



HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK AHP VE BULANIK VIKOR YÖNTEMLERİ İLE OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE RİSK DEĞERLENDİRMESİ

RISK EVALUATING BY FUZZY AHP AND FUZZY VIKOR METHODS IN FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS FOR AUTOMOTIVE SECTOR

Bilal ŞİŞMAN¹

Öz

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), riskin olduğu pek çok işletmede bir ürün, hizmet veya süreçte olabilecek hataları tanımlama, değerlendirme, hatanın meydana getireceği etkiyi en aza indirme ve tüm bu faaliyetleri raporlama işlemlerinden oluşan en güvenilir analiz tekniklerinden biridir. HTEA ile tespit edilen hatalar, hatanın oluşma olasılığı (P), hatanın şiddeti (S) ve hatanın keşfedilmesindeki zorluk (D) gibi risk faktörlerinin birbirleri ile çarpılmasından oluşan Risk Öncelik Sayısı (RÖS) ile değerlendirilmekte ve sıralanmaktadır. Fakat geleneksel RÖS değeri hesabı, risk faktörlerinin göreceli ağırlıklarının belirsizliğinden, hata türlerinin çeşitliliğinden ve karar vericilerin öznel değerlendirmelerinden dolayı sürekli olarak eleştirilmektedir. Bu çalışmada, eleştirilerin üstesinden gelebilmek, risk değerlendirme sürecinin etkinliğini artırabilmek ve hata türlerini önceliklerine göre etkili ve hassas bir şekilde sıralayabilmek için bulanık küme teorisinden yararlanılmıştır. Çalışmanın amacı, hata türü ve etkileri analizinde bulanık AHP ve bulanık VIKOR yöntemlerini kullanarak otomotiv sektöründe bulunan bir yardımcı sanayide risk değerlendirmesi yapmaktır. Çalışmada öncelikle bulanık AHP yöntemi ile risk faktörlerine ilişkin önem ağırlıkları belirlenmiş ardından hata türlerinin risk önceliği bulanık VIKOR yöntemi kullanılarak sıralanmıştır. Son olarak modelde yer alan parametrelerin hata türleri üzerindeki etkisini test etmek, önerilen HTEA çözüm yaklaşımının avantajlarını göstermek ve çözümü kontrol altına alabilmek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hata Türü ve Etkileri Analizi, Risk Değerlendirmesi, Bulanık AHP, Bulanık VIKOR

Abstract

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) is one of the most reliability analysis technique occurred for identifying, evaluating, eliminating of the effect failure mode that happened and reporting of all activities on product, service or process in many businesses that have risk. Failure modes identified in FMEA are assessed and ranked with Risk Priority Number (RPN) which is obtained by multiplication of

¹ Dr., İşletme Bölümü, Sayısal Yöntemler, bilalsis@hotmail.com

risk factors such the possibility (P), severity (S) and detection (D) of failure modes. But, traditional RPN value compute has been always criticized because of uncertainty and vagueness of relative weights of risk factors, variety of failure modes and subjective evaluation of decision makers. This paper presents a fuzzy set theory to deal with the criticized that happened, to increase effectiveness of risk evaluation processes' and to rank more accurate and efficiency according to failure modes priority. The purpose of this paper is to present on risk evaluation for sub-industry located by automotive industry sector by using fuzzy AHP and VIKOR methods in failure modes and effective analysis. In this study we first determined the importance of risk factors with fuzzy AHP method and than the risk priorities of the identified failure modes ranked via based on fuzzy VIKOR method. Consequently, a sensitivity analysis is made to verify the parameters of the model on the risk ranking of failure modes, to show the advantages of proposed FMEA approach and to take control of solutions.

Keywords: Failure Modes and Effects Analysis, Risk Evaluation, Fuzzy AHP, Fuzzy VIKOR

1. GİRİŞ

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ilk olarak 1960'lı yıllarda havacılık endüstrisindeki güvenilir uygulamaları ile birlikte mühendisler tarafından tasarım metodolojisi ve risk değerlendirmesi olarak geliştirilmiştir (Bowles ve Pelaez, 1995). HTEA, bir ürünün veya hizmetin müşterilere ulaşmasından önce ortaya çıkabilecek potansiyel hataları veya problemleri belirleyen, tanımlayan ve onları en aza indirecek önleyici faaliyetler geliştiren oldukça kullanışlı ve faydalı bir analiz tekniği olması ile pek çok alanda kendisini kanıtlamış durumdadır (Chang vd., 2012; Kutlu ve Ekmekçioğlu, 2012). HTEA'nın uzmanlar tarafından kalite güvence sisteminde önemli bir yöntem olarak kabul edilmesi, bir işletmenin farklı birimlerinde çalışanların sistematik olarak bir araya gelmeleri ve hatalara karşı önleyici tedbirler almaları ile mümkün olmaktadır. HTEA'nın diğer risk değerlendirme ve ölçme araçlarından en önemli farkı ve üstünlüğü, sistemde bir problem meydana geldikten sonra çözüm üretmesi değil, olabilecek problemleri önceden tanımlaması ve onlara karşı önleyici tedbirler geliştirmesidir. Bu açıdan HTEA'nın amacı bir sistemde oluşabilecek potansiyel hataları tahmin ve tespit etmek, eldeki mevcut kaynaklar ile en tehlikeli olanlardan başlayarak bütün hata türlerini ortadan kaldırmaya çalışmaktadır (Liu vd., 2014). Bu sayede karar vericiler mevcut programlarını daha doğru programlamakta, malzemelerini daha hızlı tedarik etmekte, benzer hataların oluşmasını engelleyici tedbirler almakta ve tehlikeli kazaların gerçekleşmesini önlemektedirler.

HTEA'da bir probleme ait risk veya kritik seviye Risk Öncelik Sayısının (RÖS) hesaplanması ile değerlendirilmektedir. Bu sayı, hatanın oluşma olasılığı (P), hatanın şiddeti veya ciddiyeti (S) ve hatanın keşfedilmesindeki zorluk (D) faktörlerine ait 1-10 arası skorların birbirleri ile matematiksel olarak çarpımı ile elde edilmektedir. Bir hata türüne ait RÖS değeri ne kadar büyük olursa, hatanın gerçekleşme riski artacağından dolayı hata türü ile ilgili acil önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. HTEA çok etkili ve güvenilir bir risk analizi tekniği olmasına rağmen RÖS'ün hesaplanmasındaki bazı eksikliklerden dolayı araştırmacılar tarafından sürekli olarak eleştirilmektedir (Braglia vd., 2003; Tay ve Lim, 2006; Wang vd., 2009; Gargama ve Chaturvedi, 2011; Liu vd., 2014; Liu vd., 2015). Yapılan bu eleştirilerden

en önemlileri: (1) risk faktörlerinin göreceli önem ağırlıkları dikkate alınmaması, (2) P, S ve D skorları hesaplanırken hata türlerine ait yüksek risklerin hesaba katılmaması, (3) risk faktörlerinin 1-10 arasında kesin puanlar almasından dolayı hassas hesaplamaların yapılamaması. Çünkü HTEA’da pek çok bilgi belirsizlik ortamında ele alınmaktadır. (4) RÖS’ün hesaplanmasındaki matematiksel formülün çok hassas olması ve en ufak bir değişikliğin değeri büyütmesi ve (5) her ne kadar risk faktörleri 1-10 arasında sıralı olarak ölçeklendirilmiş olsa da çarpım işleminden sonra rakamın oldukça büyümesi ve değerlerin sıralı ölçek türüne göre anlamsız ve yanıltıcı olmasıdır.

Çalışmada HTEA’da risk faktörlerine göre hata türlerinin önem sıralaması için bulanık VIKOR yöntemi genişletilerek kullanılmıştır. Risk faktörlerinin göreceli önem ağırlıklarını belirleme ve hata türlerini değerlendirme sürecinde belirsizliğin ve karmaşıklığın üstesinden gelebilmek için üçgensel olarak ifade edilen dilsel değişkenlerden yararlanılmıştır. Çalışmanın amacı, hata türü ve etkileri analizinde bulanık AHP ve bulanık VIKOR yöntemlerini kullanarak otomotiv sektöründe bulunan bir yardımcı sanayide risk değerlendirmesi yapmaktır. Öncelikli olarak bulanık AHP ile risk faktörlerinin önem ağırlıkları belirlenmiş, ardından probleme ilişkin hata türleri bulanık VIKOR yöntemi ile risk önceliklerine göre sıralanmıştır. Böylece HTEA’da hata türlerinin sıralanmasında bulanık AHP ve bulanık VIKOR yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Kullanılan yöntem ve yapılan uygulama ile çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca farklı senaryolar veya durumlar altında sonuçların nasıl değiştiğini gözlemlemek için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde çalışmada kullanılan yöntemlere ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde bulanık küme teorisi, bulanık AHP ve bulanık VIKOR yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölüm HTEA’da risk değerlendirme için önerilen yaklaşım hakkındadır. Amortisör montajı sürecinde yapılan uygulama beşinci bölümde ele alınmaktadır. Altıncı bölümde ise sonuç, değerlendirme ve gelecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Geleneksel HTEA’nın yukarıda sözü edilen eksikliklerini tamamlayabilmek için literatürde alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar TOPSİS, DEMATEL, Gri İlişkisel Analizi, Veri Zarflama Analizi, VIKOR gibi çok kriterli karar verme yöntemleri (Chang vd., 2001; Seyed Hosseini vd., 2006; Liu vd., 2011; Song vd., 2013; Liu vd., 2014; Zhou ve Thai, 2016), bulanık AHP ve TOPSİS, kavramsal ağırlıklandırma yöntemi ve bulanık TOPSİS gibi bütünleşik yöntemleridir (Kutlu ve Ekmekçiöğlü, 2012; Song vd., 2014; Liu vd., 2015). Ayrıca Wang vd. (2009) P, S ve D skorlarını bulanık değişkenler olarak tanımlamış ve bulanık ağırlıklı geometrik ortalamayı kullanarak hata türlerine ait risk değerlendirmesi ve önceliklendirmesi yapmışlardır. Zhang ve Chu (2011) ağırlıklı en küçük kareler yöntemi ile bütünleşik olarak bulanık RÖS temelli bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem sayesinde daha hassas RÖS değerleri hesaplanmakta ve belirsizliğe karşı daha fazla direnç gösterilmektedir. Yukarıdaki örnek çalışmalarda da görüldüğü gibi araştırmacılar, risk faktörlerini daha doğru yorumlamak ve kişisel yargıların etkisinden kurtarabilmek amacıyla bulanık küme teorisinden yararlanmışlardır. Bulanık küme teorisi ilk olarak Zadeh (1965) tarafından geliştirilen ve kesin sayılar ile ifade etmekte zorluk çekilen karmaşık ve belirsiz

sistemleri matematiksel olarak ifade edebilen bir araçtır. Bulanık küme teorisinin HTEA gibi risk değerlendirme problemlerinde deterministik modellere göre birkaç üstünlüğü bulunmaktadır (Braglia vd., 2003; Sharma vd., 2005; Liu vd., 2015). Bunlar, tutarlı sonuçların elde edilebilmesi için hem nicel hem de nitel verilerin birlikte kullanılması, hata türlerinin dilsel değişkenler kullanılarak doğrudan yorumlanması ve bulanık mantıkta belirsizlik durumu söz konusu olduğundan dolayı bir sistemi etkileyen pek çok etkeni göz önüne alması şeklinde sıralanmaktadır.

VIKOR (VIsekriterijumska optimizacijai KOm-promisno Resenje) yöntemi, ilk olarak Opricovic ve Tzeng (2004) tarafından karmaşık ve ölçülmesi zor kriterlerin olduğu çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde, karar vericiler ideale en yakın uzlaştırmacı çözüm elde etmekte ve alternatifler birbirleri ile çelişkili kriterler altında değerlendirilmektedir. Yöntemin kendine has bu özelliklerinden ve karar verme ortamının belirsiz olmasından dolayı araştırmacılar karar verme problemlerinin bazılarında bulanık VIKOR yöntemini tercih etmişlerdir. Örneğin, kurumsal kaynak planlaması yazılımlarının seçimi ve değerlendirilmesinde bulanık VIKOR yöntemi tercih edilmiştir (İnce, 2007, Büyükoçkan ve Ruan, 2008). Yalçın vd. (2012) Türkiye’de imalat sektöründen bulunan bazı işletmelerin performanslarının değerlendirilmesinde bulanık AHP ve VIKOR yöntemlerini tercih etmişlerdir. Opricovic (2011) Mlaya Nehri akışının depolanma ve su kaynaklarının planlanmasında Bulanık VIKOR yöntemini kullanmıştır. Çalışmada verimlilik, yatırım maliyeti, sosyal etki gibi nitel kriterler dikkate alınmıştır. Yücenur ve Demirel (2012) fiyat, kârlılık, portföy büyüklüğü ve yapısı, ödeme gücü oranı, örgütsel kalite ve satış yapısı kriterleri altında alternatif sigorta şirketleri arasından en uygun olanının seçiminde bulanık VIKOR yönteminin kullanmışlardır. Dinçer ve Hacıoğlu (2013) bulanık VIKOR ve AHP yöntemlerini kullanarak müşteri tatmininin sağlanmasında Türkiye’deki bankaların performansını değerlendirmişlerdir. Hu vd. (2014) akıllı telefonların gelişimine katkı sağlayacak en iyi yöntemlerin tercihinde ANP ve VIKOR yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Rezaie vd. (2014) bütünsel bulanık AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak İran’da bulunan çimento işletmelerin performanslarını değerlendirmişlerdir. Liu vd. (2015) HTEA’da genel bir anestezi sürecinde hatanın olasılığı, şiddeti ve zorluğu risk faktörleri altında oluşabilecek potansiyel hata türlerinin risk önceliğine göre sıralanmasında bulanık AHP, Entropi ve bulanık VIKOR yöntemlerini kullanmışlardır. Sanayei vd. (2010) tedarikçi seçim ve değerlendirilmesi probleminde ve Awasthi ve Govindan (2016) yeşil tedarikçi geliştirme programlarının değerlendirilmesine yönelik kriterlerin belirlenmesinde nominal grup tekniğinden faydalanmışlar ve alternatif programların seçimi için ise bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır.

VIKOR yönteminin diğer bazı çok kriterli karar verme yöntemlerine göre bazı avantajları bulunmaktadır. VIKOR yöntemi kompleks ve karmaşık kriterli sistemlerin optimizasyonunda kullanılan ve alternatifleri uzlaştırmacı olarak sıralamaya odaklanan bir yöntemdir. TOPSİS yöntemi gibi optimal noktayı, riskten kaçarak pozitif ideal çözüme en yakını seçerek değil ideal çözümden uzaklığa göre seçmektedir (Karaatlı vd., 2014: 39). Her iki yöntemin normalizasyon ve toplama metotları da farklılık göstermektedir. VIKOR yöntemi doğrusal normalizasyon kullanırken, TOPSİS yöntemi vektör normalizasyonu kullanmaktadır (Liu vd., 2015: 586). Ayrıca ulusal literatür incelendiğinde HTEA

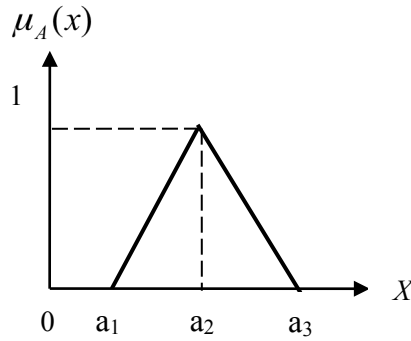
konusunda çoklu karar verme durumlarında bulanık VIKOR yöntemi ile hata türlerine ait risk sıralaması ve değerlendirilmesi bulunmadığı görülmüştür.

3. BULANIK KÜME TEORİSİ

Bulanık küme teorisi ilk kez Lotfi Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan ve yeterli bilginin olmadığı belirsiz ortamlarda problemlerin çözümüne yardımcı olan matematiksel bir teoridir. Bu teorinin özellikle insan sezgilerinde ve davranışlarında var olan belirsizliği ortadan kaldırmasından dolayı uygulamada kesin mantığa göre üstünlükleri bulunmaktadır. Bir X kümesi evren olarak düşünüldüğünde $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ elemanlarından oluşmaktadır. X kümesinde yer alan bulanık küme \tilde{a} 'nın (x) elemanları, tanımlanmış olan üyelik fonksiyonu $\mu_{\tilde{a}}(x)$ çerçevesinde $[0,1]$ arasında değerler alarak bulanık kümeye ait olmaktadır. Üyelik fonksiyonunun değeri $\mu_{\tilde{a}}(x)$ ne kadar büyük olursa, x 'in o kümeye ait olma derecesi o kadar büyük olmaktadır.

Bulanık kümeler kesin olmayan dilsel olarak belirtilen kişisel görüşlerin sayısallaştırılarak bulanık sayılar ile ifade edilmesinde de kullanılabilir. Üyelik fonksiyonlarının en çok kullanılanları üçgensel ve yamuk üyelik fonksiyonlarıdır. Uygulamada kullanım ve hesaplama kolaylığından dolayı üçgensel sayılar daha sık kullanılmaktadır. Çalışmada uzmanlara ait dilsel değişkenlerin ifade edilmesinden üçgensel sayılar kullanılmıştır. X ; a_1 , a_2 ve a_3 elemanları bulunan \tilde{A} bulanık kümesinin üçgensel üyelik fonksiyonu Şekil 1'de görüldüğü gibidir.

Şekil 1. X kümesinin üçgensel bulanık sayıları



$$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & \text{Eğer } a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & \text{Eğer } x = a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & \text{Eğer } a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & \text{d.d.} \end{cases} \quad (1)$$

$\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{b} = (b_1, b_2, b_3)$ üçgensel sayılardan oluşan iki bulanık küme ve k ise pozitif

reel bir sayı olsun. Bu sayıların matematiksel işlemleri şu şekildedir (Tadic vd., 2014):

$$\tilde{a}(+)\tilde{b} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (2)$$

$$\tilde{a}(-)\tilde{b} = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3) \quad (3)$$

$$\tilde{a}(*)\tilde{b} = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3) \quad (4)$$

$$\tilde{a}(*k) = (a_1 k, a_2 k, a_3 k) \quad (5)$$

$$\tilde{a}(/)\tilde{b} = (a_1 / b_3, a_2 / b_2, a_3 / b_1) \quad (6)$$

Chen (2000)'e göre iki üçgensel bulanık küme arasındaki mesafe vertex yöntemi ile aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$m(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} \left[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2 \right]} \quad (7)$$

Bazı değişkenlerin nicel değerler ile ifade edilmesi oldukça zor ve karmaşık olabilmektedir. Böylesi durumlarda karşılığı bulanık sayılardan oluşan dilsel değişkenler kullanılmaktadır. Bu değişkenler ise bulanık kelime veya cümleler ile ifade edilmektedir. Çalışmada risk faktörlerinin ağırlıkları ve her bir risk faktörüne göre hata türlerinin etkileri dilsel değişkenler yardımıyla ifade edilmiştir. Tablo 1 ve 2'de risk faktörleri ve hata türleri için dilsel değişkenler ve karşılığındaki üçgensel bulanık sayılar verilmiştir (Liu vd., 2015: 581).

Tablo 1. Risk faktör ağırlıklarının belirlenmesi için dilsel değişkenler

Dilsel değişken	Üçgensel bulanık sayı
Eşit derecede önemli (EÖ)	(1, 1, 3)
Kısmen önemli (KIÖ)	(1, 3, 5)
Önemli (Ö)	(3, 5, 7)
Kuvvetli derecede önemli (KDÖ)	(5, 7, 9)
Kesinlikle önemli (KEÖ)	(7, 9, 9)

Tablo 2. Hata türlerinin sıralanması için dilsel değişkenler

Dilsel değişken	Üçgensel bulanık sayı
Çok düşük (ÇD)	(0, 1, 3)
Düşük (D)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Yüksek (Y)	(5, 7, 9)
Çok yüksek (ÇY)	(7, 9, 10)

3.1. Bulanık AHP Yöntemi

Karar vericiler pek çok durumda kesin yanıtlar vermekten kaçınılmaktadırlar. Bu yüzden nitel değişkenler hakkında kesin istatistiksel analizler yapmak mümkün olmamaktadır. Böylesi durumlarda bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımları kullanılmaktadır. Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) ilk olarak Saaty (1971) tarafından geliştirilmiş olup karar vericilerin ifadelerine göre karmaşık karar problemlerini çözebilen çok faydalı bir yaklaşımdır. AHP, bir probleme ilişkin değişkenleri uzman

görüşleri kullanarak belli ölçekler yardımıyla ikili karşılaştırmalar sonucunda önceliklendirmektedir (Saaty ve Vargas, 2000). AHP yönteminde, kriterlerin ikili karşılaştırmalarında kesin değerler kullanılmasından ve öznel kişisel yargılardan dolayı önceliklendirmeler farklılık göstermektedir. Bu yüzden geleneksel AHP'nin eksiklerini kapatması ve belirsizlik ortamındaki problemlere daha etkin sonuçlar üretilmesi açısından bulanık AHP yaklaşımı geliştirilmiştir (Buckley vd., 2001). Bulanık AHP yaklaşımında klasik AHP yaklaşımında olduğu gibi ikili karşılaştırmalar yapılabilen ve alternatifler arasından en uygun olan seçilebilmektedir. Çalışmada risk faktör ağırlıklarının önem düzeylerinin belirlenmesinde bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Yöntemin uygulama adımları kısaca şu şekildedir (Chang, 1996; Akkaya vd., 2015):

Adım 1: Her bir kriter için mertebeye analizi (degree analysis) uygulanmaktadır. Mertebeye analizi değerleri birden fazla karar vericinin üçgensel bulanık sayılar ile kriterler için ifade ettikleri dilsel değişkenlerin geometrik ortalama ile hesaplanmasıdır.

Adım 2: Her bir kriter için bulanık sentetik mertebeye değeri hesaplanmaktadır.

Adım 3: Elde edilen sentetik mertebeye değerleri bulanık sayılardan oluşan kriterler arasında ikili karşılaştırma yapılmakta ve ağırlık değerleri hesaplanmaktadır.

Adım 4: Ağırlık değerleri arasından en küçük değerler alınıp normalizasyon yapılmaktadır.

Adım 5: Normalizasyon ile kriterlere ait bulanık olmayan (crisp) göreceli önem ağırlıkları elde edilmektedir.

3.2. Bulanık VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi ilk kez Opricovic tarafından önerilmiş olup çelişkili ve çok kriterli karmaşık sistemlerin optimizasyonunda kullanılan ve son kararın verilmesinde karar vericilere yardımcı olacak uzlaştırıcı çözümler sağlayan bir yöntemdir. Bu çözüm ideal çözüme en yakın çözümdür (Chu vd., 2007). Çalışmada belirsizlik ortamından dolayı bulanık VIKOR yöntemi tercih edilmiştir. Yöntemin amacı, karar vericilere maksimum grup faydası veya minimum bireysel pişmanlığı sağlayacak en uygun uzlaştırıcı çözüm sağlamaktır (Yıldız, 2014: 118). Hesaplama adımları biraz uzun olsa da oldukça basit ve açıktır. Bulanık VIKOR yöntemi çelişkili ve grup kararının gerektiği kriterlerin olduğu HTEA'da hata türlerinin değerlendirilmesinde çok daha rasyonel ve hassas sonuçlar üretebilmektedir. Dilsel değişkenlerin karşılığı üçgensel bulanık sayılar ile birlikte bulanık VIKOR yöntemi aşağıdaki çözüm aşamalarından oluşmaktadır (Awasthi ve Kannan, 2016: 103):

Adım 1: n sayıda karar vericinin m adet alternatif için vermiş oldukları cevaplar bir araya getirilerek toplam bulanık karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Bulanık karar matrisi değerleri kesin değerlere dönüştürülmektedir. Örneğin, bulanık $\tilde{a} = (a_1, a_2, a_3)$ sayısını kesin değerlere dönüştürmede aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$a = \frac{a_1 + 4a_2 + a_3}{6} \quad (8)$$

Adım 3: Bütün kriterler ve alternatifler için tek bir kesin değer elde ettikten sonra bulanık olmayan karar matrisi oluşturulmaktadır.

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1j} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2j} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \cdots & \tilde{x}_{ij} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{ve } j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Yukarıdaki matriste \tilde{x}_{ij} i. alternatifin j. kritere göre derecesidir.

Adım 4: Bulanık olmayan karar matrisinde tüm kriterler için en iyi f_j^* ve en kötü f_j^- değerleri hesaplanmaktadır.

$$f_j^* = \max_i \{x_{ij}\}; f_j^- = \min_i \{x_{ij}\} \quad (\text{fayda yapılı kriterleri için}) \quad (10)$$

$$f_j^* = \min_i \{x_{ij}\}; f_j^- = \max_i \{x_{ij}\} \quad (\text{maliyet yapılı kriterler için}) \quad (11)$$

Adım 5: i. alternatifin en iyi değere uzaklığının toplamını veren S_i ve i. alternatifin j. kritere göre en kötü değerlere olan maksimum uzaklığını veren R_i değerleri bulunmaktadır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad \text{ve} \quad R_i = \max_j \left\{ w_j \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right\} \quad (12)$$

Denklemlerde yer alan w_j değerleri kriterlerin önem ağırlıklarını ifade etmektedir.

Adım 6: Grup faydası ile bireysel pişmanlığı birlikte değerlendiren Q_i indeksi hesaplanmaktadır.

$$Q_i = v \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (13)$$

Denklemlerde yer alan $S^* = \min_i S_i$, $S^- = \max_i S_i$, $R^* = \min_i R_i$ ve $R^- = \max_i R_i$ ile hesaplanmaktadır. S^* maksimum çoğunluğu ve R^* ise minimum bireysel pişmanlığı göstermektedir. Ayrıca v değeri maksimum grup faydasını sağlayan stratejinin ağırlığını ifade ederken $(1-v)$ ise bireysel pişmanlığın ağırlığını ifade etmektedir. Çalışmalarda v değeri genellikle 0.5 olarak alınmaktadır (Liu vd., 2015: 583).

Adım 7: Sonuçta elde edilen Q (minimum) indeksi değerlerine göre alternatifler sıralanmaktadır. Ayrıca en iyi olarak belirlenen alternatifin uzlaştırıcı çözüm olup olmadığı aşağıdaki iki koşula göre kontrol edilmektedir.

Koşul 1: Kabul edilebilir avantaj: Bu koşulda en iyi ve ikinci en iyi seçenekler arasında bir farkın olduğunu göstermektedir. Şöyle ki, m tane alternatifin olduğu bir problemde $DQ = 1/(m-1)$ olmak üzere $Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ$ sağlanmalıdır.

Koşul 2: Karar vermede kabul edilebilir istikrar: Alternatif $A^{(1)}$ ve/veya R indeksleri ile yapılan sıralamada en iyi seçenek olmalıdır. Uzlaştırıcı çözüm, grup faydası ile pişmanlık stratejilerine göre sabit olmaktadır.

Eğer koşul 2 sağlanmaz ise $A^{(1)}$ ve $A^{(2)}$ alternatifleri uzlaştırıcı çözümler olmaktadır. Eğer koşul 1 sağlanmaz ise $Q(A^{(m)}) - Q(A^{(1)}) \leq DQ$ olur ve $A^{(m)}$ ile $A^{(1)}$ aynı uzlaştırıcı çözüm olmaktadır.

4. HTEA ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Daha önceden de ifade edildiği gibi geleneksel HTEA konusunda yapılan çalışmalarda, risk faktörlerinin göreceli önem düzeyleri hesaba katılmadığından veya metot kullanılmadan kişiye bağlı olarak ağırlıklandırılmasından dolayı araştırmacılar tarafından eleştirilmektedir. Bu yüzden eleştirileri ortadan kaldırmak ve oluşan boşluğu kapatmak için risk faktörlerinin ağırlıklandırılması çok kriterli karar verme yöntemlerine AHP ile sağlanmıştır. Bu sayede HTEA'da risk faktörlerinin karakteristik özellikleri de yansıtılmış olmaktadır (Liu vd., 2015: 584).

Çalışmada HTEA çok kriterli karar verme problemi olarak aşağıdaki çözüm yaklaşımı ile değerlendirilmiştir:

1. Adım: İlk olarak analizi yapılacak problem belirlenmiş ve probleme ilişkin risk değerlendirme sürecinin amaçları tanımlanmıştır.

2. Adım: Problem ile ilgili deneyimli uzman bir ekip kurulmuş ve potansiyel hata türleri tespit edilmiştir. Ardından, bu hata türleri arasından en sık oluşanlar listelenmiştir.

3. Adım: P, S ve D risk faktörlerine ait göreceli önem düzeylerini belirlemede Tablo 1'de gösterilen dilsel değişkenler kullanılmıştır. Bulanık AHP yönteminin adımları uygulanarak her birinin önem ağırlıkları belirlenmiştir.

4. Adım: Kurulan HTEA ekibi ile birlikte probleme ait hata türlerinin önem sıralaması yapılmıştır. Bunun için bulanık VIKOR yöntemi ile S , R ve Q değerleri hesaplanmıştır.

5. Adım: Q indeksi değerlerine göre bütün hata türlerinin risk öncelik değerlendirilmesi yapılmıştır.

6. Adım: Son olarak ise parametrelerdeki değişimin çözüm üzerindeki etkinliğini test etmek, sonuçları kontrol altına almak ve sistemin güvenilirliğini geliştirmek amacıyla duyarlılık analizleri yapılmalıdır.

5. UYGULAMA

Çalışmanın bu bölümünde HTEA'da risk yönetimi için bir otomobil fabrikasına yardımcı sanayi konumunda olan bir işletmede amortisör montajında yer alan faaliyetler bulanık çözüm yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. Çalışmada öncelikle bulanık AHP yöntemi ile risk faktörlerine ait önem ağırlıkları belirlenmiş, daha sonra bulanık VIKOR yöntemi ile hata türlerinin öncelikli sıralaması yapılmıştır. Çalışmada risk faktörlerine ilişkin önem ağırlıklarının bulanık AHP ile belirlenmesi sürecine ayrı bir bölüm altında yer verilmemiştir. Uygulama içinde hesaplamalar yapılarak Tablo 4'te özet bilgi sunulmuştur.

5.1. Hata Türlerinin Bulanık VIKOR ile Belirlenmesi

Otomobil işletmesi, gerçekleştirilecek otomobil kazalarını veya arızaları önlemek, sürücülere konforlu bir seyahat imkânı sağlamak ve dayanıklılığı ile rakiplerine karşı rekabet avantajı elde edebilmek amacıyla amortisör montajı sürecindeki riskli hata türlerini önceden tespit etmek ve önleyici tedbirler almak istemektedir. Bu yüzden montaj ekibi içerisinde yer alan üç kişilik bir HTEA ekibi kurulmuştur. HTEA ekibi geçmiş deneyimlerine dayanarak dokuz farklı potansiyel hata türü tespit

etmiştir. Bunlar basınçlı boruların iç yüzeylerinin çizilmesi (HT1), yağ kutusu kapağının gevşemesi (HT2), emme valfinin takılmaması (HT3), metallerde çapaklanma olması (HT4), basınçlı boruya yeterince yağın eklenmemesi (HT5), çentikli diskin takılmaması (HT6), valf yayının takılmaması (HT7), ayarlı pulların takılmaması (HT8) ve valf gövdesinin takılmaması (HT9). Diğer taraftan P, S ve D risk faktörleri, ekip tarafından geçmiş verilere göre tanımlanmıştır. Karar vericiler risk faktörlerinin önem ağırlıklarını belirlenmesinde ve hata türlerinin sıralanmasında Tablo 1 ve 2’de yer alan dilsel değişkenleri kullanmışlardır. Üç karar vericinin olasılık (P), şiddet (S) ve zorluk (D) risk faktörleri kriterleri altında hata türlerini dilsel değişkenlere göre değerlendirmeleri Tablo 3’te verilmektedir.

Tablo 3. HTEA ekibi tarafından risk faktörlerine göre hata türlerinin değerlendirilmesi

Hata türleri	O			S			D		
	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3	KV1	KV2	KV3
HT1	ÇY	Y	ÇY	Y	O	Y	Y	O	Y
HT2	Y	ÇY	O	Y	O	ÇY	D	D	O
HT3	O	D	O	ÇY	Y	Y	ÇY	O	Y
HT4	ÇY	Y	ÇY	Y	ÇY	Y	O	O	D
HT5	O	D	D	O	O	Y	ÇD	D	D
HT6	O	D	ÇD	O	D	O	ÇD	D	D
HT7	ÇD	ÇD	D	D	D	O	D	D	D
HT8	Y	Y	ÇY	Y	O	O	D	D	Y
HT9	D	D	ÇD	O	D	D	D	O	D

Risk faktörlerinin önem ağırlıkları karar vericiler tarafından ikili karşılaştırmalar yapılarak bulanık AHP yöntemi ile hesaplanmıştır. Yöntemin uygulama adımlarına detaylı olarak yer verilmemiş olup, özet bilgi Tablo 4’te verilmiştir. Ayrıca tutarlılık oranı 0.06 çıkarak ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu ve araştırmanın geçerli olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4. Bulanık AHP yöntemi ile risk faktörlerinin ikili karşılaştırmaları ve ağırlıkları

Risk faktörleri	O	S	D	W_i
O	(1.000, 1.000, 1.000)	(0.212, 0.405, 0.693)	(1.442, 2.466, 4.718)	0.388
S	(1.442, 2.466, 4.718)	(1.000, 1.000, 1.000)	(1.216, 2.027, 3.659)	0.478
D	(0.212, 0.405, 0.693)	(0.273, 0.493, 0.822)	(1.000, 1.000, 1.000)	0.133

Hata türlerine ait dilsel değerlendirmeler öncelikle üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş ardından her bir risk faktörüne göre hata türlerinin toplam bulanık değeri (\tilde{a}) hesaplanmıştır. Buna göre

O risk faktörü için HT1’in bulanık değeri $\tilde{a}_1 = \left\{ \min(7,5,7), \frac{1}{3}(9+7+9), \max(10,9,10) \right\} = (5,8.333,10)$

olmaktadır. Tablo 5’de hata türlerinin toplam bulanık karar matrisi bulunmaktadır.

Tablo 5. Hata türlerinin toplam bulanık karar matrisi

Hata türleri	O	S	D
HT1	(5.000, 8.333, 10.000)	(3.000, 6.333, 9.000)	(3.000, 6.333, 9.000)
HT2	(3.000, 7.000, 10.000)	(3.000, 7.000, 10.000)	(1.000, 3.667, 7.000)
HT3	(1.000, 4.333, 7.000)	(5.000, 7.667, 10.000)	(3.000, 7.000, 10.000)
HT4	(5.000, 8.333, 10.000)	(5.000, 7.667, 10.000)	(1.000, 4.333, 7.000)
HT5	(1.000, 3.667, 7.000)	(3.000, 5.667, 9.000)	(0.000, 2.333, 5.000)
HT6	(0.000, 3.000, 7.000)	(1.000, 4.333, 7.000)	(0.000, 2.333, 5.000)
HT7	(0.000, 1.667, 5.000)	(1.000, 3.667, 7.000)	(1.000, 3.000, 5.000)
HT8	(5.000, 7.667, 10.000)	(3.000, 5.667, 9.000)	(1.000, 4.333, 9.000)
HT9	(0.000, 2.333, 5.000)	(1.000, 3.667, 7.000)	(1.000, 3.667, 7.000)

Daha sonra hata türlerinin toplam bulanık (\tilde{a}_i) değerleri denklem (8) yardımıyla Tablo 6'da bulanık olmayan (a_i) değerlere dönüştürülmektedir. Ayrıca denklem (10) ve (11) yardımıyla tüm kriterler için en iyi f_j^* ve en kötü f_j^- değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 6. Bulanık olmayan karar matrisi ve en iyi f_j^* ve en kötü f_j^- değerleri

Hata türleri	O	S	D
HT1	8.056	6.222	6.222
HT2	6.833	6.833	3.778
HT3	4.222	7.611	6.833
HT4	8.056	7.611	4.222
HT5	3.778	5.778	2.389
HT6	3.167	4.222	2.389
HT7	1.944	3.778	3.000
HT8	7.611	5.778	4.556
HT9	2.389	3.778	3.778
f^*	8.056	7.611	6.833
f^-	1.944	3.778	2.389

Denklem (12) ve (13) ile hata türleri için Tablo 7'de S , R ve Q değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 7. Bütün hata türleri için S_i , R_i ve Q_i değerleri

	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7	HT8	HT9
S	0.191	0.265	0.243	0.078	0.632	0.865	0.980	0.324	0.929
R	0.173	0.097	0.243	0.078	0.272	0.423	0.478	0.229	0.478
Q	0.182	0.128	0.299	0	0.550	0.867	1	0.325	0.972

Tablo 7'de görüldüğü gibi Q_i (minimum) değerlerine göre HT4 (metallerde çapaklanma olması) en ciddi hata türü olup yardımcı sanayi tarafından risk önceliği bakımından en fazla dikkate alınması gereken bir hata türü olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca en riskli hata türü olan HT4'ün uzlaştırıcı çözüm olup olmadığı iki koşula göre kontrol edilmelidir. Buna göre. $DQ = 1/(9-1) = 0.125$ ve $0.128 - 0 = 0.128 \geq 0.125$ olduğundan dolayı koşul 1 sağlanmaktadır. Diğer taraftan HT4 koşul 2'ye göre S ve/veya R indekslerinde de en iyi sıralamaya sahiptir. Bütün bunlara göre hata türlerinin risk

öncelik değerlendirmesi Tablo 8'e göre sırasıyla HT4, HT2, HT1, HT3, HT8, HT5, HT6, HT9 ve HT7 olmaktadır. Fakat koşul 1 çok az bir farkla yerine gelmiş olmasından dolayı HT4 ile HT2 arasında uzlaştırıcı çözüm olabilmektedir. Bu yüzden her ikisinin de eşit derecede en riskli hata türü olabileceği söylenebilmektedir.

Tablo 8. Hata türlerinin risk önceliklerine göre sıralanması

	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7	HT8	HT9
S	2	4	3	1	6	7	9	5	8
R	3	2	5	1	6	7	8	4	9
Q	3	2	4	1	6	7	9	5	8

5.2. Duyarlılık Analizi

Önerilen HTEA modelinde ν değeri maksimum faydası stratejinin ağırlığı olarak ifade edilmektedir. Hata türlerinin sıralanmasında çok önemli bir role sahip olan ν değeri, 0-1 arasında değişiklik göstermesine rağmen çalışmalarda genellikle 0.5 olarak hesaba katılmaktadır. Bu yüzden elde edilen sonuçların geçerliliğini test etmek için ν parametresini değiştirerek duyarlılık analizi yapılması gerekmektedir. ν değerlerinin değişimi ile ortaya çıkan sonuçlar Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9. ν değerlerinin değişimine göre duyarlılık analizi sonuçları

Deney	$(\nu, I-\nu)$	H	H	H	H	H	H	H	H	DQ	Koşul 1	Alternatif sıralamanın ilk hata türleri	
		T	T	T	T	T	T	T	T				
		1	2	3	4	5	6	7	8				9
1	0, 1	3	2	5	1	6	7	9	4	8	0.049<0.125	Hayır	HT4=HT2
2	0.1, 0.9	3	2	5	1	6	7	9	4	8	0.064<0.125	Hayır	HT4=HT2
3	0.2, 0.8	3	2	5	1	6	7	9	4	8	0.080<0.125	Hayır	HT4=HT2
4	0.3, 0.7	3	2	4	1	6	7	9	5	8	0.096<0.125	Hayır	HT4=HT2
5	0.4, 0.6	3	2	4	1	6	7	9	5	8	0.112<0.125	Hayır	HT4=HT2
6	0.5, 0.5	3	2	4	1	6	7	9	5	8	0.128>0.125	Evet	HT4
7	0.6, 0.4	3	2	4	1	6	7	9	5	8	0.144>0.125	Evet	HT4
8	0.7, 0.3	2	3	4	1	6	7	9	5	8	0.159>0.125	Evet	HT4
9	0.8, 0.2	2	3	4	1	6	7	9	5	8	0.149>0.125	Evet	HT4
10	0.9, 0.1	2	3	4	1	6	7	9	5	8	0.137>0.125	Evet	HT4
11	1, 0	2	3	4	1	6	7	9	5	8	0.126>0.125	Evet	HT4

Tablo 9'da görüldüğü gibi hata türlerinden beşinin sıralamadaki yerleri ν değerlerinin değişiminden etkilenmemiştir. Bu durum hem maksimum grup faydasında hem de minimum bireysel pişmanlık olduğunda hata türlerinin risk önceliğinin aynı kaldığı anlamına gelmektedir. Aynı zamanda ortaya çıkan sıralamalar, önerilen modelin güvenilir olduğunu da göstermektedir. Diğer taraftan HT1 ve HT3 hatalarında ν değeri arttıkça, maksimum grup faydasına önem verildikçe, sıralamadaki yerleri daha riskli konuma gelirken; HT2 ve HT8 hatalarında ν değeri azaldıkça, minimum bireysel pişmanlığa önem verildikçe, sıralamadaki yerleri artmakta yani risk seviyeleri yükselmektedir.

Tablo 10. Bulanık VIKOR ile geleneksel RÖS sıralaması arasında karşılaştırma

Hata Türleri	Bulanık VIKOR ($v=0.5$)		Geleneksel RÖS				
	Q	Sıralama	P	S	D	RÖS	Sıralama
HT1	0.182	3	6	7	6	252	1
HT2	0.128	2	6	3	5	90	5
HT3	0.299	4	4	5	5	100	3
HT4	0	1	4	7	7	196	2
HT5	0.550	6	8	2	5	80	6
HT6	0.867	7	7	2	4	56	8
HT7	1	9	10	2	1	20	9
HT8	0.325	5	8	2	6	96	4
HT9	0.972	8	3	7	3	63	7

Belirsizlik ve riskin ortadan kalktığı tam bilgi ortamında önerilen çözüm yaklaşım ile geleneksel RÖS hesabı arasında bazı benzerlikler ve farklılıklar olduğu görülmektedir (Tablo 10). Önerilen çözüm yaklaşımında hata türlerinden HT5 ve HT7'nin risk öncelik sıralamasında ki yerleri geleneksel RÖS hesaplaması ile aynı çıkmış, diğerlerinde ise çok az farklılık göstermiştir. Önerilen yaklaşımın asıl avantajlı yönleri risk faktörlerine verilen değerlere yakından bakıldığında ortaya çıkmaktadır. Örneğin; HT3 hata türünde “hatanın keşfindeki zorluk (D)” risk faktörüne daha az puan verilmesinden dolayı HT3'ün risk önceliği, HT4'den sonra gelmektedir. Özellikle sürücü sağlığına, güvenliğine ve hatta hayatına etki edebilen amortisörlerde hata oluşmadan önce ortaya çıkarılması oldukça önemli bir konudur. Bu yüzden D risk faktörüne daha fazla önem verilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan önerilen yaklaşımda HT2 ile HT5 arasında ciddi bir risk farkı varken, geleneksel RÖS hesabında birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Çünkü her iki hata türünde D risk faktörü için verilen değer eşit olmasına rağmen, birinci hata türündeki “hatanın şiddeti (S)” risk faktörüne daha yüksek değer verilmiştir. Bu yüzden önem ağırlığı 0.478 olarak belirlenen S risk faktörü, önerilen yaklaşımda sıralamaya etki etmektedir. Tüm bunlarla görülmektedir ki, bulanık AHP ve bulanık VIKOR bütünleşmesinde risk faktörlerinin uzmanlar tarafından önceliklendirilmesi ve önem ağırlıklarının hesaplanması ile hata türlerine ait risk değerlendirmeleri oldukça hassas ve kabul edilebilir sonuçlar vermektedir.

5.3. Yönetmelik Uygulamalar

Çalışmada HTEA için önerilen yaklaşımın ve ortaya çıkan sonuçlar yardımcı sanayi üzerinde bazı yönetimsel etkileri bulunmaktadır. Öncelikle önerilen yaklaşımın performansını test etmek ve doğrulamak amacıyla işletme içerisinde bulunan mühendisler ve teknisyenler bir araya gelmişler ve belirlenen hata türlerinin risk sıralamasını kontrol etmişlerdir. Profesyonel uzmanların fikirlerine göre, HTEA için önerilen çözüm yaklaşımı risk sıralama ve değerlendirme problemlerinin çözümünde oldukça uygun sonuçlar vermektedir. İkinci olarak ise, diğer üretim süreçlerinde oluşabilecek potansiyel hata türlerinin tespitinde ve hatalara karşı önlemlerin alınmasında karar vericilere ve yöneticilere destek olabilmektedir. Son olarak amortisör montaj hattı süreci başta olmak üzere bütün üretim süreçlerinin güvenliği ve kalitesi, araştırmacılar tarafından ortaya atılan yeni risk değerlendirme yaklaşımlarını destekleyerek elde edilebileceği düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

HTEA’da içsel belirsizliğin fazla ve değerlendirmenin zor olmasından dolayı uzmanların deneyimleri ve sezgileri genellikle ön plana çıkmakta ve bu sayede zor ve karmaşık problemlerin analizi yapılmaktadır. Çalışmada, HTEA’nın zayıf kalan taraflarına çözüm getirebilmek için risk faktörlerinin önceliklendirilmesi, en tehlikeli hata türlerinin tespit edilmesi ve ardından düzeltici faaliyetlerin alınmasından oluşan yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yaklaşımda öncelikle risk faktörlerinin ağırlıklarının belirlenmesinde bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Ardından bulanık VIKOR yöntemi ile belirlenen hata türlerinin risk önceliği sıralaması yapılmıştır. Sonuçta en tehlikeli hata türü HT4 ile “metallerde çapaklanma olması” ve en tehlikesiz hata türü ise HT7 ile “valf yayının takılmaması” çıkmıştır. Böylece, HTEA’da bulanık VIKOR yöntemi ile maksimum grup faydası ve minimum bireysel pişmanlık altında kabul edilebilir uzlaştırıcı çözümler elde edilerek karar destek sistemi geliştirilmiştir. Dahası, karar vericiler parametrelerin farklı değerlerine veya tam bilgi ortamına göre sonuçları test edebilmekte ve kontrol altına alabilmektedirler.

Yapılan uygulama ile önerilen yaklaşımın HTEA’da risk değerlendirme sürecinde etkin ve faydalı sonuçlar ürettiği görülmektedir. Sonuçlar, amortisör sürecinde ortaya çıkabilecek riskli hata türlerinin tespitinde işletme yöneticilerine yardımcı olurken aynı zamanda hata türünün oluşmasından önce uygun tedbirlerin alınmasını da sağlayabilmektedir. Örneğin, HT4’ün gerçekleşmesini önlemek için boruların temizlenmesinde kullanılan temizleme fırçalarının değişmesi, HT1’in oluşmasına engel olabilmek için basınçlı borularda ayarlamalar yapılırken yüzeylerde oluşabilecek çapaklanmayı azaltacak kaliteli yağların kullanılması ve HT2’ye engel olabilmek için monotonlaşmış operatörlerin yerlerinin değiştirilmesi ve bu sayede iş verimliliğinin artırılması önerilmektedir.

Bulanık küme teorisi kesin olmayan ve belirsiz bilgi ortamında karar vericiler için çok güçlü bir karar destek aracıdır. Bu yüzden geliştirilen yaklaşım hastaneler, maden işletmeleri, taşımacılık gibi yüksek riskli çalışma ortamlarında uygulanarak, gelecek için yeni çalışmalar elde edilebilir. Ayrıca TOPSİS, MOORA, ELECTREE gibi farklı bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile çalışmada önerilen yaklaşım arasında performans karşılaştırması yapılabilir. Son olarak bulanık verileri bulanık olmayan kesin verilere dönüştürme sürecinde maksimum ortalama (MOM), geometrik ortalama veya α -kesim tekniklerinden biri kullanılarak problem yeniden çözülüp farklılaşmalar gözlemlenebilir.

7. KAYNAKÇA

- Akkaya, Gökay, Turanoğlu, Betül ve Öztaş, Sinan (2015), “An Integrated Fuzzy AHP and Fuzzy MOORA Approach to The Problem of Industrial Engineering Sector Choosing”, *Expert Systems With Applications*, Cilt. 42, Sayı. 24, (1-9).
- Awasthi, Anjali. ve Govindan, Kannan (2016), “Green Supplier Development Program Selection Using NGT and VIKOR Under Fuzzy Environment”, *Computers and Industrial Engineering*, Cilt. 91, (100-108).

- Bowles, Joseph, B. ve Colon E. Peláez (1995), “Fuzzy Logic Prioritization of Failures in A System Failure Mode, Effects and Criticality Analysis”, *Reliability Engineering and System Safety*, Cilt. 50, Sayı. 2, (203-213).
- Braglia, Marcello, Frosolini, Marco ve Montanari, Roberto (2003), “Fuzzy TOPSIS Approach For Failure Mode, Effects and Criticality Analysis”, *Quality and Reliability Engineering International*, Cilt. 19, Sayı. 5, (425-443).
- Buckley, James, J., Feuring, Thomas ve Hayashi, Yoichi (2001), “Fuzzy Hierarchical Analysis Revisited”, *European Journal of Operations Research*, Cilt. 129, Sayı. 1, 48-64.
- Büyükoçkan, Gülçin ve Ruan, Da (2008), “Evaluation of Software Development Projects Using A Fuzzy Multicriteria Decision Approach”, *Mathematics and Computers in Simulation*, Cilt. 77, Sayı. 5-6, (464-475).
- Chang, Ching-Liang, Liu, Ping-Hung ve Wei, Chiu-Chi (2001), “Failure Mode and Effects Analysis Using Grey Theory”, *Integrated Manufacturing System*, Cilt. 12, Sayı. 3, (211-216).
- Chen, Chen-Tung (2000), “Extensions of The TOPSIS For Group Decision Making Under Fuzzy Environment”, *Fuzzy Sets Systems*, Cilt. 114, Sayı. 1, (1-9).
- Dincer, Hasan ve Hacıoğlu, Ümit (2013), "Performance Evaluation With Fuzzy VIKOR and AHP Method Based On Customer Satisfaction in Turkish Banking Sector", *Kybernetes*, Cilt. 42, Sayı. 7, (1072-1085).
- Gargama, Heerall, ve Chaturvedi, Sanjay Kumar (2011), “Criticality Assessment Models For Failure Mode Effects and Criticality Analysis Using Fuzzy Logic”, *IEEE Transactions on Reliability*, Cilt. 60, (102-110).
- Hu, Shu-Kung, Lu, Ming-Tsang ve Tzeng, Gwo-Hshiang (2014), “Exploring Smart Phone Improvements Based On A Hybrid MCDM Model”, *Expert Systems With Application*, Cilt. 41, Sayı. 9, (4401-4413).
- Karaatlı, Meltem, Ömürbek, Nuri ve Köse, Gülşah (2014), “Analitik Hiyerarşi Süreci Temelli TOPSIS ve VIKOR Yöntemleri İle Futbolcu Performanslarının Değerlendirilmesi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt. 29, Sayı. 1, (25-61).
- Kutlu, Ahmet Can ve Ekmekçioğlu, Mehmet (2012), “Fuzzy Failure Modes and Effects Analysis by Using Fuzzy TOPSIS-Based Fuzzy AHP”, *Expert Systems With Application*, Cilt. 39, Sayı. 1, (61-67).
- Liu, Hu-Chen, You, Jian-Xin ve You Xiao-Yue (2014), “Evaluating The Risk of Healthcare Failure Modes Using Interval 2-Tuple Hybrid Weighted Distance Measure”, *Computers and Industrial Engineering*, Cilt. 78, (249-258).
- Liu, Hu-Chen, You, Jian-Xin, You Xiao-Yue, ve Meng-Meng. Shan (2015), “A Novel Approach For Failure Mode and Effects Analysis Using Combination Weighting and Fuzzy VIKOR Method”, *Applied Soft Computing*, Cilt. 28, (579-588).
- Liu, Hu-Chen, Liu Long, Bian, Qi-Hao, Lin, Qin-Lian, Dong, Na ve Xu Peng, Cheng (2011), “Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning Approach and Grey Theory”, *Expert Systems With Application*, Cilt. 38, Sayı. 4, (4403-4415).

- Liu, Hu-Chen, Xiao-Jun, Fan, Ping, Li, ve Yi-Zeng, Chen (2014), "Evaluating The Risk of Failure Modes With Extended MULTIMOORA Method Under Fuzzy Environment", *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 34, 168-177.
- Opricovic, Serafim (2011), "Fuzzy VIKOR With an Application To Water Resources Planning". *Expert Systems With Applications*, Cilt. 38, (12983-12990).
- Opricovic, Serafim ve Tzeng, Gwo-Hshiung (2004), "Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS", *European Journal of Operations Research*, Cilt. 156, Sayı 2, (445-455)..
- Saaty, Thomas L. (1971), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Saaty, Thomas L. ve Vargas, Luis G. (2000), *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Sanayei, Amir, Mousavi, S. Farid, ve Yazdankhah, A. (2010), "Group Decision Making Process For Supplier Selection With VIKOR Under Fuzzy Environment", *Expert Systems With Applications*, Cilt. 37, Sayı. 1, (24-30).
- Seyed-Hosseini, S. Mohammed, N. Safaei, ve M. J. Asgharpour (2006), "Reprioritization of Failures in A System Failure Mode and Effects Analysis By Decision Making Trial And Evaluation Laboratory Technique", *Reliability Engineering System Safety*, Cilt. 91, Say. 8, (872-881).
- Sharma, Rajiv Kumar, Kumar, Dinesh ve Kumar, Pradeep (2005), "Systematic Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Using Fuzzy Linguistic Modelling", *International Journal of Quality Reliability Management*, Cilt. 22, Sayı. 9, (986-1004).
- Song, Wenyan, Xinguo Ming, Zhenyong Wu, ve Boating Zhu (2013), "Failure Modes and Effects Analysis Using Integrated Weight Based Fuzzy TOPSIS", *International Journal of Computers Integrated Manufacturing*, Cilt. 26, Sayı 12, (1172-1186).
- Song, Wenyan, Xinguo Ming, Zhenyong Wu, ve Boating Zhu (2014), "A Rough TOPSIS Approach For Failure Mode and Effects Analysis in Uncertain Environments", *Quality of Reliability Engineering International*, Cilt. 30, Sayı. 4, (473-486).
- Tadic, Snezana, Slobodan Zecevic, ve Mladen Krstic, (2014), "A Novel Hybrid MCDM Model Based On Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and Fuzzy VIKOR For City Logistics Concept Selection", *Expert Systems With Application*, Cilt. 41, Say. 18, (8112-8128).
- Tay, Kai Meng ve Chee Peng Lim (2006), "Fuzzy FMEA With A Guided Rules Reduction System For Prioritization of Failures", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Cilt. 23, Sayı. 8, (1047-1066).
- Wang, Yimg-Ming, Kwai-Sang Chin, Gary-Ka-Kwai Poon, ve Jian-Bo Yang (2009), "Risk Evaluation in Failure Mode And Effects Analysis Using Fuzzy Weighted Geometric Mean", *Expert Systems With Application*, Cilt. 36, Sayı. 2, (1195-1207).
- Yalcin, Neşe, Ali Bayraktaroglu, ve Cengiz Kahraman (2012), "Application of Fuzzy Multicriteria Decision Making Methods For Financial Performance Evaluation of Turkish Manufacturing Industries", *Expert Systems With Application*, Cilt. 39, Sayı. 1, (350-364).

- Yıldız, Ayşe (2014), “Bulanık VIKOR Yöntemini Kullanarak Proje Seçim Sürecinin İncelenmesi”, *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt. 14, Sayı. 1, (115-128).
- Yücenur, G. Nilay ve Nihan Çetin Demirel (2012), “Group Decision Making Process For Insurance Company Selection Problem With Extended VIKOR Method Under Fuzzy Environment”, *Expert Systems With Applications*, Cilt. 39, Sayı. 3, (3702–3707).
- Zadeh, Lotfi A. (1965), “Fuzzy Sets”, *Information and Control*, Cilt. 8, (338-353).
- Zhang, Zaifang ve Xuening Chu (2011), “Risk Prioritization in Failure Mode and Effects Analysis Under Uncertainty”, *Expert Systems With Applicaiton*, Cilt. 38, (206-214).
- Zhou Qingji ve Vinh V. Thai (2016), “Fuzzy and Grey Theories in Failure Mode and Effect Analysis For Tanker Equipment Failure Prediction”, *Safety Science*, Cilt. 83, (74-79).