Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Afyon Kocatepe University – Journal of Science and Engineering
https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid

Araştırma Makalesi / Research Article
DOI: https://doi.org/10.35414/akufemubid.1572682
AKÜ FEMÜBİD **25** (2025) 025801 (433-444)
AKU J. Sci. Eng. **25** (2025) 025801 (433-444)

Maden İşletmelerinde Kaza ve Risk Analizlerinin Geliştirilmesi: Yeni Bir Risk Skorlama Modeli

Makale Bilgisi / Article Info
Alındı/Received: 23.10.2024
Kabul/Accepted: 12.11.2024
Yayımlandı/Published: xx.xx.xxxx

Development of Accident and Risk Analysis in Mining Operations: A New Risk Scoring Model

Ali Kemal EYÜBOĞLU[1], Muharrem Kemal ÖZFIRAT[2*]

[1] *Dokuz Eylül Üniversitesi, Bergama Meslek Yüksekokulu, Alternatif Enerji Kaynakları Bölümü, İzmir, Türkiye*
[2] *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye*

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Bu çalışma, madencilik gibi çok tehlikeli sektörlerde risk değerlendirme süreçlerini iyileştirmek amacıyla yarı niceliksel bir risk skorlama modeli önermektedir. Geleneksel risk matrislerinin çok sayıda tehlike unsuru içeren sektörlerde yetersiz kaldığı gözleminden yola çıkılarak, İSG profesyonellerinin kolayca anlayabileceği bir model geliştirilmiştir. Önerilen model, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) metodolojisinden uyarlanan Olasılık parametresini temel alırken, kapsamlı literatür araştırmaları sonucunda geliştirilen Şiddet ve İSG Seviyesi parametrelerini de içermektedir. Risk skoru, logaritmik bir yaklaşımla hesaplanmakta ve 1-100 arasında yüzdelik değerlerle ifade edilmektedir. Araştırma kapsamında, Türkiye'nin Soma bölgesindeki üç yeraltı kömür madeni ve Orhaneli bölgesindeki iki yeraltı metal madeninde İSG profesyonelleriyle anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Çoklu regresyon analizi sonucunda, model parametrelerine atanan ağırlık katsayıları belirlenmiş olup, İSG Seviyesi parametresinin %50,04 ile risk skoruna en çok etki eden parametre olduğu saptanmıştır. Bunu sırasıyla Şiddet (%31,82) ve Olasılık (%18,14) parametreleri izlemektedir. Bu sonuçlar, önerilen modelin madencilik sektöründe risk değerlendirme süreçlerine katkı sağlayabileceğini ve İSG profesyonellerine alternatif bir yaklaşım sunabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Madenlerde iş sağlığı ve güvenliği; Risk değerlendirme; Yarı kantitatif risk analizi; Regresyon analizi*

Abstract

This study proposes a semi-quantitative risk scoring model to improve risk assessment processes in highly hazardous sectors such as mining. Based on the observation that traditional risk matrices are inadequate in sectors with a large number of hazard elements, a model that OHS professionals can easily understand has been developed. The proposed model is based on the probability parameter adapted from the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodology, and also includes severity and OHS Level parameters developed as a result of extensive literature research. The risk score is calculated with a logarithmic approach and expressed as percentage values between 1 and 100. Within the scope of the research, a survey was conducted with OHS professionals in three underground coal mines in the Soma region of Turkey and two underground metal mines in the Marmara region. As a result of multiple regression analysis, the weight coefficients assigned to the model parameters were determined, and it was determined that the OHS Level parameter had the greatest impact on the risk score with 50.04%. This was followed by Severity (31.82%) and Probability (18.14%) parameters, respectively. These results show that the proposed model can contribute to risk assessment processes in the mining industry and offer an alternative approach to OHS professionals.

Keywords *Occupational health and safety in mining; Risk assessment; Semi-quantitative risk analysis; Regression analysis*

1. Giriş

Madencilik endüstrisi, dünya ekonomisine önemli katkılar sağlamasına rağmen, çalışanları için en tehlikeli sektörlerden biri olmaya devam etmektedir (Dhillon 2010). Özellikle yeraltı madenciliği, karmaşık jeolojik koşullar, değişken çalışma ortamları ve yüksek risk faktörleri nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından kritik öneme sahiptir (Saleh ve Cummings 2011). Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) verilerine göre, madencilik sektöründe çalışanlar, diğer sektörlere kıyasla 3 ile 7 kat daha fazla kaza ve meslek hastalığı riski altındadır (İnt. Kyn.12). Bu tehlikelerin varlığı, iş sağlığı ve güvenliği açısından ciddi sonuçlar doğurabilir ve hatta ölümcül kazalara yol açabilir (Arıtan ve Ataman 2017). Örneğin, 2014 yılında Türkiye'de meydana gelen Soma maden faciası, 301 madencinin hayatını kaybetmesine neden olmuş ve risk değerlendirmenin önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir (Derin vd. 2017). Etkili bir risk değerlendirmesi, potansiyel tehlikelerin önceden tespit edilmesini ve uygun kontrol önlemlerinin alınmasını sağlar. Bu sayede, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önüne geçilebilir, çalışanların güvenliği ve sağlığı korunabilir. Ayrıca, risk değerlendirmesi, işletmelerin yasal yükümlülüklerini

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Muharrem Kemal ÖZFIRAT e-posta/e-mail: kemal.ozfirat@deu.edu.tr

yerine getirmesine ve operasyonel verimliliğin artırılmasına katkıda bulunur (Özfirat 2014).

Geleneksel risk matrisleri, risklerin olasılık ve şiddet düzeylerine göre sınıflandırılmasını sağlayan basit ve yaygın olarak kullanılan araçlardır. Ancak madencilik gibi çok tehlikeli ve dinamik sektörlerde, bu matrisler bazı sınırlamalara sahiptir. Öncelikle, risk matrisleri genellikle statik bir yaklaşım sunar ve karmaşık süreçleri tam olarak yansıtamayabilir (Cox 2008). Madencilik faaliyetleri, sürekli değişen çalışma koşulları ve çeşitli tehlikelerin bir arada bulunduğu bir çalışma ortamıdır. Bu nedenle, geleneksel matrisler bu karmaşıklığı ve dinamikliği yeterince ele alamayabilir. Ayrıca, risk matrisleri subjektif değerlendirmelere dayanır ve bu durum, risklerin yanlış sınıflandırılmasına yol açabilir (Duijm 2015). İş güvenliği uzmanlarının deneyim ve bilgi düzeyine bağlı olarak, aynı risk farklı kişiler tarafından farklı şekilde değerlendirilebilir. Bu da kritik risklerin göz ardı edilmesine veya düşük öncelikli risklere gereğinden fazla odaklanılmasına neden olabilir. Sonuç olarak, geleneksel risk matrisleri, madencilik sektöründe ihtiyaç duyulan detaylı ve kapsamlı risk analizini sağlamada yetersiz kalabilir (Thomas vd. 2014).

Madencilik sektöründeki risk değerlendirme çalışmaları incelendiğinde, çeşitli yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Bunlar arasında Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) (Eyüboğlu ve Özfırat 2015), Hata Ağacı Analizi (FTA) (Yetkin vd. 2024), Olay Ağacı Analizi (ETA), Bow-Tie Analizi (Xu ve Xu 2018) ve Kök Sebep Analizi (Öztürk vd. 2018) gibi yöntemler yer almaktadır. Ancak, bu yöntemlerin her birinin kendi sınırlamaları bulunmakta ve madencilik sektörünün karmaşık risklerini tam olarak yansıtmakta yetersiz kalabilmektedir (Qiao vd. 2019). Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), bir sistem, süreç veya üründe potansiyel hata türlerini ve bu hataların olası etkilerini belirlemek için kullanılan sistematik ve proaktif bir risk değerlendirme yöntemidir. HTEA, hataların nedenlerini ve sonuçlarını analiz ederek riskleri önceliklendirir ve olası sorunların önlenmesi için düzeltici önlemlerin planlanmasına yardımcı olur (Mikulak 2017). Ayrıca kalite ve güvenilirliğin de artırılmasına katkıda bulunarak maliyetli hataların da önüne geçer. HTEA'nın temel prensipleri arasında potansiyel hata türlerinin tanımlanması, bu hataların olası etkilerinin değerlendirilmesi ve hata nedenlerinin analiz edilmesi yer alır. Analiz sürecinde, her bir hata türü için olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik dereceleri belirlenerek bir Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanır (Carlson 2012). RÖS değeri, hangi hataların öncelikli olarak ele alınması gerektiğine dair rehberlik sağlar ve kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasına yardımcı olur.

HTEA'nın güçlü yönlerinden biri, potansiyel sorunları ortaya çıkmadan önce tespit ederek proaktif bir yaklaşım sunmasıdır. Ayrıca, ekip çalışmasını teşvik eder ve farklı uzmanlık alanlarından gelen bilgilerin birleştirilmesini sağlar (Carlson 2012). Bununla birlikte, HTEA'nın zayıf yönleri de vardır. Analiz süreci zaman alıcı olabilir ve önemli ölçüde kaynak gerektirir (Gilchrist 1993). Ayrıca, olasılık ve şiddet derecelendirmeleri subjektif olabilir; bu da sonuçların tutarlılığını ve güvenilirliğini etkileyebilir (Bowles ve Pelaez 1995). HTEA genellikle tekil hata türlerine odaklanır ve karmaşık sistemlerdeki hata etkileşimlerini tam olarak ele alamayabilir (Teoh ve Case 2004).

Bu bağlamda, madencilik sektörüne özgü, daha hassas ve kapsamlı bir risk değerlendirme modelinin geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır (Agnieszka vd. 2020). Bu çalışmada önerilen yeni model, HTEA yönteminin olasılık parametresini temel alarak, literatürde yer alan çeşitli yaklaşımlardan esinlenen şiddet ve mevcut İSG durumu parametrelerini de içerecek şekilde geliştirilmiştir (Eyüboğlu vd. 2016), (Eyüboğlu vd. 2019). Modelin en önemli özelliklerinden biri, risk skorunun logaritmik bir yaklaşımla hesaplanması ve yüzdelik değerlerle ifade edilmesidir. Bu yaklaşım, risk değerlendirmesinde daha hassas ve anlamlı sonuçlar elde etmeyi sağlamakta ve İSG profesyonellerine riskleri daha anlaşılır ve yorumlanabilir bir formatta sunmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, her parametreye atanan ağırlık katsayıları, Türkiye'nin Soma ve Orhaneli bölgesinde kömür ve metal madenlerinde çalışan İSG profesyonelleri ile yapılan anketlerden elde edilen verilerin çoklu regresyon analizi ile değerlendirilmesi sonucunda belirlenmiştir. Özellikle Soma bölgesinin seçilmesinin nedeni, 2014 yılında yaşanan ve 301 madencinin hayatını kaybettiği Soma faciasının ardından bölgedeki madenlerde risk yönetimine verilen önemin artmış olmasıdır (Düzgün ve Leveson 2018).

Bu çalışmanın amacı, madencilik sektöründe daha hızlı, doğru ve kapsamlı bir risk değerlendirme aracı sunmaktır. Geliştirilen model, mevcut risk değerlendirme yöntemlerinin sınırlamalarını aşmayı ve İSG profesyonellerine daha etkili bir karar destek mekanizması sağlamayı hedeflemektedir. Ayrıca, bu modelin gelecekte diğer yüksek riskli sektörlere de uyarlanabilme potansiyeli bulunmaktadır.

2. Metodoloji

Bu çalışmada geliştirilen yarı niceliksel risk skoru modeli, madencilik sektöründeki karmaşık risk faktörlerini daha etkili bir şekilde değerlendirmek amacıyla tasarlanmıştır. Model, geleneksel risk değerlendirme yöntemlerinin

güçlü yönlerini birleştirirken, madencilik sektörüne özgü risk faktörlerini de göz önünde bulundurmaktadır. Modelin geliştirilme süreci, kapsamlı bir literatür taraması ile başlamıştır. Bu aşamada, mevcut risk değerlendirme yöntemleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve özellikle HTEA'nın olasılık parametresi, modelin temel taşlarından biri olarak belirlenmiştir (Eyüboğlu 2018).

Modelde kullanılacak parametreler, literatür taraması ve sektör uzmanlarıyla yapılan görüşmeler sonucunda belirlenmiştir. Olasılık, şiddet ve İSG seviyesi olmak üzere üç ana parametre seçilmiştir. Her bir parametre için 1-10 arasında değişen bir ölçek oluşturulmuştur. Bu ölçeklendirme, risk faktörlerinin daha hassas bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Risk skorunun hesaplanmasında da logaritmik bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu yaklaşım, risk faktörlerinin doğrusal olmayan doğasını daha iyi yansıtmaktadır (Eyüboğlu 2018). Parametrelerin risk skoruna olan katkılarını belirlemek için çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Bu analiz, Soma ve Orhaneli bölgelerindeki madenlerde çalışan iş sağlığı ve güvenliği profesyonelleriyle yapılan anketlerden elde edilen verilere dayanmaktadır. Geliştirilen yarı niceliksel model, risk skorunu 1-100 arasında bir yüzdelik değer olarak ifade etmektedir. Bu yaklaşım, risk seviyelerinin daha anlaşılır ve karşılaştırılabilir olmasını sağlamaktadır.

2.1 Parametrelerin Tanımlanması

2.1.1 Olasılık

Geliştirilen yarı niceliksel risk skoru modelinde, olasılık parametresi HTEA yönteminden uyarlanmıştır. HTEA, endüstriyel süreçlerdeki potansiyel hata modlarını ve etkilerini sistematik olarak analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir (Stamatis 2003). Bu yöntemin olasılık parametresi, bir hata modunun belirli bir zaman diliminde gerçekleşme olasılığını ifade eder. HTEA'nın olasılık parametresi, geleneksel olarak 1 ile 10 arasında bir ölçekte değerlendirilir (Liu vd. 2013). Bu ölçek, yeni geliştirilen modele doğrudan entegre edilmiştir. Özfırat ve arkadaşlarının (2013) çalışmasında kullanılan HTEA olasılık skalası, bu uyarlama için temel alınmıştır (Özfırat vd. 2013). Bu skalada kullanılan olasılık değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Olasılık Parametresi (Özfırat vd. 2013).

Olasılık Değeri	İş Kazası Gerçekleşme Olasılığı (%)	Derece
Çok Yüksek	% 50	10
	%33	9
Yüksek	%12	8
	%5	7
Orta	%1.25	6
	%0.5	5
	%0.05	4
Düşük	%0.006	3
	%0.0006	2
Çok Düşük	%0.000060	1

2.1.2 Şiddet

Yarı niceliksel risk skoru modelinde, şiddet parametresi, bir risk olayının gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek potansiyel zararın büyüklüğünü ifade etmektedir. Bu parametre, risk değerlendirmesinde kritik bir rol oynamaktadır çünkü bir olayın olasılığı düşük olsa bile, şiddeti yüksek ise önemli bir risk faktörü olarak değerlendirilmelidir.

Şiddet parametresinin tanımlanmasında, madencilik sektörünün kendine özgü özellikleri ve potansiyel tehlikeleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu amaçla, çeşitli uluslararası standartlar ve kılavuzlar incelenmiş ve şiddet parametresi 1'den 10'a kadar uzanan bir ölçekte geliştirilmiştir (İnt. Kyn. 1-2 ve 7).

Şiddet derecelendirmesi, Yaralanma, Maddi Kayıp ve Saygınlık olarak üç ana kategori altında geliştirilmiştir. Bu çok boyutlu yaklaşım, risklerin sadece insan sağlığı ve güvenliği açısından değil, aynı zamanda ekonomik ve kurumsal itibar açısından da değerlendirilmesine olanak tanıyacağı düşünülmektedir.

Çizelge 2'de görüldüğü üzere, en düşük şiddet seviyesi (1-2) küçük yaralanmalar veya ilk yardım gerektiren durumları, en yüksek şiddet seviyesi (9-10) ise toplu ölümler veya çevresel felaketleri ifade etmektedir. Maddi kayıp açısından, yıllık bütçenin %1'inden %30'una kadar değişen bir skala kullanılmıştır. Saygınlık boyutu ise yerel medya gündeminden uluslararası soruşturmalara kadar uzanan bir yelpazede değerlendirilmiştir.

Derece aralığı 1 ile 10 arasında olan şiddet parametresinin geliştirilmesinin temel nedeni, madencilik sektöründeki risklerin potansiyel etkilerini daha kapsamlı ve çok boyutlu bir şekilde değerlendirebilmektir. Şiddet parametresinin bu şekilde tanımlanması ve derecelendirilmesinin, risk değerlendirme sürecinde daha detaylı bir yaklaşım sağlayabileceği ve potansiyel risklerin etkilerinin daha doğru bir şekilde öngörülüp önceliklendirilmesine olanak tanıyacağı düşünülmektedir.

Çizelge 2. Şiddet Parametresi; (İnt. Kyn. 1-2 ve 7).

YARALANMA	MADDİ KAYIP	SAYGINLIK	Derece
Toplu ölümler veya büyük çevresel felaketler	Yıllık bütçenin ≥%30'u	Hükümet soruşturması ve sürekli ulusal/uluslararası medya ilgisi	10
Çok sayıda ölüm, ağır yaralanmalar veya ciddi çevresel hasarlar	Yıllık bütçenin %25-30'u	Geniş kapsamlı hükümet incelemeleri ve yoğun olumsuz medya yansımaları	9
Birden fazla ölüm, ciddi yaralanmalar veya önemli çevresel etkiler	Yıllık bütçenin %15-25'u	Hükümet ve medya tarafından kapsamlı incelemeler, marka üzerinde olumsuz uzun vadeli etkiler	8
Ölümcül olmayan ciddi yaralanmalar, büyük mali kayıplar veya önemli saygınlık kaybı	Yıllık bütçenin %10-15'u	Hükümet ve medya tarafından önemli incelemeler, markada belirgin olumsuz etkiler	7
Ağır yaralanmalar, 2. derece yanıklar veya kalıcı iş göremezlik	Yıllık bütçenin %5-10'u	Ulusal medya ilgisi, bazı olumsuz marka etkileri	6
Hafif yaralanmalar veya orta düzeyde mali kayıplar	Yıllık bütçenin %2-5'i	Yerel medya ilgisi, sınırlı saygınlık kaybı	5
Küçük yaralanmalar veya ilk yardım gerektiren sağlık sorunları	Yıllık bütçenin %1-2'i	Neredeyse hiç saygınlık etkisi yok, yerel seviyede az ilgi	4
Çok küçük yaralanmalar veya kısa süreli rahatsızlıklar	Yıllık bütçenin %0.5-1'i	İtibar kaybı yok, nadiren medyada yer alır	3
İlk yardım gerektiren minimal yaralanmalar	Yıllık bütçenin %0.2-0.5'i	İtibar kaybı yok	2
Çok küçük yaralanmalar	Yıllık bütçenin <%0.2'i	İtibar kaybı yok	1

2.1.3 İSG Seviyesi

Bu parametre, bir işletmenin mevcut İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) durumunu değerlendirerek, risk skorlamasına entegre edilmiştir. İSG Seviyesi parametresinin geliştirilmesindeki amaç, mevcut risk değerlendirme yöntemlerinin eksikliklerini gidermek ve daha kapsamlı bir risk analizi sunmaktır.

İSG Seviyesi parametresinin tanımı ve derecelendirmesi, ulusal ve uluslararası standartlar, yönetmelikler ve iyi uygulama örnekleri incelenerek oluşturulmuştur. Bu süreçte, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İnt. Kyn. 10) ve İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği (İnt. Kyn. 11), Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO) yeraltı kömür madenlerinde güvenlik ve sağlık uygulama kodu (İnt. Kyn. 3), Uluslararası Madencilik ve Metal Konseyi'nin (ICMM) sağlık ve güvenlik kritik kontrol yönetimi kılavuzu (İnt. Kyn. 2), ve ABD Maden Güvenliği ve Sağlığı İdaresi'nin (MSHA) güvenlik ve sağlık standartları (İnt. Kyn. 6) gibi kaynaklar temel alınmıştır.

İSG Seviyesi parametresi, 1'den 10'a kadar uzanan bir ölçekte değerlendirilmiştir. Bu derecelendirme, işletmenin mevcut İSG durumunu ve gerekli önlemlerin alınması için önerilen süreleri içermektedir. Çizelge 3'te gösterilen bu derecelendirme, işletmelerin İSG performansını daha objektif bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Çizelge 3'te görüldüğü gibi, en düşük İSG Seviyesi (10) herhangi bir İSG tedbirinin alınmadığı veya bilinmediği durumları ifade ederken, en yüksek İSG Seviyesi (1) mevzuata ve uluslararası standartlara uygun İSG faaliyetlerinin tam olarak uygulandığı durumları göstermektedir. Her seviye için önerilen önlem alma süreleri de belirtilerek, maden işletmelerine proaktif önlemler alabilmesi için pratik bir yol haritası sunulmuştur.

İSG Seviyesi parametresinin önemi, risk değerlendirmesine proaktif bir boyut katmasıdır. Geleneksel risk değerlendirme yöntemleri genellikle olasılık ve şiddet üzerine odaklanırken, İSG Seviyesi parametresi işletmenin mevcut güvenlik durumunu da dikkate almaktadır. Bu yaklaşım, Marhavilas ve arkadaşlarının (2011) çalışmasında vurgulanan, risk değerlendirme metodolojilerinin çok boyutlu olması gerektiği fikriyle uyum göstermektedir (Marhavilas 2011).

İSG Seviyesi parametresinin risk skorlamasına dahil edilmesi, işletmeleri daha iyi İSG uygulamaları geliştirmeye teşvik edebileceği düşünülmektedir. Ayrıca, bu parametre sayesinde risk değerlendirme süreci, sadece potansiyel tehlikeleri belirlemeye değil, aynı zamanda mevcut güvenlik önlemlerinin etkinliğini de değerlendirmeye olanak tanıyabilmektedir. Bu da daha kapsamlı ve etkili bir risk yönetimi stratejisinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

2.2 Risk Skorunun Hesaplanması

Madencilik sektöründe iş kazalarının meydana gelme olasılığı (O), bu kazaların yaratacağı potansiyel zarar (Ş) ve mevcut iş sağlığı ve güvenliği seviyesi (İ) gibi kritik parametreler, bu çalışmada sunulan risk değerlendirme modelinin temel unsurlarını oluşturmaktadır. Risk

faktörlerinin doğru bir şekilde hesaplanması, etkili karar alma süreçlerinin temelini oluşturur. Bu çalışmada geliştirilen yarı niceliksel risk skoru modeli, bu üç parametreyi bir araya getirerek risk seviyesini logaritmik bir yaklaşım ile hesaplamaktadır.

Bu risk skoru modelinde, parametrelerin çarpımsal etkilerini daha doğru modellemek amacıyla logaritmik hesaplama yöntemi tercih edilmiştir. Logaritmik fonksiyonların kullanılması, risk faktörlerinin doğrusal olmayan yapısını daha iyi yansıtmaktadır. Logaritmik hesaplamaların, küçük değişikliklerin etkilerini daha belirgin bir şekilde göstermesi, risk analizlerinin hassasiyetini artırdığı düşünülmektedir. Ayrıca, bu yöntem, geniş aralıktaki parametre değerlerini daha dar ve karşılaştırılabilir bir aralıkta ifade etmeye olanak tanır (Nunes 2016).

Eşitlik 1'de görüldüğü üzere ilk adım olarak, her bir parametrenin maksimum değeri dikkate alınarak normalleştirilmiş bir risk skoru elde edilmiştir. Normalleştirilen bu risk skorunun daha kolay anlaşılıp değerlendirilmesi için risk skorunun değeri geniş bir aralıktan yüzdelik bir formata dönüştürülmüştür (Nunes 2016).

Çizelge 3. İSG Seviyesi Parametresi; (İnt. Kyn. 2-3-8-10 ve 11).

İSG Seviyesi	Önlem Alınması Gereken Süre	Derece
İSG tedbirleri hiç uygulanmamış veya mevcut tedbirler belirsizdir.	1-7 gün (Acil önlemler) + 1-3 ay (Kalıcı çözümler)	10
Mevcut İSG uygulamaları, ilgili yönetmeliklere uygun olmayacak şekilde ciddi eksiklikler içermektedir.	7-14 gün (Acil önlemler) + 2-4 ay (Kalıcı çözümler)	9
İSG yönetmeliklerinin büyük ölçüde uygulanmadığı ve kapsamlı iyileştirmelere ihtiyaç duyulduğu durumlar.	1-2 ay	8
İSG uygulamalarında belirgin eksiklikler bulunmakta olup, orta düzeyde iyileştirmeler gerekmektedir.	2-3 ay	7
İSG mevzuatına tam uyum sağlanmamış olup, mevcut eksikliklerin makul sürede giderilmesi gerekmektedir.	3-4 ay	6
İSG uygulamalarında belirgin eksiklikler mevcut olup, hızlı düzeltmeler gerekmektedir.	4-5 ay	5
İSG mevzuatına kısmen uyum sağlanmış olup, bazı alanlarda iyileştirmeler yapılması gerekmektedir.	5-6 ay	4
Gerekli İSG tedbirlerinin çoğu alınmış, ancak bazı eksiklikler bulunmaktadır.	6-8 ay	3
İSG tedbirlerinin çoğunlukla uygulanmış olup, küçük düzeltmelerin yapılması gerekmektedir.	8-10 ay	2
İSG yönetmeliklerine ve uluslararası standartlara tam uyum sağlanmış, eksiklikler giderilmiş ve sistem oturmuştur.	Sürekli iyileştirme ve 6 ayda bir gözden geçirme	1

$$RS = \left(\frac{\log(O)\times\log(Ş)\times\log(İ)}{\log(O_{max})\times\log(Ş_{max})\times\log(İ_{max})}\right)\times 99 + 1 \qquad (1)$$

Bu eşitlikte:

RS: Risk Skoru- 1 ile 100 arasında bir değere ölçeklendirilmiş risk seviyesi

O: Olasılık parametresi- İş kazasının meydana gelme olasılığını ifade eden parametre (1-10 arası),

Ş: Şiddet parametresi- Bir iş kazasının meydana gelmesi durumunda ortaya çıkabilecek potansiyel zararın büyüklüğünü gösteren parametre (1-10 arası),

İ: İSG Seviyesi parametresi- İşletmedeki mevcut iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin etkinliğini değerlendiren parametre (1-10 arası),

O_{max}, $Ş_{max}$, $İ_{max}$: Her bir parametrenin maksimum değeri olarak 10 alınmıştır. Bu sayede tüm parametreler aynı ölçek aralığında karşılaştırılabilir hale getirilmiştir.

Formüldeki 99 ile çarpım, risk skorunun geniş bir aralıktan yüzdelik bir formata dönüştürülmesini sağlamaktadır. Bu yüzdelik değer, risk değerlendirmesini daha anlaşılır kılarken, iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarına risklerin büyüklüğü konusunda sezgisel bir bilgi sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, formüle eklenen 1 değeri, risk skorunun minimum seviyesinin 1 olmasını sağlar, bu da riskin hiçbir zaman tamamen sıfır olmayacağı anlamına gelmektedir. Çünkü iş kazası olasılığı hiçbir zaman sıfıra indirgenemeyecek bir durumdur.

Son aşamada, her bir parametrenin risk skoruna olan katkısını daha kesin şekilde değerlendirebilmek amacıyla, çoklu regresyon analizi ile her parametreye ağırlık katsayıları atanmıştır. Bu katsayılar, her bir parametrenin risk skoruna olan etkisini nicel olarak ifade eder ve böylece hesaplamaların daha hassas bir şekilde yapılmasını sağlar. Bu yöntem, risk faktörlerinin daha ayrıntılı ve sektöre özgü bir yaklaşımla incelenmesine olanak tanır. Ağırlıklandırılmış katsayılar, risk değerlendirme sürecini daha nesnel ve güvenilir kılarken, her bir faktörün risk üzerindeki spesifik etkilerini daha net şekilde ortaya koyar.

Ağırlık katsayıları kullanılarak oluşturulan yeni risk skoru, Eşitlik 2'de gösterilmektedir:

$$\boldsymbol{Risk\ Skoru}\ (\boldsymbol{RS}) = 0{,}99\ x\ [K_O\ x \log(O) + K_Ş\ x \log(Ş) + K_İ\ x \log(İ)] + 1 \quad (2)$$

Bu eşitlikte, K_O, $K_Ş$, $K_İ$ ifadeleri Olasılık, Şiddet ve İSG Seviyesi parametrelerine ait yüzde ağırlıkları (%) ifade etmektedir.

2.3 Risk Seviyelerinin Belirlenmesi

Risk seviyelerinin belirlenmesinde, uluslararası standartlar olan ISO 31000 Risk Yönetimi Standardı ve ISO/IEC 31010 Risk Değerlendirme Teknikleri esas alınmıştır (İnt. Kyn. 4-5). Aynı zamanda madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılan risk matrisleri ve diğer değerlendirme yöntemleri de incelenmiştir (İnt. Kyn. 6-9). Risk seviyeleri Düşük Risk, Orta Risk, Yüksek Risk ve Çok Yüksek Risk olarak dört ana kategoriye ayrılarak sınıflandırılmıştır. Her bir kategori için belirlenen yüzde değer aralıkları, bu aralıkların tanımları Çizelge 4'te sunulmaktadır. ISO 31000 ve ISO/IEC 31010 standartlarına göre risk seviyeleri, işletmenin risk durumuna göre sınıflandırılmalıdır (HSE 2001). Madencilik sektöründe yaygın olarak kabul gören bu yaklaşımlar doğrultusunda, risklerin etkisi daha hassas bir şekilde ele alınarak, daha yüksek risk seviyelerine odaklanılmıştır. Bu bağlamda, Khan ve Abbasi'nin (1998) çalışması, risk skorlarının sınıflandırılmasında eşit aralıklı bölümlerin daha pratik olduğunu belirtmektedir (Khan ve Abbasi 1998). Ancak madencilik gibi yüksek riskli sektörlerde, daha büyük risklere daha fazla önem verilmesi gerektiğinden aralıklar eşit olmayabilir. Bu yüzden risk seviyelerinin yüzdesel dağılımları Çizelge 4'de detaylandırılmıştır. Bu kategorilerin her birine yönelik önerilen eylem planları, işletmenin risk yönetim sürecini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, risklerin görsel olarak ifade edilmesi için çizelge ve renk kodlaması (örneğin, düşük riskler için yeşil, çok yüksek riskler için kırmızı) kullanılarak, kullanıcıların daha kolay anlayabileceği bir yapı sağlanmıştır.

2.4 Veri Toplama ve Analiz Yöntemleri

Bu çalışmada kullanılan veri toplama ve analiz yöntemleri, madencilik sektöründeki iş kazası risklerinin belirlenmesi amacıyla düzenlenen anket çalışmaları ile gerçekleştirilmiş olup, çalışma için gerekli etik izin alınmıştır. Beş farklı maden sahasında çalışan İSG profesyonellerine yapılan anketlerde, iş kazası risklerini üç parametre (Alınan İSG Tedbirleri, İşletmede İş Kazası Yaşanma Olasılığı ve Muhtemel Zarar) üzerinden değerlendirmeleri istenmiştir. Anket formu, Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Risk Seviyesi Aralıkları ve Tanımları

Risk Seviyesi	Risk Skoru Aralığı (%)	Tanım	Önerilen Eylem
Düşük Risk	1 - 20	Kabul edilebilir seviyedeki riskler. Bu risklerin gerçekleşme olasılığı ve etkisi düşüktür.	Mevcut kontrol önlemleri yeterlidir. Risklerin izlenmesi ve periyodik olarak gözden geçirilmesi önerilir.
Orta Risk	21 - 40	Dikkat gerektiren riskler. Riskin gerçekleşme olasılığı veya etkisi orta seviyededir.	Mevcut kontrol önlemlerinin etkinliği değerlendirilmelidir. Gerekirse ek tedbirler alınmalıdır.
Yüksek Risk	41 - 70	Ciddi önlemler gerektiren riskler. Riskin gerçekleşmesi durumunda önemli olumsuz etkiler söz konusu olabilir.	Acil müdahale ve iyileştirme gereklidir. Risk azaltma planları hazırlanmalı ve uygulanmalıdır.
Çok Yüksek Risk	71 - 100	Kritik seviyedeki riskler. Riskin gerçekleşmesi durumunda felaket boyutunda sonuçlar doğabilir.	Faaliyetler derhal durdurulmalı ve kapsamlı bir risk değerlendirmesi yapılmalıdır. Kontrol önlemleri tamamen gözden geçirilmeli ve yeniden tasarlanmalıdır.

Anket çalışması, Türkiye'nin Soma bölgesindeki üç yeraltı kömür madeni (A, B, C) ve Orhaneli bölgesindeki iki yeraltı metal madeni (D, E) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar, bu madenlerde görev yapan iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerinden oluşmaktadır. Soma'daki madenler, özellikle 2014'te yaşanan Soma faciasının ardından iş kazası risk yönetimine verilen önem doğrultusunda seçilmiştir. Orhaneli bölgesindeki metal madenleri ise ülkemizdeki madencilik faaliyetlerinin çeşitliliğini yansıtmak amacıyla örneklemde yer almıştır. Toplamda 37 İSG profesyoneli katılım göstermiş olup, her bir katılımcı ilgili madeni ekte yer alan anket formundaki parametrelere göre değerlendirmiştir. Katılımcılar, bulundukları çalışma ortamına göre iş kazası olasılığı, şiddet ve İSG seviyesi parametrelerini, risk seviyelerini Çizelge 1, 2, 3 ve 4'te sunulan derecelendirme kriterleri baz alınarak hazırlanmış anket formuna göre puanlamışlardır. Bu puanlamalar, her bir parametrenin risk skoruna olan yüzdesel katkısının hesaplanmasına temel oluşturmuş ve bu süreçte, parametrelerin risk

skoruna olan etkisi çoklu regresyon analizi ile belirlenmiştir.

Ek 1. Anket Formu: Madencilik Sektöründe Risk Değerlendirme

Amaç: Bu anket, madencilik sektöründe iş kazası risklerinin değerlendirilmesi için kullanılan parametrelerin (Olasılık, Şiddet, İSG Seviyesi) risk skoruna olan katkılarını analiz etmek amacıyla düzenlenmiştir. Lütfen her soruyu işletmenize göre yanıtlayınız.

Katılımcı No: _____
Çalışma Alanı (Maden): _____
Tarih: _____

1. İş Kazası Olasılığı (Olasılık)

Lütfen bulunduğunuz çalışma alanında bir iş kazasının meydana gelme olasılığını aşağıdaki tabloya göre derecelendiriniz.

Olasılık Değeri	Derece
Çok yüksek	9 - 10
Yüksek	7 - 8
Orta	5 - 6
Düşük	3 - 4
Çok düşük	1 - 2

Seçtiğiniz Olasılık Değeri: _____

2. İş Kazası Durumunda Şiddet (Şiddet)

Lütfen bulunduğunuz çalışma alanında meydana gelebilecek bir iş kazasının etkisini aşağıdaki tabloya göre değerlendirin.

Şiddet Düzeyi	Derece
Yaralanma: Toplu ölümler ve çevresel felaketler, Maddi Kayıp: Yıllık bütçenin en az %30'u, Saygınlık: Hükümet soruşturması, olumsuz ulusal/uluslararası gündem	10
Yaralanma: Birden fazla ölüm veya ağır yaralanmalar, Maddi Kayıp: Yıllık bütçenin en az %10'u, Saygınlık: Medya incelemeleri, uzun vadeli olumsuz etkiler	9
Yaralanma: Tek ölüm veya ciddi kalıcı sakatlıklar, Maddi Kayıp: Yıllık bütçenin %5-10'u, Saygınlık: Ulusal medya gündemi, olumsuz marka etkisi	8
Yaralanma: Ağır yaralanmalar, uzun süreli iş göremezlik, Maddi Kayıp: Yıllık bütçenin %5'ine kadar, Saygınlık: Medya incelemeleri	7
Yaralanma: Hafif yaralanmalar, tedavi gerektiren sağlık sorunları, Maddi Kayıp: Yıllık bütçenin %2-5'i, Saygınlık: Yerel medya gündemi	6
Yaralanma: Küçük yaralanmalar, kısa süreli rahatsızlıklar, Maddi Kayıp: Yıllık bütçenin %1'i kadar, Saygınlık: Şirket açısından itibar kaybı yok	5
Yaralanma: Tedavi gerektiren hafif rahatsızlıklar, Maddi Kayıp: Bütçenin çok küçük bir kısmı	4
Yaralanma: İlk yardım gerektiren hafif yaralanmalar, Maddi Kayıp: İhmal edilebilir seviyede	3
Yaralanma: Çok hafif yaralanmalar, Maddi Kayıp: Neredeyse hiç maddi kayıp yok	2
Yaralanma: Yaralanma yok, Maddi Kayıp: Maddi kayıp yok	1

Seçtiğiniz Şiddet Düzeyi: _____

3. İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) Seviyesi

Lütfen bulunduğunuz çalışma alanında alınan İSG tedbirlerinin yeterliliğini aşağıdaki tabloya göre derecelendirin.

İSG Seviyesi Durumu	Derece
Herhangi bir İSG tedbiri alınmamış veya bilinmiyor	10
Mevcut İSG tedbirlerinde ciddi eksiklikler var, önemli iyileştirmeler gerekmektedir	9
Eksiklikler tespit edilmiş, iyileştirme süreci başlamalı	8
İSG tedbirlerinde eksiklikler var, tamamlanması gerekmekte	7
İSG mevzuatına tam uyulmuyor, eksiklikler giderilmelidir	6
Eksikliklerin giderilmesi gerekmektedir	5
Mevzuata uygunluk var ama hala iyileştirilmesi gereken unsurlar var	4
Gerekli tüm İSG tedbirleri neredeyse tamamlanmış, bazı küçük iyileştirmeler gerekebilir	3
Mevcut İSG önlemleri büyük ölçüde tamamlanmış	2
Mevzuata tam uygunluk, eksiksiz İSG tedbirleri ve sürekli iyileştirme planı mevcut	1

Seçtiğiniz İSG Seviyesi: _____

4. Genel Risk Seviyesi

Lütfen bulunduğunuz çalışma alanındaki risk seviyesini aşağıdaki sınıflandırmaya göre belirtin.

Risk Seviyesi	Risk Skoru Aralığı (%)	Tanım
Düşük Risk	1 - 20	Kabul edilebilir seviyedeki riskler. Riskin olasılığı ve etkisi düşüktür.
Orta Risk	21 - 40	Dikkat gerektiren riskler. Riskin olasılığı veya etkisi orta düzeydedir.
Yüksek Risk	41 - 70	Ciddi önlemler gerektiren riskler. Önemli olumsuz etkiler yaratabilir.
Çok Yüksek Risk	71 - 100	Kritik riskler. Felaket boyutunda sonuçlar doğurabilir.

Seçtiğiniz Genel Risk Seviyesi: _____

Şekil 1. Risk Değerlendirme Parametreleri İçin Anket Formu

2.4.1 Çoklu Regresyon Analizi Yöntemi

Çoklu regresyon analizi, bağımlı bir değişken ile birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi incelemek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir (Kelley ve Bolin 2013). Bu çalışmada, bağımlı değişken olarak risk skoru kullanılmış ve bağımsız değişkenler olarak Olasılık, Şiddet ve İSG Seviyesi parametreleri değerlendirilmiştir. Çoklu regresyon analizi, her bir bağımsız değişkenin risk skoruna olan katkısını belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Bu analizle, parametreler arasındaki ilişkinin derecesini ölçerek, risk skorlarının daha doğru ve güvenilir bir şekilde hesaplanması amaçlanmıştır.

2.5 Vaka Çalışması: Soma ve Orhaneli Bölgesi Madenleri

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin iki önemli madencilik bölgesi olan Soma ve Orhaneli'ndeki yeraltı maden sahaları incelenmiştir. Bu iki bölgenin seçilmesinin temel nedeni, yeraltı madenciliği faaliyetlerinin yoğunluğu ve iş sağlığı ve güvenliği açısından yüksek risk potansiyeline sahip olmalarıdır.

Soma, Türkiye'nin Manisa iline bağlı bir ilçedir ve ülkenin en büyük kömür madeni yataklarından birine ev sahipliği yapmaktadır. Bölge, özellikle yeraltı kömür madenciliği faaliyetleri ile ön plana çıkmaktadır. 2014 yılında Soma'da meydana gelen büyük maden faciası, bölgedeki iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına verilen önemi artırmış, risk yönetimi açısından Soma bölgesi kritik bir inceleme alanı haline getirmiştir. Yeraltı kömür madenciliğinin yoğun olduğu bu bölgede, grizu patlaması ve göçük gibi yüksek risk faktörleri sıklıkla gündeme gelmektedir. Soma bölgesinin bu çalışmaya dahil edilme nedeni, hem Türkiye'nin madencilik sektöründe önemli bir yer tutması hem de yüksek risk taşıyan faaliyetlerin burada yoğunlaşmış olmasıdır. Bu bölgede yer alan üç farklı yeraltı kömür işletmesi (A, B, C) üzerinde iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri, iş kazası olasılıkları ve potansiyel zararlar açısından detaylı değerlendirmeler yapılmıştır.

Bursa'nın Orhaneli ilçesi, Türkiye'nin önemli krom madenlerine ev sahipliği yapmaktadır. Bu bölgede krom madenciliği faaliyetlerinin yoğunluğu nedeniyle, bu bölge

iş sağlığı ve güvenliği açısından stratejik bir öneme sahiptir. Krom madenciliği sırasında karşılaşılan iş kazaları, taş göçükleri ve krom çıkarma sürecinde kullanılan ağır makineler nedeniyle oluşabilecek iş kazaları, bu bölgenin risk faktörlerini artırmaktadır.

Orhaneli bölgesindeki yeraltı krom madenlerinin bu çalışmaya dahil edilmesinin nedeni, Marmara Bölgesi'nde önemli bir krom üretim merkezi olmasıdır. Bu bölgede yer alan iki farklı yeraltı üretimi yapan krom madeni (D, E) üzerinde iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri, iş kazası olasılıkları ve potansiyel zararlar değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, iş kazası riski üzerinde etkili olan üç ana parametrenin (Olasılık, Şiddet ve İSG Seviyesi) risk skoruna olan katkıları, çoklu doğrusal regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Bu süreçte, beş farklı madencilik firmasına ait anketlerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Her bir parametrenin risk skoruna olan etkisi yüzdesel olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar regresyon katsayıları ve anlamlılık testleri ile değerlendirilmiştir. Risk skoru hesaplamasında kullanılan parametreler, çoklu regresyon analizi yardımıyla Eşitlik 2'de gösterildiği gibi formüle edilmiştir:

$$\boldsymbol{Risk\ Skoru}\ (\boldsymbol{RS}) = 0{,}99\ x\ [K_O\ x \log(O) + K_Ş\ x \log(Ş) + K_İ\ x \log(İ)] + 1 \quad (2)$$

Burada her bir parametrenin logaritması alınarak katsayılar ile çarpılır ve sonuç 0.99 ile ölçeklendirilerek risk skoru hesaplanır. 1 değeri ise risk skorunun minimum değerinin 1 olmasını sağlamak için eklenmiştir.

Regresyon modeli sadeleştirildiğinde, bağımlı değişken olan risk skoru (y), Eşitlik 3'teki gibi ifade edilmiştir:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \quad (3)$$

Regresyon modelinde β_0 değeri sıfır olarak kabul edilmiştir çünkü bağımsız değişkenler olan İş Kazası Olasılığı, Şiddet ve İSG Seviyesi parametrelerinin sıfır olması gerçek dünyada mümkün değildir, dolayısıyla sabit bir başlangıç değeri anlamlı olmaz. Ayrıca, logaritmik hesaplamalar ve modelin yapısı gereği, bu değerlerin doğrudan risk skoru üzerindeki etkisi incelenmek istenmiştir. β_0'ın sıfır kabul edilmesi, modeli sadeleştirerek bağımsız değişkenlerin risk skoru üzerindeki etkilerini daha net şekilde göstermiştir. Bu nedenle, bu çalışmadaki regresyon modeline göre β_0 değeri sıfır olarak kabul edilmiştir ve model Eşitlik 4'teki hale getirilmiştir:

$$RS - 1 = [K_o\ x\ (0.99 \times \log(O)) + K_s\ x\ (0.99 \times \log(Ş)) + K_m\ x\ (0.99 \times \log(İ))] \quad (4)$$

Burada:

y: Risk Skoru [RS – 1]

x_1: 0.99 x log(O)

x_2: 0.99 x log(Ş)

x_3: 0.99 x log(İ)

β_1 = Ko (İş Kazası Olasılığı)

β_2 = Kş (Şiddet)

β_3 = Ki (İSG Seviyesi)

37 İSG profesyoneline yapılan anketin sonuçları ve regresyon analizine dayalı olarak elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de gösterilmektedir. Çizelge 5'de çoklu regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenler (parametreler) ve bağımlı değişken (y = RS - 1) ile bağımsız değişkenlerin logaritmik çarpanlarının çoklu regresyon analizine dahil edilmesiyle elde edilen veriler yer almaktadır.

Çizelge 6'da sunulan ve Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları, Risk Skoru modelinin yüksek açıklayıcı güce sahip olduğunu göstermektedir (R2: 0.999). F-istatistiği sonucunda elde edilen çok düşük p-değeri (0.00476), modelin genel anlamda oldukça anlamlı olduğunu ve bağımsız değişkenlerin risk skoru üzerindeki etkilerinin güçlü olduğunu göstermektedir. Yapılana analiz sonucunda Olasılık, Şiddet ve İSG Seviyesi değişkenlerinin tümü istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (p <0.001). Çizelge 7'de görüldüğü üzere, İSG Seviyesi, Risk Skoru'nun %50.05'ini açıklayarak en etkili faktör olarak öne çıkmaktadır. Şiddet değişkeni %31,81, Olasılık ise %18,14 oranında etki göstermektedir. Bu sonuçlar, risk yönetimi stratejilerinde İSG Seviyesi'nin iyileştirilmesine öncelik verilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Yarı niceliksel risk skoru modeli, madencilik gibi tehlikeli sektörlerde risk değerlendirme süreçlerini iyileştirir. Logaritmik hesaplama yöntemi kullanarak olasılık, şiddet ve İSG seviyesini birlikte değerlendirir, böylece geleneksel risk matrislerinden daha detaylı analiz sunar. Model, her parametrenin risk skoruna yüzdesel katkısını belirleyerek İSG profesyonellerine daha net ve objektif bilgiler sağlar. Bu, risklerin önceliklendirilmesi, iyileştirme alanlarının belirlenmesi ve kontrol tedbirlerinin etkinliğinin ölçülmesinde avantaj sağlar. İSG seviyesinin yüksek ağırlıkta olması, proaktif yaklaşımları teşvik eder ve iş güvenliği tedbirlerinin önemini vurgular.

Diğer yöntemler, örneğin Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) veya Hata Ağacı Analizi (FTA), tekil olayların ya da hataların incelenmesine odaklanırken, bu model bütüncül bir yaklaşım sunar ve maden işletmelerindeki genel riskleri daha geniş bir perspektifle değerlendirir. Bu sayede, geleneksel yöntemlere kıyasla daha kapsamlı ve işlevsel bir risk değerlendirme aracı haline gelir.

Geliştirilen yarı niceliksel risk skoru modelinin güçlü yönleri arasında, parametrelerin logaritmik bir yaklaşımla değerlendirilmesi sayesinde daha hassas ve gerçekçi sonuçlar elde edilmesidir.

Çizelge 5. Anket Sonuçları ve Çoklu regresyon analizinde kullanılan parametrelere ait veriler

Katılımcı	Olasılık (O)	Şiddet (Ş)	İSG Seviyesi (İ)	RS = Risk Skoru	X1 [0.99xlog(O)]	X2 [0.99xlog(Ş)]	X3 [0.99xlog(İ)]	y = RS - 1
1	5	7	3	55	0,69198	0,83665	0,47235	54
2	8	2	6	55	0,89406	0,29802	0,77036	54
3	4	9	5	65	0,59186	0,9447	0,69298	64
4	6	4	7	60	0,77036	0,59186	0,83665	59
5	3	8	2	45	0,47235	0,89406	0,29802	44
6	7	1	9	50	0,83665	0	0,9447	49
7	2	6	4	50	0,29802	0,77036	0,59186	49
8	9	3	8	65	0,9447	0,47235	0,89406	64
9	1	5	1	20	0	0,69298	0	19
10	10	10	10	80	0,99	0,99	0,99	79
11	4	7	3	50	0,59186	0,83665	0,47235	49
12	5	2	6	50	0,69298	0,29802	0,77036	49
13	3	9	5	60	0,47235	0,9447	0,69298	59
14	6	4	7	65	0,77036	0,59186	0,83665	64
15	7	8	2	50	0,83665	0,89406	0,29802	49
16	2	1	9	45	0,29802	0	0,9447	44
17	8	6	4	60	0,89406	0,77036	0,59186	59
18	1	3	8	50	0	0,47235	0,89406	49
19	9	5	1	35	0,9447	0,69298	0	34
20	10	10	10	80	0,99	0,99	0,99	79
21	4	7	3	50	0,59186	0,83665	0,47235	49
22	5	2	6	50	0,69298	0,29802	0,77036	49
23	3	9	5	60	0,47235	0,9447	0,69298	59
24	6	4	7	60	0,77036	0,59186	0,83665	59
25	7	8	2	50	0,83665	0,89406	0,29802	49
26	2	1	9	45	0,29802	0	0,9447	44
27	8	6	4	60	0,89406	0,77036	0,59186	59
28	1	3	8	50	0	0,47235	0,89406	49
29	9	5	1	35	0,9447	0,69298	0	34
30	10	10	10	80	0,99	0,99	0,99	79
31	4	7	3	50	0,59186	0,83665	0,47235	49
32	5	2	6	50	0,69298	0,29802	0,77036	49
33	3	9	5	60	0,47235	0,9447	0,69298	59
34	6	4	7	65	0,77036	0,59186	0,83665	64
35	7	8	2	50	0,83665	0,89406	0,29802	49
36	2	1	9	45	0,29802	0	0,9447	44
37	8	6	4	60	0,89406	0,77036	0,59186	59

Çizelge 6. Regresyon Analizi Sonuçları ve Model İstatistikleri

İstatistik	Değer	İstatistik	Değer
Bağımlı Değişken	y = RS - 1	R^2	0,999
Tahmin Yöntemi	En Küçük Kareler	Düzeltilmiş R^2	0,999
Gözlem Sayısı	37	F-istatistiği	0,00476
Serbestlik Derecesi (Model)	3	F-ist. Olasılık Değeri	0,000
Serbestlik Derecesi (Artık)	34	Log-Olabilirlik	1500,000
Kovaryans Yapısı	Robust olmayan	AIC	-2994
Tahmin Tarihi	12.05.2018	BIC	-2985

Çizelge 7. Regresyon Katsayıları ve Risk Skorları

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-değeri	p-değeri	Risk Ağırlığı (%)
Olasılık	15,0268	0,000	∞	0,000	18,14

Şiddet	26,3563	0,000	∞	0,000	31,81
İSG Seviyesi	41,4558	0,000	∞	0,000	50,05

Model, İSG profesyonellerine risk faktörlerinin etkilerini daha net bir şekilde görme imkanı sunmakta, özellikle İSG Seviyesi parametresinin risk skoru üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Ayrıca, modelin sektöre özgü olarak uyarlanabilir olması, farklı maden sahalarına ve koşullara uygulanabilirliğini artırmaktadır.

Bununla birlikte, modelin potansiyel sınırlamaları da bulunmaktadır. Özellikle, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki güçlü korelasyon, modelin bazı durumlarda anlamlı sonuçlar vermesini zorlaştırabilir. Ayrıca, modelin pratik uygulanabilirliği için daha fazla saha çalışması ve geniş katılımcı örneklemi gerekmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma, madencilik sektörü için geliştirilen yarı niceliksel risk skoru modelinin etkili ve uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır. Model, risk değerlendirmesinde üç ana parametre kullanmaktadır: iş sağlığı ve güvenliği (İSG) seviyesi (%50,04), şiddet (%31,82) ve olasılık (%18,14). İSG seviyesinin yüksek ağırlığı, iş kazalarının önlenmesindeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Modelin yüksek açıklayıcılık oranı (R^2 = 0.999), risk skorunun güvenilir bir şekilde hesaplanabildiğini göstermektedir. Bu yaklaşım, özellikle madencilik gibi yüksek riskli sektörlerde İSG profesyonellerine riskleri daha anlaşılır ve karşılaştırılabilir şekilde değerlendirme imkanı vererek karar alma süreçlerini kolaylaştırmaktadır.

Gelecek çalışmalar için, modelin yalnızca farklı tehlikeli sektörlere değil, aynı zamanda farklı madencilik türlerine de spesifik uyarlamalarla adapte edilmesi önerilmektedir. Modelin daha geniş ve uluslararası örneklemler üzerinde test edilmesi, bu sayede uluslararası karşılaştırmalı analizler ile genellenebilirliğinin artırılması hedeflenmelidir. Ayrıca, farklı risk değerlendirme yöntemleriyle karşılaştırılması ve ileri istatistiksel teknikler veya yapay zeka tabanlı analizlerle geliştirilmesi de önerilmektedir. Bu model, risk değerlendirme süreçlerinde daha hassas ve etkili bir yaklaşım sunarak, iş güvenliği alanında önemli bir adım atmakta ve ağır sanayi, kimya, inşaat gibi diğer tehlikeli sektörlerin yanı sıra madencilik alanında da geniş bir uyarlanabilirlik potansiyeli taşımaktadır.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar, tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler. Bu makale, Ali Kemal Eyüboğlu'nun doktora tez çalışmasından türetilmiştir (Eyüboğlu, 2018; kaynakçada gösterilmiştir).

Bu çalışma için etik komite onayı Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulunun 14.05.2024 tarihli 8 sayılı kararı ile alınmıştır.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar-1: Kaynaklar, Araştırma, Biçimsel analiz, Yazılım, Doğrulama, Metodoloji, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak.

Yazar-2: Kaynaklar, Biçimsel analiz, Doğrulama, Yazma – orijinal taslak.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Veri kümeleri istek üzerine mevcuttur. Bu makalenin sonuçlarını destekleyen ham veriler, yazarlar tarafından herhangi bir çekince olmaksızın sunulacaktır.

5. Kaynaklar

Agnieszka, T., Werbinska-Wojciechowska, S. and Wroblewski, A., 2020. Risk Assessment Methods in Mining Industry. Revista Applied Sciences, **1**: 15. https://doi.org/10.3390/app10155172

Arıtan, A. E., & Ataman, M. (2017). Kaza oranları hesaplamalarıyla iş kazası analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, **17** (1), 239-246. http://dx.doi.org/10.5578/fmbd.51762

Bowles, J. B. and Peláez, C. E., 1995. Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. Reliability Engineering & System Safety, **50**(2): 203-213. https://doi.org/10.1016/0951-8320(95)00068-D

Carlson, C. S., 2012. Effective FMEAs: Achieving safe, reliable, and economical products and processes using failure mode and effects analysis. John Wiley & Sons.

Cox, L. A. T., 2008. What's wrong with risk matrices? Risk Analysis, **28**(2): 497-512. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x

Derin, L., Varol, N. and Uymaz, S., 2017. Türkiye'deki kömür madeni kazalarına ilişkin değerlendirme. Resilience, **1**(1): 47-53. http://dx.doi.org/10.32569/resilience.363674

Dhillon, B. S., 2010. Mine safety: A modern approach. Springer Science & Business Media.

Duijm, N. J., 2015. Recommendations on the use and design of risk matrices. Safety Science, **76**: 21-31. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.014

Düzgün H. S. and Leveson N., Analysis of soma mine disaster using causal analysis based on systems theory (CAST), Safety science, **110**: 37-57, (2018). https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.028

Eyüboğlu, A. K., 2018. Maden işletmelerinde kaza ve risk analizlerinin geliştirilmesi. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 130.

Eyüboğlu, A. K. and Özfırat, M. K., (2015). *Yeraltı Metal Madeni Ocaklarındaki Başlıca Tehlikelerin HTEA Risk Analiz Yönetimi ile Değerlendirilmesi*. Uluslararası maden işletmelerinde işçi sağlığı ve iş güvenliği sempozyumu. Adana, Türkiye, pp. 95-103.

Eyüboğlu, A. K., Özfırat, M. K. and Altıner, M., (2019). *Marmara Bölgesinde faaliyet gösteren bir krom tesisine ait kırma-öğütme-eleme ve yıkama ünitelerindeki başlıca tehlikelerin HTEA risk analiz yöntemi ile değerlendirilmesi.* Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu. Adana, Türkiye, pp. 419-432.

Eyüboğlu, A. K., Özfırat, M. K. and Kahraman, B., 2016. *Açık işletme madenciliğinde şev ve basamaklarda oluşan risklerin hata türü etki analizi (HTEA) yöntemiyle sınıflandırılması.* 8. Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı. İstanbul, Türkiye, 1(61): 332-335.

Gilchrist, W., 1993. Modelling failure modes and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, **10**(5). https://doi.org/10.1108/02656719310040105

Kelley, K., Bolin, J.H. 2013. Multiple Regression. In: Teo, T. (eds) Handbook of Quantitative Methods for Educational Research. SensePublishers, Rotterdam. ,pp. 69-101. https://doi.org/10.1007/978-94-6209-404-8_4

Khan, F. I. and Abbasi, S. A., 1998. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, **11**(4): 261–277. https://doi.org/10.1016/S0950-4230(97)00051-X

Liu, H. C., Liu, L. and Liu, N., 2013. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. Expert Systems with Applications, **40**(2): 828-838. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010

Marhavilas, P. K., Koulouriotis, D. and Gemeni, V., 2011. Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, **24**(5): 477-523. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.03.004

Mikulak, R. J., 2017. The basics of FMEA. CRC Press.

Nunes, F. O., 2016. Application of a Configurable Model for Risk Assessment in the Work Sites. Open Journal of Safety Science and Technology, **6**(4): 99-125. http://dx.doi.org/10.4236/ojsst.2016.64009

Özfırat, M. K., Mızrak Özfırat, P., Kahraman, B., Can, Y. and Öney, Ö., 2013. *Yeraltı madeninde nakliyatta oluşan risklerin Hata Türü Etki Analizi (HTEA) yöntemiyle sınıflanması.* Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu. Adana, Türkiye, pp. 289-295.

Özfırat, P. M., 2014. Bulanık önceliklendirme metodu ve hata türü ve etkileri analizini birleştiren yeni bir risk analizi yöntemi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, **29**(4): 755-768. https://doi.org/10.17341/gummfd.04423

Qiao, W., Li, X. and Liu, Q., 2019. Systemic approaches to incident analysis in coal mines: Comparison of the STAMP, FRAM and "2-4" models. Resources Policy, **63**: 101453. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101453

Saleh J. H. and Cummings A. M., 2011. Safety in the mining industry and the unfinished legacy of mining accidents: Safety levers and defense-in-depth for addressing mining hazards, Safety science, **49**(6): 764-777, http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.02.017

Stamatis, D. H., 2003. Failure mode and effect analysis. Quality Press.

Teoh, P. C. and Case, K., 2004. Failure modes and effects analysis through knowledge modelling. Journal of Materials Processing Technology, **153**: 253-260. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.298

Thomas, P., Bratvold, R. B. and Bickel, J. E., 2014. The Risk of Using Risk Matrices. SPE Economics & Management, **6**(2): 56-66. http://dx.doi.org/10.2118/166269-MS

Yetkin, M. E., Özfırat, M. K., Kun, M. and Pamukcu, C., 2024. The prediction of the risks of spontaneous combustion in underground coal mines using a fault tree analysis method. MethodsX, **13**: 102835. https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102835

Xu, Q. and Xu, K., 2018. Mine safety assessment using gray relational analysis and bow tie model. PLoS One, **13**(3): e0193576. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193576

Öztürk, İ., Mevsim, R. and Kınık, A., 2018. Ermenek Mine Accident in Turkey: The Root Causes of a Disaster. *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association*. Florence, Italy, pp. 1019-1028.

İnternet kaynakları

1-Health Service Executive (HSE), 2013. Risk assessment tool and guidance: Including guidance on application (Version 4), http://www.hse.ie/eng/about/who/riskmanagement/risk-assessment-tool-and-guidance-incl-application.pdf, (27.09.2024).

2-International Council on Mining and Metals (ICMM), 2015. Health and safety critical control management: Good practice guide,

https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/health-and-safety/2015/guidance_ccm-good-practice.pdf?cb=60007

, (27.09.2024).

3- International Labour Organization, 2006. Code of practice on safety and health in underground coalmines, https://webapps.ilo.org/public/english/standards/relm/gb/docs/gb297/pdf/meshcm-9.pdf, (27.09.2024).

4- ISO 31000:2018, 2018. Risk management—Guidelines, https://pecb.com/whitepaper/iso-310002018-risk-management-guidelines, (27.09.2024).

5- ISO/IEC 31010:2009, 2009. Risk management, Risk assessment techniques, https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iec:31010:ed-1:v1:en, (27.09.2024).

6- Mine Safety and Health Administration (MSHA), 2010. "Risk Assessment Guidelines", U.S. Department of Labor, https://www.msha.gov/regulations/standards-and-regulations, (27.09.2024).

7- Mine Safety and Health Administration (MSHA) 2014. The Development of Risk and Readiness Assessment Models for MSHA and Industry- Consolidated Final Report, https://arlweb.msha.gov/readroom/FOIAarchive.asp, (27.09.2024).

8-Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 2023. Mine Safety and Health Administration (MSHA) - Safety and Health Standards, https://www.msha.gov/regulations/standards-and-regulations, (27.09.2024).

9-Safe Work Australia, 2018. Code of Practice: How to Manage Work Health and Safety Risks, https://www.safeworkaustralia.gov.au/system/files/documents/1901/code_of_practice_-_how_to_manage_work_health_and_safety_risks_1.pdf (27.09.2024).

10-T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2012. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5, (27.09.2024).

11-T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, 2012. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16925&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, (27.09.2024).

12- International Labour Organization (ILO), 2019. Safety and health at the heart of the future of work: Building on 100 years of experience, https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40dgreports/%40dcomm/documents/publication/wcms_686645.pdf, (27.09.2024).