


Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP Yöntemleri ile Risk Analizi Örneği

Hasan İsci^{1*} , Zehra Baykara¹ , Buğrahan Tülüce² 

¹Endüstri Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

*hasan.isci@std.yildiz.edu.tr

Özet

Birçok klasik risk analizi yöntemi, subjektif ve gözlemsel değerlendirmeleri içerir. Özellikle iş kazaları ve ramak kala olayların kaydedilmediği, operasyonlar ve süreçler hakkında tarihsel bilginin bulunmadığı durumlarda, yapılan analizler kişiden kişiye farklılık gösterebilir. Bu nedenle, yapılan analizleri daha matematiksel ve sayısal bir şekilde ifade etmek, analizin doğruluğu ve doğrulaması açısından daha verimli bir çalışma sağlamaktadır. Bu nedenle risk analizlerinde çok kriterli karar verme metotları kullanılmaya başlanmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemleri popülerlik kazanmış ve uygulamalarda ve çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden popüler olanlardan ikisi de AHP ve TOPSIS'tir. Bu çalışmada, park ekipmanları üreten bir şirket için risk analizi gerçekleştirilmiştir. Tehlike tanımlamaları ve risklerin analizi için 5x5 matris yöntemi kullanılmıştır. Tespit edilen tehlikelerden on adeti çalışmanın örneklemini oluşturmaktadır. Risk analizi yapılırken uzman görüşleri dikkate alınmıştır. Tehlikelerin seçilmesinde risk türleri dikkate alınmıştır. Belli başlı risk türlerinden fiziksel, kimyasal, ergonomik, psikolojik riskler örnek olarak alınmıştır. Tehlikelerin skorlanmasında kullanılan değişkenler olasılık ve şiddet olarak seçilmiştir. Tüm yöntemler bu değişkenler kullanılarak uygulanmıştır. Ardından elde edilen veriler kullanılarak Bulanık TOPSIS ve Bulanık AHP metotlarıyla değerlendirme yapılmıştır. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden en çok tercih edilen AHP ve TOPSIS 'in uygulama adımları açıklanmıştır. Değerlendirme sonuçları her bir yöntem için karşılaştırılmıştır. On tehlikenin her biri için skorlarına göre öncelik sıralaması tablo halinde sunulmuştur. Sonuçlara göre tehlikeler önemlerine göre sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık TOPSIS, Bulanık AHP, L-tipi matris, Bulanık küme kuramı

Example of Risk Analysis with Fuzzy TOPSIS And Fuzzy AHP Methods

Abstract

Many classical risk analysis methods involve subjective and observational assessments. Especially in cases where work accidents and near misses are not recorded and historical information about operations and processes is not available, the analysis may differ from person to person. For this reason, expressing the analysis more mathematically and numerically provides a more efficient study in terms of accuracy and verification of the analysis. For this reason, multi-criteria decision-making methods have started to be used in risk analysis. Multi-criteria decision-making methods have gained popularity and are used in applications and studies. Two of the popular methods are AHP and TOPSIS. In this study, a risk analysis was performed for a company manufacturing playground equipment. A 5X5 matrix method was used for hazard identification and risk analysis. Ten of the identified hazards constitute the sample of the study. Expert opinions were taken into consideration during the risk analysis. Risk types were taken into account in the selection of hazards. Physical, chemical, ergonomic, and psychological risks were taken as examples of the main risk types. The variables used in scoring the hazards were chosen as probability and severity. All methods were applied using these variables. Then, Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP methods were used to evaluate the data obtained. The application steps of AHP and TOPSIS, which are the most preferred fuzzy multi-criteria decision-making methods, are explained. The evaluation results are compared for each method. For each of the ten hazards, the priority ranking according to their scores is presented in a chart. According to the results, the hazards are ranked according to their importance.

Keywords: Fuzzy TOPSIS, Fuzzy AHP, L-type matrix, Fuzzy set theory

1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye’de, sanayileşme ve teknolojik ilerlemeye paralel olarak, işyerlerindeki çalışanların güvenliği ile ilgili ortak sorunlar gündeme gelmeye başlamıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte çalışanlar, daha önce karşılaşmadıkları yeni risk ve tehlikelerle karşı karşıya kalmaktadır. Başlangıçta fazla önemsenmeyen bu sorunların işletmelerin çalışmasını tehlikeye sokması ve iş verimini olumsuz etkilemesi sonucu, sağlık ve güvenlikle ilgili tedbirlerin alınması gündeme gelmiştir. Her geçen gün iş kazalarıyla maddi ve manevi kayıpların büyük boyutlara ulaşması konunun önemini daha da artırmaktadır [1].

İşletmeler iş kazalarından korunmak ve ulusal mevzuata uymak için risk analizi yapmak veya yaptırmak zorundadır [2]. Çalışma kapsamında, park ekipmanları sektöründe risk önlemlerinin artırılması ve olası risk durumlarının saptanması önem taşımaktadır. Çalışmanın amaçlarından birisi de risk değerlendirmesi kavramını ve yöntemlerini tanıtmaktır. Bu çalışmada, park ekipmanları sektöründe meydana gelebilecek riskleri içeren mevcut L Tipi (5x5) Matris üzerinden 10 farklı risk seçilerek bu durumların risk analizini gerçekleştirilmesi amacıyla Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Bu iki yöntem, risk durumlarının önemini ve sonuçlarını değerlendirmek için Bulanık Mantığı ve Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımını bir araya getirmektedir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Gül, çalışmasında limanlarda karşılaşılan güvenlik sorunlarını ele almaktadır. Riskleri azaltmak ve kontrol etmek amacıyla bir risk değerlendirme çerçevesi önermektedir. Türkiye’deki bir uluslararası liman otoritesinde yapılan vaka çalışmasıyla, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri olan B-AHP ve VIKOR kullanılarak tehlikelerin öncelik sıralaması belirlenmiştir. Önerilen çerçeve, risk faktörlerine ağırlık atama ve önceliklendirme sürecinde uzman görüşlerine bağımlılık eksikliği gibi bazı sorunları çözmekte ve limanlardaki risklerin değerlendirilmesine katkı sağlamıştır [3].

Liu ve Tsai ‘nin çalışmalarında, inşaat sektöründeki mesleki tehlikelerin azaltılması veya önlenmesine yönelik bir bulanık risk değerlendirme yöntemi önerilmektedir. Yöntem, inşaat unsurları, tehlike türleri ve tehlike sebepleri arasındaki ilişkileri temsil etmek için iki aşamalı Kalite Fonksiyon Dağılımı (QFD) tablolarını kullanmaktadır. Ayrıca, Bulanık Analitik Ağ Süreci (ANP) yöntemi kullanılarak önemli tehlike türleri ve tehlike sebepleri belirlenmektedir. Bulanık çıkarım yaklaşımına dayalı Hata Modları ve Etkileri Analizi (FMEA) ise tehlike sebeplerinin risk değerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Önerilen yöntem, bir telekom mühendislik şirketinde uygulanmış ve performans değerlendirmesi sonucunda, tehlike sebeplerinin tatmin edici risk değerlendirme değerleri ve ilgili iyileştirme stratejileri sağlayabileceği belirlenmiştir [4].

Zhang ve Zou’nun çalışmalarında bir hiyerarşi yapısı oluşturularak, JV (Joint Venture) projelerine ilişkin risk ortamının değerlendirilmesi için Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHP) modeli geliştirmiştir. Önerilen model, risk uzmanının bilgisini entegre ederek JV projelerindeki riskleri etkili bir şekilde ele almayı amaçlamıştır. Bu çalışmada, önerilen Bulanık AHP modelinin uygulanması için bir deneysel vaka çalışması kullanılmış ve modelin JV projelerindeki risklerle başa çıkmada etkili olduğu sonucuna varılmıştır [5].

Taylan, çalışmasında inşaat projelerinin belirsiz ve tamamlanmamış durumlardaki risklerini değerlendirmek için yeni analitik araçlar kullanmıştır. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHP) ve Bulanık TOPSIS yöntemleri, projelerin risk önceliklerini belirlemek ve projeleri kategorize etmek için kullanılmıştır. AHP, inşaat projelerinin genel riskini değerlendirmek için ağırlıklandırma yaparken, TOPSIS yöntemi grup karar verme problemlerini çözmekte ve nitel verileri nicel ölçümlere dönüştürmüştür. Bu yeni metodolojiler, inşaat projelerinin genel risklerini değerlendirmek ve en düşük riskli projeyi seçmek için etkili bir yaklaşım sunmuştur [6].

Mızrak Özfırat'ın çalışması, modern bir risk analizi yöntemi olan Hata Modları ve Etkileri Analizi (FMEA) yöntemini, bulanık mantıkla birleştirerek her iki yaklaşımın avantajlarını bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Bu entegrasyon sayesinde FMEA sonuçları daha gerçekçi hale getirilmektedir. Geliştirilen yöntemde, FMEA 'da kullanılan olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik kriterleri, Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHP) tekniğiyle bulanık önceliklendirme yöntemi ile ele alınmaktadır. Belirtilen riskler tüm üç kriter açısından değerlendirilir ve risklerin önem katsayıları elde edilir. Bu katsayılar, FMEA 'da tanımlanan tablolara çevrilerek risk öncelik sayıları (RÖS) hesaplanır. BAHP ve FMEA'nın birleştirilmesi, RÖS hesaplamalarının daha objektif, analistten bağımsız ve gerçekçi bir şekilde yapılmasını sağlar [7].

Yılmaz ve Şenol 'un çalışması 2 aşamadan oluşmaktadır: Tehlikelerin değerlendirilmesi ve bu tehlikelere yönelik önlemlerin değerlendirilmesidir. Bu süreçte, Bulanık Mantık ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri, geleneksel risk analizi yaklaşımının etkinliğini artırmak için risk analizi sürecine entegre edilmiştir. İlk aşamada, geleneksel risk analizinde kullanılan "olasılık" ve "şiddet" faktörlerine ek olarak "maliyet" faktörü de dahil edilmiş, faktör ağırlıkları Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHP) ile belirlenmiştir. Bu ağırlıklar kullanılarak tehlikeler, Bulanık-TOPSIS ile önceliklendirilmiştir. İkinci aşamada ise tehlikelerin faktör ağırlıkları kullanılarak önlemlerin öncelik sırası Bulanık-TOPSIS ile belirlenmiştir. Bu yaklaşımın önemi, risklerin yanı sıra önlemlerin de önceliklendirilmesidir. Önlemlerin önceliklendirilmesinde, tehlikeler için belirlenen faktör ağırlıkları dikkate alınmış; riskler ve önlemler bir arada değerlendirilmiştir [8].

Hacıbektaşoğlu vd.'nin çalışması, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) faaliyetlerine odaklanarak işyerlerindeki çalışanların iyi olma durumlarını sağlama amacını taşımaktadır. Bu çalışma, geleneksel Fine-Kinney yöntemini Bulanık Mantık temelli Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile entegre ederek risk analizini geliştirmeyi amaçlamaktadır. Karar vericilere uygun dil terimleri kullanılarak daha anlamlı bir yöntem geliştirilmektedir. Olasılık, maruziyet ve ciddiyet kriterleri, güvenlik uzmanları tarafından B-SWARA ÇKKV yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıklar daha sonra tehlike önceliklendirmesi için B-VIKOR yöntemine entegre edilir. Çalışma, risk analizinde kriter ağırlıklamanın önemini vurgulayarak Bulanık Mantık temelli ÇKKV yöntemlerinin kullanımının insan kaynaklı hataları önemli ölçüde azaltmada önemli bir katkısı olduğunu göstermektedir. Hibrit yöntemin sonuçları geleneksel yaklaşımın sonuçlarıyla karşılaştırılmış, bu yeni entegre yaklaşımın potansiyel faydaları ortaya konmuştur [9].

Son olarak Çalık'ın yayını, çevresel düzenlemelere ve müşteri beklentilerine uyum sağlamak amacıyla şirketlerin tedarik zinciri yönetimi uygulamalarına çevresel faktörleri entegre etme gerekliliğine odaklanmaktadır. Yeşil Tedarik Zinciri (YTZ) stratejileri geliştirmek amacıyla şirketler, çeşitli riskler ve belirsiz faktörlerle karşılaşırken operasyonları aksatabilecek ve tedarik zinciri başarısını düşürebilecek risklerle karşı karşıyadır. Bu çalışma, belirsiz bir ortamda YTZ uygulamalarına ilişkin riskleri değerlendirmek için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), TOPSIS, VIKOR ve ARAS metodolojilerini birleştiren entegre bir karar alma yaklaşımı önermektedir. Türkiye'deki bir mobilya üretim şirketi üzerine yapılan bir vaka çalışmasıyla, Bulanık AHP yöntemi risk önceliklerini belirlerken, Bulanık TOPSIS, VIKOR ve ARAS yöntemleri bu önceliklere dayalı olarak tedarikçi risklerini değerlendirmektedir. Önerilen yaklaşım, stratejik karar alma süreçlerinde risk önemini anlamak ve farklı karar alma yöntemlerini değerlendirmek için sistematik araçlar sunmaktadır [10].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi, 1960'lı yıllarda Lotfi Zadeh tarafından geliştirilen bir matematiksel modeldir. Bu teori, belirsizlik içeren problemleri ele almak ve bu belirsizlik durumlarını matematiksel olarak ifade etmek için kullanılır. Bulanık küme teorisi, geleneksel kesin küme teorisi yerine belirsiz ve bulanık durumları ele alarak gerçek dünyadaki karmaşık sorunları çözmek için kullanılan bir araçtır.

Bulanık küme teorisi, elemanların tam olarak bir küme içinde veya dışında olmadığı durumları ele alır. Örneğin, "yüksek sıcaklık" gibi bir kavramı ele alalım. Geleneksel küme teorisi, bir elemanın ya yüksek sıcaklık içinde (1) ya da dışında (0) olduğunu söylerken, bulanık küme teorisi bir elemanın yüksek sıcaklığa ne kadar uyduğunu bir üyelik derecesiyle ifade eder. Bu üyelik derecesi 0 ile 1 arasında değişebilir ve elemanın kavramla ne kadar ilişkili olduğunu yansıtır. Örneğin, 0.8 üyelik derecesi, elemanın yüksek sıcaklık kavramıyla yüksek derecede ilişkili olduğunu gösterirken, 0.2 üyelik derecesi daha düşük bir ilişkiyi ifade eder [3].

3.2 Bulanık AHP Yöntemi

Literatürde pek çok bulanık AHP uygulaması mevcuttur. Bu uygulamalarda da farklı AHP yaklaşımları kullanılmıştır. Çeşitli araştırmacılar tarafından, bulanık kümeler kuramını ve hiyerarşik yapıyı kullanarak çok ölçütlü ortamda en iyi seçeneği belirlemeye veya seçenekleri sıralamaya yönelik çeşitli yöntemler sunulmuştur. Kıyaslama prosesinin bulanık doğasından dolayı karar vericiler ikili kıyaslamalarını sabit bir değer olarak belirlemektense, bir aralık üzerinde ifade etmeyi veya sözel olarak gerçekleştirmeyi tercih etmektedirler. Bu metodlar, bulanık küme teorisi kavramını ve hiyerarşik yapı analizini kullanarak bir alternatifin seçimini ve ağırlıklandırılmasına yönelik sistematik yaklaşımları içerir.

Bulanık küme teorisinin üçgensel bulanık sayılar metodu bu çalışma için uygun görülmüştür. Bir üçgen üyelik fonksiyonu, üç nokta ile tanımlanmaktadır. Bulanık üyelik dereceleri l , m , u sayıları ile ifade edilmektedir. l ve u üyelik fonksiyonunun sınırlarının uç noktalarını, m de üçgen bulanık sayının tepe noktasını yani yüksekliğini göstermektedir [11]. Aşağıda, Chang Bulanık AHP'de Meritebe Analizi Yöntemi ayrıntılı olarak anlatılacak ve risk analizi için uygulanacaktır [12].

$x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, bir ölçüt kümesi $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, bir amaç kümesi olsun. Chang'ın yöntemine göre, her bir ölçüt alınır ve her bir hedef için Meritebe Analizi uygulanır. Böylece her bir ölçüt için m tane meritebe analiz değerleri elde edilir. Bu değerler şu şekilde gösterilir. $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m$ $i = 1, 2, \dots, n$ Burada tüm $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$)'ler üçgensel bulanık sayılardır. Chang Meritebe Analizinin adımları şu şekilde sıralanabilir:

Adım 1: Ölçüt i 'ye göre bulanık sentetik meritebenin değeri şu şekilde tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

Buradaki $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ değerini elde etmek için m meritebe analiz değerine aşağıda görüldüğü gibi bulanık toplama işlemi uygulanır.

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (3)$$

Daha sonra aşağıdaki vektörün tersi şu şekilde elde edilir.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (4)$$

Adım 2: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ 'nin olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min \mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y)] \quad (5)$$

Denk olarak şu şekilde de ifade edilebilir:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) \begin{cases} 1, & \text{eger } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{eger } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diğer} \end{cases} \quad (6)$$

Denk şekilde $V(M_2 \geq M_1)$ 'i d , μ_{M_1} ve μ_{M_2} arasındaki en yüksek keşişim noktası D 'nin ordinatı olmak üzere Şekil 1 'de görüldüğü gibi ifade edebiliriz. M_1 ve M_2 'yi kıyaslayabilmek için $V(M_2 \geq M_1)$ ve $V(M_1 \geq M_2)$ değerlerinin her ikisi de gerekmektedir.

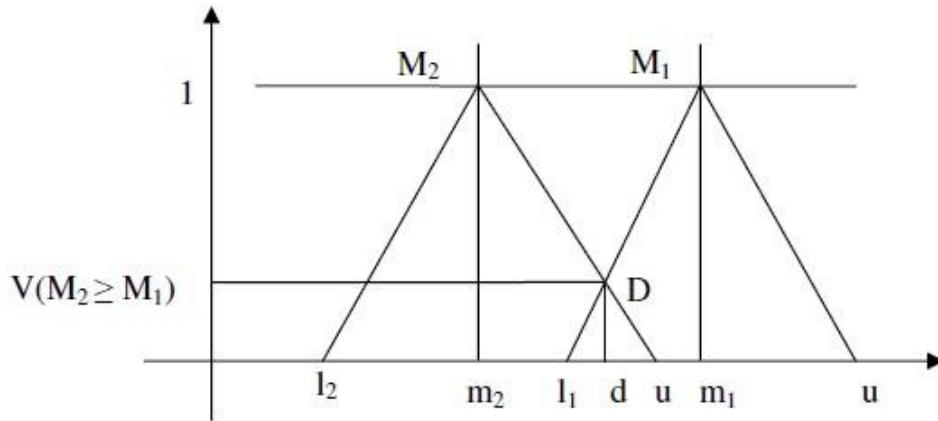
Adım 3: Bir konveks bulanık sayının k tane konveks bulanık sayıdan $M_i = (i=1, 2, \dots, k)$ büyük olmasının olabilirlik derecesi şu şekilde tanımlanır.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] \quad (7)$$

$$= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k \quad (8)$$

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (9)$$

olduğunu varsayalım, $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$ için ağırlık vektörü aşağıda görüldüğü gibidir.



Şekil 1. M_1 ve M_2 arasındaki keşişim noktası [12]

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (10)$$

Burada $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ n sayısı kadardır.

Adım 4: Normalize edilmiş ağırlık vektörleri, aşağıdaki gibidir. Burada W , bulanık olmayan bir sayıdır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (11)$$

Bulanık AHP'de önceliklendirme yapılırken kullanılan dilsel ifadelerin tablosu Tablo 1'de verilmiştir [13].

Tablo 1. Dilsel ifadeler için bulanık sayılar [13]

İki alt elemanın göreceli önemi	Bulanık üçgen sayı	Tersine bulanık üçgen sayı
Eşit derecede önemli	1,1,1	1,1,1
1 ile 3 arasında yer alan ara değer	1,2,3	1/3, 1/2, 1
Biraz önemli	2,3,4	1/4, 1/3, 1/2
3 ile 5 arasında yer alan ara değer	3,4,5	1/5, 1/4, 1/3
Önemli	4,5,6	1/6, 1/5, 1/4
5 ile 7 arasında yer alan ara değer	5,6,7	1/7, 1/6, 1/5
Güçlü bir şekilde önemli	6,7,8	1/8, 1/7, 1/6
7 ile 9 arasında yer alan ara değer	7,8,9	1/9, 1/8, 1/7
Son derece önemli	9,9,9	1/9, 1/9, 1/9

3.3 Bulanık TOPSIS Yöntemi

Bulanık TOPSIS yönteminin temelini, seçilen alternatifin Bulanık Pozitif İdeal Çözüme (BPÇ) en yakın ve Bulanık Negatif İdeal Çözümünden (BNÇ) ise en uzak mesafede olması oluşturur. Pozitif ideal çözüm, fayda kriterlerini maksimize eden ve zarar kriterlerini minimize eden çözüm olarak tanımlanırken, negatif ideal çözüm zarar kriterlerini maksimize eden ve fayda kriterlerini minimize eden çözüm olarak tanımlanır [14]. Risk analizi için belirlenmiş olan her bir risk faktörü, belirlenmiş olan risk seviyelerine göre bir sayısal değer ile ifade edilir. Örneğin, "şiddet" faktörü için belirlenmiş olan risk seviyeleri şunlardır: Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek ve Çok Yüksek. Bu risk seviyeleri, sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 gibi sayısal değerlerle ifade edilir.

Belirlenmiş olan risk faktörleri ve risk seviyeleri bulanık kümeleme yöntemi ile bulanıklaştırılmalıdır. Bu adım, Bulanık TOPSIS yönteminin ana adımlarından biridir. Burada, her bir risk faktörü ve risk seviyesi için ağırlıklar belirlenir. Bulanıklaştırılmış veriler kullanılarak, karar matrisi oluşturulur. Bu matris, belirlenmiş olan risk faktörleri için her bir risk seviyesinin bulanık değerlerini içerir. Her bir risk faktörü için belirlenmiş olan ağırlıklar kullanılarak, normalize edilmiş değerler hesaplanır. Bu adım, her bir risk faktörü için ayrı ayrı yapılır.

Pozitif ve negatif ideal çözümler, normalize edilmiş değerlerin maksimum ve minimum değerleri kullanılarak belirlenir. Bir benzerlik ölçütü belirlenir. Belirlenmiş olan risk faktörleri için genellikle Öklid mesafesi kullanılır. Her bir risk faktörü için bulunan Öklid mesafesi, benzerlik skorlarına dönüştürülür. Benzerlik skorları kullanılarak, agregasyon matrisi oluşturulur. Bu matris, her bir risk faktörü için hesaplanmış olan benzerlik skorlarını içerir.

Son olarak, agregasyon matrisi kullanılarak risk faktörleri sıralanır ve sonuçlar değerlendirilir. Bu sıralama, en yüksek benzerlik skoruna sahip olan risk faktörünün en iyi seçenek olduğunu gösterir. Diğer risk faktörleri, bu faktöre göre ne kadar yakın olduklarına göre sıralanır. Karar kriterlerinin önem düzeylerinin değerlendirilmesinde kullanılan dilsel değişkenlerin üçgen bulanık sayı karşılıkları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Dilsel ifadeler için bulanık sayı tablosu [15]

Çok önemli	(9,10,10)
Önemli	(7,9,10)
Orta	(5,7,9)
Önemsiz	(3,5,7)
Çok Önemsiz	(0,1,3)

Kullanılan Vertex Metodu, bulanık sayılar arasındaki uzaklığın bulunmasında yararlanılan bir metottur. İki üçgen sayı arasındaki uzaklık vertex metodu kullanılarak şu şekilde hesaplanır [16].

$$\tilde{m} = (l, m, u), \quad \tilde{n} = (l_1, m_2, u_3) \quad (12)$$

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l - l_1)^2 + (m - m_2)^2 + (u - u_3)^2]} \quad (13)$$

K tane karar vericiden oluşan, w_j^K 'nın K'ncü karar vericinin değerlendirdiği karar kriterinin önem ağırlığını, x_{ij}^K 'nin ise adayın kriter değerini (rating) gösterdiği bir grupta karar kriterlerinin önem ağırlıkları ve adayların kriter değerleri sırasıyla aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1(+) \tilde{w}_j^2(+) \dots (+) \tilde{w}_j^K] \quad (144)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1(+) \tilde{x}_{ij}^2(+) \dots (+) \tilde{x}_{ij}^K] \quad (15)$$

Sonraki aşama için, öncelikle herhangi bir Bulanık ÇKKV probleminin matrisi aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_M \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_M \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}, \tilde{W} = [\tilde{w}_1 \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \quad (16)$$

bulanık karar matrisi kullanılarak normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edilir. Bu matris \tilde{R} ile gösterilir ve

$$\tilde{R} = [r_{ij}]_{m \times n} \quad (17)$$

şeklinde oluşturulur. r_{ij} formülü ise,

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right), j \in B \quad (18)$$

şeklinde hesaplanır. Her bir karar kriterinin farklı önem ağırlığını göz önünde bulunduran ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi;

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

şeklinde oluşturulur. Burada,

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(\cdot) \tilde{w}_j \quad (17)$$

formülüyle hesaplanır. Bulanık Pozitif İdeal Çözüm (BPIÇ, A^*) ve Bulanık Negatif İdeal Çözüm (BNIÇ, A^-),

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*), \quad (18)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-), \quad (19)$$

ile tanımlanır. Her bir alternatifin BPIÇ ve BNIÇ'ten uzaklığı sırasıyla,

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (20)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (21)$$

formülleri kullanılarak hesaplanır. Burada $d(\dots)$ iki üçgen bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermektedir ve uzaklık, vertex metodu kullanılarak bulunur. Uzaklıkların bulunmasının ardından adayların yakınlık katsayıları,

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (22)$$

formülü kullanılarak hesaplanır.

4. UYGULAMA

4.1 L Matris Tablosu

Uzmanlar ile beraber incelenen işyeri için tehlikeler belirlenmiş ve 5X5 Matris yöntemine göre risk analizi tablosu oluşturulmuştur. 5X5 metodunun sık kullanılan diğer bir ismi de L Tipi Matris metodudur. Oluşturulan tablodan on adet risk alınmıştır. Aşağıdaki Tablo 3'te listelenen riskler görülmektedir. L Tipi Matris metodunda tehlikelerin risk skorlaması yapılırken; olasılık ve şiddet skorları 5 puan üzerinden değerlendirilir. Sonrasında olasılık ve şiddet skoru çarpılarak risk puanı elde edilir. Elde edilen puana göre riske karşı önceliklendirme derecesi bulunur.

Tablo 3. L tipi matrise göre risk değerlendirilmesi

NO	FAALİYE T BİRİMİ	FAALİYE T	TEHLİKE	RISK	ETKİLENEMLER	RISK DEĞERLENDİRME			ÖNLEM	RISK DEĞERLENDİRME		
						OLASILIK	ŞİDDET	RISK		OLASILIK	ŞİDDET	RISK
1	İŞLETME ALANI	Yangın Algılama Sistemi	Duman algılama dedektörlerinin olmaması durumunda ortamda oluşacak yangının geç tespit edilmesi	Yanarak Çoklu Ölüm	Tüm Çalışanlar	5	5	25	Duman algılama dedektörleri bakım onarım, tesisi sağlanmalı ve yılda 1 kez periyodik bakımı yapılmalıdır.	1	5	5
2	İŞLETME ALANI	OFİS ÇALIŞMALARARI	Fazla Sürelerle Çalışma	iş kazası, yaralanma,	Tüm Çalışanlar	3	3	9	Uygulanacak fazla mesailerde çalışanın rızası alınmalı, ödenecek mesai ücretleri mevzuatta belirlenen olmalıdır.	1	3	3
3	İŞLETME ALANI	OFİS ÇALIŞMALARARI	aşırı iş baskısı/ zaman yönetimi eksikliği	iş kazası, yaralanma,	Tüm Çalışanlar	3	3	9	iş başlamadan önce iş planı oluşturulmalı ve sistematik olarak plana uyulmalıdır.	1	3	3
4	İŞLETME ALANI	ELLE TAŞIMA	Çalışanların fiziki yapısına uygun olmayan yükler taşınması	Eklem ve Bel Rahatsızlıkları, İskelet ve Kas Sistemi Rahatsızlıkları	Tüm Çalışanlar	3	4	12	Çalışanlar yapılacak iş konusunda fiziki yapıları uygun olmalı, uygun olmayan kaymaya müsaade eden ayakkabıları kullanılmamalıdır. Ergonomi ve elle taşıma işlerinde sağlık ve güvenliklerine tehdit eden risklere karşı eğitilmelidir.	1	4	4
5	İŞLETME ALANI	Elektrik	Elektrikle çalışan makine ve ekipmanların gövde topraklamalarının olmaması	Elektrik çarpması	Tüm Çalışanlar	4	5	20	Makinelerin gövde topraklamaları yapılarak görünür şekilde monte edilmelidir.	1	5	5

6	İŞLETME ALANI	Kimyasallar	Patlayıcı gaz karışım konsantrasyonu	Patlama, yangın, ölüm	tüm Çalışanlar	5	5	25	boya ve diğer kimyasalların msds formları temin edilmeli ve patlamadan korunma dökümanı hazırlanarak riskler minimize edilmelidir.	1	5	5
7	İŞLETME ALANI	Kimyasallar	kimyasallar için özel depolama alanının olmaması	yangın, patlama, iş kazası, ölüm	Tüm Çalışanlar	4	4	16	kullanılan kimyasallar sınıflarına göre ayrılmalı ve tecritli bir depo sistemi kurulmalıdır. Kimyasallara temasta kullanılacak solüsyon veya göz yımaka banyoları temin edilmelidir.	1	4	4
8	ATÖLYE ÇALIŞM ALARI	sütunlu matkap	operasyon noktası koruyucu eksikliği	iş kazası, yaralanma, ölüm	Tüm Çalışanlar	5	5	25	tüm sütunlu matkaplara operasyon noktası koruyucusu monte edilmelidir.	1	3	3
9	İŞLETME ALANI	Soyunma Odaları	Biyolojik etkenler	Bulaşıcı hastalıklar	Tüm Çalışanlar	5	4	20	1- Soyunma yerleri, çalışanların rahatça soyunup giyinmelerine elverişli genişlikte olmalıdır. 2- Soyunma yerleri, aydınlık, havalandırmaya elverişli ve soğuk mevsimlerde yeteri kadar ısıtılmış olmalı, temiz ve bakımlı bulundurulmalıdır. 3- Soyunma yerlerinde çalışanlar için, yeteri kadar elbise dolabı, sıra, sandalye, tabure ve benzeri eşya bulundurulmalıdır. 4- Soyunma yerlerindeki dolapların yüksekliği, 150 santimetreden aşağı olmamalı, temiz ve kirli giysiler için ayrı bölmeleri olmalı ve dolaplar kilitli olmalıdır.	1	4	4
10	OFIS ÇALIŞM ALARI	Ergonomik olmayan eşyaların kullanımı	Ergonomik olmayan oturma biçimi	İskelet ve kas sistemi rahatsızlıkları	Tüm Çalışanlar	3	4	12	Ergonomik koşullar konusunda çalışanlara eğitim verilmesi ve çalışma ortamının ergonomik koşullara göre düzenlenmesi gerekmektedir.	1	3	3

4.2 B-AHP Uygulaması

L Matrise göre belirlenen tehlikeler için karar değişkenleri şiddet ve olasılık olarak ele alınmıştır. Şiddet ve olasılık için bulanık sayılarla önceliklendirme yapılmış ve karar değişkenlerinin öncelik matrisi Tablo 4'teki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 4. Kriterler için karar matrisi

	OLASILIK			ŞİDDET		
OLASILIK	1,00	1,00	1,00	0,25	0,33	0,50
ŞİDDET	2,00	3,00	4,00	1,00	1,00	1,00

Ardından karar değişkenleri için ağırlık hesaplaması yapılmış ve olasılık ağırlığı; 0,253582 şiddet ağırlığı; 0,746418 olarak bulunmuştur. Olasılık kriteri için bulanık karşılaştırmalı değerlerinin geometrik ortalama değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\tilde{r} = [(1 * 0.25)^{1/2}; (1 * 0.33)^{1/2}; (1 * 0.50)^{1/2}] = [0.70, 0.57, 0.5]$$

Şiddet kriteri için bulanık karşılaştırmalı değerlerinin geometrik ortalama değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\tilde{r} = [(2 * 1)^{1/2}; (3 * 1)^{1/2}; (4 * 1)^{1/2}] = [1.4, 1.7, 2]$$

Olasılık ve şiddet için belirlenen geometrik ortalama değerleri Tablo 5'te gösterilmektedir. Tabloda ayrıca toplam değerler, ters değer ve artan sıralamadaki değerleri verilmektedir.

Tablo 5. Kriterler için geometrik ortalama değerleri

	L	M	U
OLASILIK	0.707107	0.574456	0.5
ŞİDDET	1.414214	1.732051	2
TOPLAM	2.12132	2.306507	2.5
TERS DEĞER	0.471405	0.433556	0.4
ARTAN SİRALAMA	0.4	0.433556	0.471405

Olasılık kriteri için bulanık ağırlık değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\tilde{w} = [(0.707107*0.4); (0.574456*0.433556); (0.5*0.471405)] = [0.282842712; 0.249059; 0.235702]$$

Şiddet kriteri için bulanık ağırlık değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$\tilde{w} = [(1.414214*0.4); (1.732051*0.433556); (2*0.471405)] = [0.565685425; 0.750941; 0.942809]$$

Olasılık kriteri için bulanık olmayan ağırlık değeri; $M_i = (0.282842712 + 0.249059 + 0.235702) / 3 = 0.255867979$ olarak bulunur.

Normalize edilmiş ağırlık değeri; $0.255867979 / (0.255867979 + 0.75314567) = 0.253582$ olarak bulunur. Olasılık kriteri için bulanık olmayan ağırlık değeri; $M_i = (0.565685425 + 0.750941 + 0.942809) / 3 = 0.753145167$ olarak bulunur.

Normalize edilmiş ağırlık değeri; $0.753145167 / (0.255867979 + 0.75314567) = 0.746418$ olarak bulunur. Sonrasında her bir tehlike olasılık kriteri için birbiriyle öncelik karşılaştırması yapılmıştır. Tehlikelerin olasılık karşılaştırılması için L Tipi Matristeki olasılık değeri dikkate alınmıştır. Bulanık sayılar kullanılarak oluşturulan matris için örnek, Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 8. Tehlikeler için şiddet değeri ağırlıkları

	BULANIK AĞIRLIK			ORTALAMA	NORMALİZE
T1	0,136615	0,166928	0,203136	0,168893	0,16626
T2	0,013389	0,016834	0,02196	0,017395	0,017123
T3	0,013389	0,016834	0,02196	0,017395	0,017123
T4	0,040588	0,050585	0,064347	0,05184	0,051032
T5	0,156929	0,196077	0,242998	0,198668	0,195571
T6	0,156929	0,196077	0,242998	0,198668	0,195571
T7	0,040588	0,050585	0,064347	0,05184	0,051032
T8	0,156929	0,196077	0,242998	0,198668	0,195571
T9	0,048553	0,059418	0,073916	0,060629	0,059684
T10	0,040588	0,050585	0,064347	0,05184	0,051032
TOPLAM				1,015836	1

Son olarak tehlikelerin olasılık ve şiddet ağırlıkları, olasılık ve şiddet kriterlerinin önem ağırlıklarıyla çarpılmış ve ardından bulunan değerlerin sütun toplamları alınarak tehlikelerin önem sıralamaları bulunmuştur. Hesaplanan değerler Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Tehlikelerin önem dereceleri

	AĞIRLIK	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
OLASILIK	0,25731	0,19577	0,02173	0,02173	0,02173	0,06501	0,19577	0,06501	0,19577	0,19577	0,02173
ŞİDDET	0,74269	0,1668	0,01694	0,01694	0,05056	0,1961	0,1961	0,05056	0,1961	0,05934	0,05056
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
OLASILIK		0,050374	0,005591	0,005591	0,005591	0,016728	0,050374	0,016728	0,050374	0,050374	0,005591
ŞİDDET		0,123881	0,012581	0,012581	0,03755	0,145642	0,145642	0,03755	0,145642	0,044071	0,03755
TOPLAM		0,174254	0,018173	0,018173	0,043142	0,162369	0,196015	0,054278	0,196015	0,094445	0,043142
YÜZDELİK		17,42543	1,817251	1,817251	4,314175	16,23692	19,60151	5,427813	19,60151	9,44448	4,314175

Yapılan hesaplamalar sonucunda tehlikelerin önem sıralaması Tablo 10’daki gibi bulunmuştur.

Tablo 10. Tehlikelerin önem sırası

		TEHLİKE SİRLAMASI
1	T6	
1	T8	
3	T1	
4	T5	
5	T9	
6	T7	
7	T10	
7	T4	
9	T2	
9	T3	

4.3 B-TOPSIS UYGULAMASI

TOPSIS uygulaması ile kriterler belirlenmiştir. K1 olasılığı, K2 ise şiddeti göstermektedir.

Tablo 11. Kriterlerin kodlarının yazımı

Kod	Açıklama
K1	OLASILIK
K2	ŞİDDET

Tablo 12. Kriterlerin karar verici tarafından belirlenmesi

Karar Verici/Kriterler	K1	K2
KV1	ÇY	ÇY

Daha sonra ağırlıklar belirlenmiştir ve bulanık ağırlıklar matrisi Tablo 13' te görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

Tablo 13. Bulanık ağırlıklar matrisi

Kriter	Bulanık ağırlıklar		
K1	0,9	1	1
K2	0,9	1	1

Ağırlık matrisi yardımıyla bulanık karar matrisi Tablo 14' teki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 14. Bulanık karar matrisi

Tehlikeler	L matris Puanlaması		TOPSIS Puanlaması					
	K1	K2	K1			K2		
T1	5	5	9	10	10	9	10	10
T2	3	3	5	7	9	5	7	9
T3	3	3	5	7	9	5	7	9
T4	3	4	5	7	9	7	9	10
T5	4	5	7	9	10	9	10	10
T6	5	5	9	10	10	9	10	10
T7	4	4	7	9	10	7	9	10
T8	5	5	9	10	10	9	10	10
T9	5	4	9	10	10	7	9	10
T10	3	4	5	7	9	7	9	10

Karar matrisindeki değerler ondalık hale getirilerek, normalizasyon işlemi tamamlanmıştır. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 15'te görülmektedir.

Tablo 15. Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Tehlikeler	Kriterler					
	K1			K2		
T1	0,9	1	1	0,9	1	1
T2	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
T3	0,5	0,7	0,9	0,5	0,7	0,9
T4	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	1
T5	0,7	0,9	1	0,9	1	1
T6	0,9	1	1	0,9	1	1
T7	0,7	0,9	1	0,7	0,9	1
T8	0,9	1	1	0,9	1	1
T9	0,9	1	1	0,7	0,9	1
T10	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	1

Normalize edilen bulanık karar matrisi Tablo 12 ve 13'teki ağırlık matrisiyle çarpılarak ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi Tablo 16'daki gibi oluşturulmuştur. BPIÇ ve BNIÇ değerleri değerlendirmede 10 tehlike olduğu için Tablo 16'da görüldüğü gibidir.

Tablo 16. BPIÇ ve BNIÇ değerleri

Tehlikeler	Kriterler					
	K1			K2		
T1	0,81	1	1	0,81	1	1
T2	0,45	0,7	0,9	0,45	0,7	0,9
T3	0,45	0,7	0,9	0,45	0,7	0,9
T4	0,45	0,7	0,9	0,63	0,9	1
T5	0,63	0,9	1	0,81	1	1
T6	0,81	1	1	0,81	1	1
T7	0,63	0,9	1	0,63	0,9	1
T8	0,81	1	1	0,81	1	1
T9	0,81	1	1	0,63	0,9	1
T10	0,45	0,7	0,9	0,63	0,9	1

$$A^* = [(1,1,1),(1,1,1),(1,1,1),(1,1,1),(1,1,1),(1,1,1),(1,1,1),(1,1,1),(1,1,1),(1,1,1)]$$

$$A^- = [(0,0,0), (0,0,0),(0,0,0),(0,0,0),(0,0,0),(0,0,0),(0,0,0),(0,0,0),(0,0,0),(0,0,0)]$$

Daha sonra, Tablo 17'de görüldüğü üzere her bir tehlikenin BPIÇ ve BNIÇ'ten olan uzaklığının hesaplanması için Vertex Metodundan yararlanılmıştır. Örneğin T1 için;

$$di^* = \sqrt{((1 - 0,81)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 0,81)^2 + (1 - 1)^2 + (1 - 1)^2)/3} = 0,155134$$

$$di^- = \sqrt{((0,81)^2 + (1)^2 + (1)^2 + (0,81)^2 + (1)^2 + (1)^2)/3} = 1,330689$$

şeklinde hesaplanmıştır. Diğer tehlike gruplarına da aynı adımlar uygulanmıştır.

Tablo 17. BPIÇ ve BNIÇ uzaklık hesaplaması

Tehlikeler	Uzaklık değerleri	
	di*	di-
T1	0,155134	1,330689
T2	0,518009	1,000833
T3	0,518009	1,000833
T4	0,427941	1,111965
T5	0,246982	1,273185
T6	0,155134	1,330689
T7	0,312943	1,212958
T8	0,155134	1,330689
T9	0,246982	1,273185
T10	0,427941	1,111965

Son olarak da yakınlık katsayıları hesaplanmış ve tehlike sıralamaları Tablo 18’de görüldüğü gibi yapılmıştır.

Tablo 18. Yakınlık katsayıları ve tehlike sıralamaları

Tehlikeler		Yakınlık Katsayıları	Sıralama
T1	CC1	0,895590317	1
T2	CC2	0,658944768	9
T3	CC3	0,658944768	9
T4	CC4	0,722099403	7
T5	CC5	0,837529811	4
T6	CC6	0,895590317	1
T7	CC7	0,79491261	6
T8	CC8	0,895590317	1
T9	CC9	0,837529811	4
T10	CC10	0,722099403	7

5. SONUÇ

Bu çalışmada bir işletme iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmiş ve işletmedeki süreçlerin İSG açısından uygunsuz olan kısımları L matris, B-AHP ve B-TOPSIS yöntemleriyle değerlendirilmiştir. İşletmede belirlenen 10 adet tehlike için önce 5x5 matris yöntemi uygulanmıştır. Ardından tehlikeler risk puanlarına göre sıralanmıştır. Daha sonra Bulanık Analitik Hiyerarşi yöntemi kullanılarak tehlikeler değerlendirilmiş ve ağırlıklandırılarak sıralanmıştır. Daha sonra Bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmış ve yine tehlikeler önceliklendirilmiştir. Elde edilen verilere göre L Tipi Matris sonucu ilk önlem alınması gereken tehlikeler, T1, T8, T6 olarak görülmüştür. Bu tehlikeler aynı önem derecesine sahiptir. Ardından T5, T7, T9 ikincil öneme sahip tehlikeler olarak bulunmuştur. T2, T3, T4, T10 ise önlem alınma sırası üçüncül olan tehlikelerdir. Devamında aynı tehlikeler B-AHP yöntemine göre aynı karar değişkenleri kullanılarak (şiddet ve olasılık) değerlendirilmiştir. B-AHP yöntemine göre yapılan analizde ise tehlikelerin önlem öncelik sıraları şu şekildedir; ilk sırada T6 ve T8 bulunmaktadır. Ardından sırayla T1, T5, T9, T7 yer almaktadır. T10 ve T4 7. sırada yer almaktadır. Son olarak T2 ve T3 9. sırada yer almaktadır. Ardından B-TOPSIS uygulaması yapılmıştır. Yine aynı karar değişkenleri ve aynı tehlikeler kullanılmıştır. B-TOPSIS’ e göre; ilk sırada T1, T6, T8’in olduğu görülmüştür. T5 ve T9 4. sırada yer almaktadır. T7 6. sırada, T4 ve T10’un 7. sırada yer aldığı görülmüştür. T2 ve T3 ise son sırada yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında bulanık mantık kullanılarak yapılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS’in 5x5 Matrise göre daha ayrıntılı bir analiz imkanı sunduğu görülmüştür. B-AHP ve B-TOPSIS yöntemlerinin sonuçları benzerlik göstermektedir.

Her üç değerlendirme yönteminde de T6 tehlikesi ilk sırada bulunmaktadır. Klasik L Tipi Matris yöntemi ile elde edilen sonuçlara bakıldığında tehlikelerin skorlanması beş grupta toplandığı için (önemsiz, kabul edilebilir, orta, yüksek, kabul edilemez) risklerin sıralamasında da öbeklenme olmaktadır. Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS gibi yöntemler de ise tehlikelerin skorlanması ağırlık değerleri ile elde edildiği için öbeklenme daha azdır. Dolayısıyla tehlike sıralamaları daha net bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Bektaşoğlu, Mertoğlu ve Tozan’ın da çalışmalarında belirttiği gibi klasik risk değerlendirme yöntemleri değerlendirme kriterlerinin etkisini eşit kabul ettiği için çıkan risk skorları tehlikeleri öncelikleri belirlemede yanıltıcı olabilmektedir. Bu durumda değerlendirme yapılacak kriterlerin çok kriterli karar

verme metotlarıyla ağırlıklandırılması bu sorunu ortadan kaldırarak daha optimal bir problem çözümü sunmaktadır. Tehlike sıralamalarının birbiriyle kıyaslandığı Tablo 19'da görüldüğü gibidir.

Tablo 19. Tehlike Sıralamalarının Karşılaştırılması

L tipi matrise göre tehlike sıralamaları		B- AHP' ye göre tehlike sıralamaları		B- TOPSIS' e göre tehlike sıralamaları	
Sıra	Tehlike no	Sıra	Tehlike no	Sıra	Tehlike no
1	T1	1	T6	1	T1
1	T6	1	T8	1	T6
1	T8	3	T1	1	T8
4	T5	4	T5	4	T5
4	T7	5	T9	4	T9
4	T9	6	T7	6	T7
7	T2	7	T10	7	T4
7	T3	7	T4	7	T10
7	T4	9	T2	9	T2
7	T10	9	T3	9	T3

5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Çalışmanın örneklem kümesini 10 adet tehlike oluşturduğu için daha büyük bir veri seti alınarak yöntemin tutarlılık oranı incelenebilir. Ayrıca elde edilen verilerin ışığında tehlikeleri bertaraf etmek için verilecek öneriler için de bir B-ÇKKV yöntemi uygulanabilir. Tehlike tanımlamaları yapılırken uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Sonraki yapılacak çalışmalarda tehlike tanımlaması yapılırken de ÇKKV yöntemleri kullanılabilir. Ayrıca tehlikelerin daha iyi tanımlanabilmesi için Hata Ağacı Analizi veya Olay Ağacı Analizi yöntemleri kullanılabilir.

REFERANSLAR

- [1] Colak, M., Aygurler, C. & Cetin, T. (2018). Madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği açısından risk analizi. *PressAcademia Procedia*, 7 (1), 285-289. DOI: 10.17261/Pressacademia.2018.899
- [2] İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, T.C. Resmi Gazete, 6331, madde 4(c), 20 Haziran 2012
- [3] Gul, M. (2020). A fuzzy-based occupational health and safety risk assessment framework and a case study in an international port authority. *Journal of Marine Engineering and Technology*, 19(4), 161–175.
- [4] Liu, H. T., & Tsai, Y. lin. (2012). A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. *safety science*, 50(4), 1067–1078.
- [5] Zhang, G., & Zou, P. X. (2007). Fuzzy analytical hierarchy process risk assessment approach for joint venture construction projects in china. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(10), 771–779.
- [6] Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M. S., & Kabli, M. R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing Journal*, 17, 105–116.
- [7] Mizrak Özfirat, P. (2014). Bulanik önceliklendirme metodu ve hata türü ve etkileri analizini birleştiren yeni bir risk analizi yöntemi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(4), 755–768.
- [8] Yilmaz, N., & Şenol, M. B. (2017). İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için bulanik çok kriterli

- bir model ve uygulaması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 85–95.
- [9] Hacıbektaşoğlu, S. E., Mertoğlu, B., & Tozan, H. (2022). Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleriyle bir risk analizi uygulaması. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 34(3), 403–414.
- [10] Çalık, A. (2021). Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile yeşil tedarik zincirindeki risklerin karşılaştırılması. *Journal of Turkish Operations Management*, 5 (2), 822-838.
- [11] Öztürk, B. A. & Başkaya, Z. (2011). Bulanık topsis algoritmasında üçgen bulanık sayılar ile satış elemanlarının değerlendirilmesi. *Journal of Management and Economics Research*, 9 (16), 11-21.
- [12] Chang D.Y.(1996), Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655,
- [13] Kaganski, S., majak, j., & karjust, k. (2018). Fuzzy AHP as a tool for prioritization of key performance indicators. 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems, Article *Procedia CIRP* 72, 1227–1232.
- [14] Wang, Y. J., & Lee, H. S. (2007). Generalizing topsis for fuzzy multiple-criteria group decision-making. *computers and mathematics with applications*. 53(11), 1762–1772.
- [15] Chen-Tung Chen (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment *Chen / Fuzzy Sets and Systems* 114, 1–9.
- [16] Fatih Ecer (2006) Bulanık Ortamlarda Grup Kararı Vermeye Yardımcı Bir Yöntem: Fuzzy Topsis ve Bir Uygulama. *İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(2), 77-96.
- [17] Çelik, M., & Arslan, S. (2006). Fuzzy analytic hierarchy process and its application to software selection. *Fuzzy sets and systems*, 157(7), 992-1017.
- [18] Kahraman, C., & Öztayşi, B. (2007). Fuzzy analytic hierarchy process and its application to strategic decision making. in *fuzzy decision making in modeling and control* 79-105.
- [19] L. A. Zadeh, (1965), Fuzzy Sets," *Information and Control*, 8(3), 338-353.
- [20] G. J. Klir and B. Yuan, (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. upper saddle river, NJ: Prentice Hall.
- [21] Şişman, B. (2017). Hata türü ve etkileri analizinde bulanık AHP ve bulanık vikor yöntemleri ile otomotiv sektöründe risk değerlendirmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(18), 234-250.
- [22] Chen, S. J., & Hwang, C. L. (1992). *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer Science & Business Media.
- [23] Li, D. F., Yang, J. B., & Liu, S. T. (2008). A fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 34(4), 2978-2984.
- [24] Saaty T.L. (1978). *Modeling Unstructured Decision Problems The Theory of Analytical Hierarchies*, *Matematics and Computers in Simulatio* 20, 147-158.
- [25] Laarhoven V.P.M.J., Pedrycz W. (1983). A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 1 (11), 229-241.
- [26] Chang D.Y. (1992). *Extent analysis and synthetic decision, optimization techniques and applications*, 1, 342.