getirdiği düşünüldüğünde hatanın ortaya çıkma olasılığını azaltıcı çalışmalar yaparak, kontrol sayısını azaltmak en etkin yoldur. Mekanik termostat için uygulanan kontrol önlemleri, hatayı yakalayabilme yeteneği göz önüne alınarak derecelendirilmiştir. Tasarım HTEA formunun genel hali Tablo-8'de verilmiş, mekanik termostat için yapılan Tasarım HTEA gizlilik çerçevesinde olduğu için verilmemiştir.

Ekip RÖG'sine göre hataların Pareto'sunu çizerek konu ile ilgili çalışmalarda söz edilen yaklaşımlardan birisi ile, belli bir RÖG'ne kadar olan hatalarda iyileştirme çalışması yapacağını belirleyebilir. Bu çalışmada, seçilen altı parça için 28 adet hata türü belirlenmiş ve her biri için RÖG hesaplanmıştır. En yüksek %25 RÖG'ne sahip hata türleri için iyileştirme çalışmasının yapılması yaklaşımı benimsenmiştir.

İyileştirme Faaliyetleri

RÖG'ne göre önceliklendirilmiş hata sebeplerini ortadan kaldırmak için iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Önerilen faaliyetler hatanın ortaya çıkma olasılığını azaltıcı, etkisini azaltıcı veya keşfedilebilirliğini artırıcı yönde olabilir. İyileştirme tasarım değişikliği, deney tasarımı, toleransların değiştirilmesi, test yöntemlerinin iyileştirilmesi, test faaliyet planının iyileştirilmesi gibi yöntemlerle sağlanabilir. Ancak iyileştirme faaliyetleri açıkça tanımlanmalı ve takip edilmelidir. Eğer iyileştirme faaliyetleri yerine getirilemez ise HTEA'nin faydaları sınırlandırılmış olur. Sadece hata türleri ve hata öncelikleri belirlenmiş olur. Bir iyileştirme gerçekleşemez. Dolayısıyla somut faydalar ancak tanımlanan faaliyetlerinin yerine getirilmesi ile mümkün olacaktır.

İyileştirme faaliyetlerinin tamamlanmasından sonra, ekibin belirleyebileceği bir zaman sonunda Tasarım HTEA Formu gözden geçirilerek RÖG değerleri tekrar hesaplanmalıdır. Tasarım HTEA'nın güncelliği bu şekilde sağlanabilir. Böylece, gelecek çalışmalar için

dokümanede edilmiş bilgiler, RÖG'ne göre önceliklendirilmiş hata türleri ve müşteriye daha az hatalı ürün sunmak mümkün olacaktır. Mekanik termostat için iyileştirme faaliyetleri belirlenmiş ve uygulanmıştır. RÖG'leri tekrar gözden geçirilerek yeni durumlar için tekrar hesaplanmıştır. Yapılan tüm bu çalışmalar sonucunda mekanik termostat servis oranında düşüş tespit edilmiştir. Bu oran gizlilik kapsamında olduğu için verilmemiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tasarım HTEA, hataların belirlenmesi, önceliklendirilmesi ve iyileştirme faaliyetleri ile tasarımın geliştirilmesi açısından etkin bir yöntemdir. Ancak Tasarım HTEA yapabilmek için de pek çok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin derlenmesi ve değerlendirilmesi de oldukça zaman ve işgücü gerektirmektedir. Ayrıca, ürün hataları ele alınırken müşterinin ilgili üründen istek ve beklentilerinin de yansıtılması, üründen müşterinin daha az şikayet etmeni sağlayacaktır. Bu da servis oranında daha hızlı bir düşüşe sebep olacaktır.

AHP çok ölçütlü karar verme konusunda kantitatif bir teknik olarak, değişik alanlarda yaygın kullanıma sahiptir. Bu çalışmada da AHP, mekanik termostatın parçalarının önceliklendirilmesi için kullanılmıştır. Müşteri istek ve beklentileri göz önüne alınarak "iç sıcaklığın istenen aralıkta olması", "kolay ayar yapılabilmesi" ve "emniyetli olması" ölçütleri tespit edilmiş, bu ölçütler ikili karşılaştırmalar yapılarak birbirlerine göre önceliklendirilmiştir. AHP yöntemi ile tutarlılık testleri yapılmış ve önem dereceleri yüzde olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda ürünün parçaları da her bir ölçüte göre ikili karşılaştırmalar yardımıyla değerlendirilmiş ve tutarlılık analizleri yapılmıştır. Her bir parçanın ilgili ölçüte göre önem dereceleri yüzde olarak tespit edilmiş ve bunlar ile ölçütlerin önem dereceleri çarpılarak parçaların önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Öncelikli olarak seçilen parçalar için ise Tasarım HTEA uygulanmıştır. Tasarım HTEA uygularken parçaların hata türleri, hata sebepleri,

hatanın etkisi ve mevcut durumda kontrol önlemleri belirlenmiştir. Hata türleri "ortaya çıkma olasılığı", "şiddet derecesi ve "keşfedilebilirlik" kriterlerine göre önceliklendirilmiştir. Mekanik termostat için parçalar önceliklendirilmeden yapılan Tasarım HTEA'nda 43 hata türü belirlenmiştir. Burada 43 hata türü, parçalarda herhangi bir önceliklendirme olmadan, ürünün tüm parçaları dikkate alındığında ortaya çıkan sayıdır. Ancak ürünün parçaları AHP yöntemine göre önceliklendirildikten sonra, önceliği yüksek olan ilk %50 parça için Tasarım HTEA uygulanmış ve bu şekilde 28 hata türü belirlenmiştir. Bu da, hata türlerinde %35'lik azalmaya karşılık gelmektedir. Her hata türü için veri derleme ve değerlendirme süresi eşit olduğu varsayılır ise, zaman ve işgücünden %35 tasarruf sağlandığı söylenebilir. Ayrıca Tasarım HTEA yönteminin kullanılmasının nihai amacı iyileştirme faaliyetlerini hayata geçirerek ürünün servis oranını düşürmektir. AHP ile parçaların önceliklendirilmesi ve parçaların ilk %50'lik kısmı için Tasarım HTEA'nin uygulanması, parçaların AHP yönteminde müşteri istek ve beklentileri ölçütleri dikkate alınarak önceliklendirildiği için, müşterilerin servis oranına etki edecek şikayetlerinin de öncelikle ele alınmasını sağlamış olmaktadır. Dolayısıyla iyileştirme faaliyetleri sonuçları direkt servis oranına düşüş olarak yansımaktadır. 28 parça yerine 43 parça ile Tasarım HTEA yapılmış olsaydı, hata türlerinin önceliklendirilmesi ve iyileştirme faaliyetlerinin tamamlanması daha uzun süre alacak, bu da servis oranında daha uzun vadede etkisini gösterecekti. Özellikle çok sayıda parça içeren ürünlerin hata türlerinin önceliklendirilmesinde bu yaklaşımın yararı daha fazla olacaktır. İyileştirme faaliyetleri daha hızlı başlayacağı için, servis oranlarında daha kısa sürede düşüş sağlanacaktır. Tasarım HTEA yapılmadan önce parçaların AHP ile önceliklendirilmesi, Tasarım HTEA'nin etkinliği artmış olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Gilchrist, W., "Modelling failure Modes and Effects Analysis", International Journal of Quality and Reliability Management, Bradford, 1993
- [2] Legg J.M., "Computerized Approach for Matrix-form FMEA", IEE Transactions on Reliability, 1978, R-27(4), October
- [3] Kara-Zaitri C., Keller A., Fleming P., "A smart failure mode and effect analysis package", 1992, Proc. Annual Reliability and Maintainability Symposium, p.414-421
- [4] Price C.J., "Automated multiple failure FMEA", Reliability Engineering and System Safety, 76, 2002, p.1-10.
- [5] Price C.J., Snooke N., Pugh D.R., Hunt J.E., Wilson M.S., "Combining functional and structural reasoning for safety analysis of electrical designs", The Knowledge Engineering Review, 12, 3, 1997, p.271-287
- [6] Price C.J., "Function-directed electrical design analysis", Artificial Intelligence in Engineering, 12, 1998, p.445-456.
- [7] Pinna T., Caporali R., Cambi G., Burgazzi L., Poucet A., Porfiri M.T., "Failure Mode and Effect Analysis on ITER heat transfer systems", Fusion Engineering and Design, 1998, 42, p. 431-436
- [8] Bellomo P., Rago C.E., Spencer C.M., Wilson Z.J., "Novel approach to increasing the reliability of accelerator magnets", IEEE Transaction on Applied Superconductivity, 10, 1, 2000, p.284-287
- [9] Vandenbrande W.W., "How to use FMEA to reduce the size of your quality toolbox", Quality Progress, 31,11, 1998, p.97-100
- [10] Ben-Daya, M., Abdul, R., "A revised failure mode and effects analysis model", International Journal of Quality and Reliability Management, Bradford, 1996
- [11] Sankar N.R., Prabhu B.S., "Application of fuzzy logic to matrix FMECA", Review of Progress in Quantitative Non-destructive Evaluation, 20, 2001, p.1987-1994
- [12] Pillay A., Wang J., "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning", Reliability Engineering and System Safety, 79, 2003, p. 69-85
- [13] Stamatis, D.H., "Failure Mode and Effect Analysis from Theory to Execution", ASQC Quality Press, 1995.
- [14] Omdahl, T.P., "Reliability, availability, and maintainability dictionary", Milwaukee: ASQC Quality Press, 1988.
- [15] Saaty, T., "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York, 1980
- [16] Akın, B., "ISO 9000 Uygulamasında İşletmelerde Hata Türü ve Etkileri Analizi", Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 1998
- [17] Özdemir Sağır, M., "Bir İşletmede Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanılarak Performans Değerleme Sistemi Tasarımı", Endüstri Mühendisliği, TMMOB, 2002
- [18] Musubeyli Erginel, N., "Ürünün Önemli Kalite Karakteristiklerinin Belirlenmesinde Tasarım HTEA ve Kalite Evinin Kullanılması", Doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 1999