



HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK SWARA YÖNTEMİNİN KULLANIMI: OTOMOTİV SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ

Eda BEYLİHAN^{1*}, Sermin ELEVİLİ¹

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA),
Bulanık Mantık,
Bulanık HTEA,
Bulanık SWARA,
Bulanık Risk
Önceliklendirme.

Öz

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), işletmelerde oluşabilecek hataların önceden tespit edilerek, önlem alınmasını ve raporlanmasını sağlayan bir tekniktir. HTEA çalışmalarında belirlenen hataların her birine olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik değerleri atanmakta ve bu değerlerin çarpılmasıyla Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanmaktadır. Söz konusu hatalara yönelik önlem alınmasında hesaplanan RÖS değerlerinden faydalanılmaktadır. Bununla birlikte olasılık, şiddet ve tespit edilebilirliğe atanan değerlerin dilsel ifadeler karşılık gelen sayısal tablolardan alınması ve her bir risk faktörüne eşit önem verilmesi gibi yöntemde dönük bazı zayıflıklar bulunmaktadır. Son yıllarda bu zayıflıkların giderilmesinde birçok çalışmalar yapılmış olup, bulanık uzman odaklı yaklaşımlardan yararlanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın kalite ekibi ile birlikte seçilen bir ürün kapsamında yapılan HTEA çalışmasında risk faktörlerinin ağırlıklandırılmasında Bulanık SWARA yönteminden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre firmanın kalite ekibine yeni yöntemler entegre edilmiş HTEA çalışması ile birlikte, hangi hata nedeni ve türünün öncelikli olarak ele alınması ve çözülmesi gerektiği hakkında bilgilendirme yapılmıştır.

USE OF THE FUZZY SWARA METHOD IN FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS: CASE OF AUTOMOTIVE INDUSTRY

Keywords

Failure Mode Effects Analysis (FMEA),
Fuzzy Logic,
Fuzzy FMEA,
Fuzzy SWARA,
Fuzzy Risk Prioritization.

Abstract

Failure Mode Effects Analysis (FMEA) is a technique that enables the determination of the errors that may occur in the enterprises, taking precautions and reporting them. Probability, severity and detectability values are assigned to each of the errors identified in FMEA studies, and the Risk Priority Number (RPN) is calculated by multiplying these values. The calculated RPN values are used to take precautions against the said errors. However, there are some methodological weaknesses such as taking the values assigned to probability, severity and detectability from numerical tables corresponding to linguistic expressions and giving equal importance to each risk factor. In recent years, fuzzy expert-oriented approaches have begun to be used to overcome these weaknesses. In this study, the Fuzzy SWARA method was used to weight the risk factors in the FMEA study, which was carried out within the scope of a product selected together with the quality team of a company operating in the automotive sector. According to the results obtained, the company's quality team was informed about which error reason and type should be handled and resolved with priority, together with the FMEA study, which integrated new methods.

Alıntı / Cite

Beylihan, E. ve Eleveli, S. (2023), Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Swara Yönteminin Kullanımı: Otomotiv Sektörü Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 212-224.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Beylihan, 0000-0002-6163-1637
S. Eleveli, 0000-0002-7712-5536

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	09.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	09.12.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	12.12.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: eda.beylihan@omu.edu.tr, +90-362-457-5656

USE OF THE FUZZY SWARA METHOD IN FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS: CASE OF AUTOMOTIVE INDUSTRY

Eda Beylihan^{1†}, Sermin Elevli¹

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye

Highlights

- Integration of fuzzy logic into the Failure Mode and Effects Analysis(FMEA) study
 - Criterion weighting study to prevent equal weighting of risk factors
 - Use of fuzzy SWARA method in FMEA study
-

Purpose and Scope

In the traditional FMEA approach, risk priority numbers are used to classify error types. Equal importance is given to all of these priority numbers, decision makers are not allowed to be evaluated one by one, and approximate values are taken into account when expressing them numerically.

Design/methodology/approach

Within the scope of the study, linguistically risk factors were assigned by each decision maker in the FMEA team in order to solve the weaknesses of the traditional FMEA method. Then, each risk factor was weighted together with the Fuzzy SWARA method, which was developed within the scope of criterion weighting studies in order to prevent equal weighting of risk factors. It is predicted that more accurate ideas will be given to the producers about which error type should be solved first with the Fuzzy SWARA integrated Fuzzy FMEA method used in the application of the study.

Findings

Fuzzy FMEA RPN values integrated with the Fuzzy SWARA method, which was developed within the scope of the study, were revealed. With the improved RPN values calculated, the FMEA team can inform the company managers about which error cause and type should be handled and resolved first.

Originality

As can be seen in the literature review of the study, many methods were used in the weighting studies. However, there is no study conducted in the automotive industry integrated with the Fuzzy Swara method. In this context, it is seen as a study with high academic contribution.

[†] İlgili yazar / Corresponding author: eda.beylihan@omu.edu.tr, +90-362-457-5656

1. Giriş (Introduction)

Günümüz rekabet koşullarında işletmelerin temel amacı müşteri isteklerini karşılayabilecek ürün ve hizmetleri en karlı şekilde sunabilmektir. Müşterilerin düşük fiyatlı ve yüksek kaliteli ürün ya da hizmet taleplerini sağlamak isteyen işletmeler Toplam Kalite Yönetimi temelli üretim anlayışını benimsemek zorunda kalmaktadır. Bu anlayışın itici unsuru “sürekli iyileştirme” felsefesi olup, olası ve/veya var olan hataların ortadan kaldırılmasını ve her defasında daha iyiye ulaşmayı esas almaktadır.

Bir işletmedeki süreçlerde olası hataların tespit edilmesi ve giderilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden birisi Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)' dir. Hata oluşmadan veya müşteriye ulaşmadan önce engelleme prensibine dayandığından, önleyici bir tekniktir. HTEA yöntemi ilk olarak NASA tarafından 1963 yılında güvenlik gereksinimleri için kullanılmıştır. O zamandan bu yana özellikle havacılık, nükleer ve otomotiv endüstrilerinde ürünlerin ve süreçlerin emniyet ve güvenilirlik analizi için güçlü bir araç olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Gilchrist, 1993; O'Connor, 2009; Ebeling, 2000). HTEA' nın temel amacı; düzeltmenin nispeten kolay ve düşük maliyetli olduğu tasarım ve geliştirme aşamalarında ürün ya da süreçlerde ortaya çıkan/ çıkabilecek hataları müşteriye ulaşmadan önce önlemek, kaliteyi artırmak ve kalitesizlik kaynaklı başarısızlık maliyetlerini azaltmaktır. HTEA'da hata türleri aşağıda verilen formüle göre hesaplanan RÖS değerlerine göre sıralanmakta ve en yüksek önceliğe sahip hata türlerinden başlanmak üzere önlemler alınmakta ve iyileştirmeler yapılmaktadır.

$$\text{Risk Öncelik Sayısı (RÖS)} = \text{Olasılık} \times \text{Şiddet} \times \text{Tespit Edilebilirlik} \quad (1)$$

RÖS formülünde “Olasılık” hatanın gerçekleşme sıklığını, “Şiddet” hatanın müşteri üzerindeki etkisini ve “Tespit Edilebilirlik” ise hatanın müşteriye ulaşmadan saptanma seviyesini göstermektedir. Bu değerlerin her biri uzmanların görüşü ile 1-10 arasında değerler almaktadır.

Günümüzde işletmelerde yaygın şekilde kullanılan HTEA yaklaşımı birçok problemin önceden tanımlanmasına ve önlenmesine yardımcı olan bir araçtır. HTEA çalışmaları ve sanayi uygulamaları yaygınlaştıkça elde edilen sonuçlar HTEA'nın gerçek uygulamalarda ve sonuçların değerlendirilmesinde bazı zayıflıklarının olduğunu ortaya çıkarmıştır (Wu ve Wu,2021). Son yıllarda belirlenen bu kısıtlamaların aşılmasına ilişkin çalışmalar artma eğilimi göstermektedir. Yapılan çalışmalarda belirtilen en önemli kısıtlamalar aşağıda sıralanmıştır.

- Farklı hata durumları için hesaplanan RÖS değerlerinde aynı değeri alan birçok sonuç söz konusu olmaktadır. Böyle bir durumda bu hataların etkileri (olasılık, şiddet, tespit edilebilirlik) farklı olsa da aynı sıralamada değerlendirilmektedir. Bu gibi durumlarda yüksek şiddetli olan hatanın göz ardı edilme durumu ortaya çıkabilmektedir (Pillay ve Wang, 2003). Farklı RÖS değerlerini elde edebilmek için hatanın etkilerine farklı ağırlıklar verilmesi gerekmektedir. Ancak geleneksel yöntemde her bir etkinin ağırlığı aynı olarak dikkate alınmaktadır (Tay ve Lim, 2006).
- Risk faktörlerinin değerleri önceden hazırlanmış tablolara göre sınırlandırılmaktadır. Ancak gerçek hayatta bu derecelendirmeleri belirlemek ve kesin sayısal değerler vermek her zaman mümkün olamamaktadır.
- RÖS hesaplanmasında uzman kişilerin görüşleri ele alınmakta ve sonuçlar kişinin uzmanlık deneyimine göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu şekilde HTEA ekibine dahil olan uzman kişilerin bilgi ve deneyim farklılıkları da HTEA'nın sonucunu etkileyen önemli faktörlerdendir. Geleneksel yöntemde karar vericilerin ortak değerlendirmeleri dikkate alınmak olup ayrı ayrı her bir risk faktörü için değerlendirmeleri bulunmamaktadır.

Bulanık mantık ve çok kriterli karar vermede kullanılan kriter ağırlıklandırma yöntemleri bu kısıtlamaları gidermekte yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar geleneksel HTEA'nın yukarıda verilen kısıtlamaları aşağıda sıralandığı şekilde geliştirilerek elimine edilmiştir:

- RÖS hesaplaması yapılırken şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik değerlerine her zaman sayısal değerler vermek mümkün olamamaktadır. Bu anlamda verilecek değerler sürece göre değişkenlik göstererek, aralık şeklinde belirtilebilmektedir. Geleneksel HTEA analizinde kullanılan birçok kesin sayısal ifadenin yerine dilsel ifadelerle çalışılması hem daha gerçekçi hem de daha kolay olmaktadır. Geleneksel HTEA' da bilgi yetersizliğinden dolayı çözüm yapmakta zorlanılırken, bulanık mantık yaklaşımı ile bilginin yetersiz olması durumunda bile kolay çözümler sağlanabilmektedir. Bulanık HTEA yaklaşımı risklerin değerlendirilmesinde işletmelere kesin veriler değil de, daha dilsel verilerle işlem yapma kolaylığı sağlamaktadır. Risk faktörlerini kesin tablolardaki değerlere göre değil “az”, “çok” veya “çok yüksek” gibi dilsel terimlerle ifade etmek sistemi daha gerçekçi olarak ifade etmeye yaramaktadır (Xu ve Tang, 2002). Hem sayısal veriler hem de kesin olarak ifade edilemeyen dilsel veriler bir arada kullanılabilir (Sharma, 2005).

- HTEA uygulaması yapılırken hesaplamalarda uzman kişilerin ortak değerlendirmeleri değil, her bir uzmanın risk öncelik katsayısının hesaplanmasında kullanılan şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik değerlerine ayrı ayrı dilsel ifadelerle değerlendirme yapılabilmesi mümkün kılınmıştır. Böylece HTEA ekibindeki her bir uzmanın deneyim ve uzmanlık alanları hesaplamalarda etkili olmakta, çalışma sonuçlarının daha gerçekçi boyuta ulaşmasına yardımcı olmaktadır.
- Farklı hata durumları için aynı RÖS değerleri olması durumunda hata etkilerinin de dikkate alınması için her bir risk faktörüne farklı ağırlıklandırmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında bu konu detaylı olarak ele alınmış ve literatür atıfları da verilmiştir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Bulanık mantık yaklaşımı ile HTEA'nın entegre edilmesi ve ağırlıklandırma çalışmaları 1990'lı yıllara dayanmakla birlikte konuyla ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde çoğunun 2000'li yıllarda gerçekleştirildiği görülmektedir. Tablo 1.'de HTEA kapsamında yapılan bu entegre çalışmalar ve kullanılan yöntemler verilmiştir.

Tablo 1. Literatür taraması (Literature survey)

Yazar	Başlık	Kullanılan Yöntem	Kullanılan Üyelik Fonksiyonu
Braglia, Frosolini ve Montanari (2003)	Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık TOPSİS Uygulaması	Bulanık TOPSİS	Üçgensel Bulanık Sayı
Song ve ark. (2013)	Entegre ağırlık tabanlı bulanık TOPSİS kullanarak hata modu ve etkileri analizi	Bulanık TOPSİS	Üçgensel Bulanık Sayı
Liu ve ark. (2014)	Kombinasyon Ağırlıklandırma ve Bulanık VİKOR Yöntemini Kullanarak Hata Modu ve Etki Analizi İçin Yeni Bir Yaklaşım	Bulanık AHP ve Bulanık VİKOR	Üçgensel Bulanık Sayı
Tabaraee ve ark. (2017)	Bulanık PROMETHEE Yöntemi Kullanılarak Yatırım Projelerinin Önceliklendirilmesi İçin Santrallerin Değerlendirilmesi	Bulanık PROMETHEE ve TOPSİS	Üçgensel ve Trapezoidal Bulanık Sayı
Ghorabae ve ark. (2018)	Sürdürülebilirlik Hususları İle İnşaat Ekipmanlarının Değerlendirilmesi İçin Yeni Bir Hibrit Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı	Bulanık SWARA, CRITIC	Üçgensel Bulanık Sayı
Zarbakshshnia ve ark. (2018)	Bulanık SWARA Kullanılarak Sürdürülebilir Üçüncü Taraf Tersine Lojistik Sağlayıcı Değerlendirmesi ve Seçimi ve Geliştirilmiş Bulanık COPRAS ile Risk Kriterlerinin Varlığının Tespiti	Bulanık SWARA ve Bulanık COPRAS	Üçgensel Bulanık Sayı
Akcan ve Taş (2019)	Ekolojik Risk Faktörlerini Azaltmak İçin SWARA-TOPSİS Entegre Yöntemiyle Yeşil Tedarikçi Değerlendirmesi	Entegre SWARA ve TOPSİS	-
Koulinas ve ark. (2019)	Bulanık Analitik Hiyerarşi Sürecini ve Nicel Bir Tekniği Kullanarak Şantiyelerde Risk Analizi ve Değerlendirmesi - Yunan İnşaat Sektörü İçin Bir Vaka Çalışması	Bulanık Genişletilmiş Analitik Hiyerarşi Yöntemi	Üçgensel Bulanık Sayı
Liu (2019)	Bulut Modeli ve PROMETHEE Yöntemi Kullanılarak HTEA Çalışması ve Acil Servis Uygulanması	PROMETHEE	-
Mete ve ark. (2019)	Bir Doğal Gaz Boru Hattı İnşaatının Mesleki Risk Değerlendirmesi İçin Pisagor Bulanık VİKOR'a Dayalı Bir Karar Destek Sistemi	Pisagor Bulanık VİKOR	Pisagor Bulanık Sayı
Zhang ve ark. (2019)	Jeotermal Enerji Santralindeki Ekipman Arızaları İçin Genişletilmiş Bir PROMETHEE-II Tabanlı Risk Önceliklendirme Yöntemi	PROMETHEE-II	-
Bhalaji ve ark. (2020)	Yeşil Üretimdeki Risk Faktörlerini Analiz Etmek İçin Bir Bulanık PROMETHEE Çalışması	PROMETHEE ve Pişmanlık Teorisi (Regret Theory)	Üçgensel Bulanık Sayı
Ghandi ve Roozbahani (2020)	Bulanık PROMETHEE Tekniği Kullanılarak Kritik Koşullarda İçme Suyu Temininin Risk Yönetimi	Bulanık PROMETHEE	Üçgensel Bulanık Sayı
Jafarzadeh Ghouschi ve ark. (2020)	Güneş Paneli Sistemlerindeki Arızaların Önceliklendirilmesi İçin SWARA ve GİA Yöntemlerine Dayalı Entegre Karar Verme Yaklaşımı	SWARA ve Gri İlişki Analizi	Üçgensel Bulanık Sayı

Khalilzadeh ve ark. (2020)	Sağlık ve Güvenlik Yönetici Riskleri İçin Doğrusal Programlama Yaklaşımıyla Bütünleşen Hibrit Bulanık ÇKKV ve HTEA: Bir Vaka Çalışması	Bulanık SWARA, PROMETHEE	Üçgensel Bulanık Sayı
Rezaee ve ark. (2020)	Dilsel FMEA ve Bulanık Çıkarım Sistemi Bütünleştiren Kimya Endüstrisinde Sağlık, Güvenlik ve Çevre Risk Analizi	Bulanık PROMETHEE	Üçgensel Bulanık Sayı
Zhu ve ark. (2020)	Dilsel Nötrozofik Bağlamda Pişmanlık Teorisi ve PROMETHEE Kullanılarak Hata Türü ve Etki Analizi	Bulanık PROMETHEE ve Pişmanlık Teorisi	Üçgensel Bulanık Sayı
Poyraz (2021)	Tedarik zinciri risk yönetiminde süreç aşamalı bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile hata analizi	Bulanık SWARA ve COPRAS	Üçgensel Bulanık Sayı

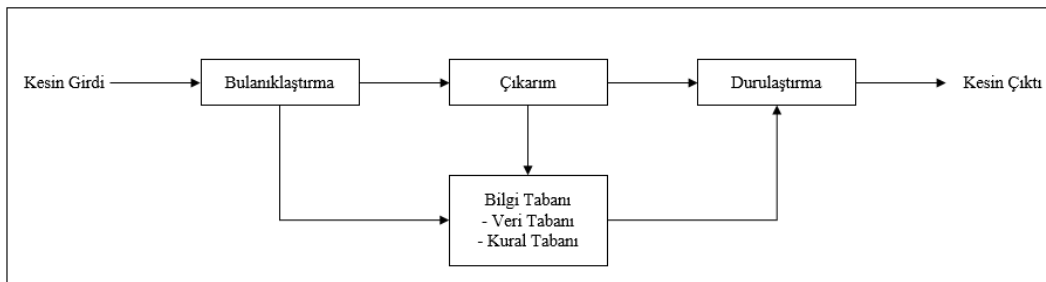
Yapılan literatür çalışmasında da görüleceği üzere HTEA'nın kısıtlamalarına yönelik özellikle son yıllarda birçok çalışma yapılmış ve özellikle bulanık uygulama ve çok kriterli karar verme tekniklerinden faydalanılmıştır. Çalışmaların bir bölümünde birden fazla yöntem kullanılmış ve karşılaştırılmışken, bir kısmında tek yöntem üzerinde uygulama sonuçları tartışılmıştır. Bu makale kapsamında da HTEA'nın ilk bölümde belirtilen kısıtlamalarına çözüm sağlayabilmek amacıyla karar vericilerin görüşlerini daha iyi yansıtan ve her bir risk faktörünün dikkate alındığı Bulanık Swara-HTEA entegre modeli önerilmiştir. Tablo 1.'de de görüleceği üzere bu alanda yapılan birçok çalışma mevcut olup, otomotiv sektöründe Bulanık Swara yönteminin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çalışma kapsamında Bulanık Swara yönteminin kullanılması sebebinin ilki, Swara yönteminin uzman odaklı yöntem şeklinde tanımlanmasıdır. İkincisi Swara yöntemi, direkt olarak kriterler ve kriterlerin öncelikleri için karar verebildiğinden kriter ağırlıklarının bilindiği problemlerde de kullanılabilir. HTEA kapsamında her bir risk faktörüne ait ağırlığın önceden karar vericiler tarafından verilebilmesi tercih sebebi olmuştur. Özellikle otomotiv sektöründe sıfır hata stratejisi kapsamında, hataların önceden tespiti ve önlenmesi temelli HTEA çalışmalarının önemi yadsınamazdır. Bu bağlamda yapılan bu makale ile birlikte otomotiv sektörü alanında bir ilk olarak Bulanık Swara yöntemi entegreli HTEA uygulaması gerçekleştirilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışma kapsamında otomotiv yan sanayii sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın en çok üretilen ürünlerinden biri olan moleküler burçların müşteri şikayeti verileri için beş farklı karar vericinin her bir risk faktörüne ilişkin değerlendirmeleri alınmak suretiyle Bulanık HTEA çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında her bir hata türüne ilişkin Bulanık SWARA yöntemi ile risk faktörlerinin ağırlıklandırılması yapılmış ve hem Bulanık HTEA hem de Bulanık SWARA ile entegre bir çalışma oluşturulmuştur.

3.1. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Günümüzde problemlerin çözümünde birçok farklı yöntem kullanılmakta iken, bu yöntemlerin bazıları sayısal bilgiler ile çözüm üretirken bazıları ise sözel bilgiler ile çözüm üretmektedir. İşletmelerde problemlerin kesin rakamlarla ifade edilmesi her durumda mümkün olmamakta ve belirsiz-kesin olmayan bilgiler bulunmaktadır. Bulanık mantık birçok problemde olan belirsizlikleri matematiksel olarak modelleyen ve çözüm sağlamak için araçlar geliştiren metodoloji olarak tanımlanmaktadır (Chen ve ark., 2008). Bulanık mantık kavramındaki sözcüklerde "bulanık" tanımlaması ilk defa Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmış olup, belirsiz ve kesin olmayan anlamında kullanılmıştır. "Mantık" tanımlaması ise düşünmek, çıkarımlar yapmak anlamında kullanılmıştır (Baykal ve Beyan, 2004). Bulanık mantığın temel amacı herhangi bir problemde tam ve kesin olmayan bilgiler olduğunda, geliştirdiği yöntemlerle işletmelere tam ve kesin bilgiler sağlayabilmektir. Bir bulanık sistemin genel adımları Şekil 1'de verilmekte olup her bir adım aşağıda sırayla açıklanmaktadır.

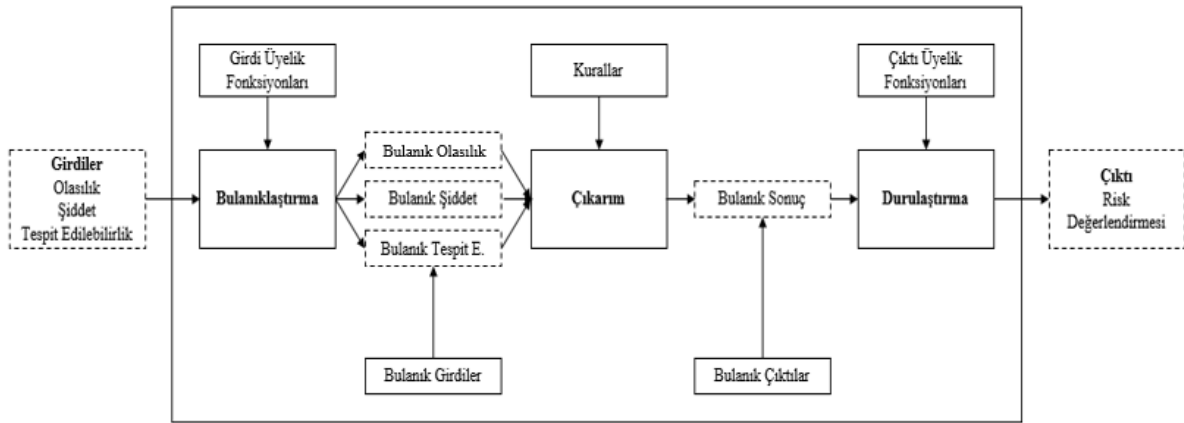


Şekil 1. Bulanık sistemin adımları (Steps of fuzzy system) (Pillay ve Wang, 2003)

- **Bulanıklaştırma:** Bir sistemden alınan kesin bilgilerin dilsel bilgilere dönüştürülmesi adıdır. Bu süreçte ilk olarak girilen bilgilerin alabileceği değer aralıkları belirlenir. Sonrasında ise bu değer aralıklarından oluşan sistem uzayında girilen veriler dilsel değişkenlere dönüştürülerek bir diğer adıma aktarılmak üzere bulanık veriler hazırlanmış olur.
- **Çıkarımlar (Kural Tabanı):** Kesin veriler bulanıklaştırıldıktan sonra sistemin yapısına uygun kural tabanı belirlenmelidir. Bu kural tabanında ise “eğer - o halde” olarak ifade edilen durumları sürekli bir fonksiyon olarak belirleyen cümleler kullanılmaktadır (Ross, 1995; Terano ve ark., 1987; Zimmermann, 1996). Bulanık çıkarım mekanizmaları Zadeh tarafından önerilen bileşimsel kurallara dayanmaktadır. Bu kurallar yardımıyla girdi değişkenlerinden ve kurallardan oluşan bir çıktı bulanık kümesi elde edilir. Bulanık mantık yaklaşımlarında en çok kullanılan yöntemler Mamdani çıkarımı (max-min veya min-max) ve Takagi-Sugeno çıkarımıdır.
- **Durulaştırma:** Önceki adımlarda bulanıklaştırılan verilerin kesin değerlere çevrilmesi işlemidir. Bunun nedeni işletmelerde ve gerçek sistemlerde verilerin kullanılabilmesi için kesin değerlerin olması gereklidir.

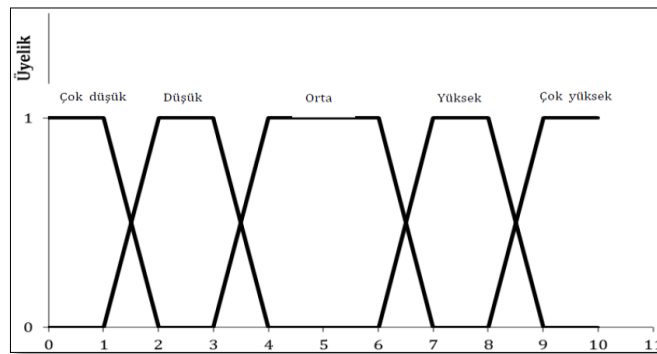
3.2. Bulanık HTEA Metodolojisi (Fuzzy FMEA Methodology)

Bulanık HTEA çalışmaları Şekil 2’ de gösterilen adımlarla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2. Bulanık HTEA metodolojisi adımları (Fuzzy FMEA methodology steps) (Pillay ve Wang, 2003)

Bulanık HTEA’ nın geleneksel HTEA’ dan farklı yanı girdilerin bulanıklaştırılarak çözüme alınmasıdır. İlk adımda hatalara ait verilerin sayısal olarak ifade edilmesi zorluğundan kaynaklı bulanık mantık yardımıyla her faktöre ilişkin bulanık fonksiyonları tanımlanmaktadır. Sonrasında ise oluşturulan kural tabanları ile tek tek çıkarımlar yapılarak bulanık sonuçlar elde edilmektedir. Son adım olarak da bulanıklaştırılan veriler kesin sayısal sonuçlara çevrilmekte ve çıktı olarak verilmektedir. Bulanık HTEA’ nın ilk adımı olan verilerin bulanıklaştırılmasında Şekil 3’ de verilen grafiksel üyelik fonksiyon tanımlamaları kullanılmaktadır.



Şekil 3. Bulanık mantık yapısında üyelik fonksiyon tanımlamaları (Membership function definitions in fuzzy logic structure) (Klir ve Yuan, 1995)

Buradaki üyelik fonksiyon tanımlamalarının Bulanık HTEA’ daki olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik kavramlarına karşılığı Tablo 2’de gösterilmiştir (Klir ve Yuan, 1995).

Tablo 2. Bulanık üyelik fonksiyonlarının dilsel ifadelerinin anlamları
(Meanings of linguistic expressions of fuzzy membership functions)

Tanımlayıcı terim	Puan	Hata Olasılığı	Şiddet	Tespit Edilebilirlik
Çok düşük	1	Bu hataların bir kez gözlemlenmesi pek olası değildir.	Sistem performansı üzerinde bir etkisi olmayan bir arıza.	Başarısızlığın gözlemlenmesi fark edildiği durumdur.
Düşük	2 - 3	Muhtemelen bir kez gerçekleşir ancak daha sık meydana gelmez.	Operatöre biraz rahatsızlık verecek bir arıza, ancak bunun sebep olacağı bir arıza.	Muayene veya test gerçekleştirilene kadar arıza tespit edilmemiştir.
Orta	4 - 6	Birden fazla gerçekleşmesi muhtemel.	Yüksek derecede kullanıcı memnuniyetsizliğine neden olan bir arıza.	Arıza, sistem performansı etkilenene kadar fark edilmeden kalır.
Yüksek	7 - 8	En az bir kez gerçekleşmesi kesin.	Sistem performansının bozulmasına veya düşmesine neden olan bir arıza.	Sistem performansı ciddi olarak azalana kadar hata tespit edilmemiştir.
Çok yüksek	9 - 10	Birkaç kez gerçekleşmesi kesin.	Ciddi yaralanmalara ve ölüme neden olan ciddi bir durum.	Sistem performansı tamamen bozulana kadar hata tespit edilmemiştir.

Bu tanımlamalardan da görüleceği üzere temel olarak geleneksel HTEA ve Bulanık HTEA arasında değerlendirmelerde sayısal ifadelerle değil de, sözel ifadelerin girdi olarak alınarak sonrasında sayısal olasılıklara dönüştürülmesi farkı mevcuttur.

Hata türlerinin sıralanması için kullanılan bu dilsel değişkenlere Liu ve ark. (2014) üçgensel bulanık sayı değerleri vermiştir (Tablo 3). Literatürde birçok araştırmacı bu üçgensel bulanık sayı değerleri ile birlikte hata türlerinin dilsel değişkenlerine değerler atamıştır (Sharma,2005).

Tablo 3. Hata türlerinin sıralanmasında dilsel değişkenler (Linguistic variables in ordering error types)

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)

Yapılan bulanıklaştırma işleminden sonraki adım verilerin bir çıkarım-kural sistematiği ile incelenmesi adımdır. Bu adımda geleneksel HTEA yönteminde olduğu üzere verilen dilsel değişkenler her biri kendi grubunda olmak üzere çarpım işlemine tabii tutulmaktadır. Bu aşamada oluşturulan yeni RÖS değerleri bulanık veri kümesi şeklindedir. Bu aşamayı verilerin durulaştırılarak kesin değerlere dönüştürülmesi adımı takip etmektedir. Literatürde en çok incelenen yöntem Opricovic (2011) tarafından öngörülen VIKOR yaklaşımıdır. VIKOR yöntemi çok kriterli sistemlerin en iyilenmesinde kullanılan ve sistemdeki karar verici mekanizmaya yardımcı olan çözümler üreten bir yöntem olup, Chu ve ark. (2007)'e göre ideal çözüme en yakın çözümü vermektedir. Bu yöntemde bulanık \tilde{a} değeri a_1 , a_2 ve a_3 değerlerinden oluşmakta iken; bu değeri kesinleştirmede aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$\tilde{a} = \frac{a_1 + 4a_2 + a_3}{6} \quad (2)$$

Oluşturulan bu kural sistematiği ile tüm değerlerle veriler kesin sayılara dönüştürülmekte ve sisteme dahil edilmektedir.

3.3. Bulanık SWARA (Fuzzy SWARA)

Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi (Step Wise Weight Assessment Ratio Analysis) kelimesinin İngilizce baş harflerinden oluşan SWARA Yöntemi, ilk olarak Kersulienne, Zavadskas ve Turskis tarafından 2010 yılında geliştirilmiş bir ağırlıklandırma yöntemidir. Yöntemin temel özelliği kriter ağırlıklarını oluştururken karar vericilerin görüşlerini temel almasıdır. Bu yöntem diğer kriter ağırlıklandırma yöntemlerine göre daha az sayıda ikili karşılaştırma yapması sebebiyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Yöntemin sağladığı bir diğer avantaj ise Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi gibi 1-9 ölçeği kullanmasına gerek duyulmadan karar vericiye rahatlıkla değerlendirme yapabildiği imkanı sunmasıdır (Stanujkic ve arkadaşları, 2015).

Bulanık SWARA yöntemi ise kriterleri değerlendirirken kesin ifadeler kullanmak yerine bulanık sayıların kullanılmasını temel alan geliştirilmiş bir yöntemdir. Bulanık mantık ile entegre edilmiş Bulanık SWARA yöntemi, karar vericilerin değerlendirme sürecini daha verimli ve gerçekçi şekilde sürdürmesine imkan vermektedir.

Bulanık SWARA yönteminin adımlarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Sumrit, 2020):

1. Karar problemi tarafından belirlenmiş olan her bir değerlendirme kriteri "j" karar vericiler tarafından önem düzeylerine göre (En yüksek önem düzeyinden en düşük önem düzeyine doğru) sıralanmaktadır.
2. Tablo 3'de belirtilen dilsel değişkenler kullanılarak "j" kriterinin kendisinden daha yüksek önem düzeyine sahip "j-1" kriterine göre kıyaslaması yapılarak "görelî önem düzeyleri" hesaplanır. Bu değer "S_j" olarak ifade edilir.

$$(S_j = S_j^l, S_j^m, S_j^u) \quad (l=\text{lower}, m=\text{middle}, u=\text{upper}) \quad (3)$$

3. Tüm kriterler için "C_j" olarak ifade edilen katsayı değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$C_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ S_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad (C_j = C_j^l, C_j^m, C_j^u) \quad (4)$$

4. Tüm kriterler için "ara ağırlık değeri" ya da "önem vektörü" olarak ifade edilen "Q_j" değeri aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$Q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{Q_{j-1}}{C_j} & j > 1 \end{cases} \quad (Q_j = Q_j^l, Q_j^m, Q_j^u) \quad (5)$$

5. Her bir kriter için "görelî önem ağırlığı" ya da olarak ifade edilen " \bar{W}_j " değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\bar{W}_j = \frac{Q_j}{\sum_{k=1}^n Q_k} \quad (6)$$

Beşinci adımdaki \bar{W}_j değeri j. inci kriterin bulanık ifade ile önemini göstermektedir.

6. Son adımda tüm kriterler için hesaplanan ağırlık değerleri Kiani ve arkadaşları (2017) tarafından da kullanılmış olan aşağıdaki eşitlikle durulaştırılmaktadır.

$$W_j = \frac{(w_j^u - w_j^l) + (w_j^m - w_j^l)}{3} + (w_j^l) \quad (7)$$

Hesaplamalar yapılırken bulanık mantık kapsamında tüm ifadeler üçgensel bulanık sayılar ile $l1 \leq m1 \leq u1$ olacak şekilde A1= (l1, m1, u1) şeklinde gösterilmektedir.

4. Uygulama (Implementation)

Çalışmanın uygulama kısmı Samsun'da faaliyet gösteren Otomotiv Yan Sanayii Sektöründe faaliyet gösteren bir firma için yapılmıştır. Firma 1994 yılından bu yana birçok ağır vasıta, çekici ve dorse markalarının yedek parça ihtiyacını sağlamaktadır. 80.000 m²'lik entegre fabrika kampüsü ile hizmetlerine devam eden firmada yaklaşık 15.000 çeşit ürün üretimi yapılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında firmanın en çok üretilen kalemlerinden birisi olan moleküler burçlarla ilgili müşteri şikayetlerine yönelik Bulanık SWARA ile bütünleşik Bulanık HTEA uygulaması gerçekleştirilmiştir. Müşteri şikayetleri "Hamur Üretimindeki Uygunuzluk (HT1)", "Kauçuk-Metal Birlikteliğinin Sağlanamaması (HT2)", "Kullanım Kolaylığı Sağlanmaması (HT3)" ve "Montaj Prosesi Hatası (HT4)" olmak üzere 4 hata türüne işaret etmiş ve bu hata türleri için 18 adet hata nedenleri belirlenmiştir. Özellikle prosesin işlem basamaklarında yer alan üretim şefleri ve kalite sorumlularından yer alan, 5 farklı alanında uzman Karar Vericiden(KV) oluşan HTEA ekibi tarafından moleküler burçla ilgili tespit edilen hata nedenleri için şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik değerleri bulanık ifadelerle oluşturulmuş ve Tablo 4'deki gibi sunulmuştur.

Karar vericilerin tanımlamalarının ardından Bulanık HTEA kapsamında her bir risk faktörü için görelî değerler hesaplanmış ve bulanık çalışmanın son adımı olan durulaştırma işlemi yapılmıştır. Böylece 5 farklı karar vericinin dilsel olarak değerlendirmeleri kapsamında Bulanık HTEA tablosu Tablo 5'deki gibi oluşturulmuştur.

Oluşturulan Bulanık HTEA değerlerinde her bir risk faktörü için ağırlıklandırma işlemi adımı Bulanık SWARA ile entegre edilerek geleneksel yöntemin eşit kriter ağırlığı zayıflığı ortadan kaldırılmıştır. Bulanık SWARA ile birlikte her bir hata nedeni için risk faktörlerine ait ağırlık değerleri Tablo 6'daki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4. Hata nedenlerinin şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik değerleri
(Severity, probability and detectability values of error causes)

Hata Türleri	Hata Nedenleri	Şiddet					Olasılık					Tespit Edilebilirlik				
		KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
Hamur Üretimindeki Uygunsuzluk (HT1)	Vulkanizasyon Süresi Yönetilememesi (HN1)	O	O	ÇY	ÇY	Y	D	D	O	D	D	D	O	O	D	D
	Hamurun Dinamik Akışkanlık Değeri Sağlanamaması (HN2)	D	D	O	D	D	O	O	O	O	O	D	D	D	D	D
	Hamurun Elastik Akışkanlık Değeri Sağlanamaması (HN3)	O	O	D	D	D	O	O	D	O	O	D	D	D	ÇD	D
	Hamurun Mooney Değeri Sağlanamaması (HN4)	O	D	O	D	D	O	O	D	O	ÇD	D	D	D	D	D
Kauçuk-Metal Birlikteliğinin Sağlanmaması (HT2)	Boya Kalınlığının Az Olması (HN5)	Y	ÇY	O	Y	Y	O	D	D	O	D	O	D	D	O	D
	Yetersiz Kum Miktarı (HN6)	Y	Y	Y	Y	Y	D	D	O	Y	D	D	O	O	D	D
	Hatalı Kumlama Süresi (HN7)	Y	ÇY	O	Y	Y	D	D	D	D	D	D	D	D	ÇY	O
	Viskozite Uygunsuzluğu (HN8)	Y	Y	O	ÇY	Y	D	O	O	D	D	D	D	O	D	D
	Yetersiz Solvent Miktarı (HN9)	Y	Y	Y	ÇY	O	Y	O	O	D	D	D	D	O	Y	ÇD
	Solvent Sıcaklığının Fazla Olması (HN10)	O	Y	Y	Y	Y	O	O	Y	Y	D	D	D	O	D	D
Kullanım Kolaylığı Sağlanmaması (HT3)	Bilezik Talashi İmalat Personel Hatası (HN11)	O	O	O	O	O	O	D	O	D	D	D	Y	O	Y	O
	Bilezik Talashi İmalat Makine Hatası (HN12)	O	D	Y	D	O	O	D	D	D	D	D	Y	ÇY	Y	ÇD
	Tedarikçi Uygunsuz Ürün Gönderimi (HN13)	ÇD	D	Y	O	O	D	D	D	D	O	O	Y	ÇD	O	O
	Kalıp İçi Dizilim Hatası (HN14)	O	O	O	O	D	D	O	D	O	O	Y	ÇD	D	O	O
Montaj Prosesi Hataları (HT4)	GKK'dan Yanlış Segman Kabulü (HN15)	ÇY	Y	Y	Y	Y	D	D	O	O	D	D	O	O	D	
	Burç Talashi İmalat Personel Hatası (HN16)	O	O	Y	O	D	O	D	O	D	D	D	D	D	D	O
	Burç Talashi İmalat Makine Hatası (HN17)	O	O	O	D	D	D	D	Y	D	D	O	O	D	D	Y
	Proses Parametrelerinin Hatalı Olması (HN18)	D	O	O	D	O	O	D	D	Y	O	D	D	O	O	O

Tablo 5. Bulanık HTEA (fuzzy FMEA)

Hata Nedenleri	Görel Değerler									Durulaştırılmış Değerler		
	Şiddet			Olasılık			Tespit Edilebilirlik			Şiddet	Olasılık	Tespit Edilebilirlik
HN1	5,0	7,0	8,6	1,4	3,4	5,4	1,8	3,8	5,8	6,93	3,40	3,80
HN2	1,4	3,4	5,4	3,0	5,0	7,0	1,0	3,0	5,0	3,40	5,00	3,00
HN3	1,8	3,8	5,8	2,6	4,6	6,6	0,8	2,6	4,6	3,80	4,60	2,63
HN4	1,8	3,8	5,8	2,0	3,8	5,8	1,0	3,0	5,0	3,80	3,83	3,00
HN5	5,0	7,0	8,8	1,8	3,8	5,8	1,8	3,8	5,8	6,97	3,80	3,80
HN6	5,0	7,0	9,0	2,2	4,2	6,2	1,8	3,8	5,8	7,00	4,20	3,80
HN7	5,0	7,0	8,8	1,0	3,0	5,0	2,6	4,6	6,4	6,97	3,00	4,57
HN8	5,0	7,0	8,8	1,8	3,8	5,8	1,4	3,4	5,4	6,97	3,80	3,40
HN9	5,0	7,0	8,8	2,6	4,6	6,6	2,0	3,8	5,8	6,97	4,60	3,83
HN10	4,6	6,6	8,6	3,4	5,4	7,4	1,4	3,4	5,4	6,60	5,40	3,40
HN11	3,0	5,0	7,0	1,8	3,8	5,8	3,4	5,4	7,4	5,00	3,80	5,40
HN12	2,6	4,6	6,6	1,4	3,4	5,4	3,6	5,4	7,2	4,60	3,40	5,40
HN13	2,4	4,2	6,2	1,4	3,4	5,4	2,8	4,6	6,6	4,23	3,40	4,63
HN14	2,6	4,6	6,6	2,2	4,2	6,2	2,4	4,2	6,2	4,60	4,20	4,23
HN15	5,4	7,4	9,2	1,8	3,8	5,8	1,8	3,8	5,8	7,37	3,80	3,80
HN16	3,0	5,0	7,0	1,8	3,8	5,8	1,4	3,4	5,4	5,00	3,80	3,40
HN17	2,2	4,2	6,2	1,8	3,8	5,8	2,6	4,6	6,6	4,20	3,80	4,60
HN18	2,2	4,2	6,2	2,6	4,6	6,6	2,2	4,2	6,2	4,20	4,60	4,20

Tablo 6. Bulanık SWARA (Fuzzy SWARA)

Hata Nedeni	Risk Faktörü	Görelî			Sj			Cj			Qj			W'j			Wj
HN1	Ş	5,0	7,0	8,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,71	0,71	0,69	0,70
	T	1,8	3,8	5,8	3,2	3,2	2,8	4,2	4,2	3,8	0,24	0,24	0,26	0,17	0,17	0,18	0,17
	O	1,4	3,4	5,4	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,17	0,17	0,19	0,12	0,12	0,13	0,12
HN2	O	3,0	5,0	7,0				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,6	0,6	0,60
	Ş	1,4	3,4	5,4	1,6	1,6	1,6	2,6	2,6	2,6	0,4	0,4	0,4	0,23	0,23	0,23	0,23
	T	1,0	3,0	5,0	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,27	0,27	0,27	0,17	0,17	0,17	0,17
HN3	O	2,6	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,55	0,55	0,55	0,55
	Ş	1,8	3,8	5,8	0,8	0,8	0,8	1,8	1,8	1,8	0,6	0,6	0,6	0,3	0,31	0,31	0,31
	T	0,8	2,6	4,6	1	1,2	1,2	2	2,2	2,2	0,28	0,25	0,25	0,15	0,14	0,14	0,14
HN4	O	2,0	3,8	5,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,44	0,39	0,39	0,41
	Ş	1,8	3,8	5,8	0,2	0	0	1,2	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	0,36	0,39	0,39	0,38
	T	1,0	3,0	5,0	0,8	0,8	0,8	1,8	1,8	1,8	0,46	0,56	0,56	0,2	0,22	0,22	0,21
HN5	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,67
	O	1,8	3,8	5,8	3,2	3,2	3,0	4,2	4,2	4,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,16
	T	1,8	3,8	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,17
HN6	Ş	5,0	7,0	9,0				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,69
	O	2,2	4,2	6,2	2,8	2,8	2,8	3,8	3,8	3,8	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,18
	T	1,8	3,8	5,8	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,13
HN7	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,71
	T	2,6	4,6	6,4	2,4	2,4	2,4	3,4	3,4	3,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,21
	O	1,0	3,0	5,0	1,6	1,6	1,4	2,6	2,6	2,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08
HN8	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,71	0,71	0,7	0,71
	O	1,8	3,8	5,8	3,2	3,2	3,0	4,2	4,2	4,0	0,24	0,24	0,25	0,17	0,17	0,18	0,17
	T	1,4	3,4	5,4	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,17	0,17	0,18	0,12	0,12	0,13	0,12
HN9	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,68	0,69	0,67	0,68
	O	2,6	4,6	6,6	2,4	2,4	2,2	3,4	3,4	3,2	0,29	0,29	0,31	0,2	0,2	0,21	0,20
	T	2,0	3,8	5,8	0,6	0,8	0,8	1,6	1,8	1,8	0,18	0,16	0,17	0,12	0,11	0,12	0,12
HN10	Ş	4,6	6,6	8,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,62	0,62	0,62	0,62
	O	3,4	5,4	7,4	1,2	1,2	1,2	2,2	2,2	2,2	0,45	0,45	0,45	0,28	0,28	0,28	0,28
	T	1,4	3,4	5,4	2	2	2	3	3	3	0,15	0,15	0,15	0,09	0,09	0,09	0,09
HN11	T	3,4	5,4	7,4				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,49	0,49	0,49	0,49
	Ş	3,0	5,0	7,0	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,35	0,35	0,35	0,35
	O	1,8	3,8	5,8	1,2	1,2	1,2	2,2	2,2	2,2	0,32	0,32	0,32	0,16	0,16	0,16	0,16
HN12	T	3,6	5,4	7,2				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,58	0,55	0,52	0,55
	Ş	2,6	4,6	6,6	1	0,8	0,6	2,0	1,8	1,6	0,5	0,6	0,6	0,29	0,31	0,33	0,31
	O	1,4	3,4	5,4	1,2	1,2	1,2	2,2	2,2	2,2	0,23	0,25	0,28	0,13	0,14	0,15	0,14
HN13	T	2,8	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,48	0,47	0,47	0,48
	Ş	2,4	4,2	6,2	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,34	0,34	0,34	0,34
	O	1,4	3,4	5,4	1	0,8	0,8	2	1,8	1,8	0,36	0,4	0,4	0,17	0,19	0,19	0,18
HN14	Ş	2,6	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,4	0,41	0,41	0,41
	T	2,4	4,2	6,2	0,2	0,4	0,4	1,2	1,4	1,4	0,83	0,71	0,71	0,33	0,29	0,29	0,31
	O	2,2	4,2	6,2	0,2	0	0	1,2	1	1	0,69	0,71	0,71	0,27	0,29	0,29	0,29
HN15	Ş	5,0	7,0	8,8				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,7	0,7	0,67
	O	1,8	3,8	5,8	3,2	3,2	3,0	4,2	4,2	4,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,16
	T	1,8	3,8	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,17
HN16	Ş	3,0	5,0	7,0				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,56	0,56	0,56	0,56
	O	1,8	3,8	5,8	1,2	1,2	1,2	2,2	2,2	2,2	0,45	0,45	0,45	0,26	0,26	0,26	0,26
	T	1,4	3,4	5,4	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,32	0,32	0,32	0,18	0,18	0,18	0,18
HN17	T	2,6	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,45	0,45	0,45	0,45
	Ş	2,2	4,2	6,2	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,32	0,32	0,32	0,32
	O	1,8	3,8	5,8	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,51	0,51	0,51	0,23	0,23	0,23	0,23
HN18	O	2,6	4,6	6,6				1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,41	0,41	0,41	0,41
	Ş	2,2	4,2	6,2	0,4	0,4	0,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,29	0,29	0,29	0,29
	T	2,2	4,2	6,2	0	0	0	1	1	1	0,71	0,71	0,71	0,29	0,29	0,29	0,29

Şiddet: Ş Olasılık: O Tespit Edilebilirlik: T

Yapılan hesaplamalar sonucunda Bulanık HTEA ile Bulanık SWARA verileri elde edildikten sonra, her bir hata nedeni için hesaplanan göreceli risk faktörleri ile ağırlıkları Xiau ve ark. (2011) tarafından önerilen aşağıdaki denklem ile geliştirilmiş HTEA çalışması Tablo 7'deki gibi oluşturulmuştur.

$$RÖS = (w_s * Şiddet) \times (w_o * Olasılık) \times (w_t * Tespit Edilebilirlik) \quad (8)$$

Hesaplama yapılırken bulanık sayıların çarpılmasında bulanık işlem yöntemleri kullanılmış olup, üçgensel bulanık sayı kapsamında her hesaplama kendi seviyesinde yapılmıştır.

Tablo 7. Önerilen HTEA (Suggested FMEA)

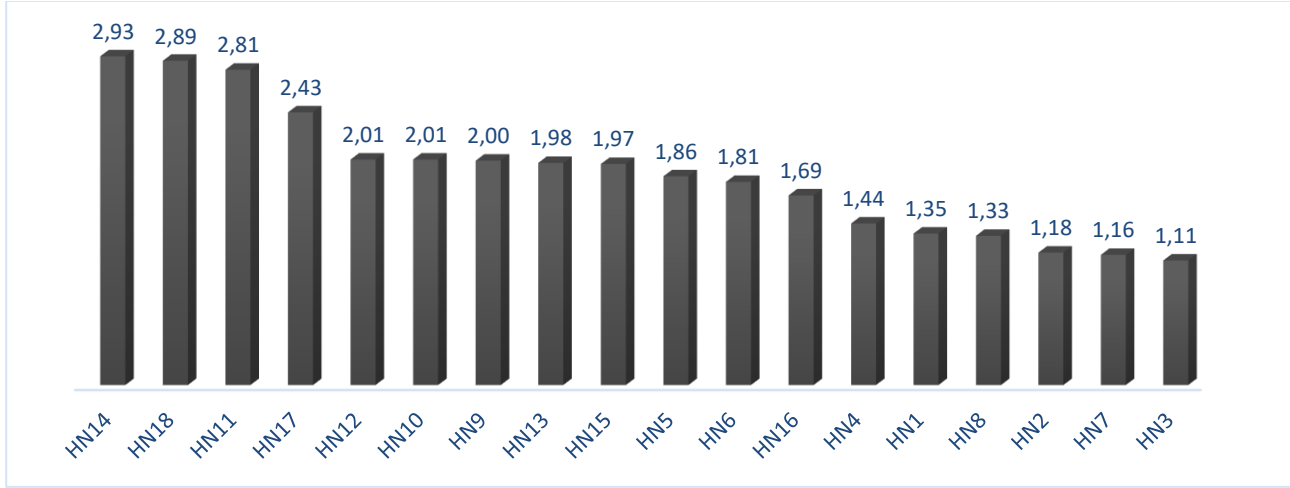
Hata Nedenleri	Bulanık HTEA			Bulanık SWARA Ağırlıklar			Geliştirilmiş RÖS Değerleri
	Şiddet	Olasılık	Tespit Edilebilirlik	Şiddet	Olasılık	Tespit Edilebilirlik	
HN1	6,93	3,40	3,80	0,70	0,12	0,17	1,35
HN2	3,40	5,00	3,00	0,23	0,60	0,17	1,18
HN3	3,80	4,60	2,63	0,31	0,55	0,14	1,11
HN4	3,80	3,83	3,00	0,38	0,41	0,21	1,44
HN5	6,97	3,80	3,80	0,67	0,16	0,17	1,86
HN6	7,00	4,20	3,80	0,69	0,18	0,13	1,81
HN7	6,97	3,00	4,57	0,71	0,08	0,21	1,16
HN8	6,97	3,80	3,40	0,71	0,17	0,12	1,33
HN9	6,97	4,60	3,83	0,68	0,20	0,12	2,00
HN10	6,60	5,40	3,40	0,62	0,28	0,09	2,01
HN11	5,00	3,80	5,40	0,35	0,16	0,49	2,81
HN12	4,60	3,40	5,40	0,31	0,14	0,55	2,01
HN13	4,23	3,40	4,63	0,34	0,18	0,48	1,98
HN14	4,60	4,20	4,23	0,41	0,29	0,31	2,93
HN15	7,37	3,80	3,80	0,67	0,16	0,17	1,97
HN16	5,00	3,80	3,40	0,56	0,26	0,18	1,69
HN17	4,20	3,80	4,60	0,32	0,23	0,45	2,43
HN18	4,20	4,60	4,20	0,29	0,41	0,29	2,89

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen geliştirilmiş Risk Öncelik Katsayı (RÖS) değerleri, HTEA ekibindeki tüm uzman karar vericiler her bir hata türü ve risk faktörlerinin tek tek değerlendirmesi alınarak oluşturulmuştur. Ayrıca her bir risk faktörü için de ağırlık değerleri Bulanık SWARA yöntemi ile yine uzman karar vericiler tarafından hesaplanmış ve RÖS hesaplamasına dahil edilmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Günümüz şartlarında işletmelerde risklerin oluşmadan engellenmesi ve güvenilirliğin oluşturulması fazlasıyla önem arz etmektedir. Geçmiş yıllardaki çalışmalardan bugüne dek çıktı ve performans güvenilirliğinin artırılması için birçok çalışma yapılmış ve yöntemler ortaya konulmuştur. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) bu yöntemlerden biri olup, günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak uygulanan Geleneksel HTEA yaklaşımında hata türlerini sınıflandırmak için risk öncelik sayıları kullanılmaktadır. Bu öncelik sayılarının hepsine eşit önem verilmekte, karar vericilerin tek tek değerlendirmesine imkan sunulmamakta ve sayısal olarak ifade edilirken yaklaşık değerler göz önüne alınmaktadır.

Çalışma kapsamında geleneksel HTEA yönteminin zayıf kalan yanlarına çözüm getirebilmek amacıyla dilsel olarak risk faktörlerine HTEA ekibindeki her bir karar verici tarafından atamalar yapılmıştır. Ardından risk faktörlerine eşit ağırlığın önüne geçilmesi için de kriter ağırlıklandırma çalışmaları kapsamında geliştirilmiş olan Bulanık SWARA yöntemi ile birlikte her bir risk faktörüne ağırlıklandırma yapılmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilmiş olan Bulanık SWARA yöntemi ile entegre edilmiş Bulanık HTEA RÖS değerleri sırasıyla Şekil 4'de belirtilmiştir. Bu kısımda, çalışma kısaca özetlenmeli ve elde edilen sonuçlardan ulaşılan çıkarımlar üzerinde tartışma yapılmalıdır. Çalışmanın gelecek araştırma sorusunun ne/neler olabileceği konusunda fikir belirtilmesi tavsiye edilmektedir.



Şekil 4. Geliştirilmiş RÖS değerleri (Improved RPN values)

Hesaplanan geliştirilmiş RÖS değerleri ile birlikte HTEA ekibi firma yöneticilerine hangi hata nedeni ve türünün öncelikli olarak ele alınması ve çözülmesi gerektiği hakkında bilgilendirme yapabilmektedir. Çalışma sonuçları incelenmiş, HN14 “Kalıp içi dizilim hatası”, HN18 “Proses parametrelerinin hatalı olması” ve HN11 “Bilezik Talaşlı İmalat Personel Hatası” hata nedenleri kapsamında karar vericiler detaylı bir çalışma yaparak sürecin değerlendirilmesi yapılarak üst yönetime sunulmuştur.

Otomotiv sektöründe sıfır hata çalışmalarının sürdüğü günümüzde, müşteri şikayetleri üreticiler için yüksek önem arz etmektedir. Ancak yürüyen iş yükü içerisinde gelen şikayetlerin hangisinin önceliklendirilerek çözülmesi gerekliliği önemli bir husustur. Bu noktada çalışmamız kapsamında geliştirilen Bulanık SWARA entegreli Bulanık HTEA yöntemi ile hangi hata türünün öncelikli olarak çözüme gidilmesi hususunda üreticilere fikir vermektedir. Çalışmanın literatür taramasında da görüleceği üzere ağırlıklandırma çalışmaları kapsamında birçok yöntem kullanılmıştır. Ancak Bulanık Swara yöntemi ile entegreli otomotiv sektöründe yapılan bir çalışma bulunmamaktadır. Bu kapsamda akademik katkısı yüksek bir çalışma olarak görülmektedir. Gelecekteki çalışmalarda, farklı ağırlıklandırma türleri ile RÖS değerleri hesaplanarak karşılaştırmalar yapılabilir. RÖS hesaplamasında sadece üç risk faktörü için hata türleri incelenmeyip, ekonomik koşullar, kalite gibi bazı önemli faktörler de hesaplamalara dahil edilebilir. Ayrıca çalışma kapsamına hata türlerine ilişkin de ağırlıklandırmalar yapılarak, hata nedenleri ağırlıkları ile birlikte global ağırlık ataması yapılabilir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma kapsamında örnek uygulama verilerinin sağlanması ve birlikte çalışılması hususunda desteklerini esirgemeyen otomotiv sektöründeki firma ve kalite ekibine desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akcan, S. and Tas, M.A. (2019), “Green supplier evaluation with SWARA-TOPSIS integrated method to reduce ecological risk factors”, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 191 No. 12, p. 736.
- Baykal, N ve Beyan, T. (2004), “Bulanık Mantık İlke Ve Temelleri”, Bıçaklar Kitabevi, Ankara.
- Bhalaji, R., Bathrinath, S. and Saravanasankar, S. (2020), “An F-PROMETHEE technique for analysing the risk factors in green manufacturing”, *Management Science and Engineering*, Vol. 764 No. 1, p. 012015.
- Braglia, M., Frosolini, M., & Montanari, R. (2003), “Fuzzy TOPSIS approach for failure mode, effects and criticality analysis”, *Quality and Reliability Engineering International*, 19, 425–443.
- Chen, Z., Feng, K.M., Zhang, G.S., Yuan, T. ve Pan, C.H., (2008), “Preliminary safety research for CH HCSB TBM based on FMEA method”, *Fusion Engineering and Design*, Vol. 83, 743–746.
- Chu M.T., Shyu J., Tzeng G.H. ve Khosla R. (2007), “Comparison Among Three Analytical Methods for Knowledge Communities Group Decision Analysis”, *Expert Systems with Applications*, Vol. 33, No:4, 1011-1024.
- Ebeling, C. (2000), “An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering”, Tata McGraw-Hill Company Ltd, New York, USA.

- Ghandi, M. and Roobahani, A. (2020), "Risk management of drinking water supply in critical conditions using fuzzy PROMETHEE V technique", *Water Resources Management*, Vol. 34 No. 2, pp. 595-615.
- Ghorabae, M.K., Amiri, M., Zavadskas, E.K. and Antucheviciene, J. (2018), "A new hybrid fuzzy MCDM approach for evaluation of construction equipment with sustainability considerations", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 18 No. 1, pp. 32-49.
- Gilchrist, W. (1993), "Modeling failure mode and effect analysis", *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 10, 16-23.
- Jafarzadeh Ghouschi, S., Ab Rahman, M.N., Raeisi, D., Osgoee, E. and Jafarzadeh Ghousji, M. (2020), "Integrated decision-making approach based on SWARA and GRA methods for the prioritization of failures in solar panel systems under Z-Information", *Symmetry*, Vol. 12 No. 2, p. 310.
- Khalilzadeh, M., Ghasemi, P., Afrasiabi, A. And Shakeri, H. (2020), "Hybrid fuzzy MCDM and FMEA integrating with linear programming approach for the health and safety executive risks: a case study", *Journal of Modelling in Management*, 1746-5664.
- Kiani, R.M., Goh, M. and ZARBAKHSHNIA, N. (2017), "Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Heidelberg Vol. 91, Iss. 5-8, 2017: 2401-2418.
- Klir, G.J. ve Yuan, B. (1995), "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Application", Prentice- Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Koulinas, G., Marhavilas, P., Demesouka, O., Vavatsikos, A. and Koulouriotis, D. (2019), "Risk analysis and assessment in the worksites using the fuzzy-analytical hierarchy process and a quantitative technique—a case study for the Greek construction sector", *Safety Science*, Vol. 112, pp. 96-104.
- Liu, H.C. (2019), "FMEA using cloud model and PROMETHEE method and its application to emergency department", *Improved FMEA Methods for Proactive Healthcare Risk Analysis*, Springer Singapore, Singapore.
- Liu, H.C., You, J.X., You, X.Y. and Shan, M.M. (2014) "A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method" *Applied Soft Computing*, Volume 28, Pages 579-588.
- Mete, S., Serin, F., Oz, N.E. and Gul, M. (2019), "A decision-support system based on Pythagorean fuzzy VIKOR for occupational risk assessment of a natural gas pipeline construction", *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 71, p. 102979.
- O'Connor, P.D.T. (2000), "Practical Reliability Engineering", Heyden, London.
- Opricovic, S. (2011), "Fuzzy VIKOR with an Application to Water Resources Planning", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, 12983-12990.
- Pillay, A. ve Wang, J. (2003), "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 79, 69-85.
- Poyraz, P. (2021), "Tedarik zinciri risk yönetiminde süreç aşamalı bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile hata analizi", *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- Rezaee, M.J., Yousefi, S., Eshkevari, M., Valipour, M. and Saberi, M. (2020), "Risk analysis of health, safety and environment in chemical industry integrating linguistic FMEA, fuzzy inference system and fuzzy DEA", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 34 No. 1, pp. 201-218.
- Ross, T.J. (1995), "Fuzzy Logic with Engineering Applications", McGraw-Hill, New York, NY.
- Sharma, R. (2005), "Fuzzy logic methodology to prioritize failure causes in FMEA", *Proceedings of International Conf. on Emerging Technologies, ICET- 2004*, Allied Pub., New Delhi, 298-306.
- Song, W., Ming, X., Wu Z. and Zhu, B. (2013) "Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS" *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26:12, 1172-1186.
- Stanujkic, D., Karabasevic, D. ve Zavadskas, E.K. (2015), "A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method", *Inzirine Ekonomika-Engineering Economics*, 26(2), 181-187.
- Sumrit, D. (2020), "Supplier Selection for Vendor-Managed Inventory in Healthcare Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making", *Decision Science Letters*, 9 (2), 233-256.
- Tabaraee, E., Ebrahimnejad, S. and Bamdad, S. (2017), "Evaluation of power plants to prioritise the investment projects using fuzzy PROMETHEE method", *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 37 No. 10, pp. 941-955.
- Tay, K. ve Lim C. (2006), "Fuzzy FMEA With A Guided Rules Reduction System For Prioritization of Failures", *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 8, 1047-1066.
- Terano, T., Asai, K. ve Sugeno, M. (1987), "Fuzzy Systems Theory and its Application", Academic Press, San Diego, CA.
- Wu, X and Wu, J. (2021), "The Risk Priority Number Evaluation of FMEA Analysis Based on Random Uncertainty and Fuzzy Uncertainty", *Hindawi Complexity*, Vol. 2021, 1-15.
- Xiao, N., Huang, H.Z., Li, Y., He, L. and Jin, T. (2011), "Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 18, 1162-1170.
- Xu, K. ve Tang, L.C. (2002), "Fuzzy assessment of FMEA for engine systems", *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 75, 17-29.
- Zadeh, L. (1965), "Fuzzy sets", *IEEE Information and Control*, Vol 8, 338-53.
- ZARBAKHSHNIA, N., Soleimani, H. and Ghaderi, H. (2018), "Sustainable third-party reverse logistics provider evaluation and selection using fuzzy SWARA and developed fuzzy COPRAS in the presence of risk criteria", *Applied Soft Computing*, Vol. 65, pp. 307-319.
- Zhang, H.-J., Zhou, Y. and Gan, Q.-H. (2019), "An extended PROMETHEE-II-Based risk prioritization method for equipment failures in the geothermal power plant", *International Journal of Fuzzy Systems*, Vol. 21 No. 8, pp. 2490-2509.
- Zhu, J., Shuai, B., Li, G., Chin, K.-S. and Wang, R. (2020), "Failure mode and effect analysis using regret theory and PROMETHEE under linguistic neutrosophic context", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol. 64, p. 104048.
- Zimmermann, H. (1996), "Fuzzy Set Theory and its Applications", Baskı 3, Kluwer Academic Pub., London.