

Süreç Hata Modu Etki Analizini Gri Değerlendirme Modeli

Grey Evaluation Model of Process Failure Mode Effect Analysis

Çiğdem SOFYALIOĞLU¹

ÖZET

Hata Modu Etki Analizi (HMEA), bir ürün veya süreçteki potansiyel hataların tanımlanması ve bunların müşteriye olan olası etkilerinin değerlendirilmesiyle, öncelikli iyileştirme alanlarının saptanmasına imkan tanıyan bir risk analiz tekniği olarak tanımlanabilir. HMEA tekniğinde öncelik sıralaması; hataların meydana gelme olasılığı, fark edilmeme olasılığı ve şiddetine yönelik puanların çarpımıyla hesaplanan Risk Öncelik Puanına (RÖP) göre yapılmaktadır. Ancak bu uygulamanın farklı risklerin aynı önceliği alabilmesi ve risk faktörlerinin ağırlıklarının dikkate alınmaması gibi bir takım sakıncaları bulunmaktadır. Bu çalışmada ilk olarak yöntemin uygulanışı ve eksiklikleri incelenmiştir. Daha sonra bu eksikliklerin giderilebilmesi amacıyla HMEA gri ilişki analizi kullanılarak modifiye edilmiş ve konuyla ilgili bir sanayi uygulamasına yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: hata modu etkileri analizi, risk öncelik puanı, gri ilişki analizi

ABSTRACT

Failure Mode Effect Analysis(FMEA) can be defined as a risk analysis technique that enables the determination of prior improvement fields by identifying the potential failures of a product or process and considering the possible effects of these failures on customers. Priority ranking of FMEA is determined by Risk Priority Number (RPN) which is calculated by multiplication of occurrence, undetectability and severity of failures. But this analysis has some drawbacks which are possibility of different risks having same priority and ignorance of weights of risk factors. In this study, application and disadvantages of this technique was examined. Then FMEA was modified using by grey relational analysis to eliminate of these disadvantages, and an industrial application related with the subject was given.

Key Words: Failure mode effect analysis, risk priority number, grey relational analysis

1. GİRİŞ

Günümüz küresel rekabet ortamına uyum sağlayabilmek üzere toplam kalite ve sürekli iyileştirme anlayışı, işletmeler tarafından giderek daha fazla benimsenmiştir. Bu anlayışın yaygınlaşması yeni strateji, teknik ve uygulamaların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu yaklaşımlardan biri olan Hata Modu Etki Analizi (HMEA), potansiyel hataların değerlendirilmesi ve bunların ortaya çıkmadan önlenmesi amacıyla kullanılan güçlü bir araçtır. Bu yaklaşım; "Ne yanlış gidebilir?" ve "Herhangi bir şey yanlış giderse sonuçları ne olur?" sorularını yanıtlamaya çalışarak, imalat süreçlerinde ortaya çıkabilecek potansiyel hataları önleyerek, daha ilk başında kalitesizliğin ortadan kaldırılmasını hedeflemektedir (Sankar ve Prabhu 2001, s.324). Ayrıca bu yöntem, imalat için gerekli kontrollerin yapıldığı anahtar tasarım ve süreç karakteristiklerinin tanımlanmasını ve süreç kontrolünde iyileştirme gereken alanlara ışık tutulmasını sağlar (Tay ve Lim 2006, s. 1048).

İlk olarak Amerikan ordusu tarafından (1949) sistem ve ekipman hatalarının değerlendirilmesi için kulla-

nılmış bu teknik, 1988 yılında Amerika'nın üç büyük otomotiv şirketi olan Chrysler, Ford ve General Motor tarafından kabul edilerek genel standart olarak kabul görmüş, 1993'den itibaren ise AIAG (The Automotive Industry Action Group) ve ASQC (The American Society for Quality Control) tarafından benimsenmiştir. 1985 yılından itibaren de Türkiye'de uygulanmaktadır (Canbolat 2008, s.6).

HMEA uygulamasının sağlayacağı yararları; düzeltici faaliyetlerin önceliklerini belirlemesi, kritik veya önemli olan özellikleri tespit etmede ve kontrol planı oluşturmada yardımcı olması, üretim süreci aşamasında ortaya çıkacak hataları belirlemesi ve düzeltici faaliyetlerle ilgili plan sunması olarak sıralamak mümkündür.

HMEA kullanımı kolay, basit bir teknik olması- na rağmen, sahip olduğu bir takım kısıtlardan dolayı eleştirilere maruz kalmaktadır. Bilindiği gibi bu teknik, öncelikli olarak ele alınması gereken hata türlerini belirlemede Risk Öncelik Puanı (RÖP) endeksini kullanır. RÖP değeri ise, risk faktörleri olarak adlandırılan "hatanın meydana gelme olasılığı", "farkedilmeme

olasılığı” ve hatanın şiddetine yönelik değerlendirme puanlarının çarpımı ile elde edilmektedir. Ancak bu uygulamanın farklı risklerin aynı önceliği alabilmesi ve risk faktörlerinin ağırlıklarının dikkate alınmaması gibi bir takım sakıncaları bulunmaktadır. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak üzere literatürde bu yöntem ile bütünleştirilmiş çeşitli yaklaşımlar önerilmektedir.

Bu çalışmada öncelikle HMEA türlerine kısaca değildikten sonra, tekniğin dezavantajları ayrıntılı bir biçimde ortaya konulmaya çalışılmıştır. Daha sonra bu dezavantajları ortadan kaldırmaya çalışan, literatürde yer alan çalışmalara dayanarak Chang ve diğerleri (2001) tarafından geliştirilen HMEA'nin gri modellemesi tanıtılmıştır. Son olarak hem klasik hem de geliştirilmiş yaklaşıma göre süreç HMEA uygulamasına yer verilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmaya ve yorumlanmaya çalışılmıştır.

2. HATA MODU ETKİ ANALİZİ TÜRLERİ

Uygulamada sıklıkla kullanılan HMEA türleri tasarım ve süreç HMEA'dir. Uzmanlar uygulamanın toplam performansı için çoğu kez bu iki tekniğin birlikte ele alınması gerektiğini öne sürmektedir.

Tasarım HMEA, tasarımdan kaynaklanan hata türlerine odaklanarak, üretime başlamadan önce ürünlerin analiz edilmesinde kullanılır (Chin ve diğerleri 2008, s. 634). Tasarım HMEA ürün tasarımını tamamlamadan önce, müşteri spesifikasyonlarına uygunluk ve firmanın müşterileriyle ilgili yükümlülüklerini yerine getirmek üzere kullanacağı doğru malzemelerin tanımlanması amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Ürün/tasarım mühendisleri genellikle tasarım HMEA takımının lideridir.

Süreç HMEA ise imalat ve montaj süreçleriyle ilgilidir. Ürünün üretilebilirliğinin dikkate alınmaması HMEA süreçlerinin ardında gizli bir problemdir. Bu, HMEA sürecinde gri bir alandır ve kimse bu alanla ilgili sorumluluğu üzerine almak istemez. Bu yüzden normal üretim periyodu boyunca bazı problemler ortaya çıkabilecektir. Bunlar, verimin beklenenden düşük olması yada yinelenen kalite problemleri olabilir. Doğru materyaller seçilmesine, tasarım doğrulaması yapılmasına ve hatta tasarım HMEA ekibi her adımda üretim sürecinin başında olmasına rağmen halen beklenmeyen problemler ortaya çıkabilir. Peki bu problemler neden ortaya çıkmaktadır? Çünkü tasarım adımları boyunca çoğu prototip malzeme veya alt üniteler tecrübeli teknisyenler veya mühendisler tarafından yapılır. Hiç kimse problem ortaya çıkıncaya kadar kitle üretiminde çevrim zamanı, araçların aşınması, sürecin karmaşıklığı gibi faktörlerin imalat çev-

resine etkisi hakkında düşünmez.

Ürün mühendisleri ilk olarak tasarım sürecinde ürünün fonksiyonel ihtiyaçlarını açık bir biçimde tanımlamalıdır. Tasarımda tüm fonksiyonel ihtiyaçlar kontrol edilip tasarım HMEA'nde gerçekleşmesi mümkün hata türlerinin listesi geliştirilebilir. Ekip tasarım HMEA'ni tamamladıktan sonra, ürün mühendisleri tasarımın neden olduğu hataları ortadan kaldırmak üzere tasarımı modifiye etmek için hata ağacı analizini uygular. Süreç HMEA'nde tasarım HMEA'nden kaynaklanan gizli problemler (parçaların olası hataları) bulunur. Bu hatalar tedarikçilerden veya malzeme seçme sürecinden kaynaklanabilir. Bu noktada tasarım HMEA dışında parça HMEA önerilmektedir. Farklı parçaların biraraya gelmesi ve bunların etkileşimlerinin ürün fonksiyonlarına (alt montaj fonksiyonları) etkisini göz önüne alan tasarım HMEA'nden farklı olarak parça HMEA, yalnızca malzemelerin seçimi ve parçaların üretilebilirliğini dikkate alır. Bazı tecrübesiz tasarımcılar üretilmeyecek veya üretimi çok zor olan parçalar tasarlar. Bu tip tasarım maliyetleri, ürünün fonksiyonunu ve montaj sürecini etkiler. Parça HMEA süreci, hataları ve parçaların üretim güçlüklerini ortadan kaldırmak ve tasarımı basitleştirmek ve iyileştirmek üzere tasarım değişiklikleriyle ilgili değerlendirmeler ve önerilerde bulunmak üzere malzeme tedarikçileriyle ilgili bilgiler sağlar. Ayrıca tedarikçilerin performansını sürekli olarak izleyebilmek için performans raporlaması geliştirilebilir (Teng ve Ho 1996, s.13).

Süreç HMEA, süreç akış şemalarının geliştirilmesiy-le başlar. Bu akış şemaları parçaların imalatı için üretim süreçlerinin tamamının tanıtımını sağlar. Akış şeması imalat /montaj işlemlerinin sırasını göstermelidir. Süreç HMEA potansiyel süreç hatalarını tanımlar ve bunların imalat ve montaj işlemlerinde olası nedenlerini belirler. Hata türlerinin sıralamasında hataların müşteriye olan etkisi çok önemlidir. Süreç HMEA'nde her bir hata türü için düzeltici önlemlerin alınması imalat/montaj sürecinde hataların nedenlerini ve etkide bulunabilme olasılığını ortadan kaldırır (Teng ve Ho 1996, s.14).

3. HATA MODU ETKİ ANALİZİNDE RİSK ÖNCELİKLİ HATA TÜRLERİNİN TESPİTİ

Gerek tasarım gerek süreç HMEA, hataların ortaya çıkma olasılığı, farkedilmeme olasılığı ve şiddetine yönelik uzmanların tecrübe ve yargılarına dayalı değerlendirme puanlarının çarpılmasıyla hesaplanan Risk Öncelik Puanına (RÖP) göre iyileştirme alanlarını saptar ve öncelikli faaliyet alanlarını belirler (Chang ve diğerleri 2009, s.630; Sankar ve Prabhu 2001, s.326). RÖP değeri 1 ile 1000 arasında değişen bir kritiklik

göstergesidir. Bu değer hesaplanarak, öncelikle ele alınması gereken hata kaynakları belirlenir ve düzeltici faaliyetler bu sıraya göre gerçekleştirilir. Amaç, RÖP değerini 1'e doğru çekmek için çeşitli önleyici faaliyetler geliştirmektir.

Risk Öncelik Puanının hesaplanmasında;

Hatanın ortaya çıkma olasılığı (O); hatanın yada onu yaratan nedenin gerçekleşme olasılığıdır.

Hatanın Farkedilmemesi (D); Potansiyel hatanın, ürün müşteriye ulaşmadan önce farkedilmemesi olasılığıdır.

Hatanın Şiddeti (S); Hata türünün müşteriye olan etkisinin şiddetini gösterir.

RÖP değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılık değeri olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında tanımlanan değerleri alınır. Hatanın ortaya çıkma olasılığı, fark edilmeme olasılığı ve şiddetine yönelik sayısal değer atamada kullanılan sayı aralığının büyüklüğüne ilişkin bir standart bulunmamakla birlikte, sıklıkla kullanılan değer aralığı 1-10 aralığıdır. Sayılara karşılık gelen olasılıklar ve sözel ifadeler Tablo 1a, b ve c'de gösterilmektedir:

Tablo 1, HMEA'nde 5'li ölçek ve hatanın gerçekleş-

me olasılığı, fark edilmeme olasılığı ve şiddetini ölçmek üzere 10 temel puan kullanıldığını gösterir. Hatanın ortaya çıkma olasılığına karşılık gelen olasılıklara değer atamada 1; en düşük olasılığı, 10 ise en yüksek olasılığı göstermektedir. Hatanın fark edilmeme olasılığına karşılık gelen sayısal değerlerde ise 1; hatanın edilebilirliğinin kuvvetli yani müşteriye ulaşma olasılığının düşük olduğu durumu 10 ise, fark edilebilirliğin düşük, müşteriye ulaşma olasılığının yüksek olduğu durumu ifade etmektedir. Hatanın şiddetine yani müşteriye olan etkisine karşılık gelen sayısal değerlerde ise 1; hatanın müşteriler tarafından farkedilmediği durumu, 10 ise, hatanın müşterilerde çok şiddetli memnuniyetsizliğe yol açtığı durumu ifade etmektedir. Bu önem derecelerine atanan değer, hoşnutsuzluğa, tamir masraflarına, can güvenliğinin tehlikede olup olmamasına bağlı olarak artacaktır (Tay ve Lim 2006, s.1053; Baysal ve diğerleri 2002, s.86; Ben-Daya ve Raouf 1996, s. 44)

En büyük RÖP değerine sahip hata kaynağı ilk olarak düzeltilmelidir. Risk öncelik puanlama ve değerlendirme sınır veya baraj değer kullanımı, faaliyet ihtiyacı belirleme için önerilen bir uygulama değildir. Puanlama veya değerlendirme sınır veya baraj değer uygulaması, RÖP'lerinin göreceli risklerin bir

Tablo 1: HMEA Tekniğinde Kullanılan Ölçekler

(a) Oluşma olasılığı		
Kriter	Puan	Olası hataların gerçekleşme olasılığı
Başarısızlık şansı uzak	1	0
	2	1/20000
Düşük hata oranı	3	1/10000
	4	1/2000
Orta düzeyde hata oranı	5	1/1000
	6	1/200
Yüksek hata oranı	7	1/100
	8	1/20
Çok yüksek hata oranı	9	1/10
	10	1/2
(b) Fark edilmeme olasılığı		
Hatanın fark edilmeme olasılığı	Puan	Hatanın müşteriye ulaşma olasılığı
Uzak	1	0-5
	2	6-15
Düşük	3	16-25
	4	26-35
Orta düzeyde	5	36-45
	6	46-55
Yüksek	7	56-65
	8	66-75
Çok yüksek	9	76-85
	10	86-100
(c) Şiddeti		
Hatanın müşteriye etkisi	Puan	
Müşteri muhtemelen fark etmez	1	
Hafif rahatsızlık	2,3	
Müşteri memnuniyetsizliği	4,5,6	
Yüksek düzeyde memnuniyetsizlik	7,8	
Güvenlik /mevzuatla ilgili sonuçlar	9,10	

Kaynak: Chang ve diğerleri 1999, s.1073

ölçüsü olduğunu (ki çoğu kez değerlerdir) ve sürekli iyileştirme gerektirmediğini (ki gerektirir) varsayar (Potential FMEA 2008, s.56).

Örneğin eğer Tablo 2'deki değerlendirmede, müşteri gelişi güzel bir puanlamada ve değerlendirmede 100 sınır veya barajı uygularsa, tedarikçilerin, RÖP değeri 112 olan B karakteristiği üzerinde faaliyette bulunmaları gerekir.

Tablo 1, HMEA'nde 5'li ölçek ve hatanın gerçekleşme olasılığı, fark edilmeme olasılığı ve şiddetini ölçmek üzere 10 temel puan kullanıldığını gösterir. Hatanın ortaya çıkma olasılığına karşılık gelen olasılıklara değer atamada 1; en düşük olasılığı, 10 ise en yüksek olasılığı göstermektedir. Hatanın fark edilmeme olasılığına karşılık gelen sayısal değerlerde ise 1; hatanın edilebilirliğinin kuvvetli yani müşteriye ulaşma olasılığının düşük olduğu durumu 10 ise, fark edilebilirliğin düşük, müşteriye ulaşma olasılığının yüksek olduğu durumu ifade etmektedir. Hatanın şiddetine yani müşteriye olan etkisine karşılık gelen sayısal değerlerde ise 1; hatanın müşteriler tarafından farkedilmediği durumu, 10 ise, hatanın müşterilerde çok şiddetli memnuniyetsizliğe yol açtığı durumu ifade etmektedir. Bu önem derecelerine atanan değer, hoşnutsuzluğa, tamir masraflarına, can güvenliğinin tehlikede olup olmamasına bağlı olarak artacaktır (Tay ve Lim 2006, s.1053; Baysal ve diğerleri 2002, s.86; Ben-Daya ve Raouf 1996, s. 44)

En büyük RÖP değerine sahip hata kaynağı ilk olarak düzeltilmelidir. Risk öncelik puanlama ve değerlendirme sınır veya baraj değer kullanımı, faaliyet ihtiyacı belirleme için önerilen bir uygulama değildir. Puanlama veya değerlendirmede sınır veya baraj değer uygulaması, RÖP'larının göreceli risklerin bir ölçüsü olduğunu (ki çoğu kez değerlerdir) ve sürekli iyileştirme gerektirmediğini (ki gerektirir) varsayar (Potential FMEA 2008, s.56).

Örneğin eğer Tablo 2'deki değerlendirmede, müşteri gelişi güzel bir puanlamada ve değerlendirmede 100 sınır veya barajı uygularsa, tedarikçilerin, RÖP değeri 112 olan B karakteristiği üzerinde faaliyette bulunmaları gerekir.

Tablo 2: RÖP değerlerinin hesaplanması

Parça	Şiddet	Ortaya çıkma Olasılığı	Keşfedilmeme olasılığı	RÖP
A	9	2	5	90
B	7	4	4	112

Kaynak: Potential FMEA 2008, s.57

Bu örnekte, B karakteristiği için RÖP değeri, A karakteristiğinden daha yüksektir. Ancak, A karakteristiğinin RÖP değeri 100 barajının altında olmasına rağmen öncelik, daha yüksek öneme (9) sahip A üzerinde çalışmak olmalıdır.

Puanlamada ve değerlendirmede sınır veya baraj yaklaşımı kullanmanın bir diğer sıkıntısı, zorunlu faaliyet gerektiren belirli bir RÖP değerinin olmamasıdır.

Ne yazık ki, bu tip sınır veya baraj tespit, takım çalışanlarının, RÖP değerini düşürmek için daha düşük bir oluşum veya tespit sıralama değeri ayarlamayı deneyerek zaman harcamalarına neden olan hatalı davranışı teşvik edebilir.

HMEA ekibinin değerlendirmelerinde RÖP endeksi kullanımı, yararlı bir araçtır. RÖP değerlerinin kullanımının sınırlamaları anlaşılmalıya ihtiyaç duyar. Ancak faaliyet önceliği belirlemek için RÖP değerlendirme sınırlarının veya barajlarının kullanımı önerilmez (Potential FMEA 2008, s.57).

HMEA, potansiyel ürün ve süreç hatalarını keşfetmek ve ilk adımlarda koruyucu önlemler almak suretiyle ürün tasarımı ve süreç planlamasının iyileştirilmesi için etkin bir araç sağlamaktadır. Bununla birlikte HMEA'nın araştırmacılar tarafından dikkat çekilen, bu yaklaşımın mantığıyla ilgili bazı sakıncaları bulunmaktadır. Örneğin risk faktörlerine ilişkin farklı puanların çarpımıyla aynı RÖP değeri elde edilebilmektedir. Ayrıca RÖP hesaplamasında bu üç faktörün nisbi önem düzeyleri ihmal edilmektedir. Bu üç faktörün eşit önemde olduğu kabul edilir, ancak bu durum uygulamada geçerli olmayabilir. Aslında araştırmalar bu üç faktörün nisbi önem düzeylerinin süreç veya ürünün yapısına dayanarak çeşitlendiğini göstermektedir (Sharma ve diğerleri 2005, s.989).

Daha önce de değinildiği gibi RÖP hesabında hatanın oluşma olasılığı, farkedilmeme olasılığı ve şiddeti ile ilgili olarak sayısal verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bilindiği gibi bu veriler uzmanların bilgileri ve yargıları kapsamında elde edilebildiğinden subjektiflik göstermekte ve sapmalar olabilmektedir. Ayrıca uzmanlar değerlendirmelerini sayısal temelde yapmaktan çok niteliksel olarak (az, çok, gibi dilsel sözcüklerle) ifade etme eğilimindedirler. Bu sözcükler belirsizlikten çok, kötü tanımlanmış ifadeler olmaları nedeniyle kesin olmama halini arttırmaktadır. Bu tür dilsel ifade bulan faktörlerin, olasılık kullanan yöntemler ile doğrudan incelenmesi mümkün olmamaktadır (Öndemir ve diğerleri 2004, s.3). Yukarıda sayılmış olan bu eksikliklerin giderilebilmesi amacıyla, HMEA'nın bulanık teori veya gri teori yaklaşımlarıyla ele alınması çeşitli kaynaklarda önerilmektedir.

Ben Daya ve Raouf (1996), RÖP değerinin hesap-

lanmasında kullanılan faktörlerin ağırlıklarının ihmal edilmesinin uygun bir yaklaşım olmadığını ve hatanın meydana gelme olasılığının, keşfedilmeme olasılığından daha önemli olduğunu ifade etmiştir.

Chang ve diğerleri (1999) yapmış oldukları çalışmada hem bulanık hem de gri teoriyi HMEA tekniği ile bütünleştirmişlerdir. Bu amaçla hatanın ortaya çıkma olasılığı, fark edilmeme olasılığı ve şiddetini ölçmek için 5 ölçekli bulanık üyelik fonksiyonu kullanılmış ve daha sonra sonra RÖP değerini hesaplayabilmek üzere gri teori modele dahil edilmiştir.

Chang ve diğerleri (2001), risk faktörlerinin ağırlıklarını dikkate alarak RÖP değerlerini gri teoriye göre yeniden hesaplamışlar ve elde edilen değerleri klasik uygulamanın sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Tay ve Lim (2006), geleneksel HMEA'nde RÖP değerlerinin hesaplamasında yukarıda bahsedilmiş olan dezavantajların giderilebilmesi amacıyla, RÖP değerlerinin hesaplanmasında bulanık çıkarsama tekniğini kullanmıştır. Bahsedilen çalışmada Bulanık RÖP yaklaşımı tanımlanmış ve bu yaklaşımın performansı yarı iletken bir imalat süreciyle ilgili bir vaka analizi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sharma ve diğerleri (2005) ise HMEA'nde kullanılan bilgilerin subjektif ve kalitatif doğasından dolayı bulanık mantığı kullanan daha uygun ve mantıksal bir yaklaşım önermişlerdir.

Bu çalışmada da Chang ve diğerleri (2001) tarafından geliştirilen gri HMEA modellemesine dayanarak bir sanayi uygulamasına yer verilmiş ve elde edilen sonuçlar klasik HMEA uygulama sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve yorumlanmaya çalışılmıştır.

4. GRI İLİŞKİ ANALİZİ İLE BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ SÜREÇ HMEA YAKLAŞIMI

İlk kez 1982 yılında Julong Deng tarafından geliştirilen gri teori, eksik veya tamamlanmamış bilgiler altında belirsizlik problemlerini çözmede yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Buna ek olarak gri teori, kesikli veri setleri arasındaki çeşitli ilişkileri analiz etmede ve çok nitelikli durumlarda karar vermede kullanılan popüler bir yöntemdir. Bu yöntemin temel avantajları; sonuçların orjinal verilere dayanması, hesaplamaların basit ve kolay anlaşılabilir olması ve işletmenin bulunduğu çevrede karar vermek üzere en iyi yöntemlerden biri olmasıdır (Wu 2002, s.311). Bu teorinin temelinde bilinmeyen ya da tamamlanmamış bilginin "gri eleman" olarak tanımlanması yer almaktadır. Karar göstergelerini belirleyebilmek için gri bölge çözümlemesi

kullanılır. Belirli bir sistem içerisinde iki eleman yada iki alt sistem arasındaki benzerlikler ya da farklılıklar "gri ilişki olarak isimlendirilmektedir. Sistem geliştirme süreci içerisinde iki eleman arasındaki değişim sürekli olduğunda, gerçekleşen değişimler uyumlu olarak oluşuyorsa elemanlar arası daha yüksek aksi durumda ise daha düşük bir ilişki söz konusu olacaktır (Kurt 2008, s.3).

Gri teori aşağıdaki özellikleri taşıması gereken kesikli sayısal ve niteliksel seriler arasındaki ilişkinin analiz edilmesini sağlar;

1. mevcut
2. sayılabilir
3. genişletilebilir
4. bağımsız

Chang ve diğerleri (2001, s.212), risk faktörleri tüm bu yukarıda sayılan özelliklere sahip olduğu için gri teorinin bu yönüme uygulanabileceğini ortaya koymuştur.

Gri ilişki analizi, gri teorinin alt başlıklarından biridir. Bu analiz tekniği gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör (referans) serisi arasındaki ilişki derecesinin belirlenmesini sağlamaktadır. Her bir faktör bir dizi (satır veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak adlandırılır.

HMEA'nde Gri ilişki analizi aşağıdaki adımlara göre gerçekleştirilir (Chang ve diğerleri 2001, ss.212-214);:

1. Adım: Karşılaştırmalı Serilerin Saptanması

Ortaya çıkma olasılığı, keşfedilme olasılığı ve hatanın şiddetiyle ilgili m tane bilgi serisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$X_i' = (X_i'(1), X_i'(2), \dots, X_i'(K)) \in X \dots\dots(1)$$

$$i=1,2,\dots,m$$

$X_i(k)$; X_i 'nin k. faktörünü gösterir. Eğer bütün bilgi serileri kıyaslanabilir ise, n bilgi serisi aşağıdaki matriste olduğu gibi tanımlanabilir (Chang ve diğerleri 2001; s.212).

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & \cdot & \cdot & X_1(k) \\ X_2(1) & X_2(2) & \cdot & \cdot & X_2(k) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_n(1) & X_n(2) & \cdot & \cdot & X_n(k) \end{bmatrix} \dots\dots(2)$$

2. Adım: Standart (Referans) Serilerin Belirlenmesi

İlişki derecesi, iki seri arasındaki ilişkiyi tanımlayabilir, bu yüzden standart seriler olarak adlandırılan amaç serileri $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(k)\}$ olarak tanımlanır.

HMEA'nde daha küçük puan, daha küçük riski ifade eder, bu yüzden standart seriler tüm risk faktörlerinin en küçük değerlerini alarak olarak sıralanır (Kuo, Yang ve Huang 2008, s.82).

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(k)\} = \{1, 1, \dots, 1\} \dots (3)$$

3. Adım: Karşılaştırmalı Seriler ve Standart Seriler Arasındaki Farklılığın Elde Edilmesi

Bulanık ilişki derecesini ortaya çıkarmak için, karar faktörleri puanı ve standart seriler modeli arasındaki farklılık belirlenir.

4. Adım: Gri İlişki Katsayısının Hesaplanması

İlişki katsayısını hesaplamak için, hata türünün her üç risk faktörü, standart serilerle karşılaştırılır ve ilişki katsayısı aşağıdaki formülle açıklanır;

$$\gamma(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{0j}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \dots (4)$$

Burada $j=1, \dots, m$ ve $k=1, \dots, n$

$X_0(k)$; standart seriler

$X_j(k)$; karşılaştırmalı seriler

$$\Delta_{\min} = \min_{j \in I} \min_k \|X_0(k) - X_j(k)\|$$

$$\Delta_{\max} = \max_{j \in I} \max_k \|X_0(k) - X_j(k)\|$$

$\zeta \in (0, 1)$ arasındaki belirleyici bir katsayıdır. Bu katsayının amacı Δ_{0j} ve Δ_{\max} arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar ζ değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir. Maksimum değer ilişkisel katsayısına etkisini azaltmak amacıyla, genellikle bu katsayı $\zeta = 0,5$ olarak alınmaktadır (Kurt 2008, s.3; Kuo ve diğerleri 2008, s.82; Wu 2007, s. 244).

5. Adım: Gri İlişki Derecesinin Belirlenmesi

Gri ilişki derecesi, karşılaştırmalı seriler ile standart (referans) seri arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. İlişki derecesinin büyüklüğü, karşılaştırmalı ve standart seri arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise, gri ilişki derecesi 1 olarak bulunur. Gri ilişkisel derece, karşılaştırılan serinin standart (referans) seriye ne kadar benzer olduğunu göstermektedir (Üstünişik 2007, s.58).

$$\tau(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(X_0(k), X_i(k)) \dots (5)$$

n ; karar faktör sayısıdır (Wu 2007, s.244).

Eğer her bir kriterin ağırlıkları verildiyse, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin önem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir (Kuo, vd., 2008, s.83).

$$\tau(X_0, X_i) = \sum_{k=1}^n \gamma(X_0(k), X_i(k)) \cdot W_i(k) \dots (6)$$

Burada W_k ; faktörlerin ağırlıklandırma katsayısı ve $\sum_{k=1}^n W_k = 1$

Klasik HMEA hatanın ortaya çıkma olasılığı, keşfedilebilirlik ve şiddetini gerçek dünyaya uygun biçimde atamayabilir. HMEA'ne gri yaklaşım ise mühendislerin, araştırma ve üretim stratejilerine dayanarak karar faktörlerine nisbi ağırlıklar atanmasına olanak sağlar.

6. Adım: Risk Önceliğinin Sıralanması

Karar verme problemlerinde standart (referans) seri ideal seri olarak seçildiğinde, karşılaştırması yapılacak faktör serilerinin referans seriye göre hesaplanacak gri ilişkisel derecesi kriterleri yakalama seviyesinin bir göstergesi olacaktır. Diğer bir ifadeyle gri ilişkisel derece en yüksek olan faktör serisi (alternatif) karar verme probleminde en iyi karar alternatifini gösterecektir. (Kuo ve diğerleri 2008, s.83; Wu 2002, s.212)

Diğer bir deyişle $\gamma(X_0, X_i) \geq \gamma(X_0, X_j)$ ise X_i ve X_0 arasındaki ilişkinin X_j ve X_0 arasındakinden daha büyük olduğu söylenebilir. HMEA için bu potansiyel neden puanları ve karar faktörlerinin optimal değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Daha büyük ilişki derecesi hata kaynağının daha küçük etkisini gösterir. Bu yüzden giderek artan sırayla ilişki derecesi, iyileştirilecek olan potansiyel nedenlerin risk önceliğindeki azalmayı gösterir (Chang ve diğerleri 2001; s.214).

5. HMEA YÖNTEMİNDE KLASİK YAKLAŞIM VE GRİ İLİŞKİ ANALİZİ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASINA DAYANAN BİR SANYİ UYGULAMASI

5.1. Klasik HMEA Uygulaması

Çalışma kapsamında HMEA yöntemine ilişkin klasik ve gri ilişki analizi yaklaşımlarına ait uygulamalar, Türkiye'de havlu radyatörleri üreticisi bir firmadan sağlanan verilerden yararlanarak gerçekleştirilmiştir. Üretim malzemelerinin genel anlamda sızdırmazlık sorunları oluşturabildiğini ve yine üretim malzemelerinden krom kaplama kullanılan ürünlerde dayanım problemlerinin oluştuğu konusunda deneyim sahibi olan firma, uyguladığı çeşitli kalite yönetim teknikle-

riyle bu sorunlara en kısa sürede tecrübeleri ile çözüm bulabilmektedir. Bu amaçla HMEA de, firmanın gerek tasarım gerek üretim süreci aşamalarında sürekli olarak kullandığı yöntemlerden birisidir.

Çalışmanın ilk bölümünde radyatör üretim sürecinde HMEA'nin klasik işleyişi ile ilgili bir uygulamaya yer verilmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 3 incelendiğinde RÖP değeri 112 olan 34 ve 35. maddeler ile yine RÖP değeri 98 olan 5 ve 6 numaralı maddelerin, düzeltici önlemler alınması gereken en önemli hata türleri olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2 Gri İlişki Analizi ile Bütünleştirilmiş HMEA Uygulaması

Çalışmanın bu bölümünde Tablo 3' de yer alan ve-

Şekil 3: Klasik Süreç HMEA Uygulama Sonuçları

PARÇA / FONKSİYON	POTANSİYEL HATA MODU	HATA MODUNUN POTANSİYEL ETKİLERİ	O	D	S	RÖP	Sıra No:
MALZEME / PARÇA GİRİŞİ	MALZEME / PARÇA UYGUNSUZLUĞU	PARÇA UYGUNSUZLUĞU PROSESİ ETKİLER	3	3	7	63	1
PİRİNÇ RULO KESME	DAYAMA UYGUNSUZLUĞU	SONRAKİ OPERASYONU ETKİLER MÜŞTERİYE GİTMEZ	2	5	7	70	2
	UYGUNSUZ KALINLIKTA MALZEME KULLANIMI	ARAC PARÇA TAMİR DE GÖREBİLİR , ISKARTA DA OLABİLİR. MÜŞTERİ MEMNUNİYETSİZLİĞİ	2	3	7	42	3
KAZAN SIVAMA	DÜŞÜK BASINCTA ÇALIŞMA	MÜŞTERİ MEMNUNİYETSİZLİĞİNE SEBEP OLUR.	2	7	6	84	4
	YÜKSEK BASINCTA ÇALIŞMA	ISKARTAYA SEBEP OLUR.	2	7	7	98	5
	TASLAK PARÇA KALIBA HATALI YERLEŞTİRME	ISKARTAYA SEBEP OLUR.	2	7	7	98	6
YAN KAPAK BÜKME (ABKANTTA)	DAYAMA KAYMASI	PARÇA ISKARTA OLUR	3	4	8	96	22
PİRİNÇ BORU KESME	DAYAMA AYARI KAYAR	İÇ MÜŞTERİYİ ETKİLER.ISKARTA OLUŞMAZ..	2	4	4	32	23
	BORU ET KALINLIĞININ UYMAMASI	KORDON ÇEKMEDE PROBLEM YAPABİLİR.	6	4	4	96	24
MC-CORE PETEK DİZME	FIN EZİLMESİ	HATALI PARÇALAR ISKARTA OLUR.SONRAKİ OPERASYONA GİTMEZ.	2	7	8	112	34
	TÜP BORU EZİLMESİ	HATALI PARÇALAR ISKARTA OLUR. SONRAKİ OPERASYONA GİTMEZ.	2	7	8	112	35
PARÇA / FONKSİYON	POTANSİYEL HATA MODU	HATA MODUNUN POTANSİYEL ETKİLERİ	O	D	S	RÖP	Sıra No:
SEVKİYAT	SEVKİYATIN İSTENEN ZAMANDA GERÇEKLEŞEMEMESİ	MÜŞTERİ MEMNUNİYETSİZLİĞİNE SEBEP OLUR.	2	7	7	98	55

riler kullanılarak, HMEA yöntemi iki farklı varsayım altında (risk faktörlerinin eşit ağırlıklı ve farklı ağırlıklara sahip olması varsayımları) gri ilişki analizi ile birlikte uygulanmıştır. Sonuç kısmında ise her üç yaklaşımın sonuçları karşılaştırılmıştır.

İlk olarak karşılaştırmalı serilerin belirlenmesi amacıyla, Tablo 3'deki hata türlerine ait risk faktör puanlarıyla ilgili bilgi serisi matrisi aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} X_1(1) & X_1(2) & X_1(3) \\ X_2(1) & X_2(2) & X_2(3) \\ X_3(1) & X_3(2) & X_3(3) \\ X_4(1) & X_4(2) & X_4(3) \\ X_5(1) & X_5(2) & X_5(3) \\ X_6(1) & X_6(2) & X_6(3) \\ \\ X_{22}(1) & X_{22}(2) & X_{22}(3) \\ X_{23}(1) & X_{23}(2) & X_{23}(3) \\ X_{24}(1) & X_{24}(2) & X_{24}(3) \\ \\ X_{34}(1) & X_{34}(2) & X_{34}(3) \\ X_{35}(1) & X_{35}(2) & X_{35}(3) \\ \\ X_{55}(1) & X_{55}(2) & X_{55}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 3 & 7 \\ 2 & 5 & 7 \\ 2 & 3 & 7 \\ 2 & 7 & 6 \\ 2 & 7 & 7 \\ 2 & 7 & 7 \\ \\ 3 & 4 & 8 \\ 2 & 4 & 4 \\ 6 & 4 & 4 \\ \\ 2 & 7 & 8 \\ 2 & 7 & 8 \\ \\ 2 & 7 & 7 \end{bmatrix}$$

İkinci aşamada, $X_0 = [X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(1)]$ olarak tanımlanan standart seri daha küçük riski ifade edecek biçimde $X_0 = [X_0(1), X_0(2), X_0(3)]$ olarak belirlenmiştir.

Üçüncü aşamada ise, gri ilişki katsayılarını hesaplamak üzere karar faktör puanları ve standart seri arasındaki farklar alınmış ve fark matrisi elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \Delta_{01}(1) & \Delta_{01}(2) & \Delta_{01}(3) \\ \Delta_{02}(1) & \Delta_{02}(2) & \Delta_{02}(3) \\ \Delta_{03}(1) & \Delta_{03}(2) & \Delta_{03}(3) \\ \Delta_{04}(1) & \Delta_{04}(2) & \Delta_{04}(3) \\ \Delta_{05}(1) & \Delta_{05}(2) & \Delta_{05}(3) \\ \Delta_{06}(1) & \Delta_{06}(2) & \Delta_{06}(3) \\ \\ \Delta_{022}(1) & \Delta_{022}(2) & \Delta_{022}(3) \\ \Delta_{023}(1) & \Delta_{023}(2) & \Delta_{023}(3) \\ \Delta_{024}(1) & \Delta_{024}(2) & \Delta_{024}(3) \\ \\ \Delta_{034}(1) & \Delta_{034}(2) & \Delta_{034}(3) \\ \Delta_{035}(1) & \Delta_{035}(2) & \Delta_{035}(3) \\ \\ \Delta_{055}(1) & \Delta_{055}(2) & \Delta_{055}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 6 \\ 1 & 4 & 6 \\ 1 & 2 & 6 \\ 1 & 6 & 5 \\ 1 & 6 & 6 \\ 1 & 6 & 6 \\ \\ 2 & 3 & 7 \\ 1 & 3 & 3 \\ 5 & 3 & 3 \\ \\ 1 & 6 & 7 \\ 1 & 6 & 7 \\ \\ 1 & 6 & 6 \end{bmatrix}$$

Fark matrisi elde edildikten sonra, denklem 4' e göre gri ilişki katsayıları hesaplanmıştır. Fark matrisi değerlerine göre $\Delta_{\min} = 1$, $\Delta_{\max} = 7$ olarak belirlenmiş, belirleyicilik katsayısı (ζ) ise 0,5 olarak kabul edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \gamma_{01}(1) & \gamma_{01}(2) & \gamma_{01}(3) \\ \gamma_{02}(1) & \gamma_{02}(2) & \gamma_{02}(3) \\ \gamma_{03}(1) & \gamma_{03}(2) & \gamma_{03}(3) \\ \gamma_{04}(1) & \gamma_{04}(2) & \gamma_{04}(3) \\ \gamma_{05}(1) & \gamma_{05}(2) & \gamma_{05}(3) \\ \gamma_{06}(1) & \gamma_{06}(2) & \Delta\gamma_{06}(3) \\ \\ \gamma_{022}(1) & \gamma_{022}(2) & \gamma_{022}(3) \\ \gamma_{023}(1) & \gamma_{023}(2) & \gamma_{023}(3) \\ \gamma_{024}(1) & \gamma_{024}(2) & \gamma_{024}(3) \\ \\ \gamma_{034}(1) & \gamma_{034}(2) & \gamma_{034}(3) \\ \gamma_{035}(1) & \gamma_{035}(2) & \gamma_{035}(3) \\ \\ \gamma_{055}(1) & \gamma_{055}(2) & \gamma_{055}(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,82 & 0,82 & 0,47 \\ 1 & 0,60 & 0,47 \\ 1 & 0,82 & 0,47 \\ 1 & 0,47 & 0,53 \\ 1 & 0,47 & 0,47 \\ 1 & 0,47 & 0,47 \\ \\ 0,82 & 0,69 & 0,43 \\ 1 & 0,69 & 0,69 \\ 0,53 & 0,69 & 0,69 \\ \\ 1 & 0,47 & 0,43 \\ 1 & 0,47 & 0,43 \\ \\ 1 & 0,47 & 0,47 \end{bmatrix}$$

Son aşamada ise her hata türüne ait gri ilişki derecesi hesaplanarak, risk öncelikleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu aşamada ilk olarak, her üç risk faktörünün eşit ağırlığa sahip olduğu varsayımı altında, gri ilişki dereceleri denklem 5' den yararlanarak hesaplanmıştır. Örneğin 1. hata türüne ilişkin gri ilişki derecesi;

$$\tau_{01}(1) = \frac{1}{3}[\gamma_{01}(1) + \gamma_{01}(2) + \gamma_{01}(3)] = \frac{1}{3}[0,82 + 0,82 + 0,47] = 0,70$$

olarak elde edilir.

Daha sonra hata türlerine ait gri ilişki dereceleri bir kez de risk faktörlerinin farklı ağırlıklara sahip olduğu varsayımı altında gerçekleştirilmiştir. Ben – Daya ve Raouf (1996) çalışmalarında, hatanın ortaya çıkma olasılığının diğer risk faktörlerine göre daha önemli olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Uygulamanın yapıldığı firmada HMEA uygulayıcısı kalite yöneticilerinden risk faktörlerinin önem düzeyini ağırlıklandırmaları istendiğinde ise, uzmanlar “hatanın, şiddetinin çok yüksek olduğu durumlarda istenmeyen kazalara ve yaralanmalara neden olabileceği düşüncesiyle diğer risk faktörlerine göre daha önemli olduğunu” vurgulamışlardır. Bu düşünceyle

$$\sum_{k=1}^n W_k = 1$$

olacak biçimde hatanın ortaya çıkma olasılığı, farkedilmeme olasılığı ve şiddetine yönelik ağırlık katsayıları sırayla $W_O = 0,3$, $W_D = 0,3$ ve $W_S = 0,4$ şeklinde belirlenmiştir. Ardından risk faktörlerinin farklı ağırlıklara sahip olduğu varsayımı altında gri ilişki derecesi değerleri denklem 6 'ya göre yeniden hesaplanmıştır. Bu varsayım ve kabul edilen ağırlıklar altında 1. hata türünün RÖP aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\tau_{01} = 0,82*0,3+0,82*0,3+0,47*0,4=0,68$$

Tablo 4 incelendiğinde her üç uygulamada da ilk iki sıralamanın değişmediği, ancak iki farklı varsayım altında gerçekleştirilen gri ilişki analizi yaklaşımında diğer sıralamaların klasik RÖP uygulamasına göre önemli ölçüde değiştiğini söyleyebiliriz. Örneğin risk faktörlerinin eşit ağırlıklı kabul edildiği gri ilişki analizi yaklaşımında 3. ve 4. düzeyde önemli hata türleri 24. ve 37. maddeler olarak ortaya çıkarken, risk faktörlerinin farklı ağırlıklara sahip olduğu yaklaşımda ise 22. ve 5. maddeler benzer sıralarda yer almışlardır.

SONUÇ

Bu çalışmanın amacı klasik HMEA metodolojisiyle ilgili getirilen eleştiriler için önerilen gri ilişki analizinin uygulanabilirliğini sınamaktır. HMEA'nin zayıf

Tablo 4: Farklı Varsayımlar Altında Gerçekleştirilen Üç Modelin Karşılaştırılması

Sıra No:	RÖP	Sıra No:	Gri RÖP (Risk faktörleri eşit ağırlığa sahip)	Sıra No:	Gri RÖP (Risk faktörleri farklı ağırlığa sahip)
34	112	34	0,63	34	0,61
35	112	35	0,63	35	0,61
5	98	24	0,64	22	0,62
6	98	37	0,64	5	0,63
54	98	5	0,65	6	0,63
55	98	6	0,65	37	0,63
22	96	22	0,65	54	0,63
24	96	36	0,65	18	0,64
36	96	38	0,65	24	0,64
37	96	54	0,65	36	0,64
38	90	18	0,66	38	0,64
4	84	40	0,66	4	0,65
18	84	47	0,66	25	0,65
25	84	48	0,66	40	0,66
40	84	4	0,67	47	0,66
47	84	25	0,67	48	0,66
48	84	52	0,67	2	0,67
8	80	8	0,68	8	0,67
15	80	15	0,68	15	0,67
19	80	19	0,68	19	0,67
39	80	39	0,68	20	0,67
41	80	41	0,68	39	0,67
52	75	2	0,69	41	0,67
2	70	20	0,69	52	0,67
20	70	42	0,69	1	0,68
42	70	1	0,70	9	0,68
9	64	7	0,70	21	0,68
10	64	31	0,70	42	0,68
21	64	43	0,70	51	0,68
1	63	51	0,70	7	0,69
51	63	9	0,71	31	0,69
7	60	10	0,71	17	0,70
31	60	21	0,71	32	0,70
43	60	17	0,72	43	0,70
17	56	32	0,72	10	0,71
32	56	33	0,72	14	0,72
33	56	14	0,73	33	0,72
14	50	26	0,73	44	0,72
26	48	27	0,73	3	0,73
27	48	28	0,73	16	0,73
28	48	29	0,73	26	0,73
29	48	30	0,73	27	0,73
30	48	44	0,75	28	0,73
44	48	49	0,75	29	0,73
49	45	3	0,76	30	0,73
3	42	11	0,76	49	0,73
16	42	12	0,76	11	0,75
11	40	13	0,76	12	0,75
12	40	16	0,76	13	0,75
13	40	45	0,78	45	0,77
45	36	46	0,78	46	0,77
46	36	50	0,78	50	0,77
50	36	23	0,79	23	0,78
23	32	53	0,81	53	0,79
53	30	55	1,29	55	1,29

noktaları hem klasik hem de gri teori kullanılarak yapılan uygulamada da kendini göstermiştir. Ancak risk faktörlerine farklı ağırlıklar atanması yaklaşımı, klasik metodolojinin zayıf noktalarına önemli katkılar yapmaktadır.

Eşit ağırlık varsayımı altında gerçekleştirilen gri teori uygulamasının sonuçları da, klasik HMEA uygulaması sonuçlarından farklılık göstermekle birlikte bu teorinin yönetime en önemli katkısı, karar faktörlerine (hatanın oluşma olasılığı, keşfedilebilirliği ve şiddeti) farklı ağırlıklar atanabilmesine imkan vermesidir ki bu, alanda önemli bir ilerlemedir.

Gri teori ile HMEA yönteminde risk öncelik puanlarının elde edilmesi basit bir program desteği ile oldukça kolay bir biçimde yapılabilmektedir. Ancak bu yöntem de temelinde subjektif yargılara dayandığından uzmanların bilgi ve tecrübesi çok önem taşımaktadır. Atanacak farklı ağırlıklara göre risk öncelik sıralamasının da değişeceği unutulmamalıdır. Dolayısıyla bu konuda uzmanların bilgi ve tecrübeleri büyük önem taşımaktadır. Böyle bir uygulamayla elde edilen risk öncelik sıralamasına göre işletmenin sınırlı olan kaynaklarının gerçekten gerekli olan alanlara daha etkin bir şekilde tahsis edilebileceğini söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

- Baysal, M. E., Canıyılmaz, E. ve Eren, T. (2002) "Otomotiv Yan Sanayinde Hata Türü ve Etkileri Analizi", *Teknoloji Dergisi*, 5(1-2):83-90.
- Ben-Daya, M. ve Raouf A. (1996) "A Revised Failure Mode and Effects Analysis Model", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 13(1):43-47.
- Bilgin, Ö. (2006) "Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Uygulaması", Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış YL Tezi, Kocaeli.
- Canbolat, R. (2008) "Hata Türü ve Etkileri Analizinde Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Mantık Uygulaması", Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış YL Tezi, Sakarya.
- Chang, C. L., Wei, C. C. ve Lee, Y. H. (1999) "Failure Mode and Effect Analysis Using Fuzzy Method and Grey Theory", *Kybernetes*, 28(9):1072-1080.
- Chang, C. L., Liu, P. H. ve Wei, C. C. (2001) "Failure Mode and Effect Analysis Using Grey Theory", *Integrated Manufacturing Systems*, 12(3):211-216.
- Chang, Dong-Shang ve Sun, K. L. P. (2009) "Applying DEA to Enhance Assessment Capability of FMEA", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26(6): 629-643.
- Chin, K. S., Chan, A. ve Yang, J. B. (2008) "Development of a Fuzzy FMEA Based Product Design System", *Int J Adv Manuf Technology*, 36:633-649.
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation (2008), "Potential Failure Mode and Effects Analysis", Reference Manual, Fourth Edition
- Kuo, Y., Yang, T. ve Huang, G.W. (2008) "The Use of Grey Relational Analysis in Solving Multiple Attribute Decision-Making Problems", *Computers & Industrial Engineering*, 55:80-93.
- Kurt, G. (2008) "Gri İlişki Çözümlemesi Kullanılarak Üniversite Öğrencilerinin Çeşitli Kaygılarının Değerlendirilmesi", *Akademik Bakış (Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler E-Dergisi)*, 14:1-10.
- Öndemir, Ö., Güngör Şen, C. ve Baraçlı, H. (2004) "Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Yaklaşımının Kullanılabilirliği", YA/EM'2004 - Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği - XXIV Ulusal Kongresi, 15-18 Haziran 2004, Gaziantep – Adana.
- Sankar, N. R. ve Prabhu, B. S. (2001) "Modified Approach For Prioritization Of Failures in a System Failure Mode and Effects Analysis", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18(3):324-335.
- Sharma Kumar, R., Kumar, D. ve Kumar, P. (2005) "Systematic Failure Mode Effect Analysis Using Fuzzy Linguistic Modeling", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(9):986-1004.
- Tay, K. M. ve Lim, C. P. (2006) "Fuzzy FMEA with a Guided Rules Reduction System for Prioritization of Failures", *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(8):1047-1066.
- Teng, S. H. ve Ho, S. Y. (1996) "Failure Mode and Effects Analysis: An Integrated Approach for Product Design and Process Control", *International Journal of Quality and Reliability Management*, 13(5):8-26.
- Üstünişik, N. Z. (2007) "Türkiye'deki İller Ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri İlişkisel Analiz Yöntemi Ve Uygulaması", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış YL Tezi, Ankara.
- Wu, H. (2002) "A Comparative Study of Using Grey Relational Analysis in Multiple Attribute Decision Making Problems", *Quality Engineering*, 15(2):209-217.
- Wu, C. C., Wu, Y. L. ve Yang, P.C. (2007) "Assessment on the Enterprise's Operational Performance Using Multiple Attribute Decision Making", *Proceedings of the 2007 IEEE IEEM*, 242-247.