

Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Bir Risk Analizi Uygulaması

Application of a Risk Analysis with Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methods

Süleyman Enes HACİBEKTAŞOĞLU¹ , Bülent MERTOĞLU² , Hakan TOZAN³ 

¹ Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) faaliyetleriyle işyerlerinde çalışanların ruhen ve bedenen tam bir iyilik halinde olması hedeflenmektedir. Bu faaliyetlerin en önemlilerinden birisi işyerlerinde uygulanacak olan risk analizleridir. Risk analizleriyle işyerlerinde mevcut olan tehlikeler ve bu tehlikelerin neden olabileceği potansiyel riskler belirlenerek iş kazalarının yaşanmaması ya da minimize edilmesi için gerekli önlemler alınmaktadır. Literatürde kullanılmakta olan çeşitli risk analiz yöntemleri bulunmaktadır. Ülkemizden en küçük işyerlerinden en büyük işyerine kadar yaygın bir kullanım düzeyine sahip olan Fine-Kinney yöntemi bu risk analiz yöntemlerinden birisidir. Bu çalışmada geleneksel Fine-Kinney yönteminin bulanık mantık tabanlı çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerine entegrasyonu ile daha kullanışlı ve hassas hibrit bir risk analizi yöntemi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç için ilgili ÇKKV yöntemleri bulanık mantık tabanlı olarak kullanılmış olup bu sayede karar verici uzmanlar için daha uygun olan sözel terimlerin kullanımıyla daha anlamlı ve kullanışlı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle çalışma için kriter olarak Fine-Kinney yönteminin olasılık, frekans ve şiddet kriterleri tercih edilmiştir. Bu kriterler iş güvenliği uzmanları tarafından f-SWARA ÇKKV yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Yapılan ağırlıklandırma işlemi sonucunda olasılık, frekans ve şiddet kriterleri için sırasıyla 0,198, 0,276 ve 0,526 değerleri elde edilmiştir. Daha sonra ağırlıklı kriter değerlerinin f-VIKOR yöntemine entegrasyonu ile analizler gerçekleştirilerek tehlikelerin öncelik sıraları belirlenmiştir. Çalışma sonunda geleneksel yöntemle yapılan analiz sonuçlarıyla önerilen hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemi analizi sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmayla risk analizlerinde kullanılan kriterlerin ağırlıklandırılmasının önemli bir durum olduğu ayrıca risk analizlerinde bulanık mantık tabanlı ÇKKV yöntemlerinin kullanımının insan kaynaklı hataları minimize etmede büyük katkısı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İSG, risk analizi, bulanık mantık, Fine-Kinney, f-SWARA, f-VIKOR.

Abstract

Occupational Health and Safety (OHS) activities, are aimed that the employees in the workplaces are in a complete mental and physical well-being. One of these activities is the risk analysis to be applied in the workplaces. The hazards existing in the workplaces and the potential risks that may be caused by these hazards are determined through risk analysis, and necessary precautions are taken to prevent or minimize occupational accidents. There are various risk analysis methods used in the literature. Fine-Kinney method, which has a widespread usage from the smallest to the largest workplace in our country, is one of these risk analysis methods. In this study, it is aimed to develop a more useful and sensitive hybrid risk analysis method by integrating the traditional Fine-Kinney method with fuzzy logic-based multi-criteria decision making (MCDM) methods. For this purpose, the relevant MCDM methods were used as fuzzy logic-based, so a more meaningful and useful method was developed by using linguistic terms that are more suitable for decision makers. In this context, probability, exposure and severity criteria of the Fine-Kinney method were preferred as criteria for this study. These criteria were weighted by the occupational safety experts with the f-SWARA MCDM method. As a result of the weighting process, 0.198, 0.276 and 0.526 values were obtained for probability, exposure and severity criteria, respectively. Then, by integrating the weighted criteria values into the f-VIKOR method, analyzes were performed and the priority order of the hazards was determined. At the end of the study, the results of the analysis made with the traditional method and the results of the analysis of the hybrid f-SWARA&f-VIKOR method proposed within the scope of the study were compared. In this study, it has been obtained that the weighting of the criteria used in risk analysis is a significant situation, and the use of fuzzy logic-based MCDM methods in risk analysis has a major contribution in minimizing human-induced errors.

Keywords: OHS, risk analysis, fuzzy logic, Fine-Kinney, f-SWARA, f-VIKOR.

I. GİRİŞ

Toplumsal bilincin ve kültürün artmasının etkisiyle iş güvenliği günümüzde yaygın olarak karşımıza çıkan konulardan birisi haline gelmiştir. İşyerlerinde iş kazalarının yaşanması istenmeyen durumların başında gelmektedir. Bu kazaları önlemek için devlete, işverene ve çalışanlara büyük görev ve sorumluluklar

düşmektedir. Bu bağlamda önleyici ve düzeltici çeşitli faaliyetler belirlenmekte ve uygulanmaktadır [1-2].

İşyerlerinde uygulanacak iş güvenliği faaliyetlerinin belirlenmesindeki en önemli aşama risk analizinin yapılmasıdır. Literatürde nicel ve nitel yöntemlere dayalı çeşitli risk analizi metotları bulunmaktadır. Bunların arasında yapılacak analiz için seçilecek olan yöntem işyerine uygun olmalıdır [3]. Analiz yapılmadan önce işyerlerinde karşılaşılabilecek tehlikelerin tespiti özenle yapılmalıdır. Çünkü yapılacak hesaplamalar ve alınacak önlemler bu tehlikelere göre belirlenecektir. Tespit edilmeyen her bir tehlike önlem alınmamış bir risk olarak karşımıza çıkacaktır [4].

Gelişen teknolojiyle birlikte işyerlerinde yürütülen proseslerde de büyük gelişmeler yaşanmıştır. Buna bağlı olarak işyerlerinde karşılaşılmaması muhtemel yeni tehlikeler ortaya çıkmaktadır. Bu tehlikeleri değerlendirmek için literatürde yapılmış birçok risk analizi bulunmaktadır. Günümüzde risk analizi uygulamalarında çok kriterli karar verme (ÇKKV) metotlarının kullanımı artmaya başlamıştır. Bu yöntemler karmaşık problemlerin çözümünde büyük kolaylık sağlamaktadır. Literatürde kullanılan çeşitli ÇKKV yöntemleri bulunmaktadır [5-9].

İşyerlerinde yaygın olarak kullanılan klasik risk analizi yöntemlerinde risk skoru hesabında kullanılan kriterlere iş güvenliği uzmanları tarafından sayısal değerler verilmektedir. Risk skoru bu sayısal değerlerin matematiksel çarpımı ile elde edilmektedir. Bu durum çeşitli belirsizliklere yol açmaktadır. Örneğin, Fine-Kinney risk analizi yöntemi ile yapılacak bir hesaplamada olasılık (O), frekans (F) ve şiddet (S) parametrelerine birinci tehlike için sırasıyla 1, 2, 40 ve ikinci tehlike için 6, 6, 3 değerlerinin atandığını varsayarsak ölümle sonuçlanacak olan birinci tehlike, sakatlanmaya neden olacak ikinci tehlikeden daha önemsiz olacaktır. Bu durum kullanılan kriterlerin eşit ağırlıkta olamayacağını göstermektedir ve bu kriterlerin uygun yöntemlerle ağırlıklandırılması gerekmektedir. Ayrıca kriterlerin sayısal değerlerle ifade edilmesi anlam karmaşasına yol açabilmektedir. Bu nedenle kriterler sayısal değerler yerine insan doğasına daha uygun olan sözel terimlerle ifade edilip sonrasında bulanık mantık yardımıyla nümerikleştirilirse daha iyi sonuçlar alınabilecektir.

Bu çalışmada kimya endüstrisinde yer alan bir işletmeden alınan klasik Fine-Kinney yöntemiyle yapılmış olan risk analizinin bulanık mantık tabanlı entegre f-SWARA&f-VIKOR ÇKKV yöntemleriyle modellenmesi yapılmıştır.

II. ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

2.1. Fine-Kinney Risk Analizi Yöntemi

Klasik Fine-Kinney yönteminde olasılık, frekans ve şiddet parametreleri kullanılmaktadır. Bu

parametrelerin matematiksel çarpımıyla risk skoru elde edilmektedir [10-12]. Tablo 1’de bu parametrelere ait ölçekler ve Tablo 2’de risk skoru aralığına göre önlem öncelik durumları gösterilmiştir.

2.2. f-SWARA Yöntemi

ÇKKV yöntemlerinden birisi olan Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) 2010 yılında Kersulieni ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemle karar verme işlemlerinde belirlenen kriterlerin birbirlerine göre önem seviyeleri karar vericiler tarafından belirlenerek ağırlıklandırma yapılmaktadır. Çünkü bütün kriterlerin önem seviyesi aynı düzeyde olmamalıdır [13-16]. Bu çalışmada kullanılan yeni risk analizi uygulamasında SWARA yöntemi bulanık mantık tabanlı olarak kriter ağırlıklandırılması işleminde kullanılmıştır.

SWARA yöntemi karar verme süreçlerinde kullanılan kriterlerin ifade edilmesi ve önem derecelerinin belirlenmesi aşamalarında ortaya çıkan belirsizliklerin ortadan kaldırılması için kullanılmaktadır. Bu yöntemde karar vericilerin görüş ve düşünceleri sürece kolay bir şekilde dahil edilebilmektedir. Basit, sade ve anlaşılır bir yöntem olması önemli avantajlarından [17-20].

2.3. f-VIKOR Yöntemi

Çok kriterli karmaşık sistemlerin optimize edilmesi için Opricovic tarafından VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) ÇKKV metodu geliştirilmiştir. Bu yöntem Opricovic ve Tzeng’in 2004 yılında yapmış oldukları çalışmayla ÇKKV problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Yöntem alternatifler için kriterlerin değerlendirilmesiyle uzlaşık bir çözümün elde edilmesi esasına dayanmaktadır. Belirlenen bu uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın çözüm olmaktadır [21-24].

2011 yılında Opricovic tarafından bulanık mantık tabanlı VIKOR yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemde kriterlerin karşılaştırılması yapılarak sıralaması yapılır. f-VIKOR yönteminde VIKOR’dan farklı olarak bulanık sayılar kullanılmaktadır [25-29]. Burada karar vericiler sözel terimler kullanarak alternatifleri derecelendirmektedir. Bu sözel terimler Tablo 4’te yer alan bulanık sayı karşılıklarına göre nümerikleştirilmektedir.

2.4. f-SWARA&f-VIKOR Yöntemi

Bu yöntemde geleneksel Fine-Kinney yöntemi ile yapılmış olan bir risk analizi için öncelikle f-SWARA yardımıyla kriterler ağırlıklandırılmaktadır. Yapılan kriter ağırlıklandırması sonrasında f-VIKOR yöntemiyle tehlikelerin/alternatiflerin analizi yapılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda alternatifler risk durumuna göre sıralanmaktadır. Şekil 1’de bu hibrit yöntemin akış şeması gösterilmiştir.

Tablo 1. Olasılık, şiddet ve frekans değerleri tablosu [10].

Olasılık	Değer	Frekans	Değer	Şiddet	Değer
Çok kuvvetli ihtimal	10	Sürekli	10	Felaket (Çoklu ölümler, ya da $> \$10^7$ hasar)	100
Kuvvetli ihtimal	6	Sıklıkla	6	Çok kötü (Birkaç ölüm, ya da $> \$10^6$ hasar)	40
Nadir fakat olabilir	3	Ara sıra	3	Çok ciddi (Ölümcül, ya da $> \$10^5$ hasar)	15
Oldukça düşük ihtimal	1	Nadir	2	Ciddi (Ciddi sakatlık, ya da $\$10^4$ hasar)	7
Zayıf ihtimal	0.5	Oldukça nadir	1	Önemli (Sakatlık, ya da $\$10^3$ hasar)	3
Pratik olarak imkansız	0.2	Çok nadir	0.5	Dikkate alınmalı (Küçük ilk yardım gerektiren kazalar, ya da $> \$100$ hasar)	1
Neredeyse imkansız	0.1				

Tablo 2. Risk skoruna göre uygulanması gereken eylem tablosu [10].

Risk Skoru	Risk Durumu
>400	Çok yüksek risk; Çalışmaya ara verilerek derhal tedbir alınmalı
200 - 400	Yüksek risk; Kısa vadeli eylem planına alınarak giderilmeli
70 - 200	Önemli risk; Dikkatle izlenmeli ve yıllık eylem planına alınarak giderilmeli
20 - 70	Muhtemel risk; Eylem planına alınmalı.
<20	Risk; Kabul edilebilir.

**Şekil 1.** Hibrit f-SWARA&f-VIKOR metodunun akış şeması

Bu çalışma kapsamında risk analizi uygulaması için önermiş olduğumuz f-SWARA&f-VIKOR yöntemi üç işlem basamağından oluşmaktadır.

1. *Basamak: Kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi (Geleneksel Fine-Kinney Yöntemi)*

Bu çalışmada kriterlerin belirlenmesinde Fine-Kinney yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntemde kriterler bu yöntemin kriterleri olan olasılık, frekans ve şiddet olarak seçilmiştir. Bu yöntemde risk skoru ilgili kriterlerin matematiksel çarpımıyla elde edilmektedir [1,5,6].

$$RS = O \times F \times \S \quad (1)$$

Geleneksel Fine-Kinney yönteminde Kinney tarafından O , F ve \S kriterleri, risk skoru ve bu skora göre alınacak aksiyonlar için ayrı ayrı referans değerlerin yer aldığı ölçek geliştirilmiştir. Bu yöntemde risk skoru kriterler için Tablo 1 ve bu skora göre alınacak önlemler Tablo 2'deki veriler kullanılarak belirlenmektedir [6].

2. *Basamak: Kriterlerin ağırlıklandırılması (f-SWARA Yöntemi)*

Önerilen yöntemimiz kapsamında kriterlerin (O , F ve \S) ağırlıklandırılması işlemi f-SWARA yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemin işlem adımları aşağıdaki gibidir [13-16].

1. Adım: Bu adımda karar verici yardımıyla kriterlerin önem derecesinin yüksekte düşüğe sıralaması ve ilgili kriterlerin Tablo 3'teki sözel terimlerle skorlaması yapılmaktadır. Eğer birden fazla karar verici varsa her bir karar verici değerlendirmesini yaptıktan sonra nihai değer tespiti için geometrik ortalama kullanılmaktadır.

Tablo 3. Kriter değerlendirilmesi için kullanılan sözel terimler

Sözel terimler	Bulanık sayılar
Etkisiz (E)	(1, 1, 2)
Çok Düşük (ÇD)	(1, 2, 3)
Düşük (D)	(2, 3, 4)
Biraz Düşük (BD)	(3, 4, 5)
Orta (O)	(4, 5, 6)
Biraz Yüksek (BY)	(5, 6, 7)
Yüksek (Y)	(6, 7, 8)
Çok Yüksek (ÇY)	(7, 8, 9)

2. Adım: Bütün kriterlerin nispi önem dereceleri belirlenir. Bu işlem için j . kriter ($j+1$). kriterle karşılaştırılarak j . kriterin ($j+1$). kritere göre önem seviyesi tespit edilir. Elde edilen bu s_j değeri "ortalama değer karşılaştırılmalı önemi" olarak adlandırılmaktadır.

3. Adım: Bu adımda k_j katsayıları belirlenmektedir.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ s_{j+1} & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

4. Adım: Bu adımda q_j değişkeni belirlenmektedir.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (3)$$

5. Adım: Değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıkları şu şekilde belirlenir: Burada; w_j , değeri j . kriterin göreceli ağırlığını ifade etmektedir.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (4)$$

Bu çalışmada SWARA yöntemi bulanık mantık tabanlı olarak kullanılacaktır. Bu sebeple karar vericiler kriterlerin önem durumlarını Tablo 3'teki sözel terimleri kullanarak ifade edecektir. Daha sonra sözel ifadeler karşılık gelen bulanık sayılar kullanılarak durulaştırma işlemi yapılacaktır.

3. *Basamak: Tehlikelerin/alternatiflerin analizi (f-VIKOR Yöntemi)*

1. Adım: Sözel terimlerin belirlenmesi:
Bu aşamada karar vericiler belirlenen alternatifler için bulanık mantık tabanlı sözel ifadelerle kriterleri skorlamaktadır. Kullanılacak olan sözel terimlerin bulanık sayı karşılıkları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Tehlike/alternatif değerlendirme işlemi için kullanılan sözel terimlerin bulanık sayı karşılıkları

Sözel Terimler	Bulanık Sayılar (l, m, u)
Çok Kötü (ÇK)	(0, 0, 1)
Biraz Kötü (BK)	(0, 1, 3)
Kötü (K)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Biraz İyi (Bİ)	(5, 7, 9)
İyi (İ)	(7, 9, 10)
Çok İyi (Çİ)	(9, 10, 10)

2. Adım: Bulanık karar matrisinin oluşturulması:

Bu aşamada, satırlarda m adet alternatifin sütunlarda ise her alternatifin değerlendirildiği n adet kriterin ifade edildiği bir $m \times n$ boyutunda bulanık karar matrisi oluşturulmaktadır. Bu aşamada kullanılan kriterler f-SWARA yöntemi yardımıyla bir önceki aşamada ağırlıklandırılmıştır.

$$D = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_n \\ f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & f_{m3} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

3. Adım: Bu aşamada her bir kriter için en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri elde edilir. Burada “i” kıyaslama kriterlerini ($i=1,2,3,\dots,n$) “j” ise alternatifleri ($j=1,2,3,\dots,m$) göstermektedir. Eşitlik 5 ve 6 kullanılarak en iyi ve en kötü değerler tüm kriterler için tespit edilir.

$$f_i^* = \max_j f_{ij} \quad (5)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij} \quad (6)$$

4. Adım: Bütün kriterler için (f_i^*) ve (f_i^-) değerlerinin elde edilmesiyle tüm alternatifler için S_j ve R_j değerleri hesaplanır. Eşitlik 7’de yer alan S_j ortalama grup değerini, Eşitlik 8’deki R_j ise en kötü grup değerini ifade etmektedir.

$$S_j = \sum_{i=1}^n \frac{w_j(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (7)$$

$$R_j = \max \left[\frac{w_j(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \right] \quad (8)$$

Eşitlik 7 ve Eşitlik 8’de kullanılan w_j kriter ağırlık değerleri 2. Aşamada f-SWARA yöntemiyle hesaplanmış olan değerlerdir.

5. Adım: Bu aşamada her bir alternatif için Q_j değeri hesaplanarak maksimum grup faydası belirlenir.

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1-v)(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (9)$$

Eşitlik 9’daki S^* ve R^* değerleri en küçük S_j ve R_j değerlerini, S^- ve R^- değerleri de en büyük S_j ve R_j değerlerini ifade etmektedir. Ayrıca v değeri maksimum grup faydasının ağırlık değerini ve $(1-v)$ değeri ise farklı düşünceye sahip karar vericilerin minimum pişmanlık değerini göstermektedir. Literatürde genelde $v=0,5$ uyuşma değeri kullanılmaktadır [13]. Ancak tüm ihtimalleri belirlemek ve uygun v değerini tespit etmek için bu çalışmada

sırasıyla $v=0, v=0,25, v=0,50, v=0,75$ ve $v=1,00$ değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılacaktır.

6. Adım: Bütün alternatifler için en küçük değerden en büyük değere doğru elde edilen S_j , R_j ve Q_j değerlerinin sıralamaları yapılır.
7. Adım: S_j , R_j ve Q_j değerleri için yapılmış olan sıralamaya göre uzman karar vericiler için kabul edilebilir avantaj (C_1) ve kabul edilebilir istikrar (C_2) kümeleri tespit edilir. Eşitlik 10’da belirtilmiş olan şartı sağlayan alternatifler C_1 (Kabul Edilebilir Avantaj) kümesinde yer alacaktır.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq Q(D) \quad (10)$$

$$Q(D) = \frac{1}{(m-1)} \quad (11)$$

m adet alternatif için $Q(D)$ değeri Eşitlik 11’de gösterildiği gibi hesaplanır. Eşitlik 9’a göre bütün Q_j değerleri hesaplanarak alternatiflerin kümeleri elde edilir.

III. ÖNERİLEN HİBRİT YÖNTEM İLE RİSK ANALİZİ UYGULAMASI

Türkiye’de kimyasal kullanımının yoğun olduğu bir işyeri için yapılmış olan Fine-Kinney risk analizinin bir bölümü bu yöntem ile analiz edilmiştir. Yapılan analizde Tablo 5’te yer alan 18 adet tehlike bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır. Bu bağlamda öncelikle f-SWARA yardımıyla risk analizinde kullanılan O , F , S kriterleri ağırlıklandırılmıştır. Bu işlem için iş güvenliği uzmanı olan üç karar vericiden yardım alınmıştır. Yapılan kriter ağırlıklandırması sonrasında f-VIKOR yöntemiyle tehlikeler/alternatifler analiz edilerek sıralama yapılmıştır.

Ağırlıklandırma işlemi yapılırken tüm uzmanlardan f-SWARA yöntemi gereğince kriterleri etkiliden etkisize sıralaması ve her bir kriterin birbirine etki derecesini sözel terimlerle ifade etmesi istenmiştir. Bu çalışma için skora işlemi yapan tüm uzmanlar kriterleri en etkiliden en etkisize şiddet, frekans ve olasılık olarak aynı şekilde sıralamıştır. Tablo 6’da uzmanların Tablo 3’teki sözel terimlere göre kriterlerin birbirine göre etki derecelerinin ifadeleri yer almaktadır. Burada frekans sekmesindeki ifadeler şiddetin frekansa ve olasılık sekmesindeki ifadeler de frekansın olasılığa etkisini göstermektedir.

Tablo 5. Geleneksel Fine-Kinney Risk Analizi

Tehlike Kodu	Tehlikeler	Muhtemel Etkiler	Geleneksel Fine-Kinney Risk Analizi			Risk Skoru	Risk Sırası
			Olasılık	Frekans	Şiddet		
T1	Yük kaldırma, taşıma	Bel ağrısı, KİSH	1	3	7	21	15
T2	Toz/Sıvı kimyasala maruziyet	Göz, deri ve solunum sisteminde tahriş	1	6	7	42	14
T3	Basınçlı ekipman/malzeme basıncı etkisiyle bağlantının kopması	Kimyasalla temas, yaralanma	1	6	15	90	11
T4	Basınç göstergeleri çalışmayan ya da kırık olan basınçlı ekipman/malzeme kullanımı	Yaralanma, yanık	0,5	1	40	20	16
T5	İşe uygun olmayan personelin yüksekte çalışması ve yüksekte düşmesi	Ölüm, Kırık, Yaralanma, Sakatlık	6	6	40	1440	1
T6	Hammadde silo motoru ve havalı pompaların gürültüsü	İşitme kaybı, Meslek Hastalığı	1	3	40	120	9
T7	Silobasın dizel veya elektrik motorlu kompresörünün arızalanması, patlaması	Ölüm, Yaralanma	1	0,5	40	20	16
T8	Araçların çarpışması ya da trafiğin yoğun olması	Yaralanma, kırık	3	6	15	270	7
T9	Statik elektrik	Yaralanma, yanık	0,5	6	40	120	9
T10	Kişisel koruyucu ekipmanlarının(donanımlarının) kullanılmaması	Meslek Hastalıkları, Yaralanmalar	3	6	40	720	3
T11	Termal koşulların elverişli olmaması	Solunum yolu ve cilt hastalıkları	1	6	15	90	11
T12	Çatıdan veya siloların üst kısımlarından malzeme düşmesi	Yaralanma, Ölüm	0,5	1	40	20	16
T13	Sıvı ve gaz hammaddeye maruziyet	Göz, deri ve solunum sisteminde tahriş, meslek hastalığı	3	10	15	450	6
T14	Toz hammaddeye maruziyet	Meslek hastalığı, solunum yolu hastalıkları, cilt hastalıkları	3	10	40	1200	2
T15	Hammadde basma hattına veya vanasına baş çarpma	Travma, kırık, kesik	3	6	3	54	13
T16	Kimyasalların karıştırılması için mikser kullanımı	Yaralanma, uzuv veya doku kaybı	3	10	7	210	8
T17	Mikser karıştırıcısının temizlenmesi işlemi	Yaralanma, uzuv veya doku kaybı	3	6	40	720	3
T18	Hammadde devrilmesi, dökülmesi veya döküntüye müdahale	Yaralanma, Sakatlanma	3	6	40	720	3

Tablo 6. İş güvenliği uzmanlarının f-SWARA yöntemine göre kriterlere verdiği sözel ifadeler

	Kriterler		
	Şiddet (S)	Frekans (F)	Olasılık (O)
KV1	-	Y	E
KV2	-	Y	BY
KV3	-	ÇY	D

Her bir karar vericinin kriterler için yapmış olduğu ağırlıklandırma hesaplamaları 4 numaralı eşitlik yardımıyla tamamlandıktan sonra hepsinin geometrik ortalaması alınarak kriterlerin nihai ağırlıkları belirlenmiştir. Tüm karar vericilerin kriter ağırlık değerleri ve geometrik ortalama ile bulunan nihai değerler Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Karar vericiler tarafından f-SWARA yöntemiyle ağırlıklandırılmış kriterler

Karar Vericiler	Ağırlıklandırılmış Kriterler		
	Olasılık	Frekans	Şiddet
KV1	0,234	0,267	0,500
KV2	0,167	0,291	0,544
KV3	0,197	0,269	0,536
Geometrik Ortalama	0,198	0,276	0,526

Kriterlerin ağırlıkları f-SWARA yöntemi yardımıyla hesaplandıktan sonra bu değerler f-VIKOR analizinde kullanılmıştır. f-VIKOR analizi için öncelikle karar vericiler, klasik Fine-Kinney yönteminde kullanılan

tehlikelerin *O*, *F* ve *Ş* kriterlerini Tablo 4’e göre sözel terimlerle ifade etmişlerdir. Bu ifadeler Tablo 8’de gösterilmiştir. Ayrıca bu ifadeler karşılık gelen bulanık sayılar kullanılarak bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matriste $BNP_i = \frac{l_i + 4 \times m_i + u_i}{6}$ eşitliği kullanılarak bütün kriterlerin en iyi bulanık olmayan performans değerleri hesaplanmış ve bu değerler Tablo 9’da gösterilmiştir.

Tablo 10’daki veriler ışığında bütün kriterlerin en iyi (f_i^*) ve en kötü (f_i^-) değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler kullanılarak bütün tehlikeler için S_j ve R_j değerleri 7 ve 8 numaralı denklemler yardımıyla belirlenmiştir. Burada f-SWARA yöntemi yardımıyla belirlenmiş olan kriter ağırlıkları kullanılmıştır. Daha sonra 9 numaralı denklem yardımıyla her bir tehlike için Q_j değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan tüm bu değerler Tablo 10 ve Tablo 11’de gösterilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen Q_j değerlerinin en küçüğü en tehlikeli, en büyüğü ise en tehlikesiz durumu göstermektedir. Bu bağlamda tehlike öncelik sıralaması Q_j değerinin küçükten büyüğe doğru sıralanmasıyla belirlenir. Q_j değeri “0” olan T5 tüm “v” değerleri için öncelik sıralamasında 1. sıradadır. Aynı şekilde Q_j değeri “1” olan T15 ise tüm “v” değerleri için 18. sıradadır. Tüm tehlikeler ve tüm “v” değerleri için hesaplanan Q_j değerlerine ait grafik Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tüm v değerleri için hesaplanan Q_j değerlerine ait tehlike öncelik sıraları Tablo 12’de gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi Eşitlik 10’daki koşulu sadece $v=0$ ve $v=0,25$ değerleri için sağlanmıştır. Diğer “v” değerleri için bu şart sağlanamamaktadır. Dolayısıyla bu çalışma için v değeri “0” veya “0,25” olarak değerlendirilebilir. Ancak literatürde uyuşma değeri olarak kullanılan 0,5 değerine daha yakın olduğu için $v=0,25$ olarak seçilmiştir. Bu sebeple tehlike öncelik sıralamasında bu değer için hesaplanmış olan veriler kullanılmıştır. Şekil 3’te bulunan grafikte klasik Fine-Kinney ve f-SWARA&f-VIKOR yöntemleri için tehlike öncelik sıralaması karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 8. Tehlikelere/alternatiflere bağlı kriterlerin sözel terimlerle ifade edilmesi

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
O	O	O	O	BK	İ	O	O	Bİ	BK	Bİ	O	BK	Bİ	Bİ	Bİ	Bİ	Bİ	Bİ
F	Bİ	İ	İ	BK	İ	Bİ	K	İ	İ	İ	İ	BK	Çİ	Çİ	İ	Çİ	İ	İ
Ş	O	O	Bİ	İ	İ	İ	İ	Bİ	İ	İ	Bİ	İ	Bİ	İ	BK	O	İ	İ

Tablo 9. Sözel terimlerle ifade edilen kriterlere ait nümerik değerler

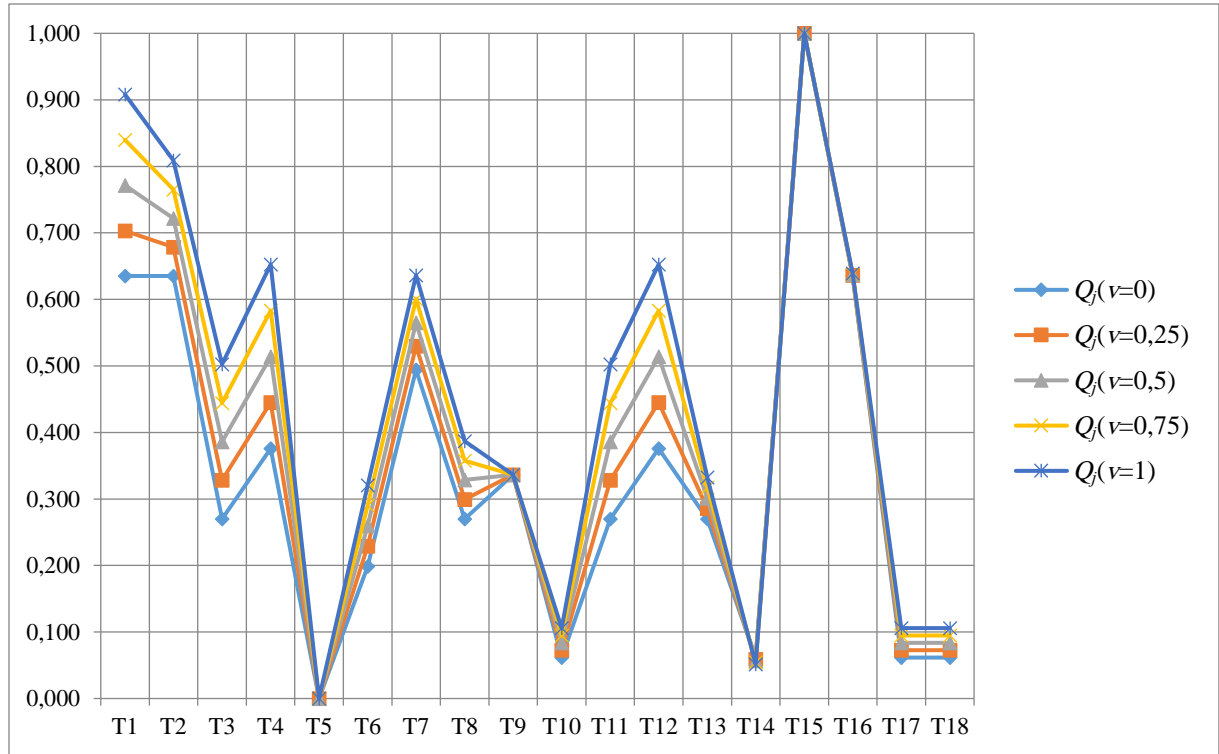
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
O	5.000	5.000	5.000	3.000	8.833	5.000	5.000	7.000	3.000
F	7.000	8.833	8.833	3.000	8.833	7.000	1.167	8.833	8.833
Ş	5.000	5.000	7.000	8.833	8.833	8.833	8.833	7.000	8.833
	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
O	7.000	5.000	3.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
F	8.833	8.833	3.000	9.833	9.833	8.833	9.833	8.833	8.833
Ş	8.833	7.000	8.833	7.000	8.833	3.000	5.000	8.833	8.833

Tablo 10. f-**VIKOR** yöntemiyle yapılan hesaplamalar ile elde edilen değerler

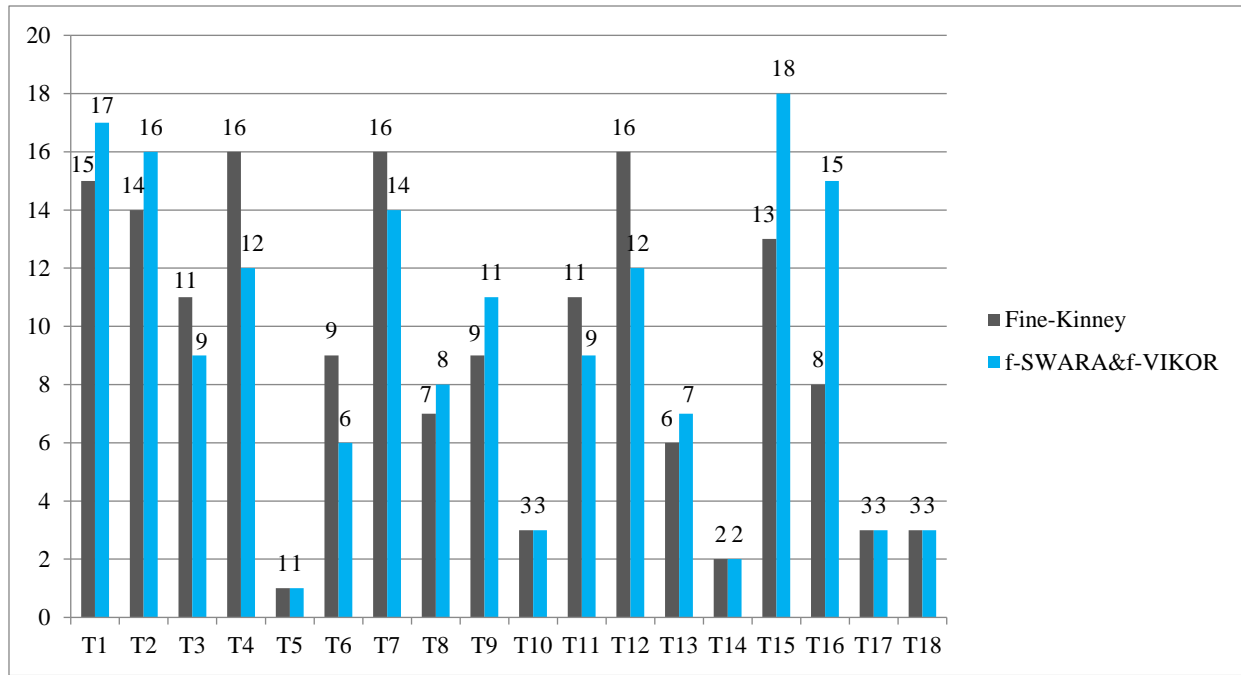
	w	f_i^+	f_i^-	S^*	S^-	R^*	R^-	ν
Ş	0,5260	8,833	3,000	0,032	0,620	0,032	0,526	0
F	0,2760	9,833	1,167					0,25
O	0,1980	8,833	3,000					0,75
								1,00

Tablo 11. Tehlikelere ait S_j , R_j , Q_j değerleri ve tehlikelerin öncelik sıralaması

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
S_j	0,566	0,508	0,327	0,416	0,032	0,220	0,406	0,259	0,230
R_j	0,346	0,346	0,165	0,218	0,032	0,130	0,276	0,165	0,198
Q_j ($\nu = 0,00$)	0,635	0,635	0,270	0,376	0,000	0,199	0,494	0,270	0,336
Q_j ($\nu = 0,25$)	0,703	0,678	0,328	0,445	0,000	0,229	0,530	0,299	0,336
Q_j ($\nu = 0,50$)	0,772	0,722	0,386	0,514	0,000	0,260	0,565	0,328	0,336
Q_j ($\nu = 0,75$)	0,840	0,765	0,444	0,583	0,000	0,290	0,601	0,358	0,337
Q_j ($\nu = 1,00$)	0,908	0,809	0,502	0,652	0,000	0,320	0,636	0,387	0,337
	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18
S_j	0,094	0,327	0,416	0,228	0,062	0,620	0,408	0,094	0,094
R_j	0,062	0,165	0,218	0,165	0,062	0,526	0,346	0,062	0,062
Q_j ($\nu = 0,00$)	0,061	0,270	0,376	0,270	0,061	1,000	0,635	0,061	0,061
Q_j ($\nu = 0,25$)	0,073	0,328	0,445	0,286	0,059	1,000	0,636	0,073	0,073
Q_j ($\nu = 0,50$)	0,084	0,386	0,514	0,301	0,057	1,000	0,637	0,084	0,084
Q_j ($\nu = 0,75$)	0,095	0,444	0,583	0,317	0,054	1,000	0,638	0,095	0,095
Q_j ($\nu = 1,00$)	0,106	0,502	0,652	0,333	0,052	1,000	0,639	0,106	0,106

Şekil 2. Hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemi ile hesaplanan Q_j değerleriTablo 12. Tehlikelerin Q_j değerlerine göre öncelik sıralamaları

Tehlike Kodu	Tehlike Öncelik Sırası				
	$Q_j(\nu=0,00)$	$Q_j(\nu=0,25)$	$Q_j(\nu=0,50)$	$Q_j(\nu=0,75)$	$Q_j(\nu=1,00)$
T1	15	17	17	17	17
T2	15	16	16	16	16
T3	7	9	10	10	10
T4	12	12	12	12	14
T5	1	1	1	1	1
T6	6	6	6	6	6
T7	14	14	14	14	12
T8	7	8	8	9	9
T9	11	11	9	8	8
T10	2	3	3	3	3
T11	7	9	10	10	10
T12	12	12	12	12	14
T13	7	7	7	7	7
T14	2	2	2	2	2
T15	18	18	18	18	18
T16	15	15	15	15	13
T17	2	3	3	3	3
T18	2	3	3	3	3



Şekil 3. Hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemi ve klasik Fine-Kinney yöntemiyle belirlenen tehlike öncelik sıralarının karşılaştırılması

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Risk analizi yapılırken en önemli aşama risk skorunun belirlenmesidir. Elde edilen değerlere göre risklerin önceliklendirilmesi yapılacağı için yapılacak bir hata alınacak önlemlerin önceliğini de etkileyeceğinden bu durum işyerlerinde basit yaralanmadan ölümcül kazalara kadar istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Dolayısıyla uygulanacak olan risk analizinin doğruluğu, hassaslığı ve işyerine uygunluğu oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında kimya endüstrisinde yer alan bir işyeri için geleneksel Fine-Kinney yöntemiyle yapılmış bir risk analizi hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemi uygulanarak tekrarlanmış ve iki analizin karşılaştırılması yapılmıştır.

Geleneksel risk analiz yöntemlerinde her bir kriter nümerik değerler verilerek risk skoru elde edilmektedir. Yapılan bu uygulama ile tüm kriterlerin etki oranları eşit olarak varsayılmıştır. Oysaki her kriter aynı önem düzeyine sahip değildir. Bu nedenle çalışmamızda f-VIKOR yöntemiyle risk analizi yapılmadan önce f-SWARA yöntemi yardımıyla iş güvenliği uzmanı olan üç karar vericinin yardımıyla kriterlerin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Yapılan işlem sonucunda olasılık, frekans ve şiddet kriterlerinin ağırlıkları sırasıyla 0.198, 0.276 ve 0.526 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de kimya endüstrisinde yer alan önemli işletmelerden birisi için Fine-Kinney risk analizi yöntemi kullanılmıştır. Yapılmış olan bu analiz f-SWARA&f-VIKOR yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Analiz için 18 adet tehlike alternatif olarak kullanılmıştır. Tespit

edilmiş olan bu tehlikeler için karar matrisi oluşturulmuştur. f-SWARA yöntemi yardımıyla ağırlıklandırılmış olan kriter değerleri kullanılarak bu matrisin normalizasyon işlemi yapılmıştır. Daha sonra f-VIKOR yönteminin ilgili hesaplamaları kullanılarak her bir alternatif için Q_j değerleri belirlenmiştir. f-VIKOR analizi alternatifleri sıralarken fayda odaklı sıralama yapmaktadır. Yani alternatifler için 0-1 aralığında belirlenen Q_j değerlerinden 1 değerine sahip olan alternatif en faydalıdır/risksizdir. Bu bağlamda çalışmamızda önerilen entegre yöntem yardımıyla her bir alternatif/tehlike için hesapladığımız risk skoruna karşılık gelen Q_j değeri ne kadar küçükse risk o kadar fazla demektir. Burada çeşitli “ v ” değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve $v=0,25$ değeri en uygun olarak tespit edilmiştir. Bu değer kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda en küçük Q_j değeri olan 0,000’a sahip olduğu için T5 en riskli duruma karşılık gelmektedir. Yine 1,000 değerine sahip olan T15 ise en risksiz durumdur.

Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda geleneksel Fine-Kinney yöntemiyle yapılmış tehlike sıralaması ile yeni bir yöntem olarak kullanılan hibrit f-SWARA&f-VIKOR yöntemiyle yapılmış sıralama arasında farklılıklar oluşmuştur. Bunun temel nedeni hassasiyet eksikliği ve belirsizlik durumları taşıyan geleneksel yöntemde kriterlerin herhangi bir ağırlık değerinin olmamasıdır. Çalışmada kullanılan hibrit yöntemle kriterler ağırlıklandırılmış ve çok kriterli karar verme yöntemleri bulanık mantık tabanlı olarak kullanılarak hassasiyet artırılmış ve belirsizlikler ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Bu sebeple iki yöntem arasında tehlike öncelik sıralamasında farklılıklar görülmüştür.

İşyerlerinde risklerin tespiti için yapılan işlemler bir karar verme süreci gerektirmektedir. Bu sebeple risk tespiti için uygulanmış olduğumuz ÇKKV yöntemlerinin değerlendirilmesi çok daha uygun olacaktır. Ancak geleneksel yöntemlerde nümerik değerler kullanılarak yapılan hesaplamalarda olumsuz ve dezavantajlı durumlar bulunmaktadır. Bu olumsuz durumları bertaraf etmek için bulanık mantık tabanlı ÇKKV yöntemleri kullanılarak nümerik değerler yerine insan doğasına daha uygun olan sözel terimler kullanılmıştır. Böylece klasik yöntemlerde oluşan belirsizliklerin ve hassasiyet eksikliğinin ortadan kaldırılması için önemli bir uygulama yapılmıştır.

Sonuç olarak hangi yöntem kullanılarak risk analizi yapılırsa yapılsın belirlenen önlemleri uygulayacak olan yine insandır. Bu sebeple işyerlerinde güvenlik kültürü anlayışının en üst birimdeki yöneticiden en alt birimdeki çalışana kadar sıkı bir şekilde uygulanması ve çalışanların bu bağlamdaki kurallara uygun davranışlar sergilemeleri çok önemlidir. Hiçbir şeyin insan hayatından daha değerli olmadığı düşünülerek işyerlerinde alınacak önlemler gereksiz ve fazla maliyet olarak görülmemelidir.

KAYNAKÇA

- [1] Kokangül A, Polat U, ve Dağsuyu C. 2017. A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Safety Science*. 91:24–32. doi:10.1016/j.ssci.2016.07.015
- [2] Hacibektaşoğlu SE, 2018. İnşaat sektöründe yaşanan iş kazalarının analizi ve bu kazalara neden olan etkenlerin incelenmesi. *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*. 2(3):159-177. doi: 10.30692/sisad.452112
- [3] Yağımlı M ve Hacibektaşoğlu SE. 2018. Türkiye’de inşaat sektöründe yaşanan iş kazaları ve ölümlü iş kazası sayılarının tahmini. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi. 9(22):142-156.
- [4] Gul M ve Celik E. 2018. Fuzzy rule-based Fine–Kinney risk assessment approach for rail transportation systems. *Human and Ecological Risk Assessment*. 24(7):1786-1812. doi:10.1080/10807039,2017,1422975
- [5] Hacibektaşoğlu SE, Mertoglu B ve Tozan H. 2021. Application of a novel hybrid f-SC risk analysis method in the paint industry. *Sustainability*. 13(24), 13605. <https://doi.org/10.3390/su132413605>
- [6] Ahmed MT, Omotunde H. 2012. Theories and strategies of good decision making. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 1:51–54.
- [7] Sirakaya E, Woodside AG. 2005. Building and testing theories of decision making by travellers. *Tourism management*. 26:815–832.
- [8] Gigerenzer G, Gaissmaier W. 2015. Decision making: Nonrational theories. In: *International encyclopedia of the social & behavioral sciences*. Elsevier. 911–916. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.26017-0>
- [9] Kou G, Peng Y, Wang G. 2014. Evaluation of clustering algorithms for financial risk analysis using MCDM methods. *Information Sciences*. 275:1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.02.137>
- [10] Kinney GF ve Wiruth AD. 1976. Practical risk analysis for safety management [Final Report].
- [11] Oturakçı M ve Dağsuyu C. 2017. Fuzzy Fine-Kinney approach in risk assessment and an application. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*. 1(1):17-25.
- [12] Aker A ve Özçelik TÖ. 2020. Risk assessment with 5x5 Matrix and Fine-Kinney method in metal industry. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*. 4(1):65-75.
- [13] Keršulienė V, Zavadskas EK ve Turskis Z. 2010. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*. 11(2): 243-258.
- [14] Keršulienė V ve Turskis Z. 2011. Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection. *Technological and Economic Development of Economy*. 17(4): 645–666.
- [15] Mishra AR, Rani P, Pandey K, Mardani A, Streimikis J, Streimikiene D ve Alrasheedi M. 2020. Novel multi-criteria intuitionistic fuzzy SWARA–COPRAS approach for sustainability evaluation of the bioenergy production process. *Sustainability*. 12:4155. doi:10.3390/su12104155
- [16] Yucenur GN, Caylak S, Gönül G ve Postalcioglu M. 2020. An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility. *Renewable Energy*. 145:2587-2597. doi:10.1016/j.renene.2019.08.011
- [17] Zavadskas EK, Hasan Aghdaie M, Hashemkhani Zolfani S. 2013. Decision making in machine tool selection: An integrated approach with SWARA and COPRAS-G methods. *Engineering Economics*. 24:5–17. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.24.1.2822>
- [18] Hashemkhani Zolfani S, Yazdani M, Zavadskas EK. 2018. An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA)

- method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*. 22:7399–7405. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3092-2>
- [19] Kouchaksaraei RH, Zolfani SH, Golabchi M. 2015. Glasshouse locating based on SWARA-COPRAS approach. *International Journal of Strategic Property Management*. 19:111–122. <https://doi.org/10.3846/1648715X.2015.1004565>
- [20] Alimardani M, Hashemkhani Zolfani S, Aghdaie MH, Tamošaitienė J (2013) A novel hybrid SWARA and VIKOR methodology for supplier selection in an agile environment. *Technological and economic development of economy* 19:533–548
- [21] Opricovic S, Tzeng G-H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 156:445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- [22] Gul M, Ak MF, Guneri AF. 2019. Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry. *Journal of Safety Research*. 69:135–153
- [23] Opricovic S ve Tzeng GH. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 156(2):445-455.
- [24] Chen LY ve Wang T. 2009. Optimizing Partners choice in IS/IT outsourcing process: The strategic decision of fuzzy VIKOR. *International Journal of Production Economics*. 120:233-242.
- [25] Opricovic S. 2011. Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. *Expert Syst, Appl*. 38(10):12983–12990.
- [26] Tzeng GH ve Huang JJ. 2011. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Taylor and Francis Group. New York, NY.
- [27] Kim Y ve Chung ES. 2013. Fuzzy VIKOR approach for assessing the vulnerability of the water supply to climate change and variability in South Korea. *Applied Mathematical Modelling*. 37, 9419–9430.
- [28] Wei J ve Lin X. 2008. The Multiple Attribute Decision-Making VIKOR Method and Its Application, In *Wireless Communications. WiCOM'08, 4th International Conference. Networking and Mobile Computing*. 1-4.
- [29] Gul M, Guven B ve Guneri AF. 2018. A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 53:3-16. [doi:10.1016/j.jlp.2017.08.014](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.08.014)