

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Bulanık Hata Türü ve Etkileri Analizi (Bulanık HTEA): Mobilya Sektöründe Bir Uygulama

Naciye KARAKUZU¹ Seda KARADAĞ² Nilgün İNCE^{3*}

^{1,2,3} Endüstri Mühendisliği, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya, Türkiye
¹naciye_karakuzu@hotmail.com, ²seda-karadag@outlook.com, ³nilgun.ince@alanya.edu.tr

(Geliş/Received: 15/12/2023;

Kabul/Accepted: 19/07/2024)

Öz: Türkiye’de iş sağlığı ve güvenliği (İSG) 2012 yılında yürürlüğe giren kanunla daha da önemli hale gelmiştir. Bu kapsamda işletmeler, riskli durumları belirleyerek iş kazalarının oluşmasını önlemeyi amaçlamaktadır. Hataların (tehlikeli durumların) önem derecesine göre sıralanması etkin önlem planının oluşturulması için önemlidir. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA) tekniği ile hatalar henüz ortaya çıkmadan önlenmektedir. Bu yöntemde hatalar için belirlenen risk öncelik sayılarına (RÖS) göre hangi hataların öncelikli olarak önlenmesi gerektiği belirlenmekte ve buna bağlı olarak da hata önleme planı oluşturulmaktadır. Bu çalışmada mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın üretim operasyonlarından elde ettiği veri setleri kullanılarak HTEA ve bulanık HTEA yöntemleriyle risk analizi yapılmıştır. Kullanılan veri seti İSG uzmanı tarafından belirlenen tehlikeli durumlar ve her bir tehlikeli durum için belirlenen olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik (fark edilebilirlik) değerlerini içermektedir. Çalışma kapsamında, klasik HTEA yönteminde eşit olarak ağırlıklandırılan olasılık, şiddet ve ağırlık faktörlerinin Matlab programı kullanılarak bulanıklaştırılması sağlanmış ve iki yöntemin sonuçları kıyaslanmıştır. Daha etkin bir hata önleme planı hazırlamada bulanık mantık yaklaşımının önemi tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Hata türü ve etkileri analizi, iş sağlığı ve güvenliği (İSG), risk öncelik göstergesi (RÖS), mobilya sektörü, bulanık mantık.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (Fuzzy FMEA): A Case Study at Furniture Company

Abstract: Occupational health and safety (OHS) in Türkiye has become even more important with the law that came into force in 2012. In this context, businesses aim to prevent occupational accidents by identifying risky situations. Failures (dangerous situations) should be ranked according to their severity to have an effective precaution plan. With the failure mode effects and analysis (FMEA) technique, failures can be prevented before they occur. In this method, it is determined which failures should be prevented primarily according to the risk priority numbers (RPN) determined for each failure, and an error prevention plan is created accordingly. In this study, operational risk assessment dataset is utilized to apply FMEA and fuzzy FMEA methods to assess potential risks in a furniture manufacturing company. The utilized data set includes hazardous situations determined by the OHS expert and the probability, severity and detection values determined for each hazardous situation. Within the scope of the study, equally weighted occurrence (probability of occurrence), severity, and detection parameters in the classical FMEA method, are fuzzified and the results of the two methods are compared. The importance of the fuzzy logic approach in making a more effective failure precaution plan has been discussed.

Key words: Failure modes and effects analysis (FMEA), occupational health and safety (OHS), risk priority indicator (RPI), furniture industry, fuzzy logic.

1. Giriş

Gelişen sanayi ve teknoloji ile çalışma ortamlarının iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kurallarına uygunluğunun önemi artmıştır. Ülkemizde, iş yerlerindeki personel eğitimlerinin yetersizliği, koruyucu donanım yetersizliği, çalışanların iş kazalarını önemsememesi, kaza kayıtlarının tutulmaması gibi durumlardan dolayı sıklıkla iş kazası meydana gelmektedir. 2012 yılında kabul edilen 6331 sayılı kanun ile İSG konusu işletmeler için daha da önemli hale gelmiştir. Ülke nüfusunun %35 - 65’ini oluşturan iş görenler, zamanlarının dörtte birini iş yerlerinde geçirmektedir. İş yerlerinde sağlık ve güvenlik bakımından birçok tehdit edici unsurla karşı karşıya kalan çalışanlar yaşadıkları iş kazaları sonucu maddi ve manevi kayıplar yaşamaktadırlar. Yaşanan iş kazalarının ve meslek hastalıklarının ülkelerin ulusal gelirlerinin %4’üne denk bir kayıp oluşturduğu belirlenmiştir [15].

* Sorumlu yazar: nilgun.ince@alanya.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0001-9494-7577, ² 0000-0001-9091-724X, ³ 0000-0003-1148-3047

Ülkemizde İSG açısından inşaat, maden ve metal sektörleri en çok kayıp verilen sektörlerdir. Bu sektörleri ise tekstil, deri, mobilya ve gıda ürünleri sektörleri takip etmektedir. Bu kapsamda iş yeri koşullarının iyileştirilmesi için Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından birçok proje yürütülmektedir. Mobilya sektöründeki işletmeler tehlikeli veya çok tehlikeli sınıfta yer almaktadır. Bu işletmelerde güvenlik kültürü eksikliği, personel değişim hızının çok olması, sendikalaşma oranının düşük olması ve eğitim fırsatlarına erişimin sınırlı olması gibi sebeplerden dolayı iş kazaları sıklıkla yaşanmaktadır [16]. Uluslararası çalışma örgütüne (ILO) üye olan ülkemizde, iş kazalarının önüne geçilmesi için çok tehlikeli ve tehlikeli sınıfta yer alan özel sektöre ait bütün işlere ve işverenlere belirli şartları sağlamaları durumunda maddi destek sağlanmaktadır [1]. Ayrıca iş yerleri Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı bünyesindeki iş teftiş kurulları tarafından düzenli olarak teftiş edilmektedir. İş sağlığı ve güvenliği konusundaki yasal zorunluluklar, devlet destekleri ve artan kayıplar iş yeri sahiplerinin bu konuya gerekli önemi vermesini sağlamaktadır. İş yerlerinde kaza oluşmadan kazayı oluşturabilecek durumların analiz edilmesi ve önlem alınması gereken durumların belirlenmesi literatürde “risk analizi” olarak geçmektedir. Risk analiz yöntemlerinde amaç potansiyel tehlikeleri belirlemek ve önlem almak böylece kazaya sebebiyet veren durumları ortadan kaldırmaktır. Literatürde hata türü etkileri analizi, fine-kinney analizi, L tipi matris yöntemi, hata/olay ağacı metodu gibi birçok risk analiz metodu bulunmaktadır. Bu yöntemlerden HTEA uygulanması kolay olması ve etkin bir şekilde önlem planı geliştirmesi yönüyle diğer metotlardan ayrılmaktadır [3]. Pro-aktif bir yaklaşımla hangi durumlara ivedi olarak önlem alınması gerektiğinin belirlenmesi işverenler için maliyet avantajı sağlamaktadır. Çünkü riskli durumları değiştirmek için ayrılacak olan bütçe sınırlı olabilmektedir.

HTEA yönteminde ele alınan durum için olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik faktörlerinin belirlenmesi ilk aşamadır. Risk faktörleri olarak belirtilen bu parametreler için durumun ciddiyetini ifade eden sayısal değerler uzmanlar tarafından belirlenir. Risk faktörlerinin çarpılmasıyla risk öncelik sayısı (RÖS) hesaplanır ve bu sayı hangi riskler için öncelikle tedbir alınacağı belirlenmesinde kullanılır. Yöntem birçok konuda başarıyla uygulanmakla birlikte bazı zayıf yönleri vardır. HTEA yönteminde risk faktörlerinin sayısal olarak belirlenmesi uzmana göre farklılık göstermektedir ve risk faktörleri (olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik) eşit önemde değerlendirilmektedir. Faktörlerin eşit önemde değerlendirilmesi sonucu farklı sayısal değerler içeren iki durum aynı RÖS değerine sahip olmaktadır. Ayrıca şiddet değeri yüksek ancak olasılık ve tespit edilebilirlik değeri düşük olan durumlarda faktörler RÖS hesabında eşit önemde değerlendirildiği için tedbir planında sonlarda yer almaktadır. Benzer şekilde faktörlerden herhangi birinin diğerlerine göre yüksek sayısal değer aldığı durumlar tedbir planında sonlarda değerlendirilmektedir. Bu durum yöntemin zayıf yönleri olarak belirtilmiştir. Literatürde belirtilen zayıf yönlerin üstesinden gelmek için HTEA yöntemi bulanık mantık, kaba küme teorisi, bulanık gri teorisi ve çok kriterli karar verme yöntemleriyle (Ahp, Topsis, Vikor gibi) birlikte kullanılmıştır [4].

Bu çalışmada mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için operasyonel seviyede risk analizi yapılmıştır. HTEA yöntemi ve bulanık HTEA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analizde etkin bir önlem planı oluşturulması amaçlanmıştır. Literatürde mobilya sektöründe HTEA veya bulanık HTEA yönteminin uygulandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmayla literatürdeki bu açık kapatılmış ve iş kazalarının çok olduğu bu sektör için örnek bir uygulama çalışması literatüre kazandırılmıştır. Ayrıca HTEA yönteminin dezavantajlı yönlerinin giderilmesi için bulanık yaklaşım kullanımının önlem planı hazırlamadaki etkisi araştırılmış ve iki yöntem kıyaslanmıştır.

Literatürde HTEA yönteminin operasyonel seviyede birçok farklı alanda uygulandığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda hayvanların kısırlaştırılma süreçlerindeki riskler [5], beyaz eşya lojistik faaliyetlerindeki riskler [6], talaşlı imalat atölyesindeki riskler [7], tehlikeli madde elleçleme süreçlerindeki riskler [8], mermer üretim süreçlerindeki riskler [9] ve patoloji laboratuvarı tetkik süreçleri [3] analiz edilmiştir. Risklerin belirlenmesi ve önlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmalar sonucunda üretim maliyetlerinin azaldığı [7] ve olası iş kazalarının önüne geçildiği [3, 5, 6, 8] belirtilmiştir. HTEA yönteminin kullanıldığı süreçler belirtilen alanlarla sınırlı olmayıp otomotivden uzaya kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. İmalat süreçlerinde kalite problemlerini önlemek amacıyla geliştirilen yöntem son yıllarda İSG alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte farklı terminolojisi olan yöntemin İSG süreçlerinde etkin olarak nasıl uygulanacağı ve değerlendirmelerin nasıl yapılacağı net değildir [10]. Literatürdeki vaka analizleri incelendiğinde ise mobilya sektöründe yöntemin uygulandığı bir çalışma örneğine rastlanmamıştır. Yöntemin mobilya sektörüne nasıl uygulanabileceği gerçek hayat verileri üzerinden analiz edilmiştir. Elde edilen veri setine dair detaylar bölüm 3.1’de, yöntemin detayları bölüm 3.2’de ve bulanık mantık yaklaşımının HTEA yöntemine uyarlanması aşamaları ise bölüm 3.3’te anlatılmıştır. Deneysel sonuçlar görselleştirilerek bölüm 4’te yorumlanmış ve son olarak da sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında özel sektörde faaliyet gösteren bir mobilya fabrikasındaki tehlikeli durumlar analiz edilmiştir. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı iş müfettişleri tarafından üretim sahasındaki tüm bölümler gezilerek hazırlanan veri seti tablo olarak (excel dosyası) kaydedilmiştir. Firmanın kalite bölümünden temin edilen bu dokümanlar çalışmanın veri setini oluşturmaktadır. Bu veri seti, İSG uzmanları tarafından belirlenen tehlikeli durumların tanımlarını ve bu durumların kazaya sebebiyet vermesi durumunda oluşturacağı etkileri içermektedir. Ayrıca her bir durum için olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik risk dereceleri de yine uzmanlar tarafından belirlenmiştir. İşletmeden alınan bilgiye göre bu veri setleri doğrultusunda risk öncelik planı oluşturulmakta ve “öncelikli müdahale gerektiren” riskli durumlar risk öncelik sayıları (RÖS) hesaplanarak belirlenmekte ve gerekli tedbirler alınmaktadır. Kullanılan veri seti dört yılda bir güncellenmektedir.

2.2. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA) yöntemi (Failure mode and effect analysis (FMEA) method)

HTEA yöntemi imalat süreçlerinde karşılaşılan kalite problemlerini önlemek amacıyla geliştirilen bir yöntem olduğu için müşteri memnuniyetinin konu olduğu her faaliyet aşamasında kullanılmaktadır. Sistem fonksiyonları arasındaki muhtemel hataların tespiti için sistem HTEA, ürün veya hizmet tasarımı aşamasındaki muhtemel hataların tespiti için tasarım HTEA, üretim süreçleri ve montaj operasyonlarındaki yetersizliklerin belirlenmesinde proses HTEA ve ürünün müşteriye ulaşma sürecindeki durumlar için servis HTEA kullanılır [11]. İSG süreçlerinde HTEA yöntemi tehlikeli durumların analizi amacıyla kullanılmaktadır. Mevcut iş aşamalarında potansiyel tehlikeler iş kazalarına sebebiyet vermekte, yaralanma veya ölüm riski oluşturmaktadır. Bu yöntemde risk öncelik sayıları (RÖS) hesaplanarak mevcut durumdaki tehlikeli durumların önem derecelerinin belirlenmesi sağlanır. RÖS sayısı yüksek olan durumlar öncelikli olarak ortadan kaldırılması gereken durumlardır. RÖS sayılarının hassasiyetle hesaplanması ivedilikle müdahale edilmesi gereken durumların doğru belirlenmesini sağlar. Eğer bu değer doğru bir şekilde belirlenmezse, ciddi yaralanmalara veya ölümlere sebebiyet verebilecek durumlar için önlem almakta gecikilebilir. RÖS sayısı ele alınan durumla ilgili olasılık (O), şiddet (Ş) ve tespit edilebilirlik (T) (fark edilebilirlik) değerlerinin çarpımıyla elde edilir. Eşitlik (1)'de RÖS sayısı hesabının formülü verilmiştir.

$$\text{Risk öncelik sayısı (RÖS)} = O \times \text{Ş} \times T \quad (1)$$

Olasılık değeri kazaya sebebiyet verebilecek durumun oluşma olasılığını, şiddet değeri bu durumun zarar verme potansiyelini ve tespit edilebilirlik de durumun keşfedilmesinin zorluğunun derecelendirilmesi olarak ifade edilir. Bu parametrelerden her biri 1 ile 10 arasında değer almaktadır. Bu parametreler için uygulamalarda kullanılan dereceler ve açıklamaları aşağıdaki tablolarda (Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3) verilmiştir [9].

Tablo 1. Olasılık parametresi ve derecelendirmesi.

Oluşma Olasılığı	Hatanın Olasılığı	Risk Derecesi
Çok yüksek (kaçınılmaz hata)	0,33 'ten veya 0,5'ten çok	9 - 10
Yüksek (tekrarlayan hata)	0,125'ten veya 0,05'ten çok	7 - 8
Orta (ara sıra olan hata)	0,0125'ten veya $0,25 \times 10^{-2}$ 'den çok	5 - 6
Düşük (nispeten az olan hata)	$0,5 \times 10^{-3}$ 'ten veya $0,66 \times 10^{-4}$ 'ten çok	3 - 4
Pek az (olası olmayan hata)	$0,66 \times 10^{-5}$ veya daha az	1 - 2

Bu tablolardaki (Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3) risk derecesi sütunları uzmanların durumun ciddiyetiyle ilgili belirlediği puan değerini ifade etmektedir. Bu kapsamda yüksek risk düzeyi oluşturan durumlar yüksek risk

derecesine, düşük risk durumu oluşturan durumlar ise düşük risk derecesine sahiptir. Tablo 1’deki oluşma olasılığı sütunu durumun olma ihtimaliyle ilgili sözel ifadelerdir ve her bir durum için hesaplanan olasılık değeri hatanın olasılığı sütununda verilmiştir.

Tablo 2. Şiddet parametresi ve derecelendirmesi.

Etki	Şiddetin Etkisi	Risk Derecesi
Uyarısız gelen (yüksek) tehlike	Uyarısız gelen ve yüksek hasara (toplu ölümlere yol açacak) veya felakete sonuçlanabilecek muhtemel hata	9 - 10
Yüksek / Çok yüksek	Yıkıcı etkiye sahip sistemin veya ekipmanın tamamen hasar görmesine sebep olan, ölüm, zehirlenme vb. ile sonuçlanan hata	7 - 8
Düşük / Orta	Kırık, kalıcı iş görmezlik, beyin sarsıntısı vb. ile sonuçlanan veya sistemin performansını etkileyen, ağır yaralanma, kanser vb. ile sonuçlanan hata	5 - 6
Küçük / Çok düşük	Sistemi yavaşlatan veya incinme, sıyrıklar veya eziklerle sonuçlanan hata	3 - 4
Yok / Çok küçük	Sistemin çalışmasını etkilemeyen veya kargaşaya sebep olan hata	1 - 2

Tablo 2’de de tehlikenin etkisi için belirlenen sözel ifadeler ilk sütunda yer almaktadır. Durum gerçekleştiğinde nasıl bir etki oluşacağı şiddetin etkisi sütununda açıklanmıştır.

Tablo 3. Saptanabilirlik parametresi ve derecelendirmesi.

Saptanabilirlik Durumu	Saptanabilirlik Olasılığı	Risk Derecesi
Çok az / Fark edilemez	Potansiyel hatanın nedeninin saptanabilirliği çok düşük veya saptanması mümkün değil	9 - 10
Az / Çok düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok düşük veya saptanabilirliği uzak	7 - 8
Orta / Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği orta veya düşük	5 - 6
Yüksek / Yüksek Ortalama	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği yüksek veya yüksek ortalama	3 - 4
Hemen hemen kesin / Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği kesin gibi veya çok yüksek	1 - 2

Ele alınan durumun önceden fark edilmesinin (saptanabilirliği) zorluk derecesi ise saptanabilirlik durumu olarak Tablo 3’te gösterilmiştir. Ayrıca durumun ve nedenlerinin saptanma olasılık değerleri de tabloda gösterilmiştir. HTEA yönteminde hesaplanan RÖS değerleri Tablo 4’te belirlenen puan aralığına göre sınıflandırılır ve ele alınan riskli durum için önlem alma durumu belirlenmiş olur.

Tablo 4. RÖS değerlendirme tablosu.

RÖS değeri	Önlem Alma Durumu
$RÖS < 40$	Önlem almaya gerek yok
$40 \leq RÖS \leq 100$	Önlem alınabilir
$RÖS > 100$	Önlem alınması gereklidir

Çalışma kapsamında kullanılan veri setinde tespit edilebilirlik değerleri 3, 7, 15 veya 40 değerlerini almaktadır. Literatürde RÖS hesaplamasında kullanılan tespit edilebilirlik değerleri ise 1 ile 10 arasında değişmektedir. Veri setindeki en büyük değer (40) literatürdeki en büyük değer (10) ile oranlanmış ve veri setindeki değerlerin 1 ile 10 arasında olması için her bir değer 4'e bölünmüştür. Tablo 5'te veri setindeki değerlere karşılık RÖS hesaplamalarında kullanılan dönüştürülmüş değerler verilmiştir.

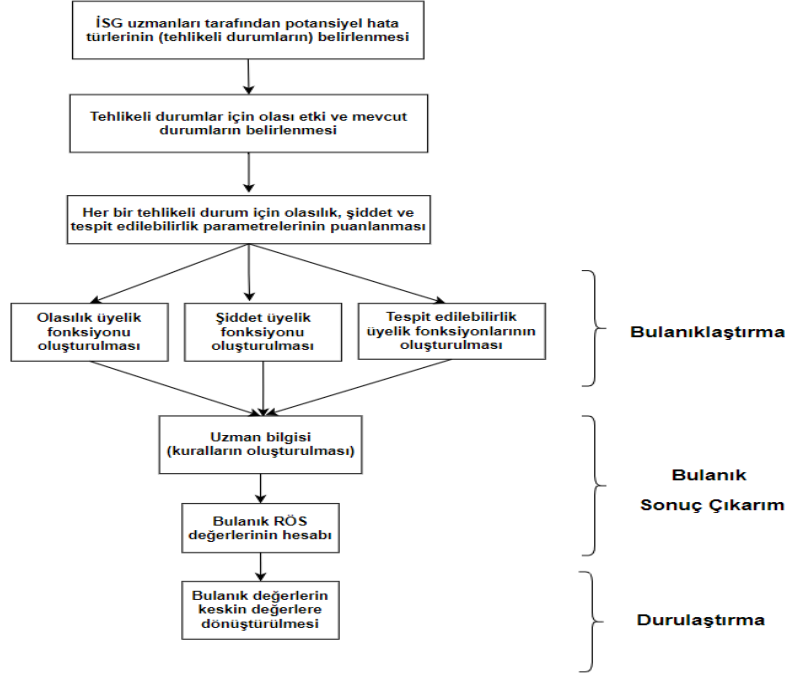
Tablo 5. 10'luk ölçüğe dönüştürülen tespit edilebilirlik değerleri.

Veri Setindeki Değerler	Dönüştürülen Değerler
3	1
7	2
15	4
40	10

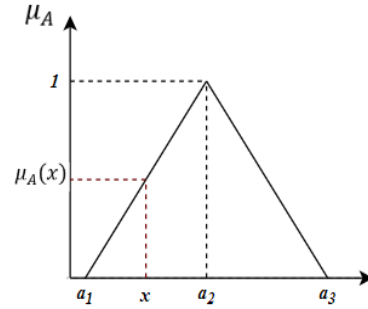
2.3. Bulanık HTEA yöntemi

Bulanık mantık 1965 yılında L. A. Zadeh tarafından geliştirilen ve belirsizlik olması veya veri setinde kesinlik olmaması durumlarında etkin bir şekilde kullanılan yöntemdir. Özellikle veri setinin öznel yargılar içermesi veya derecelendirilmiş dilsel değişkenlere (düşük, orta, yüksek, çok yüksek vb.) sahip olması durumlarında bulanık mantık yaklaşımı etkin olarak kullanılmaktadır. Bulanık mantık; bulanıklaştırma, bulanık çıkarım ve durulaştırma olmak üzere üç aşamadan oluşur [12]. Şekil 1'de uygulanan risk analizi aşamaları ve bulanık HTEA uygulama adımları gösterilmiştir.

Bulanıklaştırma: Bulanıklaştırma adımı olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik parametreleri için üyelik fonksiyonları tanımlanmıştır. Üyelik fonksiyonları ile her bir parametrenin ilgili kümeye ait olma durumu belirlenir. Literatürde farklı üyelik fonksiyonları tanımlanmış olmakla birlikte üçgen üyelik fonksiyonları doğrusal olması ve kullanımının kolay olması dolayısıyla en sık kullanılan üyelik fonksiyonudur [13]. Üçgen üyelik fonksiyonu grafiği Şekil 2'de verilmiştir.



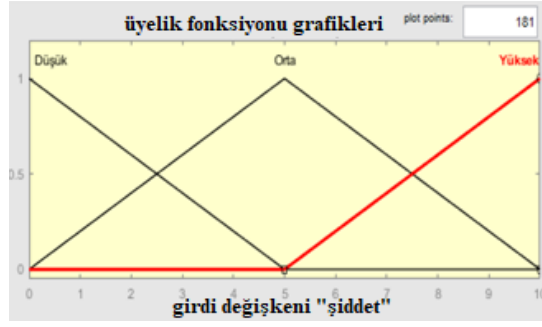
Şekil 1. Risk analizi ve bulanık HTEA uygulama adımları.



Şekil 2. Üçgen üyelik fonksiyonu.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{(x-a_1)}{(a_2-a_1)}, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ \frac{(a_3-x)}{(a_3-a_2)}, & a_2 \leq x \leq a_3, \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2)$$

Şekil 2’de görüldüğü gibi a_1 , a_2 ve a_3 değerleri fonksiyonun alt sınır, tepe noktası ve üst sınır değerleridir. Burada x değerinin hangi aralıkta yer aldığına bağlı olarak üyelik derecesi hesabı formül (2) kullanılarak yapılır. Üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değişen değerler alabilmektedir. Şekil 3’te şiddet parametresinin Matlab bulanık mantık modülüne tanımlandığı ekran görüntüsü örnek olarak verilmiştir. Burada uzman görüşü doğrultusunda parametre değerleri için dilsel değişkenler “düşük”, “orta” ve “yüksek” olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde olasılık ve tespit edilebilirlik değerleri için de üyelik fonksiyonları belirlenen dilsel değişkenler kullanılarak tanımlanmıştır.



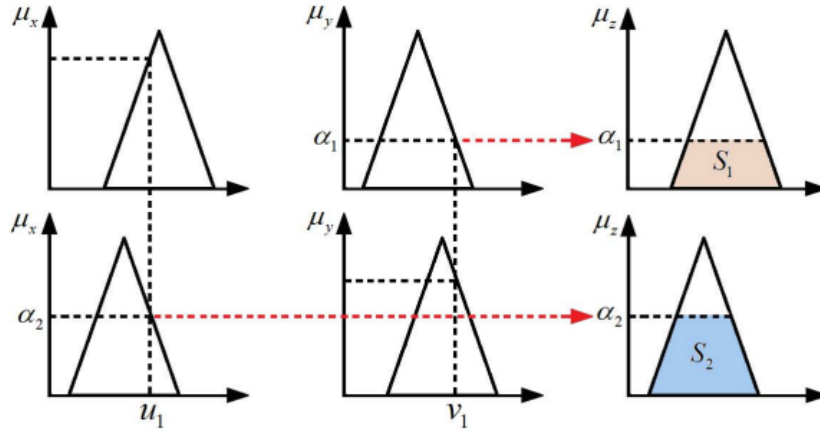
Şekil 3. Şiddet parametresi için üçgen üyelik fonksiyonu.

Bulanık sonuç çıkarım: Bu aşama, ele alınan durumun sonuçlarını belirlerken uzman görüşünün sisteme dâhil edilmesini sağlar. Geçmiş tecrübeler doğrultusunda belirlenen uzman görüşleri, her bir parametre değerleriyle ilgili dilsel değişkenlere karşılık çıktı değerlerinin belirlenmesini sağlar. Çalışma kapsamında Matlab'de oluşturulan kural tabanı Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Kural tabanı.

1	EĞER Olasılık ORTA Tespit Edilebilirlik DÜŞÜK Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış DÜŞÜK
2	EĞER Olasılık YÜKSEK Tespit Edilebilirlik ORTA Şiddet ORTA İSE Çıkış ORTA
3	EĞER Olasılık DÜŞÜK Tespit Edilebilirlik ORTA Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış DÜŞÜK
4	EĞER Olasılık ORTA Tespit Edilebilirlik YÜKSEK Şiddet ORTA İSE Çıkış ORTA
5	EĞER Olasılık DÜŞÜK Tespit Edilebilirlik ORTA Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış ORTA
6	EĞER Olasılık ORTA Tespit Edilebilirlik YÜKSEK Şiddet ORTA İSE Çıkış YÜKSEK
7	EĞER Olasılık ORTA Tespit Edilebilirlik DÜŞÜK Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış ORTA
8	EĞER Olasılık YÜKSEK Tespit Edilebilirlik ORTA Şiddet ORTA İSE Çıkış YÜKSEK
9	EĞER Olasılık ORTA Tespit Edilebilirlik DÜŞÜK Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış DÜŞÜK
10	EĞER Olasılık YÜKSEK Tespit Edilebilirlik ORTA Şiddet ORTA İSE Çıkış ORTA
11	EĞER Olasılık DÜŞÜK Tespit Edilebilirlik DÜŞÜK Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış DÜŞÜK
12	EĞER Olasılık ORTA Tespit Edilebilirlik ORTA Şiddet ORTA İSE Çıkış ORTA
13	EĞER Olasılık DÜŞÜK Tespit Edilebilirlik DÜŞÜK Şiddet ORTA İSE Çıkış ORTA
14	EĞER Olasılık ORTA Tespit Edilebilirlik ORTA Şiddet YÜKSEK İSE Çıkış YÜKSEK
15	EĞER Olasılık YÜKSEK Tespit Edilebilirlik YÜKSEK Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış ORTA
16	EĞER Olasılık DÜŞÜK Tespit Edilebilirlik YÜKSEK Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış ORTA
17	EĞER Olasılık DÜŞÜK Tespit Edilebilirlik YÜKSEK Şiddet ORTA İSE Çıkış YÜKSEK
18	EĞER Olasılık ORTA Tespit Edilebilirlik ORTA Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış ORTA
19	EĞER Olasılık DÜŞÜK Tespit Edilebilirlik ORTA Şiddet ORTA İSE Çıkış ORTA
20	EĞER Olasılık YÜKSEK Tespit Edilebilirlik DÜŞÜK Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış ORTA
21	EĞER Olasılık YÜKSEK Tespit Edilebilirlik YÜKSEK Şiddet DÜŞÜK İSE Çıkış YÜKSEK
22	EĞER Olasılık YÜKSEK Tespit Edilebilirlik YÜKSEK Şiddet ORTA İSE Çıkış YÜKSEK
23	EĞER Olasılık YÜKSEK Tespit Edilebilirlik YÜKSEK Şiddet YÜKSEK İSE Çıkış YÜKSEK

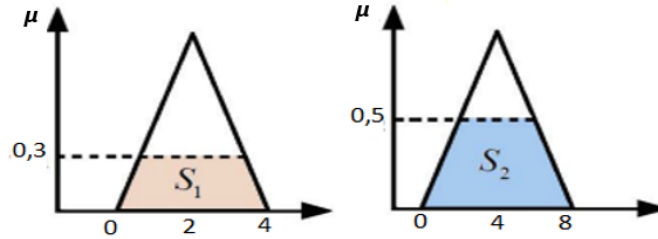
Bu çalışmada da en sık kullanılan çıkarım yöntemi olan [13] Mamdani (max, min operatörleri) çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde birleşim (maksimum) ve kesişim (minimum) işlemleri bulanık girdi parametrelerine uygulanır. Şekil 4'te Mamdani çıkarımının iki parametrelili (u_1 ve v_1) sisteme uygulanması ile elde edilen çıkış değeri (a_1) gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi çıktı değeri de bulanık değer olmakta ve giriş parametrelerine kesişim (min) operatörü uygulanarak elde edilmektedir.



Şekil 4. Mamdani çıkarım yapısı [14].

Durulaştırma: Bu adım elde edilen bulanık değerlerin kesin değerlere dönüştürülmesini (normalize edilmesini) sağlayan adımdır. Literatürde maksimum üyelik derecesi, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi ve ortalama maksimum üyelik yöntemi olmak üzere farklı durulaştırma yöntemleri mevcuttur. Çalışma kapsamında literatürde sıklıkla kullanılan yöntem olan [13] ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma işlemi yapılmıştır. Bu yöntemde Mamdani çıkarımı ile elde edilen bulanık küme için kesin değerler tek bir ortalama ağırlık değeri hesaplanarak elde edilir. Ağırlık merkezi yönteminde hesaplamalar formül (3) yardımıyla yapılır.

$$du(k) = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{u_i} u_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{u_i}} \quad (3)$$

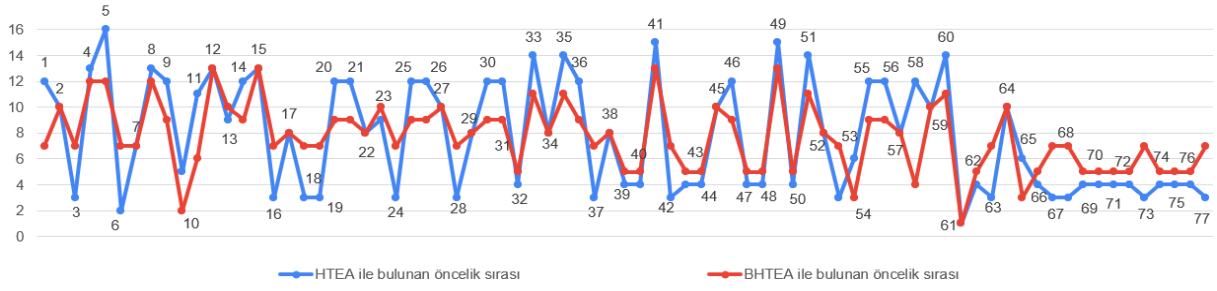


Şekil 5. Ağırlık merkezi yöntemi örneği.

Şekil 5’te iki farklı kural uygulanarak elde edilen çıkış bulanık kümeleri (S_1 ve S_2) için üyelik dereceleri (0,3 ve 0,5) ve orta nokta değerleri (2 ve 4) gösterilmiştir. Bu değerler için formül 3’teki denklem yardımıyla durulaştırma değeri 3,25 olarak hesaplanır.

4. Deneysel Sonuçlar

Yapılan analizde kullanılan veri seti, klasik HTEA ile bulunan RÖS değerleri, öncelik sıralamaları ve bulanık HTEA yöntemiyle bulunan sonuçlar “veri paylaşımı” kısmında verilen bağlantı adresinde paylaşılmıştır. Yapılan analiz sonucunda bulunan RÖS değerleri ve öncelik sıraları, klasik yöntemde eşit puan alan durumlar ve öncelik sırası bulanık HTEA ile değişen durumlar kendi içinde gruplanarak değerlendirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda her iki yöntemle de bulunan öncelik sıralamaları Şekil 6’da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. HTEA ve BHTEA yöntemi ile bulunan öncelik sıraları.

Şekil 6’da görüldüğü gibi HTEA yöntemi ve bulanık HTEA yöntemi ile bulunan öncelik sıraları ele alınan birçok durum için değişiklik göstermektedir. Bulanık HTEA ile bulunan sonuçlar incelendiğinde veri setindeki 77 durumdan 16’sı için öncelik sırası değişmemiş, 27’si daha öncelikli hale gelmiş (öncelik sırası 12’den 7’ye düşmüş vb.) ve 34’ü ise öncelik sıralamasında daha gerilerde (öncelik sırası 2’den 7’ye çıkmıştır vb.) yer almıştır. Değişim olan durumlar incelendiğinde (Tablo 7) şiddet değerinin yüksek (10) ancak olasılık (3) ve tespit edilebilirlik (1) değerinin düşük olduğu 58.durum öncelik sırası en fazla değişen durumdur. Bu durum parametre değerlerinin eşit önemde değerlendirildiği HTEA yönteminde 12.sırada önlem alınması gereken durum olarak bulunurken bulanık HTEA yönteminde ise 4.sırada yer almaktadır. Benzer şekilde 11.durumda da tespit edilebilirlik değeri çok düşük (1) olduğu için klasik yöntemde önem sırası 11 olarak belirlenmiş ancak bulanık yöntemde 6.sırada yer almıştır. Bu durum klasik yöntemin dezavantajı olan parametre değerlerinin eşit önemde değerlendirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bulanık yöntemde ise parametrelerin bulanık sayı olarak sisteme tanımlanması ve kural tabanı ile uzman görüşünün sisteme dâhil edilmesiyle bulunan sonuçlar her bir parametre değerine daha hassas olarak belirlenebilmektedir.

Tablo 7. Öncelik sırası bulanık yöntemle üst sıralarda yer alan durumlar.

NO	Olasılık	Şiddet	Tespit Edilebilirlik	RÖS (HTEA)	Öncelik Sıralaması	RÖS Bulanık HTEA	Öncelik Sıralaması
1	6	1	4	24	12	5	7
5	6	2	1	12	16	44	12
11	6	6	1	36	11	511	6
58	3	10	1	30	12	516	4

Hesaplanan RÖS değerleri değerlendirildiğinde de benzer durum görülebilmektedir. Tablo 8’de HTEA yöntemiyle RÖS değeri 24 veya 36 olan durumlar gösterilmiştir. HTEA yönteminde RÖS değeri 24 olan durumlar için bulanık RÖS değerleri 5, 44 ve 484 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde HTEA yöntemiyle RÖS değeri 36 olan durumlar için bulanık RÖS değeri dört farklı değer almaktadır (472, 488 ve 511). Bu değişiklik olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik parametrelerinin bulanık sayılar olarak sisteme dâhil edilmesiyle sistemin girdi parametrelerine daha hassas olarak tasarlanmış olmasıyla açıklanabilir. Her bir parametre değeri bulanık sayı olarak tanımlanarak derecelendirilmiş böylece sonuç üzerinde tek bir parametrenin etkisi önemli hale gelmiştir. Bu değişime bağlı olarak da klasik HTEA ile eşit olarak hesaplanan RÖS değeri parametrelerin tekli etkisinin hesaba katıldığı bulanık yöntemde sonucu etkilemiştir.

Tablo 8. RÖS değeri 24 veya 36 olan durumlar için bulunan sonuçlar.

NO	Olasılık	Şiddet	Tespit Edilebilirlik	RÖS (HTEA)	Öncelik Sıralaması	RÖS Bulanık HTEA	Öncelik Sıralaması
1	6	1	4	24	12	5	7
4	6	2	2	24	13	44	12
9	3	2	4	24	12	484	9
2	3	6	2	36	10	472	10
11	6	6	1	36	11	511	6
13	3	6	2	36	9	472	10
17	3	3	4	36	8	488	8

Bu sonuçlardan yola çıkarak parametre giriş değerlerinin bulanıklaştırılmasıyla parametre değerlerinin eşit önemde ele alınmasının önem derecesi belirlemedeki yan etkisi ortadan kaldırılmıştır denebilir. Özellikle şiddet derecesinin yüksek ancak olasılık ve tespit edilebilirlik değerlerinin düşük olduğu durumlar için iş yerlerinin öncelikli olarak önlem alması gereklidir. Bu kapsamda bulanık mantık yaklaşımıyla bulanık parametreler sisteme tanımlanmalı ve her bir parametrenin tekli etkisi de önlem planı geliştirmede dikkate alınmalıdır.

5. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın imalat işlemlerindeki operasyonel süreçler için risk analizi yapılmıştır. İSG uzmanlarının operasyonel süreçler için belirlediği riskli durumlar ve bu durumlarla ilgili olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik parametrelerini içeren veriler çalışmada kullanılmıştır. HTEA ve bulanık HTEA yöntemleri uygulanmıştır. Bu iki yöntemin sonuçları analiz edilerek klasik yaklaşımda parametre değerlerinin eşit önemde değerlendirmeye alınmasının sonuçları nasıl etkilediği tartışılmıştır. Bulanık HTEA'da her bir parametre değeri bir fonksiyon olarak (üçgen üyelik fonksiyonu) Matlab'de modellenmiş ve uzman görüşleri doğrultusunda kural tablosu oluşturulmuştur. Sonuç olarak parametre değerlerinden birinin diğer parametrelere göre yüksek olduğu durumlarda bulanık HTEA yöntemi geçerli bir etkin planı oluşturabilmektedir. Elde edilen sonuçlar, bulanık mantık yaklaşımının HTEA yönteminin zayıflıklarından biri olan parametre değerlerinin eşit önemde değerlendirilmesi durumunda etkili bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, veri setinin daha hassas hazırlandığı (olasılık parametresi sadece iki değerden birini almaktadır) durumlar için uygulanarak sonuçlar yorumlanabilir. Kullanılan kural tablosu sadece tek bir uzman görüşüyle hazırlanmıştır. Bunun yerine birden fazla uzman görüşü alınarak daha hassas bir kural tablosu oluşturulabilir. Ayrıca HTEA yöntemi her çalışma alanına uygulanabilen bir risk analiz yöntemidir. İSG kapsamında sorun yaşanan imalat dışındaki birimlerde de yöntem uygulanabilir.

Veri Paylaşımı

Çalışmada kullanılan veri seti ve sonuçlar GitHub platformu üzerinden paylaşılmıştır. Aşağıdaki bağlantı adresinden veri seti ve sonuçlara erişilebilir:

https://github.com/nlgibi/Paylasilan_Arastirma_Dosyalari.git

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan veri seti Kayseri'de faaliyet gösteren bir mobilya firmasından temin edilmiştir. Firma yöneticilerine katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Orhan Ü. İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetlerinin devlet tarafından desteklenmesi. Sakarya Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 2021, 9(2): 149-164.
- [2] Güngör E, İş sağlığı ve güvenliği kavramının toplam kalite yönetimi açısından irdelenmesi ve talaşlı üretim sanayisinde iş sağlığı ve güvenliği üzerine bir araştırma. Doktora, Marmara Üniversitesi 2008.
- [3] Aydan M, Kaya S. Hata türü ve etkileri analizi (HTEA): üniversite hastanesinde bir uygulama. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 2017, 20(4): 475-502.
- [4] Li F, Zhang L, Dong S, Xu L, Zhang H, Chen L. Risk assessment of bolt-gasket-flange connection (BGFC) failures at hydrogen transfer stations based on improved FMEA. Int J Hydrogen Energy, 2023.
- [5] Çağlar E, Arıca F. Geçici hayvan bakımevleri için hata türleri ve etkileri analizi (FMEA) örneği. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 8(3): 313-321.
- [6] Erdil A. Evaluation of the sustainability of party logistics service providers with failure modes and effects analysis method: application in a company. Journal of Management Marketing and Logistics, 2023, 10(3): 98-114.
- [7] Kazan C. A. Cost optimization with internet supported FMEA and fuzzy FMEA analysis. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2023, 10(2): 950-970.
- [8] Yorulmaz M, Yeğin AO. Liman işletmelerinde tehlikeli madde elleçlenmesine ilişkin Fine-Kinney ve FMEA yöntemleri ile risk analizi. R&S-Research Studies Anatolia Journal, 2023, 6(1): 1-37.
- [9] Önder S, Önder M, Çiçek F. Hata türü ve etkileri analizi yöntemi ile bir mermer fabrikası'nda risk değerlendirmesi. MT Bilimsel, 2022, 22: 13-24.
- [10] Birgören B, Yalçınkaya M. İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesinde hata türleri ve etkileri analizinin (FMEA) kullanımı. International Journal Of Engineering Research And Development, 2019, 11(1): 41-50.
- [11] Hasar M, Yalçınkaya N. Üretim Sektöründe Hata Türü ve Etkileri Analizi. İksad Yayınevi, 2021.
- [12] Zadeh LA. Fuzzy sets. Inf. Control, c. 8, sayı 3, ss. 338-353, 1965.
- [13] Testik OM, Tok Unlu E. Fuzzy FMEA in risk assessment for test and calibration laboratories. Qual Reliab Eng Int. 39.2 (2023): 575-589.
- [14] Ünsal S, Alışkan İ. (2016). Mamdani ve Takagi-Sugeno çıkarım yöntemlerine sahip bulanık mantık denetleyicilerin özgün yazılım ve araç kutusu performans analizi. Erişim Tarihi, 27, 2019.
- [15] International Labour Organization, <http://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--en/index.htm>. Erişim tarihi: "27.02.2024"
- [16] T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Mobilya Sektörü İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi. <https://www.csgb.gov.tr/medias/7189/mob%C4%B0lya-sektoer%C3%BCnde-%C4%B0%C5%9F-sa%C4%9Fli%C4%9Fi-goezet%C4%B0m%C4%B0-rehber%C4%B0.pdf> Erişim tarihi: "27.02.2024"