



Journal of Turkish Operations Management

Entropi tabanlı TOPSIS-Sort ile iş güvenliği risklerinin sınıflandırılması

Esra Duygu Durmaz¹, İlker Gölcük^{2*}

¹Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-mail: esradurmaz@gazi.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8882-333X>

²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İzmir Bakırçay Üniversitesi, İzmir, Türkiye
e-mail: ilker.golcuk@bakircay.edu.tr, ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-8430-7952>

*Sorumlu Yazar

Makale Bilgisi

Makale Geçmişi:

Geliş: 02.03.2023

Revize: 14.04.2023

Kabul: 17.04.2023

Anahtar Kelimeler:

İSG risk değerlendirme,
TOPSIS-Sort,
Entropi ağırlıklandırma

Özet

İnşaat sektörü, iş kazalarının yaşanma sıklığı ve sonuçlarının ağırlığı sebebiyle iş sağlığı ve güvenliği açısından en yüksek riske sahip sektörlerden birisidir. Bu nedenle sektörde yer alan işletmelerin risk faktörlerini düzenli olarak gözden geçirerek gerekli önlemleri alması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, risklerin kategorize edilerek, etkin önlemlerin alınabilmesi amacıyla bütünlük bir risk değerlendirme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen yöntem ile bir inşaat firmasında belirlenen 32 adet risk, şiddet, olasılık ve fark edilebilirlik kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Çalışmada grup karar verme yaklaşımı kullanılmış ve üç farklı karar vericinin değerlendirmeleri birleştirilmiştir. Belirlenen üç risk faktörünün önem dereceleri entropi ağırlıklandırma yöntemiyle elde edilmiştir. TOPSIS-Sort B yöntemi kullanılarak riskler, önceden belirlenmiş üç risk sınıfına atanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, 11 riskin yüksek risk sınıfına, 10 riskin orta risk sınıfına ve 11 riskin düşük risk sınıfına atandığı görülmüştür.

Classification of occupational safety risks with entropy-based TOPSIS-Sort

Article Info

Article History:

Received: 02.03.2023

Revised: 14.04.2023

Accepted: 17.04.2023

Keywords:

OHS risk assessment,
TOPSIS-Sort,
Entropy weighting

Abstract

The construction sector is one of the sectors with the highest risk in terms of occupational health and safety due to the frequency of occupational accidents and the significance of their consequences. For this reason, it is of great importance for the enterprises in the sector to regularly review the risk factors and take the necessary precautions. In this study, an integrated risk assessment approach is proposed in order to categorize risks and take effective measures. With the proposed method, 32 risks determined in a construction company were evaluated according to severity, occurrence and detectability criteria. Group decision making approach was used and the evaluations of three decision makers were combined. The importance degrees of three risk factors were obtained by the entropy weighting method. Using the TOPSIS-Sort B method, risks were assigned to three predetermined risk clusters. When the results were examined, it was seen that 11 risks were assigned to the high risk cluster, 10 risks to the medium risk cluster and 11 risks to the low risk cluster.

1. Giriş

Son yıllarda, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) konularına olan farkındalığın artması sonucu çalışma ortamında iş güvenliği ile ilgili akademik ve uygulamalı çalışmalarda önemli bir artış olmuştur. İşletmeler faaliyetlerini sürdürürken bu sosyal farkındalığı ve çeşitli yasal kısıtlama ve önlemleri göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Çünkü iş kazaları sadece yaralanmalara ve sağlık sorunlarına neden olmakla kalmamakta, aynı zamanda firmaların güvenilirliğine ve marka imajına da önemli ölçüde zarar vermektedir. Bu nedenle işletmelerin İSG risk düzeylerini düzenli olarak gözden geçirmesi ve önleyici tedbirler alması gerekmektedir.

İSG risklerinin doğru şekilde değerlendirilerek gerekli önlemlerin alınması her ne kadar tüm işletmeler için artık bir zorunluluk haline gelmiş olsa da, özellikle inşaat sektöründe konunun dikkatle ele alınması gerekmektedir. İnşaat yapım sürecinin her aşaması riskli çalışma koşullarına sahiptir. İş kazalarının gerçekleşme olasılığının yüksek olmasının yanı sıra, bu kazaların sonuçlarının da ağır olması nedeniyle inşaat sektörü İSG açısından en tehlikeli sektörlerin başında gelmektedir. Bu nedenle çalışanların şantiye ortamında maruz kaldıkları İSG risklerinin düzgün bir şekilde belirlenmesi için gerekli kontrol ve ölçümlerin yapılması kritik bir önem taşımaktadır.

İSG risklerinin değerlendirilmesi için en çok kullanılan metotlardan biri hata türü ve etkileri analizidir (HTEA). Ancak klasik HTEA'nın bazı dezavantajları ve değerlendirme konusundaki eksiklerinin görülmesi neticesinde, son yıllarda İSG risk analizi için farklı yöntemler önerilmiştir (Gölcük, Durmaz, ve Şahin, 2023). Önerilen çözüm yaklaşımları arasında özellikle çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. ÇKKV yöntemleri, bir grup alternatifin birden fazla ölçüte göre değerlendirilmesinde kullanılan analitik yöntemlerdir. Bu yöntemler, yapılan değerlendirme sonucu, alternatiflerin sıralanmasını, derecelendirilmesini veya aralarından en iyisinin seçilmesini sağlamaktadır.

Son zamanlarda, geleneksel ÇKKV yöntemlerinin genişlemeleri üzerinde çalışmalar yapılmış olup bu yöntemlerin sınıflandırma amacıyla kullanılmasını sağlayan çözüm yaklaşımları geliştirilmiştir. Çok kriterli sınıflandırma problemlerinde amaç, karar alternatiflerini, kriterlere göre değerlendirerek, önceden tanımlanmış bir grup kategoriye veya sınıfa atanmalarını sağlamaktır. Bu atama, her bir alternatif yalnızca bir sınıfa yerleşecek şekilde gerçekleştirilmektedir. Söz konusu sınıflar ele alınan problemin ve verinin yapısına göre tanımlanmakta ve tercih edilebilirliklerine ve önemlerine göre sıralanmaktadır. Bu durumda, en çok tercih edilen sınıfa yerleşen alternatiflerin diğer sınıflardaki alternatiflere göre daha iyi alternatifler olduğu söylenebilir. Bu yaklaşım değerlendirildiğinde, İSG risklerinin analizinde ÇKKV tabanlı sınıflandırma yöntemlerinin kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir.

Literatürde İSG risk değerlendirme çalışmalarında ÇKKV yöntemleri arasında TOPSIS yönteminin uygunluğu ispatlanmış, yöntem ve farklı versiyonları pek çok çalışmada kullanılmıştır. Ancak, yeni bir yöntem olan sınıflandırma temelli TOPSIS yönteminin İSG risk yönetimi çalışmalarında kullanıldığı sayılı çalışma bulunmaktadır (Gül, 2021). Bu çalışmalar incelendiğinde, TOPSIS-Sort-B yönteminin uygulandığı bir makale bulunmadığı görülmüştür. Bu çalışmanın literatüre temel katkısı, İSG risk yönetiminde ilk kez TOPSIS-Sort-B yönteminin kullanılması, yöntemin entropi ağırlıklandırma yöntemiyle entegre edilerek bir gerçek hayat probleminde uygulanması ve geçerliliğinin gösterilmesidir. Bu yöntemle, işletmeler riskleri önceliklerine göre sınıflandırabilecek ve bu yaklaşım işletmelerin hangi risk gruplarına odaklanarak önlemler alması gerektiğine karar vermelerine destek olacaktır.

Bu çalışmada İSG risklerini önceliklendirmek için entropi ağırlıklandırma yöntemi (Wang ve Lee, 2009) ve TOPSIS-Sort-B (de Lima Silva ve de Almeida Filho, 2020; Sabokbar, Hosseini, Banaitis, ve Banaitiene, 2016) yöntemini entegre eden bir yaklaşım önerilmiştir. Entropi ağırlıklandırma yöntemiyle risk faktörlerinin öncelik değerleri belirlenirken, TOPSIS-Sort B ile de risklerin sıralı sınıflara ataması gerçekleştirilmiştir. Kullanılan her iki yöntem de son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Önerilen modelin temel avantajı, anlaşılmasının ve gerçek hayat problemlerini çözmek için kullanımının kolay ve pratik olmasıdır. Önerilen çözüm yöntemi, Türkiye'de faaliyet gösteren bir inşaat firmasında 32 riski, sıralanmış 3 adet sınıfa atamak için kullanılmaktadır. Bu makalenin ön çalışması 6. International Conference on Engineering Sciences'ta sunulmuştur (Gölcük ve Durmaz, 2023). Sunulan öncül çalışma grup karar verme yaklaşımına genişletilmiş ve önerilen model kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. İşletmede görev alan 3 farklı uzman tarafından gerçekleştirilen değerlendirmeler önerilen yöntemin girdisini oluşturmaktadır.

Makalenin ilerleyen bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: 2. bölümde literatürde ÇKKV ile gerçekleştirilen İSG risk değerlendirme çalışmalarının bir özeti sunulmuştur. 3. bölümde önerilen entegre çözüm yaklaşımının adımları açıklanmıştır. 4. bölümde yöntem bir inşaat firmasında İSG risk değerlendirmesi için uygulanmış ve sonuçlar sunulmuştur. 5. bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Literatür Taraması

Literatürde İSG risklerinin analiz ve etkileri üzerinde çalışan çok sayıda teorik ve uygulamalı yayın bulunmaktadır. Farklı sektörleri inceleyen bu çalışmalarda yöntem olarak genellikle hata türü ve etkileri analizi, L tipi ve X tipi matris yöntemleri, sebep-sonuç analizi, hata ağacı analizi gibi çeşitli risk analiz metotları kullanılmıştır. Bunların yanı sıra son yıllarda çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımlarını kullanarak risk analizlerinin gerçekleştirildiği çalışmalarda artış olduğu gözlenmektedir. Bu bölümde, İSG risklerinin değerlendirilmesinde ÇKKV yöntemlerinin kullanılması hakkında bir literatür taraması yapılarak, çalışmalarda önerilen yöntemler özetlenmiştir.

Makin ve Winder (2008) İSG'yi çalışan, fiziksel çevre ve yönetim açısından ele alarak risk değerlendirmesinde uygulama kolaylığı sağlayacak kavramsal bir çerçeve oluşturmuşlardır. Chen, Feng, Zhang, Yuan, ve Pan (2008) termonükleer deneysel reaktör test modülü tasarımında karşılaşılan güvenlik riskleriyle ilgili HTEA'ya dayalı sistematik bir metodoloji geliştirmişlerdir. Grassi, Gamberini, Mora, ve Rimini (2009), insan davranışı ve çevresel faktörlerin risk düzeyine etkisini de göz önünde bulunduran yeni risk unsurları tanıtmışlar ve risk değerlendirmesi için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemin uygulanabilirliğini ve etkinliğini bir vaka çalışması üzerinde göstermişlerdir. Chen, Wu, Chuang, ve Ma (2009) baskı devre kartı sektöründe yer alan işletmeler üzerinde bir inceleme yaparak İSG yönetim sistemleri uygulamalarında yaşanan zorluklar ve kritik başarı faktörleri üzerinde durmuşlardır. Liu ve Tsai (2012) inşaat sektöründeki İSG uygulamalarına odaklandıkları çalışmalarında, iki aşamalı bir kalite fonksiyon geçeri (QFD) yaklaşımını kullanarak tehlike türleri ve nedenleri arasındaki ilişkileri ortaya koymuşlardır. Bulanık ANP ile önemli tehlike türlerini ve nedenlerini belirleyerek, bulanık çıkarım yaklaşımı temelli bir HTEA ile tehlike nedenlerinin risk değerlerini hesaplamışlardır.

Feili, Akar, Lotfizadeh, Bairampour, ve Nasiri (2013) HTEA yaklaşımıyla jeotermal enerji santrallerinde risk değerlendirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Mahdevari, Shahriar, ve Esfahanipour (2014) bulanık TOPSIS yöntemini kömür madencilikindeki İSG risklerinin analizi ve değerlendirmesinde kullanmışlardır ve İran'da bulunan üç kömür madeninde bir uygulama çalışması yapmışlardır. Mizrak Özfirat (2014), HTEA'da kullanılan risk faktörlerinin ağırlıklarını bulanık önceliklendirme yöntemi ile hesaplanan entegre bir yöntem önermiş ve önerilen yöntemin madencilik sektöründe bir uygulamasını gerçekleştirmiştir. John ve diğ. (2014) liman operasyonlarında karşılaşılan riskleri analiz etmek için, faktör ağırlık hesaplamasında bulanık AHP kullanan ve bir kanıtsal sonuçlama (evidential reasoning-ER) yaklaşımı ile risk sonuçlarını birleştiren bir yöntem önermişlerdir.

Sousa, Almeida, ve Dias (2015) inşaat projelerinde uygulanmak üzere İSG risk azaltma seçeneklerinin fayda-maliyet analizine yardımcı bir İSG potansiyel risk yönetimi yaklaşımı önermişlerdir. DJapan, Tadic, MacUzic, ve Dragojovic (2015) küçük ve orta ölçekli işletmeler için hiyerarşik yapıya sahip üç grup risk faktörü tanımlamış ve bu risklerin değerlendirilmesinde bulanık AHP yaklaşımını kullanmışlardır. Gul, Ak, ve Guneri (2017) sağlık personeli için risk değerlendirmesi yapmak amacıyla iki aşamalı bir yaklaşım önermişlerdir. Bulanık AHP yöntemi ile risk parametrelerini ağırlıklandırarak bulanık VIKOR yaklaşımıyla tehlike türlerini önceliklendirmişlerdir. Yılmaz ve Senol (2017) metal sektöründe İSG için risk değerlendirmesinde bulanık AHP ve bulanık TOPSIS yöntemlerini entegre etmişlerdir. Risk faktörlerinin ağırlıklarını bulanık AHP yöntemiyle elde etmişler ve bu ağırlıkları kullanarak tehlikelerin ve aynı zamanda önlemlerin önceliklendirilmesini bulanık TOPSIS yaklaşımıyla gerçekleştirmişlerdir.

Adem, Colak, ve Dagdeviren (2018) yeni bir mesleki risk skorlama yöntemi önermişlerdir. Bunun için öncelikle bir SWOT analizi yapılarak belirlenen riskler uzmanlar tarafından puanlanmıştır ve risklerin değerlendirilmesinde kararsız bulanık dilsel terim setleri kullanılmıştır. Önerilen yöntem rüzgar türbinlerinin ürün yaşam döngülerindeki İSG risklerinin değerlendirilmesinde uygulanmıştır. Ersoy, Çelik, Yeşilkaya, ve Çolak (2019) mermer ocağında gerçekleştirdikleri çalışmalarında İSG risk analizi için ilk olarak Fine-Kinney metodunu kullanmışlardır. Sonrasında işletmedeki üretim süreçlerini ve kaza türlerini Borda Sayım yöntemiyle ağırlıklandırılmışlar ve Gri İlişkiler Analizi (GRA) yöntemi yardımıyla değerlendirilmişlerdir.

Korkusuz ve Inan (2020) sağlık sektöründe İSG performans ölçüm çalışmasında AHP ile ağırlıklarını belirledikleri performans göstergelerini PROMETHEE ve GRA yöntemleri ile ayrı ayrı değerlendirerek, iki yöntemi karşılaştırmışlardır. Gül (2021), alüminyum sektöründe gerçekleştirdikleri İSG risk değerlendirme çalışmasında TOPSIS-Sort-C yöntemini kullanarak, değerlendirdikleri 28 riski 5 grupta sınıflandırmıştır. Adem (2022) tarafından yapılan çalışmada işletmelerde kullanılacak risk analizi tekniklerinin doğru bir şekilde belirlenmesinin önemine değinilerek, en uygun tekniğin seçilebilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Risk analizi tekniği için seçim kriterleri belirlenerek, kriterlerin önem dereceleri AHP yöntemiyle elde edilmiştir. Gölcük ve diğ. (2023) çalışmalarında bulanık çizge teorisi-matris yöntemi ile bulanık FUCOM yöntemini entegre eden bir yöntem önermişlerdir. Mobilya sektöründe çalışan bir firmada İSG risklerinin değerlendirilmesi amacıyla kullandıkları bu

entegre yöntemi diğer bulanık ÇKKV yöntemleriyle karşılaştırarak yöntemin avantajlarını değerlendirmişlerdir. Konuyla ilgili detaylı bilgi almak için Gul (2018) tarafından yazılan derleme makalesi incelenebilir.

3. Yöntem

Çalışma kapsamında İSG risklerinin değerlendirilmesi için bütünlük bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımın ilk aşamasında kriterlerin önem derecelerinin tespitinde entropi ağırlıklandırma yöntemi kullanılmaktadır. Kriterlerin ağırlık değerleri elde edildikten sonra, TOPSIS-Sort B yöntemiyle alternatiflerin önceden belirlenen sınıflara atanması gerçekleştirilmektedir. Yöntemin aşamalarına ait detaylı anlatım ilerleyen alt başlıklarda verilmiştir.

3.1. Entropi ağırlıklandırma yöntemi

Çalışmada kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinde entropi ağırlıklandırma yönteminden faydalanılmaktadır. Entropi kavramı, fizikten istatistiğe, mühendislikten sosyal bilimlere kadar pek çok alanda yer alan bir kavramdır. Termodinamikte entropi, bir sistemin mekanik işe dönüştürülmeyen ve evren boyunca dağılan termal enerjisini temsil eder. Olasılık teorisinde ise entropi, bilgedeki belirsizliğin bir ölçüsüdür. Shannon (1948) tarafından geliştirilen entropi kavramına dayanarak oluşturulan entropi ağırlıklandırma yöntemi, ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının hesaplanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Entropi değerinin yüksek olması kriterin önem derecesinin de yüksek olduğunu göstermektedir. Yöntemin adımları aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Deng, Yeh, ve Willis, 2000):

Adım 1: Karar matrisi, satırları ve sütunları sırasıyla alternatifleri ve kriterleri temsil edecek şekilde oluşturulur. m sayıda alternatif ve n sayıda kriter olduğu varsayımıyla oluşturulan karar matrisi (1) numaralı eşitlikte gösterildiği gibidir. Bu matrisin elemanları i . alternatifin j . kriter açısından değerlendirilmesi sonucu elde edilen performans skorunu göstermektedir.

$$X = \begin{bmatrix} C_1 & \cdots & C_j & \cdots & C_n \\ x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: Değerlendirme kriterlerinin farklı ölçüm birimlerine sahip olmasının etkisini engellemek ve karar matrisi elemanlarını aynı işlemlere tabi tutabilmek için öncelikle normalizasyon işlemi yapılması gerekmektedir. Entropi ağırlıklandırma yönteminin normalleştirme adımında genellikle toplama veya en iyi değerlere dayalı doğrusal normalizasyon kullanılır. Bu adımda, karar vericinin tercihi ve çalışılan verinin yapısı dikkate alınarak uygun bir normalizasyon tekniğinin uygulanması önemlidir. Çalışma kapsamında, normalizasyon işlemi (2) numaralı denklem kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

Adım 3: Her bir kriter için E_j ile ifade edilen entropi değeri (3) numaralı eşitlikte görüldüğü şekilde hesaplanır.

$$E_j = \frac{-\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}}{\ln m} \quad (3)$$

Adım 4: Her bir kriterin ağırlığı (w_j), (4) numaralı eşitlik kullanılarak belirlenir. $(1-E_j)$ ifadesi kriter için bilginin farklılaşma derecesini temsil etmektedir. Bu değer yüksek olması, o kriterin öneminin de yüksek olduğunu göstermektedir. Son adımda, kriter ağırlıkları bu değerlerin normalizasyonu ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^n (1-E_j)} \quad (4)$$

3.2. TOPSIS-Sort

TOPSIS, ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından önerilen bir ÇKKV yöntemidir. Yöntem, homojen bir alternatifler kümesini sonlu bir karar kriteri kümesine göre değerlendirerek en iyi alternatifin seçilmesini hedeflemektedir. TOPSIS'in temel ilkesi, pozitif ideal çözüme en kısa mesafeye ve negatif ideal çözüme en uzak mesafeye sahip olan karar alternatifini belirlemektir. Basit, rasyonel ve anlaşılır bir konseptte sahip olması ve hesaplama kolaylığı sebebiyle, önerildiği tarihten itibaren çeşitli alanlarda ÇKKV problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmıştır. TOPSIS'in yaygın kullanımı ve kolay uygulanabilir yapısı sayesinde, farklı ÇKKV yöntemleriyle kolaylıkla entegre edilirken, yıllar içinde farklı genişletmeleri ve varyasyonları da geliştirilmiştir. TOPSIS yönteminin sık kullanılan ve etkinliği kanıtlanmış bir yöntem olması nedeniyle, bu çalışmada İSG risklerinin sınıflandırılabilmesi için TOPSIS temelli bir sınıflandırma yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir.

Çalışma kapsamında ele alınan, TOPSIS tabanlı bir sınıflandırma yöntemi olan TOPSIS-Sort, ilk kez Sabokbar ve diğ. (2016) tarafından çok kriterli sınıflandırma problemlerinin çözümü için önerilmiştir ve uygulama çalışması olarak Tahran şehrindeki bölgelerin çevresel performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Sonrasında yöntemin avantaj ve dezavantajlarını inceleyen araştırmacılar TOPSIS-Sort B ve TOPSIS-Sort C varyasyonlarını geliştirmişlerdir (de Lima Silva ve de Almeida Filho, 2020). TOPSIS-Sort B sınır profillerini, TOPSIS-Sort C karakteristik profilleri sınıflandırma sürecinde kullanan sıralama yöntemleridir. TOPSIS-Sort B, yalnızca sınıf sayısı-1 sayıda sınır profili tanımlanmasını gerektirmektedir. Temel TOPSIS-Sort algoritmasının geliştirilmiş bir versiyonu olmasının yanı sıra daha az yapay alternatif eklenmesini ve dolayısıyla daha az işlem yapılmasını gerektirmesi, hesaplama basitliği ve anlama kolaylığı nedeniyle alternatifleri sıralamak için adımları aşağıda sunulmuş olan TOPSIS-Sort B yöntemi kullanılmıştır (de Lima Silva ve de Almeida Filho, 2020):

Adım 1: Karar problemindeki kriterler ve alternatifler belirlenir. (1) numaralı eşitlikte verildiği gibi X karar matrisi oluşturulur.

Adım 2: Alternatiflerin atanacağı q adet sınıf için $p=q-1$ adet sınır profili belirlenir. k , toplam sınır profili sayısını gösterdiği varsayımıyla $k=1, \dots, p$ olacak şekilde $S_{k,j}$ profil matrisi oluşturulur.

Adım 3: Her bir kriter için en az maksimum ve minimum değerlere eşit değer olacak şekilde iki yapay alternatif belirlenir. Karar matrisi (X) ve profil matrisi (S) oluşturulduktan sonra, yapay alternatifleri içeren yeni bir Y matrisi oluşturulur.

Adım 4: S matrisi ve Y matrisi, H karar matrisini oluşturmak için ilk karar matrisi X 'e (5) numaralı eşitlikte görüldüğü şekilde eklenir.

$$H = [h_{ij}]_{(m+p+2) \times n} \quad (5)$$

Adım 5: (6) ve (7) numaralı denklemler kullanılarak H matrisi normalize edilir.

$$r_{ij} = \frac{h_{ij}}{y_i^+} \quad (6)$$

$$r_{ij} = \frac{h_{ij} - y_i^-}{y_i^+ - y_i^-} \quad (7)$$

Adım 6: Normalizasyon işleminden sonra, normalize karar matrisi V 'nin elemanları, (4) numaralı eşitlikte verilen w_j kriter ağırlıkları ve (8) numaralı eşitlik kullanılarak ağırlıklandırılır.

$$v_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (8)$$

Adım 7: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi V 'nin elemanları kullanılarak (9) ve (10) numaralı denklemler yardımıyla ideal ve anti-ideal çözüm vektörleri elde edilir. Denklemlerde yer alan J ve J' sırasıyla fayda ve maliyet kriterlerini temsil etmektedir.

$$A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} = \{\max_i v_{ij} \mid j \in J, \min_i v_{ij} \mid j \in J'\} \quad (9)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \{\min_i v_{ij} \mid j \in J, \max_i v_{ij} \mid j \in J'\} \quad (10)$$

Adım 8: Alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan Öklid uzaklıkları (11) ve (12) numaralı denklemler yardımıyla hesaplanır. Benzer şekilde, (13) ve (14) numaralı denklemler ile profillerin ideal çözümlere olan uzaklıkları elde edilir.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2} \quad (11)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2} \quad (12)$$

$$d_{p_k}^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2}, \quad k = 1, 2, \dots, p; \quad i = k + m \quad (13)$$

$$d_{p_k}^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2}, \quad k = 1, 2, \dots, p; \quad i = k + m \quad (14)$$

Adım 9: Alternatiflerin ideal çözüme yakınlığı (15) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$u(x_i) = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)} \quad (15)$$

Benzer şekilde, sınır profillerinin ideal çözüme yakınlığı (16) numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$u(p_k) = \frac{d_{p_k}^-}{(d_{p_k}^- + d_{p_k}^+)} \quad (16)$$

Adım 10: Alternatiflerin yakınlık değerleri $u(x_i)$ ve profillerinin yakınlık değerleri $u(p_k)$ sınıflandırma işleminde kullanılır. Alternatiflerin sınıflara atanması (17-19) numaralı denklemlerle gerçekleştirilir.

$$x_i \in S_1, \text{ if } u(x_i) \geq u(p_1) \quad (17)$$

$$x_i \in S_k, \text{ if } u(p_k) \leq u(x_i) < u(p_{k-1}), \quad k = 2, \dots, (q-1) \quad (18)$$

$$x_i \in S_q, \text{ if } u(x_i) < u(p_{q-1}) \quad (19)$$

4. Uygulama

Önerilen entegre çözüm yöntemi Türkiye’de faaliyet gösteren bir inşaat firmasında tespit edilen İSG risklerinin sınıflandırılması amacıyla kullanılmıştır. Öncelikle işletmede uygulanan İSG performans çalışmaları incelenerek, işletmenin bir İSG risk çalışması gerçekleştirmeye istekli olduğu görülmüştür. Bunun üzerine farklı kademelerde çalışan 3 karar verici belirlenmiştir. 3 karar vericinin tecrübelerinden ve işletmenin halihazırdaki İSG çalışmalarından faydalanılarak, inşaat sektöründe farklı süreçlerde meydana gelen iş kazaları değerlendirilmiş ve 32 adet risk kalemi ortaya koyulmuştur. Bu risklerin olası etkileri karar verici 3 uzman tarafından belirlenmiştir. Ele alınan risklerin tanımları ve etkileri Tablo 1’de görülmektedir. Önerilen yaklaşımda karar alternatiflerinin yerine risk kalemleri yer almaktadır. Risklerin değerlendirileceği kriterler olarak üç risk faktörü dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan üç risk faktörü şiddet (S), olasılık (O) ve fark edilebilirliktir (F). Bu faktörler, literatürde FMEA ile risk skorlarının hesaplanmasında ve ÇKKV yöntemleriyle gerçekleştirilen İSG risk değerlendirme uygulamalarında en çok kullanılan risk faktörleri olduğu için çalışma kapsamında ele alınan risklerin değerlendirilmesi amacıyla seçilmiştir. Şiddet, potansiyel bir istenmeyen kaza olayının gerçekleşmesi durumunda olası sonucu ve zararın büyüklüğünü ifade eder. Olasılık, tehlikenin meydana gelme sıklığı olarak tanımlanır. Fark edilebilirlik ise, riskin gerçekleşmeden önce, istenmeyen sonuçlara yol açmadan önce tespit edilebilme derecesini gösterir. Uygulama çalışmasının adımları aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Ele alınan riskler ve etkileri

No	Risk tanımı	Risk etkisi
R1	Tozlu ortamda çalışma sonucu toza maruziyet	Göz rahatsızlıkları
R2	Beton dökümünde kullanılan pompanın patlaması	Yaralanma
R3	Acil durumlara müdahale edememe	Uzuv kaybı ve yaralanma
R4	Çalışma ortamının ergonomik olmaması	İskelet ve kas sistemi rahatsızlıkları
R5	Şantiye ve sosyal tesislerde trafik kazası	Yaralanma
R6	Çatı işlemleri sırasında çalışanların düşmesi	Yaralanma ve ölüm
R7	Ele demir batması	Yaralanma
R8	Yüksekte demir bağlanması sırasında aşağıda çalışanların üzerine demir düşmesi	Şiddetli yaralanma
R9	Ağır boru ve demirin çalışanların üzerine düşmesi	Uzuv ezilmesi
R10	Depolardaki malzemelerin çalışanların üzerine düşmesi	Yaralanma ve ölüm
R11	Depolarda bulunan yanıcı ve kimyasal malzemeler sebebiyle yangın çıkması	Yaralanma ve ölüm
R12	Malzeme ve ekipmanın yanlış şekilde kullanılması	Yaralanma
R13	Personelin gerekli önlemleri almadan çalışması	İş kazası
R14	Elin matkap ile teması	Yaralanma ve uzuv kaybı
R15	Çalışanları elektrik çarpması	Yaralanma

R16	İskele göçmesi, devrilmesi	Şiddetli yaralanma ve ölüm
R17	İskele kurulumu sırasında aşağıda çalışanların üzerine malzeme düşmesi	Şiddetli yaralanma
R18	Tehlikeli kimyasalların uygunsuz kullanımı veya depolanması	Zehirlenme, cilt ve göz komplikasyonları, solunum yolu hastalıkları
R19	Kalıp sökülmesi sırasında yüksekten düşme	Yaralanma ve ölüm
R20	Kalıp malzemelerinin işçilerin üzerine düşmesi	Yaralanma ve ölüm
R21	Kaynak ışınlarının göze zarar vermesi	Göz rahatsızlıkları
R22	Kaynak işlemi sırasında yangın ve patlama	Şiddetli yaralanma ve ölüm
R23	Kazı çalışmalarında su baskını	Boğulma
R24	Kazı çalışmalarında toprak kayması	Yaralanma
R25	Çelik malzemelerin çalışanların üzerine devrilmesi	Yaralanma
R26	Merdivenin kayması	Yaralanma
R27	Şiddetli rüzgar sebebiyle malzemelerin çalışanların üzerine devrilmesi	Şiddetli yaralanma
R28	Sağlık kontrolü yapılmamış çalışanların hastalanması	Mesleki hastalıklar ve yaralanma
R29	Şantiye güvenliğinin sağlanamaması	İş kazası
R30	Çalışanların sınırlı hava hacmi olan ortamlarda çalışması	Solunum yolu hastalıkları
R31	Çalışanların gürültü ortamlarda çalışması	İşitme kaybı
R32	Aşındırıcı malzemelerle temas	Alerjik solunum yolu rahatsızlıkları, dermatit

Öncelikle, değerlendirme kriteri olarak belirlenen üç risk faktörü ile 32 risk değerlendirilerek her bir karar verici tarafından karar matrisi oluşturulmuştur. Her bir risk kaleminin, faktörler açısından aldığı değerler karar verici 3 uzman tarafından ayrı ayrı belirlenmiştir. Her bir risk maddesi 1-10 arası puanlar üzerinden değerlendirilmiş ve en riskli madde 10 ile gösterilmiştir. Karar matrisi elemanları uzman değerlendirmelerinin birleştirilmesiyle son haline getirilmiştir. Bu aşamada, uzman karar vericilerin değerlendirmeleri aritmetik ortalama yöntemiyle birleştirilerek tek bir karar matrisi elde edilmiştir. Karar matrisi oluşturulduktan sonraki adım entropi yönteminin ikinci adımında gerçekleştirilen normalizasyon işlemidir. (2) numaralı eşitlikle karar matrisi normalize edilmiştir. Hesaplanan p_{ij} değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Hesaplanan normalize p_{ij} değerleri

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
S	0.022	0.022	0.020	0.013	0.052	0.022	0.020	0.048
O	0.024	0.014	0.028	0.035	0.031	0.028	0.031	0.035
F	0.039	0.037	0.024	0.037	0.015	0.039	0.026	0.019
	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
S	0.022	0.050	0.048	0.020	0.022	0.025	0.023	0.052

O	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.031	0.031	0.035
F	0.022	0.037	0.035	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
	R17	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24
S	0.023	0.048	0.050	0.050	0.020	0.023	0.023	0.050
O	0.031	0.031	0.035	0.035	0.031	0.031	0.031	0.031
F	0.039	0.039	0.039	0.024	0.037	0.039	0.019	0.026
	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32
S	0.023	0.022	0.023	0.047	0.022	0.022	0.022	0.054
O	0.024	0.035	0.031	0.031	0.031	0.031	0.028	0.031
F	0.032	0.039	0.035	0.017	0.019	0.024	0.022	0.028

Tablo 2’de verilen değerler ve (3) ve (4) numaralı eşitlikler kullanılarak risk faktörlerine ait entropi (E) ve ağırlık (w) değerleri entropi ağırlıklandırma yöntemiyle elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 3’te görülmektedir. Elde edilen değerlere göre, en önemli risk faktörü şiddet, ikinci önemli risk faktörü ise fark edilebilirlik olmuştur. En az önemli risk faktörü ise olasılıktır.

Tablo 3. Risk faktörlerine ait entropi (E) ve ağırlık (w) değerleri

	S	O	F
E	0.973	0.997	0.989
w	0.663	0.075	0.262

Risk faktörlerine ait ağırlık değerleri elde edildikten sonra, önerilen yöntemin TOPSIS-Sort B aşamasına geçilir. İlk olarak, yapay değişkenleri (y^+ , y^-), sınır profillerini ($p1$, $p2$) ve 32 adet risk birimini içeren bütünleşik karar matrisi (H), (5) numaralı eşitlikte gösterildiği şekilde oluşturulmuştur. Daha sonra (6) ve (7) numaralı eşitlikler kullanılarak bu matris normalize edilmiştir. Normalize edilmiş H matrisi Tablo 4’te görüldüğü gibidir.

Tablo 4. Normalize karar matrisi

	y^+	y^-	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
S	1.00	0.00	0.40	0.40	0.37	0.23	0.97	0.40	0.37	0.90	0.40	0.93
O	1.00	0.00	0.23	0.13	0.27	0.33	0.30	0.27	0.30	0.33	0.33	0.33
F	1.00	0.00	0.60	0.57	0.37	0.57	0.23	0.60	0.40	0.30	0.33	0.57
	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	R21	R22
S	0.90	0.37	0.40	0.47	0.43	0.97	0.43	0.90	0.93	0.93	0.37	0.43
O	0.33	0.33	0.33	0.30	0.30	0.33	0.30	0.30	0.33	0.33	0.30	0.30
F	0.53	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.37	0.57	0.60
	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	$p1$	$p2$
S	0.43	0.93	0.43	0.40	0.43	0.87	0.40	0.40	0.40	1.00	0.75	0.45
O	0.30	0.30	0.23	0.33	0.30	0.30	0.30	0.30	0.27	0.30	0.25	0.15
F	0.30	0.40	0.50	0.60	0.53	0.27	0.30	0.37	0.33	0.43	0.45	0.27

(8) numaralı eşitlik yardımıyla, Tablo 4'te verilen değerler, risk faktörlerinin ağırlık değerleriyle çarpılarak ağırlıklı normalize karar matrisi (V) oluşturulur. Bu değerler Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Ağırlıklı normalize karar matrisi

	y+	y-	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
S	0.66	0.00	0.27	0.27	0.24	0.15	0.64	0.27	0.24	0.60	0.27	0.62
O	0.08	0.00	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
F	0.26	0.00	0.16	0.15	0.10	0.15	0.06	0.16	0.10	0.08	0.09	0.15
	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	R21	R22
S	0.60	0.24	0.27	0.31	0.29	0.64	0.29	0.60	0.62	0.62	0.24	0.29
O	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
F	0.14	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.10	0.15	0.16
	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32	p1	p2
S	0.29	0.62	0.29	0.27	0.29	0.57	0.27	0.27	0.27	0.66	0.50	0.30
O	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
F	0.08	0.10	0.13	0.16	0.14	0.07	0.08	0.10	0.09	0.11	0.12	0.07

(9) ve (10) numaralı eşitlikler kullanılarak, öncelikle ideal ve anti-ideal çözüm vektörleri elde edilmiştir. Sonrasında (11-14) numaralı denklemler ile alternatiflerin ve sınır profillerinin ideal çözümlere olan uzaklıkları Tablo 6'daki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 6. Alternatiflerin ve sınır profillerinin pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıkları

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
d _i +	0.415	0.419	0.455	0.523	0.209	0.415	0.451	0.201
d _i -	0.309	0.304	0.262	0.216	0.644	0.309	0.266	0.602
	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
d _i +	0.437	0.132	0.148	0.436	0.414	0.373	0.394	0.118
d _i -	0.280	0.637	0.613	0.291	0.309	0.348	0.328	0.660
	R17	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24
d _i +	0.394	0.135	0.124	0.179	0.438	0.394	0.421	0.172
d _i -	0.328	0.617	0.639	0.627	0.286	0.328	0.299	0.628
	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32
d _i +	0.402	0.414	0.399	0.218	0.441	0.434	0.438	0.157
d _i -	0.316	0.309	0.320	0.579	0.278	0.283	0.280	0.673
	p1	p2						
d _i +	0.227	0.417						
d _i -	0.511	0.307						

Son olarak karar alternatiflerine ait (15) ve (16) numaralı eşitliklerle hesaplanan yakınlık değerleri Tablo 7’de özetlenmiştir. Yakınlık değerleri sonuçlara göre en yüksek yakınlık derecelerine sahip riskler R16 iskele göçmesi/devrilmesi, R19 kalıp sökümünde yüksekten düşme, R10 depolarda uygunsuz istiflenen malzemelerin çalışanların üzerine devrilmesi, R18 tehlikeli kimyasalların uygunsuz kullanımı ve depolanması, R32 aşındırıcı malzemelerle temas ve R11 depolardaki yanıcı ve kimyasal malzemeler sebebiyle oluşan yangın olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 7. Yakınlık değerleri

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
YD	0.426	0.421	0.366	0.292	0.755	0.427	0.370	0.750
	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
YD	0.391	0.829	0.806	0.400	0.427	0.483	0.455	0.848
	R17	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24
YD	0.455	0.821	0.837	0.778	0.395	0.455	0.415	0.785
	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31	R32
YD	0.440	0.427	0.446	0.727	0.386	0.395	0.390	0.810
	p1	p2						
YD	0.693	0.424						

Algoritmanın sıralama aşamasında, sıralı sınıflara alternatifler atamak için Tablo 7’de verilen yakınlık değerleri ve (17-19) numaralı ifadeler kullanılır. Sınır profillerine göre riskler 3 kategoriye ayrılmıştır. Atama sonuçları yakınlık değerlerine göre sıralı olarak Tablo 8’de verilmiştir. Sonuçlara göre 11 risk, risk puanı en yüksek risk faktörlerini içeren 1. sınıfa atanmıştır. Öte yandan, 10 risk, orta seviyede risklerin bulunduğu 2. sınıfa atanmıştır. Son olarak, en az riskli maddeler olan 11 risk, 3. sınıfta yer almıştır. Sonuçlara göre karar vericiler yüksek risk grubu olan 1. risk sınıfındaki maddelere odaklanmalı ve risk etkilerini azaltmak için aksiyon planları hazırlanmalıdır. Yüksek risk sınıfındaki riskler incelendiğinde, özellikle şiddetli yaralanma ve ölüm gibi ağır sonuçlara yol açan risklerin bu sınıfa girdiği görülmektedir.

Tablo 8. Risklerin sınıflara atanması

Sınıf 1	R16, R19, R10, R18, R32, R11, R24, R20, R5, R8, R28
Sınıf 2	R14, R15, R17, R22, R27, R25, R6, R13, R26, R1
Sınıf 3	R2, R23, R12, R21, R30, R9, R31, R29, R7, R3, R4

Elde edilen her bir sınıf için ayrıca sıralamalar da elde edilebilmektedir. İlk sınıfta yer alan riskler içerisinde en önemli risk iskele göçmesi ve devrilmesi (R16) olarak bulunmuştur. Bu riski sırasıyla kalıp sökümü sırasında yüksekten düşme (R19) ve depolardaki malzemelerin çalışanların üzerine düşmesi (R10) takip etmektedir. Tehlikeli kimyasalların uygunsuz kullanımı veya depolanması (R18) ile aşındırıcı malzemelerle temas (R32) riskleri sırasıyla dördüncü ve beşinci sırada yer almaktadır. Tehlikeli kimyasalların uygunsuz kullanımı ve depolanması riskinin ön plana çıkmasının önemli nedeni kimyasal maddelerin yutulması veya solunmasının zehirlenme, cilt ve göz tahrişi, solunma problemleri gibi pek çok rahatsızlığa yol açmasıdır. Ayrıca uzun dönemde üreme ve gelişimsel problemler ile vücut sistemlerinde hasara yola açması gibi faktörler sebebiyle karar vericilerin yüksek şiddet değerleri atadığı görülmüştür.

Öte yandan, ikinci sınıfta yer alan riskler incelendiğinde yakınlık değerlerinin 0,42 ve 0,48 arasında olduğu görülmüştür. Orta riskli olarak nitelendirilen bu grupta ön plana çıkan riskler elin matkap ile teması (R14),

çalışanları elektrik çarpması (R15), iskele kurulumu sırasında aşağıda çalışanların üzerine malzeme düşmesi (R17) ve kaynak işlemi sırasında yangın ve patlama (R22) şeklindedir. Son olarak az riskli olan üçüncü sınıfta yer alan kriterlerin yakınlık katsayıları 0,29 ve 0,42 arasında olup en önemli risklerin sırasıyla beton dökümünde kullanılan pompanın patlaması (R2), kazı çalışmalarında su baskını (R23) ve malzeme ve ekipmanın yanlış şekilde kullanılması (R12) şeklinde olduğu görülmüştür.

Çalışmada elde edilen sonuçlar, karar vericilerin subjektif görüşlerine dayanmaktadır. Bu nedenle, sektöre özgü genel çıkarımlar yapmak doğru sonuçları vermeyecektir. Karar vericilerin verdikleri puanlar, riskin firma özelinde ne ölçüde tehlikeli olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Buna ek olarak, firmanın aldığı tedbirler ve özel durumlar firmanın riskler hakkında yaptıkları değerlendirmeleri etkilemektedir. Böylece, bazı riskler yüksek risk sınıfına atanırken, aynı riskin farklı bir firma için daha az risk puanına sahip olması mümkündür. Dolayısıyla, karar vericiler ve politika yapıcılar firmanın koşullarını dikkate alarak düzenli bir biçimde risk analizi çalışmaları yapmalıdır. Önerilen çok kriterli sınıflandırma modeli, risk analizi çalışmalarında karar vericilere destek olacak önemli bir araç olarak hizmet edecektir.

5. Sonuç

Bu çalışmada işletmelerde İSG risklerinin değerlendirilmesi için bütünlük bir yaklaşım geliştirilmiştir. İki aşamalı bu çözüm yaklaşımının ilk aşamasında, değerlendirme kriteri olarak belirlenmiş olan 3 risk faktörünün önem derecelerinin tespiti için entropi ağırlıklandırma yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin ikinci aşamasında ise, bulunan faktör ağırlıkları göz önüne alınarak, bir çok kriterli sınıflandırma yöntemi olan TOPSIS-Sort B yaklaşımıyla risklerin belirlenen sıralı sınıflara atanması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında İSG açısından oldukça riskli bir sektör olan inşaat sektöründe bir uygulama yapılmıştır. Türkiye’de faaliyet gösteren bir inşaat firmasında çalışanların maruz kaldıkları 32 adet risk tanımlanmıştır. Uzmanlar tarafından bu risklerin, belirlenen 3 risk faktörüne göre değerlendirilmesi yapılarak bir karar problemi oluşturulmuştur. Çalışmada grup karar verme yaklaşımı kullanılmıştır. İşletmede farklı düzeylerde çalışan üç karar vericiden alınan değerlendirmeler entegre edilerek kullanılmıştır. Entropi ağırlıklandırma yöntemiyle en önemli risk faktörünün şiddet olduğu bulunmuştur. Diğer kriterler sırasıyla tespit edilebilirlik ve olasılık olarak sıralanmıştır.

Değerlendirilen 32 adet riskin, önem derecelerine göre sıralanmış olan 3 risk sınıfına atanması TOPSIS-Sort B ile gerçekleştirilmiş olup, karar vericilerin ve yöneticilerin etkin önlemler alabilmesi için odaklanması gereken riskler ortaya koyulmuştur. Sonuçlara göre R5, R8, R10, R11, R16, R18, R19, R20, R24, R28 ve R32 birinci risk sınıfında yer almaktadır. R1, R6, R13, R14, R15, R17, R22, R25, R26 ve R27 ikinci risk sınıfında ve R2, R3, R4, R7, R9, R12, R21, R23, R29, R30 ve R31 üçüncü risk sınıfında bulunmaktadır.

Çalışmadaki en büyük sınırlılık, önerilen yaklaşımda karar verici uzmanların bilgi ve tecrübelerinden faydalanılması ve sonuçların söz konusu karar vericilerden alınan bilgilere dayalı olmasıdır. Bu nedenle sonuçlar, bahsedilen karar vericilere özeldir ve diğer inşaat işletmeleri için genellenmesi uygun olmayacaktır. Gelecek çalışmalarda, karar vericilerin değerlendirmelerindeki belirsizliklerin daha iyi bir şekilde ifade edilerek kullanılan yöntemle yansıtılabilmesi amacıyla, önerilen yöntemin bulanık mantık yaklaşımlarıyla ele alınabileceği düşünülmektedir. Burada önerilen ÇKKV yaklaşımı, farklı bulanık küme uygulamaları ile genişletilebilir. Ayrıca, önerilen entegre çözüm yaklaşımı, farklı sektörlerde gerçekleştirilecek İSG risk değerlendirme çalışmalarında kullanılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada Esra Duygu DURMAZ, problemin tanımlanması, literatür araştırması, yöntemin belirlenmesi ve uygulanması, sonuçların analizi, makalenin yazımı; İlker GÖLCÜK problemin tanımlanması, yöntemin belirlenmesi ve uygulanması, sonuçların analizi, makalenin incelenmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Adem, A. (2022). İş sağlığı ve güvenliğinde kullanılan risk analizi tekniklerinin değerlendirilmesi için bir rehber önerisi. *Politeknik Dergisi*, 25(3), 1319-1328. doi:<https://doi.org/10.2339/politeknik.1114897>
- Adem, A., Colak, A., & Dagdeviren, M. (2018). An integrated model using SWOT analysis and Hesitant fuzzy linguistic term set for evaluation occupational safety risks in life cycle of wind turbine. *Safety Science*, 106, 184-190. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.033>
- Chen, C. Y., Wu, G. S., Chuang, K. J., & Ma, C. M. (2009). A comparative analysis of the factors affecting the implementation of occupational health and safety management systems in the printed circuit board industry in Taiwan. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(2), 210-215. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.01.004>
- Chen, Z., Feng, K. M., Zhang, G. S., Yuan, T., & Pan, C. H. (2008). Preliminary safety research for CH HCSB TBM based on FMEA method. *Fusion Engineering and Design*, 83(5), 743-746. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2008.05.046>
- de Lima Silva, D. F., & de Almeida Filho, A. T. (2020). Sorting with TOPSIS through boundary and characteristic profiles. *Computers & Industrial Engineering*, 141, 106328. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106328>
- Deng, H., Yeh, C.-H., & Willis, R. J. (2000). Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers & Operations Research*, 27(10), 963-973. doi:[https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(99\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(99)00069-6)
- Djapan, M. J., Tadic, D. P., MacUzic, I. D., & Dragojovic, P. D. (2015). A new fuzzy model for determining risk level on the workplaces in manufacturing small and medium enterprises. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 229(5), 456-468. doi:<https://doi.org/10.1177/1748006X15581219>
- Ersoy, M., Çelik, M. Y., Yeşilkaya, L., & Çolak, O. (2019). Combination of Fine-Kinney and GRA methods to solve occupational health and safety problems. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(2), 751-770. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416534>
- Feili, H. R., Akar, N., Lotfizadeh, H., Bairampour, M., & Nasiri, S. (2013). Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique. *Energy Conversion and Management*, 72, 69-76. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.10.027>
- Gölcük, İ., & Durmaz, E. D. (2023). An integrated decision-making model with entropy weighting and TOPSIS-Sort for occupational risk assessment. 6. *International Conference on Engineering Sciences Abstract Book*, 56, Ankara, Türkiye.
- Gölcük, İ., Durmaz, E. D., & Şahin, R. (2023). Prioritizing occupational safety risks with fuzzy FUCOM and fuzzy graph theory-matrix approach. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), 57-70. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.970514>
- Grassi, A., Gamberini, R., Mora, C., & Rimini, B. (2009). A fuzzy multi-attribute model for risk evaluation in workplaces. *Safety Science*, 47(5), 707-716. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.10.002>
- Gul, M. (2018). A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions. *Human and Ecological Risk Assessment*, 24(7), 1723-1760. doi:<https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1424531>
- Gül, M. (2021). A quantitative occupational risk assessment methodology based on TOPSIS-Sort with its application in aluminum extrusion industry. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 163-172.
- Gul, M., Ak, M. F., & Guneri, A. F. (2017). Occupational health and safety risk assessment in hospitals: A case study using two-stage fuzzy multi-criteria approach. *Human and Ecological Risk Assessment*, 23(2), 187-202. doi:<https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1234363>

- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 58-191.
- John, A., Paraskevakis, D., Bury, A., Yang, Z., Riahi, R., & Wang, J. (2014). An integrated fuzzy risk assessment for seaport operations. *Safety Science*, 68, 180-194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.04.001>
- Korkusuz, A. Y., & Inan, U. H. (2020). Occupational health and safety performance measurement in healthcare sector using integrated multi criteria decision making methods. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(1), 81-96. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.441032>
- Liu, H. T., & Tsai, Y. L. (2012). A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. *Safety Science*, 50(4), 1067-1078. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.021>
- Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A. (2014). Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488-489(1), 85-99. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.076>
- Makin, A.-M., & Winder, C. (2008). A new conceptual framework to improve the application of occupational health and safety management systems. *Safety Science*, 46(6), 935-948. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.11.011>
- Mizrak Özfırat, P. (2014). A new risk analysis methodology integrating fuzzy prioritization method and failure modes and effects analysis. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(4), 755-768. doi:<https://doi.org/10.17341/gummfd.04423>
- Sabokbar, F. H., Hosseini, A., Banaitis, A., & Banaitiene, N. (2016). A novel sorting method TOPSIS-SORT: an applicaiton for Tehran environmental quality evaluation. *E & M Ekonomie a Management*, 19 (2) (2016), 87-104, doi:<https://doi.org/10.15240/tul/001/2016-2-006>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423. doi:<https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Sousa, V., Almeida, N. M., & Dias, L. A. (2015). Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry - Part 2: Quantitative model. *Safety Science*, 74, 184-194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.003>
- Wang, T.-C., & Lee, H.-D. (2009). Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8980-8985. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.035>
- Yilmaz, N., & Senol, M. B. (2017). A model and application of occupational health and safety risk assessment. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 77-87. doi:<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.300597>