

# Hata türü ve etkileri analizi yönteminde maliyet odaklı yeni bir karar verme yaklaşımı

Ömer Faruk ERYÜREK\*, Mehmet TANYAŞ

İTÜ İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34357, Maçka, İstanbul

## Özet

*Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi sistem, tasarım, süreç ve servis konularında hataları ortaya çıkmadan tanımlamayı ve gidermeyi veya en azından kullanıcıdaki etkisini ortadan kaldırmayı hedefleyen bir mühendislik tekniğidir. İyileştirilmesi gereken potansiyel hataların seçiminde kullanılan yöntemin öznelliği yöntemin temel olumsuzluğudur. Yapılan çalışmada Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ve ELECTRE yöntemleri kullanılarak karar verme bölümü daha objektif hale getirilmiştir. Yapılan ikinci değişiklik ise hata türlerini önlemeye yönelik önlemlerin de çalışma grubu tarafından tanımlanması ile yöntemin daha bütünlüğe hale getirilmesidir. Böylece hata, hatanın etkisinin boyutu ve önlemin maliyetini birlikte değerlendiren sonuç odaklı bir yöntem elde edilmiştir. Yapılan teorik çalışma daha sonra fiili bir uygulama ile test edilerek tutarlılığı sınanmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Hata türü ve etkileri analizi, karar verme, önleyici teknikler.

## A new decision making methodology for failure mode and effect analysis

### Abstract

*Failure mode and effect analysis is an engineering technique that is used to identify and eliminate known and/or potential failures, problems, errors and so on from the system, design, process and service before they reach the customer. FMEA is developed by American companies who has lost their power against the better quality and cheaper Japanese products in 1970's. The most criticized points of the methodology are subjectivity of the evaluations in terms of probability, severity and detectability and the gap between the evaluations and improvements. New methods to improve these weaknesses are searched during this study. In order to achieve these goals, it was decided that it would be better if the same team identifies the improvement alternatives for each failure cause as well as failure modes, effects and causes. Then Simple Weighted Average and consequently ELECTRE methods are used for identifying best improvement alternative for each failure cause. After applying above mentioned methodology, a new matrix including failure costs, improvement activity to overcome this failure and the cost of the improvement is obtained. Then it should be decided that all the points that have vital risk must be improved. For the other causes an optimum solution should be chosen by evaluating failure and improvement costs. By proceeding the above mentioned improvements Failure Mode and Effect Analysis Methodology should be named as Failure Mode Effect and Prevention Analysis. Additionally the methodology is now much more solution based, selecting the best alternative more objectively than the past and establishing strong relations between failures and improvements.*

**Keywords:** Failure mode and effect analysis, decision making, preventive tools.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Ömer Faruk ERYÜREK. omer.eryurek@arcelik.com; Tel: (216) 312 39 75 dahili: 2860. Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İşletme Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Hata türü ve etkileri analizi yönteminde yeni bir karar verme modeli" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 17.10.2003 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 14.11.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.04.2004 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Günümüzün küreselleşen rekabet şartlarında önleyici yönü ağır basan kalite teknikleri gerçek zamanlı kontrol tekniklerine göre daha ön plana çıkmıştır. Bunun en önemli nedeni, artık günümüzde tüm tüketiciler tarafından “kalite”nin kazanılmış bir hak olarak ürün üzerinde “olmazsa olmaz” bir konumda algılanmasıdır. Buna bağlı olarak hammadde ve yarımamül tedarikinden başlayıp ürünün tüketiciye ulaşmasına kadar geçen evrelerde süreçlerin ve bağlı olarak ürünlerin değişik yöntemlerle kontrolü uzun yıllardır ciddiyetle ve yeterince ele alınması gereken ve zaten yapılan bir durumdadır. Buna karşılık önleyici yöntemlerin kullanımı özellikle ülkemizde göreceli olarak geri planda kalmış ve hala firma yönetimlerinde tartışma konusu yapılmaktadır. Bu tartışmaların geri planında, önleyici yöntemlerin, katlanılan maliyetlere karşın sağladıkları yararlar ve kısmen de yeterlilikleri yatmaktadır.

Tüm bu tartışmalara karşın, son yıllarda ülkemizde, biraz da yaşanan ekonomik krizlerin etkisi nedeniyle uluslararası ticaretin eskiye oranla çok daha fazla ön plana çıkması ve buna bağlı olarak yurtdışındaki partner şirketlerin talep ve desteği ile önleyici uygulamalar gün geçtikçe artmaktadır. Yine bir önceki bölümde değinildiği gibi önleyici yöntemler tüketici beklentilerinin algılanması ve teknik düzeye indirgenmesi gibi kısmen firma dışına yönelik yöntemler ve tamamen ürün ve süreçlere odaklanmış firma içine yönelik yöntemler olarak temel iki grupta toplanabilir. Firma dışına yönelik yöntemlerin kendi markalarını uluslararası boyutta konumlandıran ve pazarda markalarını ön plana çıkaran firmalar tarafından pazarlama ekiplerinin öncülüğünde veya en azından yoğun katılımı ile kullanılması gerekirken, firma içine yönelik yöntemler daha dar kapsamlı gruplarla ve daha net bilgilerle ürün ve süreçlere uygulanabilir. Son yıllarda ülkemizin uluslararası boyutta bir üretim üssü özelliğini kazanması ile hazır tasarımların en üst seviyede kalite ile üretilmesi ve kısmen Türk teknik adamlarının çok uluslu tasarım faaliyetlerine katılımı sözkonusu olmuştur. Bu evreler üründen beklentilerin tamamen teknik baza indirgenmiş olduğu ve kısmen tasarım ve

daha çok üretime yönelik olarak önleyici yöntemlerin uygulandığı evrelerdir. Dolayısıyla bu aşamalarda kullanılacak kalite tekniklerinin anlaşılabilirliği, kolay uygulanabilirliği, elde edilen çıktılarının kullanılabilirliği ve verimi son derece önemlidir.

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi sistem ve ürün tasarımı, proses ve bakım faaliyetleri tasarımında kullanılacak en etkin önleyici yöntem olup doğru uygulanması halinde firmalara oldukça fazla yarar getirecek bir kalite tekniği olarak ön plana çıkmaktadır. Yöntem Amerikan firmalarının küresel rekabette 1950’li yıllardan itibaren kazandıkları başarının 1970’li yıllarda gittikçe etkisinin azalması ile eskiden sahip olunan rekabet üstünlüğünün tekrar elde edilmesi çabaları sonucunda geliştirilmiş ve yaygınlık kazanmış, önleyici yönü ön planda olan bir kalite aracıdır. Bu teknik başka bir deyişle aşağıdaki ifadenin yarattığı rahatsızlık nedeniyle ön plana çıkmıştır.

“Yapılanlar sürekli olarak aynı şekilde tekrar ediliyorsa kazançlar da hep aynı olacaktır”.

Yöntemin uygulanması sırasındaki temel hedef, olası hatanın sebebinin, dolayısıyla hatanın etkisinin minimuma indirilmesidir. Bu basit yaklaşım kalitatif veya kantitatif boyutta olabilir. Hangi boyutta olursa olsun sonuç, kişilerin veya firmaların almak isteyecekleri veya alabilecekleri risk ile doğru orantılıdır.

Yöntemin iki temel olumsuzluğu sözkonusudur; birincisi hataların önlenmesine yönelik iyileştirmelerin saptanmasında yapılan değerlendirmenin kısmi subjektifliği “Şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik kriterlerindeki puanlama kuralları uygulama yapan bir kuruluştan bir diğerine göre değiştiğinden HTEA’daki risk öncelik göstergesi hesaplama yönteminin doğal bir subjektiflik taşıdığı konusunda hemfikir olunmuştur” (Kara-Zaitri ve Flemming, 1997), diğeri ise saptama ve önleme bölümlerinin bazı uygulamalarda birbirlerinden kopuk kalmalarıdır, “Bazı uygulamalarda çözümler, öncelik belirleme grubundan bağımsız başka gruplara havale edilmekte bu durum çalışmanın bütünlüğünü

bozarak etkinliğini azaltmaktadır” (Dale ve Shaw, 1990). Bu olumsuz yönlerin ortadan kaldırılmasının yöntemin uygulanması ile elde edilen sonuçların güvenilirliği ve doğruluğu açısından yarar sağlayacağı açıktır. Bu nedenle bu çalışmada bu iki konuda iyileştirme yapılması hedeflenmiştir.

### **HTEA yöntemi**

Daha önce bahsedildiği gibi HTEA yöntemi potansiyel hata sebeplerini tanımlamaya, gidermeye veya etkilerini azaltmaya yönelik bir tekniktir. Süreçlerdeki riskler veya değişkenlikler genellikle girdilerdeki değişkenliklerden kaynaklanır. Değişkenlikler ise iki grupta toplanabilir (Denson, 1992). Bunlar süreçlerin doğasından kaynaklanan genel değişkenlikler ve bir takım beklenmeyen etkilerden kaynaklanan özel değişkenliklerdir. Genel değişkenlikler tüm kütleyi etkisi altına alırken, özel değişkenlikler ise sadece kısıtlı bir grubu etkiler. HTEA çalışmalarının her iki gruptaki değişkenliklerin yönetimine yönelik olmakla beraber öncelikli hedef ikinci gruba giren değişkenliklerin ortadan kaldırılması veya azaltılmasıdır. Bu doğrultuda yapılan çalışmaların daha detay bazdaki faydaları ise aşağıdaki başlıklarda toplanabilir (Stamatis, 1995):

- Ürünlerde rakiplere kıyasla belirgin fark yaratabilecek önceliklerin saptanmasına yardımcı olur,
- Ürün ve servislerin kalitesinin, güvenilirliğinin ve güvenliğinin artırılmasına yardımcıdır,
- Firmaların imajını ve rekabet edebilirliğini destekler,
- Müşteri tatminini artırır,
- Ürün geliştirme zamanını ve maliyetini azaltır,
- Ürün geliştirme faaliyetlerindeki önceliklerin saptanmasına yardımcı olur,
- Yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesine yardımcıdır,
- Hurda ve firelerin azaltılmasını sağlar,
- Potansiyel hataların tanımlanmasını ve giderilmelerine yönelik düzeltici önlemlerin alınmasını sağlar,
- Firmanın genel bilincinin artmasına ve grup çalışmalarının benimsenmesine ve geliştirilmesine yardımcıdır.

Aslında tüm bu sayılanların ötesinde HTEA yönteminin uygulanmasının temel sebebi sürekli gelişme ihtiyacıdır. Firmalardaki sürekli gelişme arzusu ve HTEA uygulamaları birbiriyle çok güçlü bir etkileşimdedir. İkisinin de tek başına gerçekleşmesi düşünülemez (G. Motors, 1998).

### **Uygulama**

HTEA çalışmasında, ağırlıklı olarak potansiyel hatalar üzerine yoğunlaşacağından, olabildiğince erken başlatılması yararlı olacaktır. Bu durum yeterince somut bilgi olmadığı yönünde bir eleştiriye maruz kalabilir, ancak çalışmanın ilerleyen kısımlarında gözden geçirme olasılığı her zaman vardır. Bu konunun bir örnekle açıklığa kavuşturulması gerekirse, yeni bir tasarım için Kalite Fonksiyon Açınımından elde edilen bilgilerle HTEA çalışmasının başlatılabileceği söylenebilir. Daha genel bir bakışla HTEA çalışmasının aşağıdaki durumlarda başlatılması gerektiği düşünülür (Ford, 1992):

- Yeni bir sistem, ürün, proses veya servis/bakım operasyonu tasarımı söz konusu olduğunda,
- Herhangi bir nedenden dolayı mevcut sistem, ürün, proses veya servis/bakım operasyonunda temel bir değişiklik sözkonusu olduğunda,
- Sistem, ürün, proses veya servis/bakım operasyonlarında bir geliştirme düşünüldüğünde.

HTEA çalışması bireysel bir faaliyet olarak düşünülemez. Genellikle firmaların belirli bir alanında ve özel bir durum üzerinde çalışılacağından çalışma yapacak ekiplerin çok yaygın bir yelpazeden kişilerce oluşturulması tercih edilmez. Ekiplerin söz konusu özel konu veya durumla doğrudan ilgili kişilerce oluşturulması daha makul bir yaklaşım olacaktır. Ancak yine de ekibin sadece tek bir fonksiyondan kişilerin biraraya gelmesi ile yapılamayacağı da açıktır. Dolayısıyla değişik fonksiyonlarda multi disiplinler ekipler kurulmalıdır.

Yöntemin uygulanması ile ürünler üzerinde mevcut veya potansiyel olarak mevcut hataların önlenmesi hedeflendiğinden ilk aşamalarda çalışma, birtakım tahminler ve kabuller ile ilerleyecektir (Stamatis, 1995). HTEA yönteminin uygulanmasında tüm çalışma Şekil 1’de verilen özel form üzerinde sürdürülür. Bu form

çalışmanın kolay izlenebilir bir şekilde ve herhangi bir konunun unutulmadan devam ettirilebilmesi açısından son derece kullanışlıdır. Çalışmanın ilk bölümünde öncelikle tasarımı yapılan ürünün kullanılması sırasında ortaya çıkabilecek hata türleri tahmin edilmeye çalışılacaktır. Daha sonra her bir hata türünün etkileri ve bu hataya sebep olan durumlar ortaya konulur. Hata türleri, etkileri ve sebeplerinin yanısıra bazı çalışmalarda her sebebe karşılık gelen mevcut veya uygulanması düşünülen kontroller de analiz formlarında bir sütun halinde yer alır (Stamatis, 1995).

Bu noktada her bir hata türünün tek bir etkisi ve sebebi olabileceği gibi etkiler ve sebepler birden fazla da olabilir ve çalışmaların çoğunda karşılaşılan durum bu yöndedir.

Hataların etki ve sebeplerini ortaya koymak için yapılan analiz sırasında da yine bazı tahminler ve kabuller söz konusu olacaktır. Çalışmanın ana hedefi problemlerin kullanıcılara ulaşmadan çözümlenmesi olduğundan bu kısımda yapılacak tahmin ve kabuller olayın bütününe verimi açısından son derece önemlidir (Yazgaç, 1993).

İkinci aşamada her bir hata türü sebebi Olasılık, Şiddet ve Keşfedilebilirlik açısından puanlanarak ve daha sonra her üç puanın çarpımından bir

RÖG (Risk Öncelik Göstergesi) hesaplanarak önceliklendirilir. Burada “Olasılık” hatanın frekansı, “Şiddet” hatanın etkisinin ciddiyeti ve “Keşfedilebilirlik” de sözkonusu hatanın kullanıcıya ulaşmadan farkedilebilme imkanınıdır. Bu kısımda yapılan değerlendirmeler kalitatif veya kantitatif olabilir. Kalitatif yöndeki değerlendirmelerde belirli istatistik hesaplamaları kullanan teorik kabuller yapılmasına karşın, kantitatif değerlendirmelerde geçmiş veriler kullanılabilir. Bu değerlendirmelerde 1’den 5 veya 10’a kadar olan derecelendirmeler kullanılır. 10’dan fazla bölümlendirmeye sahip derecelendirmelerin kullanılması tavsiye edilmez. Bu konuda hazırlanmış ve uluslararası boyutta kabul görmüş bazı hazır tablolar kullanılabilir. Bu ve benzeri tablolar ekibe bir fikir vermesi açısından önemlidir (Stamatis, 1995).

Ancak bu kısımda yapılan tahmin ve kabullerde de asıl öncelik ekip üyelerinin tecrübeleri, geçmiş veriler ve istatistiki hesaplamalardır.

Yukarıdaki aşamalardan sonra Risk Öncelik Göstergelerinin hesaplanması ile elde edilen puanlardan hareketle hangi hata türleri ve sebeplerinin düzeltici faaliyetler uygulanarak çözümlenmesi gerektiği saptanır. Bu noktada doğaldır ki yüksek RÖG değeri alanlar diğerlerine kıyasla öncelik kazanacaklardır

HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZ FORMU														
Ürün: _____						Proje No: _____								
Çalışma Tarihi: _____				Ürünün Planlanan Üretim Tarihi: _____				Hazırlayan: _____				Ekip: _____		
Onay: _____														
Hata Türü	Etkiler	Sebepler	Mevcut Kontrol	Mevcut Durum				Öneriler	Sonuç					Sorumlu
				Olasılık	Şiddet	Keşf.	RÖG		Yapılan	Olasılık	Şiddet	Keşf.	RÖG	

Şekil 1. Hata Türü ve Etki Analiz Formu

(Yazgaç, 1993). Bu şekilde tüm hata türleri ve sebepleri en yüksek RÖG puanı olandan en küçüğe doğru bir sıralama ile önceliklendirilebilir. Bu aşamadan sonra hangi hata türleri üzerinde yoğunlaşılacağını belirleyebilmek için bir eşik değer saptanması gerekir.

Eşik değeri belirleyebilmek için belirli bir güven seviyesinin kabul edilmesi en uygun yöntemdir. Her üç önceliklendirme kriteri için 10'lu derecelendirme kullanıldığı düşünülürken toplam puanın  $10 \times 10 \times 10 = 1000$  olacağı açıktır. %99 istatistiksel güven hedeflendiğinde  $1000 - 990 = 10$  olacaktır ve bu durumda RÖG puanı 10'un üzerinde olan her hata türü ele alınmalı demektir. Oysa istatistiksel güven seviyesi %90 kabul edildiğinde eşik değeri 100 puana çıkacaktır.

Sonuç olarak, aslında eşik değer kabulünün de ekibin sorumluluğunda saptanması gerektiğini söylemek en doğru yaklaşım olacaktır. Burada ekip, istatistiksel güven seviyesinin yanısıra firmanın ve ürünün pazardaki imajı ve konumu, ürünün kullanım yerinin kritikliği ve problemlerin giderilebilme kolaylığını veya zorluğunu, ürünün fiyat ve rekabet seviyesini de dikkate alarak en uygun eşik değeri belirler. Aslında bu noktaya kadar özellikle puanlama ile ilgili olarak yapılan birçok kabul HTEA yönteminin zayıf yönlerinden biridir. Bu noktalarda geçmiş tecrübeler ve ekibin konuya yaklaşımı büyük önem taşır ve yapılanlar kısmen subjektif değerlendirmelerdir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında önceliklendirme kısmının daha matematik tabanlı bir karar verme yöntemi ile desteklenmesi düşünülmüştür.

Belirlenen eşik değer üzerinde kalan tüm hata türü sebepleri için düzeltici önlemlerin saptanması gerekir. Bu durum ekip tarafından yapılabildiği gibi her konu ile ilgili olarak görev verilen kişi veya farklı gruplarca da ele alınabilir. Bu noktada çoğunlukla düzeltici önlemlerin sorumluluğu (saptanması, uygulanması ve takip edilerek sonuçlarının değerlendirilmesi) HTEA çalışmasını yapan grubun dışındaki veya gruptan ayrı olarak görev alabilecek grup üyeleri veya gruplara verilir. Belirli bir termin çerçevesinde bu çalışmaların tamamlanması istenir.

Düzeltilici faaliyet uygulanacak hata türleri için ya faaliyetler tamamen uygulanıp sonuçları alındıktan sonra ya da her faaliyetin sorumlusundan ileriye dönük olarak alınan öngörüler çerçevesinde RÖG puanları yeniden hesaplanır ve ikinci hesaplama sonrasında bulunan puanların en başta kabul edilen eşik değerden aşağıda olması beklenir (Ford, 1992). Bu kısmın da tamamlanması ile HTEA çalışması bitirilmiş olur ve ilk olarak çalışmanın öncelikli müşterisi olan Tasarım Bölümüne raporlanır. Aslına bakılırsa, zaten tasarıma yönelik HTEA çalışmalarında mutlaka ilgili bölümden bir katılımcı ekip üyesi veya lideri olarak çalışmanın içinde olacaktır. Dolayısıyla çalışmanın devam eden etaplarında tasarım bölümü ile sürekli ve karşılıklı bilgi alışverişi devam ettiğinden zaten ilgili tasarımcılar konu ile ilgili bilgilere ve çıktılara sahip olacaklardır. Ancak yine de grup tarafından varılan mutabakat ile oluşturulan bir raporlama hem çalışmanın resmi anlamda tamamlanması hem de üst yönetime bilgi aktarımı açısından önemlidir. Sonuç raporunda analiz formu önemli bir yer tutar ancak buna ilave olarak hata türleri, etki ve sebeplerinin tanımlanmasında ve önceliklendirmelerde yapılan kabullerin verilmesi raporun daha içerikli ve anlaşılır olmasını sağlayacaktır.

Görüldüğü gibi HTEA yöntemi, sistem, ürün, proses ve servis/bakım faaliyetlerinin tasarımında hataların/problemlerin kullanıcılara ulaşmadan tanımlanması ve ortadan kaldırılması için geliştirilmiş uygulanması oldukça kolay ve etkin bir yöntemdir. Ancak yukarıda verilen yöntem eleştirel bir gözle incelendiğinde önceliklendirmede kullanılan yaklaşımın kısmen subjektif olduğu ve iyileştirme uygulamalarının ilk bölümden kısmen kopuk olduğu farkedilir.

### **Geliştirilen yeni yöntem**

Geliştirilen yeni yaklaşımda yukarıda belirtilen konulara çözüm aranmıştır. Bu nedenle çalışmadan beklentiler aşağıdaki maddelerde tanımlanmıştır:

- Hata türlerinin değerlendirilmesi ve üzerinde çalışılacak hata sebeplerinin belirlenmesi mümkün olduğunca objektif ve matematik tabanlı bir yöntemle yapılmalıdır.

- Yaklaşım problem sebeplerinin önceliklendirilmesi yerine çözüm önerilerinin önceliklendirilmesine ve ideal çözüm yönteminin belirlenmesine yönelik olmalıdır.
- Karar verme süreci katılımcıların tecrübe seviyelerine duyarlılıktan mümkün olduğunca uzaklaştırılmalıdır.
- Yöntem mümkün olduğunca basit ve kolay uygulanabilir olmalıdır.

Bu amaçları karşılayacak yeni bir sistem, yukarıda belirtilen boyutlar dikkate alınarak tanımlanmıştır.

Bu hedeflere yönelik olarak yeni yöntemde uygulanan en önemli değişiklik, klasik yöntemde kullanılan hesaplama tablosuna hata etkilerinin maliyetlerinin de eklenmesidir. Yapılan tüm çalışmaların ana hedefi kullanım veya uygulama sırasında ortaya çıkabilecek problemlerin minimize edilmesi veya ortadan kaldırılması olduğuna göre sonuçta ortaya çıkacak etkinin maliyetinden hareketle belirleme yapmanın daha mantıklı ve efektif olacağı açıktır. İlk başta, kolay gibi görünmese de, yaşanan geçmiş olaylardan hareketle olası hataların götürülerini hesaplamak, problemlerin şiddet, olasılık ve keşfedilebilirliklerini tahmin etmekten daha kolay ve bilimsel olacaktır. “Hatanın etkisinin oluşturacağı maliyet çözüm için alınacak önlemlerin belirginleştirilmesini de sağlar” (Gilchrist, 1993). Bu durum, çalışmayı “olsa olsa” yaklaşımından kurtarıp, gerçekçiliğe yaklaştıracaktır. Yukarıda anlatılanların ışığında aşağıdaki yeniliklerden sözedilebilir:

“Analize, hata etkilerinin maliyetlerin de katılması ile yaklaşım eski yönteme kıyasla daha **maliyet ve sonuç odaklı** hale gelmiştir”

“Analize, tahminler yerine verilerin katılması yaklaşımı eski yönteme kıyasla daha **veriye dayalı** hale getirmiştir”

İkinci önemli değişiklik hataları önlemeye yönelik faaliyetlerin de sisteme karar verme aşamasında kullanılacak şekilde dahil edilmesidir. Burada önlemeye yönelik faaliyetler her bir hata için tek olabileceği gibi birden fazla da olabilir. Daha sonra her bir önleme alternatifinin diğer alternatiflere göre avantaj ve dezavantajlarının

var/yok veya kuvvetli/zayıf şeklinde çok basitçe karar verilebilecek kriterlerle desteklenmesinin seçimde kolaylık getireceği düşünülmüştür. Yeni modelde önleyici yönün ön plana çıkması, modele “Hata Türleri Etki ve Önlem Analizi” şeklinde yeni bir isim vermenin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Buradan sonraki kısımlarda yeni model “HTEÖA”, eski klasik model ise “HTEA” kısaltmasıyla tanımlanacaktır. Böylelikle;

“Analize, önleme alternatiflerinin katılması ile yaklaşım eski yönteme kıyasla daha **önleyici** hale gelmiştir”

Bu kısım da tamamlandıktan sonra her hata türü için önleme sonrasında kabul edilebilir kalan hata maliyetleri tanımlanır. Burada özellikle yaşamsal risk taşıyan hata etkilerine karşılık gelen önleme sonrası maliyetlerin “0” olması kaçınılmazdır. Ek olarak, yaşamsal bir risk olmasa dahi ürünün fonksiyonunun tamamen engelleneceği ve kullanıcının ciddi problem yaşayabileceği temel hatalarda da kalan hata maliyetinin “0” olması tercih edilir. Ancak, minör risklerde önleme sonrası belirli oranda hata kabul edilebilir. Bu, firmaların önleme maliyetlerini azaltabilmek için bir miktar risk almaları anlamına gelir ki bu durum HTEÖA çalışmasında firmanın genel prensipleri çerçevesinde belirlenebilir. Bu işlemlerin tamamlanması ile her hata türü için önlemler ve her önlemin avantaj ve dezavantajları ilişkilendirilerek ideal çözüm aranır. İlave edilen yenilikler ile HTEA Matrisi yeni bir yapı kazanarak Şekil 2’ deki HTEÖA Matrisi halini almıştır.

Karar verme aşamasında öncelikle her seçeneğin ölçütlere göre değerlendirilmesi yapılır. Bu noktada subjektif değerlendirmelerden olabildiğince uzaklaşmak için kalitatif ölçütlerde “var/yok” (1/0) veya “kuvvetli/zayıf” (2/1) tarzı ikili bir değerlendirme yapılması tavsiye edilir.

Ancak, maliyet, ağırlık, hız gibi kantitatif ölçütler doğrudan kullanılabilir. Aynı zamanda, kullanılan ölçütlerin birbirine göre önem derecesi çoğunlukla değişkendir. Müşteri beklentileri, hedef pazarlar, rekabet şartları,

### Hata türü ve etkileri analizi

rakipler ölçütlerin birbirine göre önemini belirler. Örneğin rekabete çok duyarlı bir üründe maliyet seçeneği önem kazanabileceği gibi kalite seviyesine çok duyarlı bir üründe gönleyicilik ön plana çıkabilir. Değerlendirmelerin tamamlanması ile seçenekleri, ölçütleri ve değerlendirme sonuçlarını içeren matrisler elde edilir. Bu matrisler kullanılarak her hata sebebi için ideal çözüm seçeneği aranır.

İdeal çözüm seçeneğinin aranması sırasında elde edilen veriler ve çalışmanın ana hedefleri olan basit, kolay uygulanabilir ve objektif olma gerekleri dikkate alındığında Değer / Fayda Temelli Sorun Çözüm Yöntemlerinden Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yönteminin oldukça uygun olduğu görülür.

Bu yöntem, uygulanması kolay ve oldukça iyi sonuç veren bir yaklaşımdır. Ancak, karar

verme sırasında, özellikle seçeneklerin sonuç puanlarının birbirine çok yakın olduğu durumlarda ana önceliğin gözden kaçırılması riski mevcuttur. Örneğin, önleyicilik ölçütünün çok ağırlıklı olduğu bir durumda, diğer ölçütlerin aldıkları değerlere göre başka bir ölçüt çok az bir puan farkıyla ön plana çıkabilir. Bu durum, sadece seçeneklerin aldıkları puanları dikkate alan bir sıralama ile karar verilen durumlarda asıl önceliğin gözden kaçırılmasına sebep olabilir.

Yukarıda verilen nedenlerden dolayı, Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ile verilen kararın bazı durumlarda başka bir yöntem ile desteklenmesinde fayda vardır. Bu noktada seçimin doğrulanmasını gerektiren iki temel şarttan bahsedilebilir. Birincisi, seçilen ideal önlemin en ağırlıklı ölçütteki performansı diğer seçeneklerden üstün veya eşit olmalıdır. İkincisi ise, ideal önlemin toplam puanının tüm

HATA TÜRÜ ETKİ VE ÖNLEM ANALİZİ									
Hata Türü	Hatanın Etkisi	Hata Maliyeti	Sebeup	Önlem 1	Önlem 2	Önlem 3	Önlem n	Sonuç Hata Maliyeti	
Hata Türü 1	Etki 1	Maliyet 1	Sebeup 1					Kalan Hata Maliyeti 1	
			Ölçütler	Kriter 1					
				Kriter n					
	Etki 1			Sebeup 1					
				Ölçütler	Kriter 1				
					Kriter n				
Hata Türü n	Etki 1	Maliyet n	Sebeup 1						
			Ölçütler	Kriter 1					
				Kriter n					
	Etki n			Sebeup n					Kalan Hata Maliyeti n
				Ölçütler	Kriter 1				
					Kriter n				

Şekil 2. Hata türü, etki ve önlem analiz formu

seçeneklerin puanlarının aritmetik ortalamalarından belirli bir mesafede uzak olmasıdır. Bu koşulların sağlanmadığı durumlarda seçimin başka bir karar verme yöntemi ile doğrulanması gerekir. Bu noktada, “Değer/Fayda Temelli” bir yaklaşım yerine seçeneklerin birbirlerine göre üstünlüklerini dikkate alan bir yaklaşımın daha doğru olacağı açıktır. “Üstünlüğe Dayalı” yaklaşımların en temeli olan ELECTRE yöntemi, seçeneklerin birbirlerine göre iyi olma derecesinin belirli bir seviyenin üstünde olmasını ve bağlı olarak aksi yöndeki değer de belirli bir seviyenin üstünde olmamasını sorguladığından, seçeneklerin birbirlerine göre değerlendirmesi sonucunda Basit Toplamlı Ağırlık Yöntemindeki gözden kaçabilecek ilişki veya ilişkisizliklerin ortaya çıkarılmasını sağlayacaktır.

Uygulamalarda çoğu durumda her iki yöntemle yapılan değerlendirmelerin sonuçlarının örtüştüğü görülür. Ancak, yukarıda da söz edildiği gibi, puanların birbirine çok yakın olduğu durumlarda her iki yöntemle bulunan ideal seçenek veya seçeneklerin ölçütlerinin ağırlıkları da göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi gerekir.

Özetlenecek olursa, karar verme aşamasında uygulama kolaylığı nedeniyle Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yönteminin kullanılması ancak bununla beraber Electre Yöntemi ile sonuçların doğrulanması veya ilk yöntemde gözden kaçabilecek ilişkilerin yakalanması ve değerlendirilmesi tavsiye edilir. Böylece her hata sebebi için ideal çözüm alternatifinin seçimi tamamlanır. Bu faaliyet sonrasında sol tarafında hata türleri, etki ve sebepleri ve oluşturacakları maliyetlerin olduğu buna karşılık sağ tarafında ideal çözümler ve maliyetlerinin bulunduğu bir sonuç matrisi elde edilir. Bu aşamada sebeplerinin hangileri için iyileştirme yapılacağı oldukça kolay bir şekilde belirlenebilecek hale gelmiştir. Karar verme için üç temel kriter kullanılabilir:

- Yaşamsal risk taşıyan tüm hata sebepleri iyileştirilmelidir.
- Diğer hata sebepleri için hatanın ortaya çıkması durumunda oluşacak maliyetin iyileştirme maliyetinden yüksek olduğu durumlar öncelik kazanmalıdır.

- Müşteri duyarlılığı ve beklentileri çok yüksek ve bütçe müsait ise tüm potansiyel hata sebepleri iyileştirilmelidir.

Seçim aşamasında bazı çözüm alternatiflerinin diğer hata sebepleri üzerinde de olumlu etki yapabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu tarz etkileşimleri yakalayabilmek için tüm alternatifler bir matris üstünde toplanarak birbirleri üzerinde etkisi olduğu düşünülen çözümlerden en düşük maliyetli seçilebilir.

## Basit toplamlı ağırlıklandırma ve ELECTRE yöntemleri

### Basit toplamlı ağırlıklandırma

Her seçeneğin, tek boyutlu değer fonksiyonu değerlerinin kullanılması yerine, farklı ölçütlere göre elde ettiği performans değerlerinin doğrudan kullanılıp ölçüt göreceli önlemlerine göre ağırlıklandırılıp, toplam global puanın elde edilmesine dayanan çok kriterli sorun çözme yöntemine Basit Toplamlı Ağırlıklandırma (Simple Additive Weighting) veya Ağırlıklı Ortalama (Weighted Average) Yöntemi adı verilir (Kleindorfer, 1993).

Böylece karar matrisindeki nicel performans değerleri kullanılarak seçeneklerin puanını temsil eden bir vektör oluşturulur. Söz konusu vektördeki seçenek değerleri;  $w_j$  ölçütün göreceli önemini (normalize edilmiş ağırlık) göstermek üzere aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$V(a_i) = V_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (1)$$

Elde edilen puanlar kullanılarak seçenekler arasında ön sıralama oluşturulabilir:

$$\begin{aligned} a_i Pa_j &\Leftrightarrow V_i > V_j \\ a_i Ia_j &\Leftrightarrow V_i = V_j \end{aligned} \quad (2)$$

Normalizasyon işlemi sırasında genelde doğrusal normalizasyon kullanıldığından ideal bir seçeneğin (her ölçüt için en iyi performans değerine sahip) toplam puanı 1 olacaktır. Herhangi bir seçeneğin hesaplanan global puanının 1'e olan uzaklığı, o seçeneğin ideal seçeneğe olan

uzaklığı hakkında Karar Analisti ve Karar Verici' ye bilgi verir.

Basit Toplamlı Ağırlıklandırma Yöntemi; öncelikle uygulama basitliği ile, ilave olarak da Karar Verici'den sadece görelî önlemleri istemesi ve ideal seçeneğe uzaklık hakkında bilgi vermesi yüzünden tercih edilen bir yöntemdir.

### ELECTRE

ELECTRE yöntemi seçim gerektiren sorunların çözümü için kullanılan bir yöntemdir. Yöntem "Elimination et Choix Traduisant la Realite" cümlesinin kısaltılarak kullanılmasından ismini alır (Evren ve Ülengin, 1992b). Yöntemin uygulamasında, iki temel adım söz konusudur. Bu adımlar:

1. Seçeneklerin ikili karşılaştırmaları sonucunda uyum ve uyumsuzluk göstergelerinin hesaplanması. Uyum ve Uyumsuzluk Eşiklerinin belirlenmesi.
2. Seçenekler arasındaki üstünlük ilişkilerinin kullanılması ile uygun seçeneklerin KV'ye sunulması.

Seçeneklerin birbirlerine göre uyumluluk göstergesini hesaplamak için,  $w_k$  ölçütünün ağırlığını ve  $W$  tüm ölçütlerin ağırlığını göstermek üzere,  $a_i$  seçeneğinin  $a_j$  seçeneğinden daha iyi veya aynı performans değerine sahip olduğu ölçütlerin ağırlık toplamı tüm ölçütlerin ağırlık toplamına bölünür:

$$a_i Sa_j \Leftrightarrow \begin{cases} c(a_i, a_j) \geq \hat{c} \\ d(a_i, a_j) \leq \hat{d} \end{cases} \quad (3)$$

Uyumsuzluk göstergesi,  $a_i$  seçeneğinin  $a_j$  seçeneğinden üstün olmasının karşısındaki görüşleri temsil ettiğinden,  $a_j$  seçeneğinin en az bir ölçüte göre  $a_i$  seçeneğinden daha iyi bir performans değerine sahip olması durumunda sıfırdan farklı bir değer alır.

Bu durumda,  $a_j$  seçeneğinin daha iyi olduğu ölçütlere göre iki seçeneğin normalize performans değerleri arasındaki en büyük farka ( $\delta$ ) bölünmesi ile hesaplanır.

$$d(a_i, a_j) = \begin{cases} 0 & \Leftarrow x_{ik} \geq x_{jk}, \forall k \\ (\max_k (r_{jk} - r_{ik}) / \delta) & \end{cases} \quad (4)$$

Daha sonra belirlenen Uyumluluk Eşiği ( $c$ ) ve Uyumsuzluk Eşiği ( $d$ ) kullanılarak seçeneklerin birbirlerine göre üstünlükleri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$a_i Sa_j \Leftrightarrow \begin{cases} c(a_i, a_j) \geq \hat{c} \\ d(a_i, a_j) \leq \hat{d} \end{cases} \quad (5)$$

$$a_i Sa_j \Leftrightarrow \begin{cases} c(a_i, a_j) \geq \hat{c} \\ (x_{ik}, x_{jk}) \notin D_k, \forall k \end{cases} \quad (6)$$

Uyum ve uyumsuzluk matrislerinin kesişiminden hareketle seçenek çiftleri arasındaki üstünlüklere dayanan bir çizge çizilir. Çizgedeki okların çıkış veya giriş noktaları düğüm adını alır ve ideal seçeneğin seçilmesinde yol gösterirler.

### Sonuçlar

Yeni yöntemde, klasik HTEA yaklaşımına hata maliyetleri, bu hataları önlemeye yönelik seçenekler ve bunların maliyetleri katılarak karar verme aşaması daha matematiksel bir tabana indirgenmiştir. Karar verme aşamasında Basit Toplamlı Ağırlıklandırma ve gereken durumlarda ELECTRE yöntemlerinin ardışık olarak kullanılması önerilir. Her iki yöntemin uygulanması sonrasında elde edilen ideal seçeneklerin değerlendirilmesi ile KV her hata sebebi için en uygun önlemleri seçebilir. Bu çalışmanın tamamlanması ile çalışma formu bir tarafında hata türü, etkileri ve sebepleri, diğer tarafında ise bunları önlemek için alınacak en uygun önlemlerin bulunduğu oldukça informatif bir hal alır. Ayrıca her iki tarafta da maliyetler bulunmaktadır. Bu noktada olayın bütünü için karar vermek çok kolaylaşmıştır. Yaşamsal risk taşıyan konular maliyeti ne olursa olsun ele alınmalıdır. Diğer konularda ise pazar beklentileri, proje bütçesi, pazara çıkış zamanı gibi konular değerlendirilerek en uygun çözüm bulunur.

Yapılan değişikliklerde klasik HTEA yönteminde önleyicilik boyutu kuvvetlendirilmiş, karar

verme aşaması daha objektif hale getirilmiş, maliyet unsuru dahil edilmiş ve bütün olarak bakıldığında yöntem çok daha etkin hale gelmiştir. Bu nedenle yeni geliştirilen yöntem Hata Türü, Etki ve Önlem Analizi (HTEÖA) denilmiştir. Ancak yöntem çözüm alternatiflerinin belirlenmesi ve sonrasında yapılan bir takım matematik hesaplamalar nedeniyle eskiye oranla daha çok zaman ihtiyacı yaratacağı düşüncesiyle eleştirilebilir. Bu olumsuzluğu gidermek amacıyla Excel'de çalışan basit bir program ile hesaplamaların yaptırılması hiç değilse bu kısmın fazla zaman almaması sağlanmıştır. Çalışma sırasında önlemlerin diğer hata türleri ile etkileşimleri konusunda derinlemesine bir analiz yapılmamış ve bu durumun saptanması uygulamacıların tecrübelerine bırakılmıştır. Bu konu ileride üzerinde çalışma yapılabilecek potansiyel bir alan olarak düşünülebilir. Dileğimiz, yöntemin tüm süreçlerinde gelişme aşamasında olan ülkemizin endüstriyel yaşamında yaygın bir kullanım bularak uluslararası rekabette ülkemize ve firmalarımıza üstünlük sağlamasıdır.

### Semboller

$c(a_i, a_j)$  : Uyumluluk göstergesi  
 $d(a_i, a_j)$  : Uyumsuzluk göstergesi  
 $\hat{c}$  : Uyumluluk eşiği  
 $\hat{d}$  : Uyumsuzluk eşiği

### Kaynaklar

- Dale, B. G ve Shaw, P., (1990). Failure Mode and Effects Analysis in the U.K. Motor Industry. A State-of-the-art Study. *Quality and Reliability Engineering International*, 6, 179-188
- Denson, W. K., (1992). The Use of Failure Mode Distributions in Reliability Analyses, RAC Newsletter.
- Evren, R. ve Ülengin, F., (1992). Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Ford, (1992). *FMEA Handbook*, Ford Motor Company Engineering Materials and Standards, Dearborn, Michigan.
- General Motors, (1998). *FMEA Reference Manual*. General Motors Corporation, Detroit, Michigan.
- Gilchrist, W., (1993). Modelling Failure Modes and Effect Analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 10, 5, 16-23.
- Kara-Zaitri, C. ve Fleming, P. V., (1997). Applications of Fuzzy Inference Methods to Failure Modes Effects and Criticality Analysis. International Conference on Safety and Reliability, 2403-2414.
- Kleindorfer, P. R., (1993). *Decision Sciences*. Cambridge University Press, Oakleigh.
- Stamatis, D. H., (1995). *FMEA From Theory to Execution*, ASQ Publications, Milwaukee, Wisconsin.
- Yazgaç, E., (1993). *Toplam Kalite*, Koç Holding Malzeme ve İkmal Koordinatörlüğü, İstanbul.