T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MESLEKİ RİSKLERİN BÜYÜKLÜĞÜNÜ FAALİYETLER ARASI BAĞIMLILIKLARI DİKKATE ALARAK BELİRLEYEN KARMA BİR YÖNTEM ÖNERİSİ: MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Ulaş ÇINAR

DOKTORA TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Doktora Programı

Danışman

Prof. Dr. Selçuk ÇEBİ

Temmuz, 2021

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MESLEKİ RİSKLERİN BÜYÜKLÜĞÜNÜ FAALİYETLER ARASI BAĞIMLILIKLARI DİKKATE ALARAK BELİRLEYEN KARMA BİR YÖNTEM ÖNERİSİ: MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Ulaş ÇINAR tarafından hazırlanan tez çalışması ..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Selçuk ÇEBİ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Selçuk ÇEBİ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ali Fuat GÜNERİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin Aykan KEPEKLİ, Üye
İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi _____

Doç. Dr. Selçuk ALP, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Fatih YILMAZ, Üye
Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Selçuk ÇEBİ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Madencilik Sektöründe Oluşan Mesleki Risklerin Büyüklüğünü Faaliyetler Arası Bağımlılıkları Dikkate Alarak Belirleyen Karma Bir Yöntem Önerisi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Maden Yüksek Mühendisi Ulaş ÇINAR

İmza

Aileme, biricik eşime

ve

kızıma

TEŞEKKÜR

Tez sürecimde başından sonuna kadar büyük bir özveri ile liderlik eden, çalışmaya odaklanmakta zorlandığım dönemlerde gösterdiği hoşgörü ve destek ile akademik çalışma disiplini kazanmamı sağlayan, kendisinin öğrencisi olmaktan onur duyduğum ve hayatımda gördüğüm iş ahlakı en yüksek olan insana, saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Selçuk ÇEBİ'ye en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam boyunca ilgi ve önerilerini göstermekten kaçınmayan ve tezimin şekillenmesinde önemli katkıları bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. Ali Fuat GÜNERİ ve Dr. Öğr. Üyesi Tahsin Aykan KEPEKLİ' ye ayrı ayrı teşekkür ve saygılarımı sunuyorum.

Akademik hayatım boyunca desteğini üzerimden hiç ayırmayan ve bu serüvene başlamamdaki en büyük pay sahibi olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Gönül KUNT KANDEMİR' e saygı ve minneti bir borç biliyorum.

Hayatım boyunca hayalini kurduğum hedeflere ulaşmam için beni daima yüreklendiren, beni bugünlere getiren annem Sevilay ÇINAR ve babam Mehmet ÇINAR' a şükranlarımı sunuyorum.

Son olarak, her anımı birlikte geçirdiğim tüm sıkıntılarıma ortak olan hayatımın assolistleri sevgili eşim Gizem ÇINAR ve biricik kızım Arya ÇINAR' a teşekkür ediyorum.

Maden Yüksek Mühendisi Ulaş ÇINAR

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ ix

TABLO LİSTESİ x

ÖZET xii

ABSTRACT xiv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti ... 4

1.2 Tezin Amacı ... 12

1.3 Orjinal Katkı ... 13

2 ÖNERİLEN YÖNTEMDE KULLANILAN TEKNİKLER 14

2.1 Bulanık Çıkarım Mekanizması ... 14

2.2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ... 15

2.3 DEMATEL Yöntemi ... 17

2.4 Kalite Fonksiyon Yayılımı ... 18

3 ÖNERİLEN YÖNTEM: GÜVENLİK EVİ 20

3.1 Aktivitelerin Ağırlıklandırılması ... 21

3.1.1 Tehdit ve aktivite oranının tanımlanması ... 22

3.1.2 Tehdit ve aktivite oranına ilişkin üyelik derecelerinin hesaplanması 23

3.1.3 Aktivite kaynaklı riskin ortaya çıkma derecesinin hesaplanması ... 23

3.2 Risklerin Ağırlıklandırılması ... 25

3.2.1 Riskin neden olacağı olumsuz sonuca ait şidetin derecelendirilmesi 26

3.3 İlişki Matrisleri ... 28

3.4 Ağırlıklandırılmış Risk Skorlarının Hesaplanması ... 30

3.5 Ağırlıklandırılmış Önlem Skorlarının Hesaplanması ... 31

4 UYGULAMA 33

4.1 Aktivitelerin Ağırlıklandırılması ... 34

4.2 Risklerin Ağırlıklandırılması 37
4.3 Risklerin Etki Skorlarının Belirlenmesi 45
4.4 Ağırlıklandırılmış Risk Skorlarının Hesaplanması 49
4.5 Ağırlıklandırılmış Önlem Skorlarının Hesaplanması 51
4.6 Önerilen Yöntemin Konvansiyonel Yöntemle Kıyaslanması 52

5 SONUÇ VE ÖNERİLER 62

KAYNAKÇA 65

TEZDEN ÜRETILMIŞ YAYINLAR 71

SİMGE LİSTESİ

$AÖS_i$	Ağırlıklandırılmış Önlem Skoru
ARS_i	Ağırlıklandırılmış Risk Skoru
ar	Aktivite Oranı
AS_i	Aktivite Skoru
$\tilde{t}_i$	Aktivitenin Proje İçerisindeki Toplam Süresi
$\widetilde{r_i}$	Aktivitenin Toplam Proje Süresi İçerisindeki Oranı
y	Çıktı Değeri
$\mu(y_i)$	Dilsel İfadenin Merkez Noktası
A_0^{TC}	Direkt İlişki Matrisi
ES_i	Etki Skoru
$\widetilde{r_i}$	Geometrik Ortalama Değeri
μ_{Pk}	Girdilerin Üyelik Derecesi
μ_{Z1k}	Girdilerin Üyelik Derecesi
μ_{Z2k}	Girdilerin Üyelik Derecesi
x_n	Giriş Veri Seti
$\tilde{C}_i$	İkili Karşılaştırma Matrisi
D^{TC}	Normalleştirilmiş Direkt İlişki Matrisi
p	Potansiyel Sonuç
RS_i	Risk Skoru
Z_{COZ}^*	Sistemden Elde Edilen Kesin Değer
$\widetilde{w_i}$	Şiddet Büyüklüğü
v	Tehdit
T^{TC}	Toplam İlişki Matrisi
R	Toplam İlişki Matrisi Satırlar Toplamı
C	Toplam İlişki Matrisi Sütunlar Toplamı
$\tilde{T}_p$	Toplam Proje Süresi
l	Uzman Sayısı
P_i	Üyelik Fonksiyonlarıyla Tanımlı Dilsel İfade
Z_i	Üyelik Fonksiyonlarıyla Tanımlı Dilsel İfade

KISALTMA LİSTESİ

A	Aktivite
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Network Process
BDO	Biraz Daha Olası
ÇDE	Çok Düşük Etki
ÇYE	Çok Yüksek Etki
DE	Düşük Etki
DEMATEL	The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
EO	Eşit Olası
EY	Etki Yok
FAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FTA	Hata Ağacı Analizi
HAZOP	Hazard and Operability Analysis
ICCT	ILO Chemical Control Toolkit
ILO	Dünya Çalışma Örgütü
KO	Kesinkikle Olası
MSHA	Mine Safety and Health Administration
ODO	Oldukça Daha Olası
OO	Oldukça Olası
Ö	Önlem
PS	Potansiyel Sonuç
R	Risk
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
YE	Yüksek Etki

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Bulanık çıkarım mekanizması 15
Şekil 2.2 AHP hiyerarşik yapı 16
Şekil 2.3 Kalite evi 18
Şekil 3.1 Yöntem akım şeması 20
Şekil 3.2 Dilsel ölçek için kullanılan üçgensel bulanık sayılar 25
Şekil 3.3 Faaliyet ağırlığı için kullanılan dilsel değerlendirme ölçeği (W) 25
Şekil 3.4 Güvenlik evi 30
Şekil 3.5 Güvenlik evi 2. aşama 31
Şekil 4.1 Güvenlik evi 1. aşama 50
Şekil 4.2 Güvenlik evi 2. aşama 52

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Yürütülen aktivitenin riskin oluşmasına neden olma olasılığına ilişkin kural tabanı 22
Tablo 3.2 Riskten doğan potansiyel zararlar 26
Tablo 3.3 İkili karşılaştırma için kullanılan dilsel ölçek 27
Tablo 3.4 Risklerin etkileşimi için dilsel ifadelere karşılık gelen skorlar 29
Tablo 4.1 Aktiviteler ve muhtemel riskler 33
Tablo 4.2 Aktivite tehdit düzeyi için ortak karar matrisi 34
Tablo 4.3 Süreç için bulanık değerler 35
Tablo 4.4 Aktivitelerin mutlak ağırlıkları 36
Tablo 4.5 Düşen malzeme sonucu hasar 37
Tablo 4.6 Yüksekten düşme sonucu hasar 37
Tablo 4.7 Alçak mesafeden düşme sonucu hasar 38
Tablo 4.8 Sivri cisim batması sonucu hasar 38
Tablo 4.9 Uzuv sıkışması sonucu hasar 38
Tablo 4.10 Sıçrayan malzeme sonucu hasar 39
Tablo 4.11 Çarpışma sonucu hasar 39
Tablo 4.12 Elektrik maruziyeti sonucu hasar 40
Tablo 4.13 Patlama sonucu hasar 40
Tablo 4.14 Yangın sonucu hasar 40
Tablo 4.15 Araç çarpması sonucu hasar 41
Tablo 4.16 Gürültü maruziyeti sonucu hasar 41
Tablo 4.17 Titreşim maruziyeti sonucu hasar 41
Tablo 4.18 Hava akımı sonucu hasar 42
Tablo 4.19 Toz maruziyeti sonucu hasar 42
Tablo 4.20 Kimyasal maruziyeti sonucu hasar 42
Tablo 4.21 Radyasyon maruziyeti sonucu hasar 43
Tablo 4.22 Bulaşıcı hastalık sonucu hasar 43
Tablo 4.23 Yıldırım düşmesi sonucu hasar 44
Tablo 4.24 Ergonomik problemler sonucu hasar 44
Tablo 4.25 Ağırlıklandırılmış risk skorları 45

Tablo 4.26 Direkt ilişki matrisi 46
Tablo 4.27 Normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi 47
Tablo 4.28 Toplam ilişki matrisi 48
Tablo 4.29 Etki ağırlık skorları 49
Tablo 4.30 Önlemler 51
Tablo 4.31 Kazı işleri için değerlendirmeler 53
Tablo 4.32 Delme işleri için değerlendirmeler 53
Tablo 4.33 Nakliye işleri için değerlendirmeler 54
Tablo 4.34 Patlatma işleri için değerlendirmeler 54
Tablo 4.35 Yükleme işleri için değerlendirmeler 55
Tablo 4.36 Tahkimat işleri için değerlendirmeler 55
Tablo 4.37 Su atımı işleri için değerlendirmeler 56
Tablo 4.38 Cevher zenginleştirme işleri için değerlendirmeler 56
Tablo 4.39 İnce işler için değerlendirmeler 57
Tablo 4.40 Mekanik işler için değerlendirmeler 57
Tablo 4.41 Elektrik işleri için değerlendirmeler 58
Tablo 4.42 Zemin işleri için değerlendirmeler 58
Tablo 4.43 Destek hizmetleri için değerlendirmeler 59
Tablo 4.44 L tipi Matris yöntemiyle değerlendirilen risklerin önem dereceleri 60

ÖZET

Mesleki Risklerin Büyüklüğünü Faaliyetler Arası Bağımlılıkları Dikkate Alarak Belirleyen Karma Bir Yöntem Önerisi: Madencilik Sektöründe Bir Uygulama

Ulaş ÇINAR

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Selçuk ÇEBİ

Risk yönetimi, doğru analiz ve değerlendirmelerin yapılması şartıyla güvenli bir çalışma ortamı elde etmenin kilit unsurudur. Bu nedenle literatürde, iş sağlığı ve güvenliği risklerini değerlendirmek için birçok risk değerlendirme yöntemi bulunmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirdiğimiz detaylı literatür araştırması mevcut yöntemlerin hala birtakım eksiklikler içerdiğini göstermiştir. Mevcut yöntemler, uzmanların her parametreye eşdeğer bir puan seçmesine izin verir. Bu nedenle, uzmanlar parametreler için en olası sonucun puanını tercih ederler. Ancak bu, diğer tüm potansiyel sonuçların ihmal edilmesi anlamına gelir. Mevcut yöntemlerle ilgili bir diğer sorun, risklerin birbirleriyle olan etkileşimlerini hesaba katmamalarıdır. Bununla birlikte bazı riskler, tanımlanmış diğer risklerin şiddeti üzerinde bir etkiye sahip olabilir. Tüm bu sorunlara ek olarak, risk analizleri genellikle faaliyetler arasında ayrı bir değerlendirme ile gerçekleştirilmektedir. Ancak bu, tüm sistemin değerlendirmesini sağlamaz. Bu tez çalışmasının temel amacı, belirtilen sorunları giderebilmek için yeni bir yöntem geliştirmektir. Bunun için önerilen model, Bulanık Çıkarım Sistemi (FIS), Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (FAHP) ve DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) yöntemlerini Kalite Fonksiyonu Yayılımına (QFD) entegre ederek

geliştirilmiştir. Bu doğrultuda, faaliyetle ilgili olasılıkları belirlemek için Bulanık Çıkarım Sistemi, risklerin olası tüm hasar potansiyellerini belirlemek için Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ve riskler arasındaki etkileşimleri netleştirmek için DEMATEL yöntemleri kullanılır. Son olarak, bu yöntemlerle elde edilen tüm çıktılar, Kalite Fonksiyonu Yayılımı yöntemine entegre edilerek toplam risk skorları elde edilir. Tüm bunlara ek olarak, önlemler ve riskleri ilişkilendirmek için ikinci bir kalite evi oluşturulur. Bu aşama, aynı zamanda sisteme hakim olan risk veya risk gruplarına karşı optimum önleme planlamasının yapılmasına fırsat sunar. Bu tez çalışması kapsamında, madencilik sektörünün en çok iş kazası görülen üç sektörden biri olması ve maden iş kolları bir çok farklı disiplini bir arada uygulayan faaliyetleri içermesi nedenleriyle önerilen yaklaşım bir açık ocak madenine uygulanmıştır. Bu çalışmada, kısmi risk değerlendirme perspektifi içeren geleneksel yöntemlerden farklı olarak, riskleri kendi başlarına ve birbirleri arasındaki etkileşimleri dikkate alarak değerlendiren bütünleşik bir yöntem ilk defa literatüre önerilmiş ve bu nedenle yönteme “Güvenlik Evi” adı verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenlik evi, iş sağlığı ve güvenliği, madencilik sektörü, risk değerlendirmesi, kalite fonksiyon yayılımı, bulanık çıkarım mekanizması

ABSTRACT

A Hybrid Method Proposal Determining the Degree of Occupational Risks Occurring by Taking Inter-Activity Dependencies into Consideration: An Application in Mining Sector

Ulaş ÇINAR

Department of Industrial Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Selçuk ÇEBİ

Risk management is a key element in achieving a safe working environment, provided the right analysis and assessments are made. For this reason, there are many risk assessment methods in the literature to assess occupational health and safety risks. The detailed literature research we conducted within the scope of the study showed that the existing methods still includes some vital deficiencies. The existing methods allow the experts to choose a score equivalent to each parameter. Hence, experts prefer the score of the most likely outcome for the parameters. However, this means neglecting all other potential consequences. Another problem with existing methods is that they do not take into account the interactions of risks with each other. However, some risks can have an impact on the severity of other identified risks. In addition to all these problems, risk analyses are usually carried out with a separate assessment between activities. However, this does not provide an evaluation of the whole system. Therefore, the main purpose of this study is to develop a new method to cope with the obstacles given above. The proposed model for this was developed by integrating Fuzzy Inference System (FIS), Fuzzy Analytical

Hierarchy Process (FAHP) and The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) methods into Quality Function Deployment (QFD). Accordingly, the Fuzzy Inference System is used to identify the probabilities associated with the activity, the Fuzzy Analytical Hierarchy Process is used to identify all possible damage potentials of the risks, and DEMATEL to clarify the interactions between the risks. Finally, all data obtained by these methods are integrated into Quality Function Deployment to calculate the overall risk scores by considering the relations. In addition, a second house is created to relate preventions and risks. This stage also provides an opportunity to make optimum prevention planning against the risk or risk groups that dominate the system. Within the scope of this thesis, the proposed approach was applied to an open pit mine because the mining industry is one of the three sectors with the highest number of occupational accidents and the mining business lines include activities that apply many different disciplines together. In this study, an integrated method that evaluates risks on their own and taking into account the interactions between each other, unlike traditional methods that include a partial risk assessment perspective, has been proposed in the literature for the first time. The proposed method has been named "The House of Safety".

Keywords: The house of safety and prevention, occupational health and safety, mining sector, risk assessment, quality function deployment, fuzzy inference system

1
GİRİŞ

İş güvenliği, kavramsal olarak güvenli bir çalışma ortamını ifade eder ve tüm işletmeler için zorunludur. Risk yönetimi, güvenli bir çalışma ortamı elde etmek için anahtar faktördür ve ancak doğru analiz ve değerlendirmelerle etkili olabilir [1].

Risk değerlendirmesi sistematik bir incelemedir. Olası tehlikelerden kaynaklanabilecek riskler eksiksiz olarak belirlenir ve analiz edilir [2]. Olasılık ve şiddet parametrelerine göre iş güvenliği risklerini değerlendirmek için en çok tercih edilen yöntemler "L Tipi Matris", "Fine – Kinney" ve "Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA)" yöntemleridir [3]. Tüm bu yöntemlerin ortak özelliği, olasılık ve şiddet parametrelerinin yanı sıra uzmanların puanlaması ile nihai sonuca ulaşılmasıdır.

Puanlamaya dayalı yöntemler, dilsel ifadeleri sayısal sonuçlara dönüştürdükleri için önemli ölçüde uygulama kolaylığı sunar. Böylelikle her alana kolaylıkla adapte edilebilen bu yöntemler sektörde oldukça fazla tercih edilmektedir. Ancak tüm bu avantajların aksine puanlamaya dayalı bu yöntemlerde en önemli sorun, etkin ölçülebilirliktir [4].

Proaktif bir yaklaşım için risk analizi ve değerlendirmesi oldukça fazla önem arz etmektedir [5]. Literatürde en fazla uygulanan risk analiz yöntemleri incelendiğinde; analizlerin sistemin bütününe yönelik değil daha çok birden fazla analizin sistemin ilgili unsurlarına göre bölüm bölüm uygulandığı görülmektedir. Örneğin, makineler için FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi), kimyasallar için ICCT (ILO Chemical Control Toolkit) ve sistemin diğer elemanları için Fine-Kinney ve L Tipi (5x5) Matris yöntemleri genellikle kullanılan yöntemlerdir. Bunların dışında birçok farklı analitik yöntem risk analizi için uygulanmış olup yalnızca aktivite tabanlı [6] veya yalnızca risk tabanlı analizler için de yöntemler önerilmiştir [7].

Kolay uygulanması sebebiyle en sık kullanılan yöntemlerin başında gelen Matris diyagramları, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kullanılan bir değerlendirme aracıdır. En basit matris yöntemlerinden biri, yalnızca

olasılık ve şiddet parametrelerini barındıran L tipi (5x5) matristir. 1 ile 5 arasında sayısal değer verilerek çarpılan olasılık ve şiddet parametreleri doğrultusunda elde edilen sonuç skorları ile nihai değerlendirmeler gerçekleştirilir [8]. Bir diğer matris yöntemi olan X tipi matris daha kapsamlıdır (olasılıklar, istatistiksel veriler, önleme maliyetleri… vb.) ve en az 5 yıl kaza araştırması deneyimi olan uzmanlar tarafından yapılabilir [9].

En yaygın kullanılan risk değerlendirme yöntemlerinden biri olan ve her alanda kolaylıkla uygulanabilen Fine-Kinney Yöntemi; endüstrinin tüm alanlarına kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu yöntem, olasılık, şiddet ve frekans ölçeklerini içerir. Temel parametrelerden farklı olarak ilave edilen frekans parametresi, değerlendirme yapılan risk faktörü için maruz kalma sıklığını ifade eder. Her ölçek için belirlenen değer aralıkları vardır ve benzer şekilde üç parametere için atanan sayısal değerlerin çarpımı sonucu bir skor elde edilir ve değerlendirme skor aralıklarına göre yapılır. Skor aralıkları daha geniş puanlama olanağı tanıdığından daha kapsamlı bir değerlendirme imkanı sunar [10].

FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi), endüstriyel risk analizinde en yaygın kullanılan yöntemlerden bir diğeridir. Yöntemin temelinde; herhangi bir sistemin toplamı veya bir kısmı ele alınır; bu bileşenlerde oluşabilecek parçalar, aletler ve bileşenler incelenerek etkilenebilecek sonuçlar analiz edilir. Makinelerinin risk analizi için sıklıkla uygulanan FMEA metodu olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik katsayılarını kullanır. Temel parametrelere ilave edilen fark edilebilirlik parametresi duyu organları ile fark edilmesi zor olan potansiyelleri ifade etmek için önemlidir. Bu parametre daha çok makine risk değerlendirmesi için efektif kullanılır. Her parametre için 1 ile 10 aralığında atanan sayısal değerlerin çarpımı sonucu bir skor elde edilir ve değerlendirme skor aralıklarına göre yapılır [11].

HAZOP ve ICCT, kimyasallar için yaygın olarak kullanılan sektöre özel risk değerlendirme metodolojileridir. Bu yöntemlerin her ikisi de nitel yöntemlerdir. Daha çok kapalı kaplarda depolanan kimyasallar için uygulanan HAZOP kimyasal işlemlerde parametreleri inceler ve kapsamlı bir analiz gerçekleştirir [3]. Daha yaygın olarak uygulanan ICCT ise kimyasal risk faktörlerine odaklanır ve risk seviyelerine göre önceliklendirir [12].

Çok Kriterli Karar Verme (AHP, ANP, TOPSIS v.b.), bulanık mantık ve kombinasyonları, iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesinde de oldukça fazla kullanılmıştır. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, en iyi alternatifi seçerken hem nesnel hem de öznel faktörlerin değerlendirilmesine izin verir [13]. Bulanık mantık, yapay zekanın ve insan beynindeki simülasyon çalışmalarının ürünüdür. Bulanık küme teorisine dayanan matematiksel bir sistemdir [14]. Bulanık mantık kullanılan kontrol sistemi, mantıksal ifadelere ve belirtilen ifadeler arasındaki bağlantılara dayanmaktadır. Bulanık mantık, sistemin herhangi bir matematiksel modeline ihtiyaç duymaz ve mantıksal ifadeler kullanılarak kontrol edilebilir [5].

Madencilik, oldukça zor koşullarda gerçekleştirilen ve farklı iş kollarının bir bütün halinde uygulandığı multidisipliner bir sektördür [15]. ILO (Uluslararası Çalışma Örgütü) istatistiklerine göre maden iş kollarında çalışanlar, farklı iş kollarında çalışanlara göre en az 3 kat daha fazla kaza maruziyet riski taşımaktadır [16]. Ülkemizde her yıl yaşanan tüm iş kazalarının yaklaşık %10'u, ölümlü veya ağır hasarlı iş kazalarının yaklaşık %30'u madencilik sektöründe gerçekleşmektedir [17, 18]. Ülkemizde madencilik sektöründeki en fazla iş kazası ve meslek hastalığı kaydı taş ocağı ve kömür işletmelerinde gerçekleşmiştir. Bu iki madencilik kolunda sektördeki toplam iş kazası ve meslek hastalığı vakalarının %89' u görülmüştür [19]. En sık rastlanılan iş kazaları, yüksek veya alçak mesafeden düşme, göçük veya tasman, malzeme düşmesi veya sıçrayan malzeme sonucu hasar, patlama, yangın ve toksik gaz veya kimyasal maruziyeti olarak gözlemlenmektedir. Meslek hastalıkları ele alındığında, özellikle slikozis, antrakozis gibi pnömokonyozların sıklıkla gözlemlendiği solunum yolu problemleri, toz maruziyetinin oldukça fazla olduğu madencilik sektöründe başı çekmektedir [20]. Bu doğrultuda, bir risk değerlendirme yönteminin etkin uygulanabilirliğinin tüm yönleri ile test edilebileceği sektörlerin başında madencilik sektörü gelmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Literatürde iş sağlığı güvenliği açısından kullanılan risk analizi yöntemlerinin çeşitliliği dikkat çekmektedir. Yakın zamanda yayımlanan çalışmalar incelendiğinde de risk analiz yöntemlerini geliştirmeyi hedefleyen çeşitli çalışmaların olduğu görülmektedir. Özellikle risk analiz yöntemlerinin belirsizlik altında kullanımını iyileştirmek için bulanık küme teorisi ve bulanık küme uzantılarının yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu bölümde, hem risk analiz yöntemlerine yönelik geliştirmeleri içeren çalışmalar hem de madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi üzerine gerçekleştirilmiş olan çalışmalar irdelenmiştir. Risk değerlendirmesi yöntemleri üzerine yapılmış bazı geliştirme çalışmaları şu şekildedir;

Jahangoshai Rezaee 2020 yılında sağlık, güvenlik ve çevresel risk faktörlerini değerlendirmek amacıyla bir risk analizi modeli önerdi. Önerilen modelde, FMEA ve Bulanık Veri Zarflama yöntemleri ile birlikte Bulanık Çıkarım Sistemi kullanıldı. Bu modeldeki bulanık çıkarım mekanizmasının görevi, dilsel ifadelerdeki belirsizliği ortadan kaldırmak ve karmaşık verileri anlamlı çıktılara dönüştürmekti. VZA yöntemi, klasik FMEA parametrelerine entegre edilerek kullanıldı [21].

Jamshidi v.d., 2013 yılında boru hattı risk değerlendirmesi için bir çalışma gerçekleştirdiler. Çalışmada Mamdani Bulanık Çıkarım Sistemi kullanıldı. Klasik yöntemlerle yapılan değerlendirmelerle karşılaştırıldığında önerilen yöntemin daha doğru ve kesin sonuçlar verdiği görüldü [22].

Kim v.d., 2016 yılında kaza analizi üzerine yapılan bir çalışma gerçekleştirdiler. Öncelikle bir şantiyeyi izlemek ve her bir varlık (işçiler ve ekipman) için mekansal bilgi çıkarmak için bilgisayar görüşü kullanıldı ve daha sonra mekansal bilgiler kullanarak her bir varlığın uygun güvenlik seviyelerini değerlendirmek için bulanık çıkarım sistemi kullanıldı [23].

Ilbahar v.d., 2018 yılında iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi amacıyla bir model önerdiler. "Bulanık Çıkarım Sistemi", "Bulanık AHP" ve "Fine Kinney" yöntemlerini önerilen modelde hibrit olarak kullandılar. İnşaat sektörü için bir uygulama gerçekleştirildi. Dilsel ifadeleri analitik verilere dönüştürmek için Bulanık Çıkarım Sistemi kullanıldı. Klasik Fine Kinney parametreleri Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi kullanılarak ikili karşılaştırmalarla değerlendirildi [24].

Debnath, 2016 yılında inşaat sektörü için iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme modeli önerdi. "Takagi-Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi" modelde kullanıldı. Model oluşturma sürecinde, kaza sonucu yaralanmalar için risk faktörleri ve kontrol faktörleri girdi parametreleri olarak kabul edildi[25].

Sistem güvenliği ve güvenilirliğinin değerlendirilmesinde "Bulanık Çıkarım Sistemi" farklı uygulamalarda da kullanılmıştır. Literatürde köprülerin bakım süreleri, dönen parçaların aşınması, çevresel risk faktörleri, nükleer platformların üretim riskleri ve inşaat işleri ile ilgili çalışmalar görülmektedir [26-31].

Guneri v.d., 2015 yılında bir çalışma yayınladı. En uygun iş güvenliği risk değerlendirme yöntemini belirlemek için bulanık analitik hiyerarşi prosesi kullanıldı. Yöntemlerin; maliyet, kapsam, pratiklik ve duyarlılık parametreleri değerlendirilerek en uygun yöntem belirlendi [32].

Ozdemir v.d., 2017 yılında laboratuvarların iş sağlığı ve güvenliği risklerini değerlendirmek için bir model önerdi. Bulanık analitik hiyerarşi süreci; FMEA ve VIKOR yöntemleri ile hibrit olarak kullanıldı. AHP, önerilen yöntemde kullanılan FMEA yönteminin olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik parametrelerinin ağırlıklandırılmasında rol aldı[33].

Basahel ve Taylan, 2016 yılında inşaat sektöründe iş güvenliği risklerinin analizi için bir çalışma gerçekleştirdiler. Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve bulanık TOPSIS yöntemleri uygulamada kullanıldı. Bulanık analitik hiyerarşi süreci yöntemi, birden fazla eşzamanlı kriterin değerlendirilmesine yardımcı olmak için işyeri güvenliğini etkileyen nitel faktör ağırlıklarını belirlemek ve ölçmek için kullanıldı [34].

Gul v.d., 2017 yılında sağlık sektörü için bir risk değerlendirme modeli önerdiler. İki aşamalı, bulanık çok kriterli karar verme teknikleri kullanıldı. Beş farklı risk kriterinin ağırlıklandırılması için ilk aşamada bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanıldı. İkinci aşamada tüm departmanlara bulanık VIKOR yöntemi uygulandı ve risk türleri önceliklendirildi [35].

Seker ve Zavadskas, 2017 yılında inşaat sektörü için bir risk değerlendirme modeli önerdiler. Risk değerlendirmesini basitleştirmeyi ve inşaat yöneticilerine şantiyelerde meydana gelen kazalar için önleyici tedbirler önermesine yardımcı olmayı amaçladılar. Bu doğrultuda uygulanan bulanık DEMATEL yönteminin neden-sonuç diyagramı ile mesleki tehlikelerin nedensel faktörlerini değerlendirebileceği ve şantiyelerde belirli güvenlik önlemlerini iyileştirebileceği gösterildi[36].

Karuppiah v.d., 2020 yılında iş kazalarını tetikleyen hatalı davranışlardan kaynaklanan risklerin analiz edilmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirdiler, Fuzzy ANP ve DEMATEL yöntemleri birlikte kullanıldı. Hatalı davranışlardan kaynaklanan risk faktörleri 5 kategoride değerlendirildi ve iş kazalarını ve yaralanmaları hafifletmek için bazı çıkarımlarda bulunuldu[37].

Literatürde, iş güvenliği risklerinin analizi için bulanık mantığın daha ziyade farklı yöntemlerle birlikte kullanıldığı görülmektedir [38]. Bulanık mantık entegrasyonu haricinde bir çalışmada, kalite fonksiyonu yayılımı yönteminin sadece riskler ve önlemeler arasındaki ilişkileri tanımlama amacıyla kullanıldığı görülmektedir [39].

Risk analizi üzerine yapılan geliştirme çalışmalarının hiçbirinde faaliyetler arası etkileşimi dikkate alarak risk analizi gerçekleştiren bir yöntem tespit edilmemiştir.

Madencilik sektöründe iş sağlığı güvenliği açısından gerçekleştirilen risk analiz çalışmaları ise şu şekilde örneklendirilebilir; Özfırat v.d., 2016 yılında madencilik üretim yöntemlerinden uzunayak üretimindeki iş sağlığı ve güvenliği risklerini ele alan bir çalışma yayınladılar. Yeraltı kömür madeninde bir uygulama gerçekleştirdiler ve analiz için Fine – Kinney yönteminden yararlandılar. Geleneksel yöntem adımları uzman değerlendirmeleri ile gerçekleştirildi. Grizu patlaması, tahkimat problemleri ve bunun sonucunda yaşanabilecek göçük ihtimali en önemli riskler olarak belirlendi [40].

Çavuşoğlu v.d., 2020 yılında madencilik sektöründe kullanılan kişisel koruyucu ve donanımlar için risk değerlendirmesini içeren bir çalışma yayınladılar. L Tipi Matris yöntemi kullanarak sektörde kullanılan 8 farklı kişisel koruyucu donanımın kullanılmaması durumundaki iş sağlığı ve güvenliği risklerini değerlendirdiler. Değerlendirme, klasik yöntemdeki olasılık ve şiddet parametrelerinin 5 kategorili skorlanması ile gerçekleştirildi. Değerlendirme sonucunda, CO maskesi, baret ve toz maskesi kullanılmamasını yüksek risk, tepe lambası, iş gözlüğü, iş ayakkabısı ve tulum kullanılmaması durumunu orta risk, kulak tıkacı kullanılmamasını ise düşük risk olarak grupladılar [41].

Eratak' ın 2014 yılında yayınladığı doktora tez çalışmasında, TKİ ve TTK madenlerinden iş günü kayıpları, yaralıların yaşı, kazadan etkilenen organ, mevsim, vardiya ve kaza nedeni gibi kaza verileri toplanmıştır. Bu değişkenler, en tehlikeli koşullar hakkında genel bilgilere sahip olmak için istatistiksel olarak analiz edildi. Daha sonra şiddet, olasılık ve maruziyet parametreleri ile bir risk analizi çalışması yapılarak en riskli bölgeler belirlenmiştir. Olasılık analizi, her bir madende beklenen kaza sıklıklarını ve kazalar arasındaki zaman periyodundaki güvenilirliği anlamak için yapılmıştır. Çalışmada ayrıca regresyon, sinir ağı ve bulanık mantık teknikleri olmak üzere üç farklı yöntem kullanılarak şiddet bileşeni için bir model geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu teknikler her maden verisine uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılarak en uygun tekniğin seçilmesi için karar analizi yapılmıştır. Son olarak, bu madenlerin kaza, ölüm, yaralı sayısı, toplam çalışma saati, toplam işçi sayısı ve toplam ham kömür üretimi gibi verilere dayalı olarak regresyon ve sinir ağı teknikleri ile gelecek kaza tahmin modelleri geliştirilmiştir [42].

Çolak v.d., 2018 yılında bir maden işletmesinde belirledikleri 13 spesifik uygunsuzluk için klasik Fine – Kinney yöntemini uyguladılar. Olasılık, şiddet ve frekans parametreleri ile değerlendirilerek önceliklendirilen risklerin tolere edilemez veya zor bertaraf edilebilir olduğu riskler genellikle döner aksam ve yüksek veya derin bölgelerde koruyucu panellerin bulunmamasından kaynaklanan düşme ve uzuv sıkışması gibi hasar potansiyeli yüksek sonuçlar doğurabilen riskler olduğu belirlendi. Daha sonra risk kontrol prensipleri önerilerek yeni değerlendirmede kabul edilebilir risk düzeylerine ulaşıldı [43].

Direk, 2015 yılında yayınladığı yüksek lisans tez çalışmasında bir taş kömürü madeninde taş ve kavlak düşmesi sonucu hasar risklerini Hata Ağacı Analizi (FTA) yöntemiyle analiz etti. Öncelikle daha önce gerçekleşen olaylar ile neden sonuç ilişkileri kuruldu. Daha sonra ara ve ana olaylar tespit edilerek analiz edildi ve yaralanmaların nedenleri belirlenen risklere göre tespit edildi. Araştırmanın sonucunda taş ve kavlak süşmesi sonucu hasarın en önemli nedenleri yönetimsel hatalar ile uygunsuz kişisel koruyucu ve iş ekipmanlarının kullanımı olarak belirlendi [44].

Yavuz'un 2018 yılında yayınladığı yüksek lisans tez çalışmasında, bor işleme tesislerindeki riskler iki farklı yöntem ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. İlk yöntem olarak L Tipi Matris yöntemindeki olasılık ve şiddet parametreleri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çok değişkenli matris yöntemi kullanılarak aynı bölgelere ikinci bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde L Tipi Matris yönteminde olduğu şekliyle 5' er kademeli skorlama imkanı sunan olasılık ve şiddet parametrelerinin yanı sıra risk altındaki personel sayısı, geçmiş dönemdeki iş kazası ve meslek hastalıklarının sayısı ve yasal zorunluluklar parametreleri 3' er kademeli skorlar ile ilave edildi. Karşılaştırmalı değerlendirmeler sonucunda önemli farklılıklar gözlemlendi [45].

Sırakaya, 2019 yılında mermer işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi üzerine bir yüksek lisans tez çalışması yayınladı. Analizler için klasik FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi" kullandı. Elde edilen sonuçlar L Tipi Matris yöntemi ile elde edilen sonuçlarla kıyaslandı ve önemli farklılıklar elde edildi. Bunun nedeni, FMEA yönteminde skorlama aralıklarının daha geniş olması ile olasılık ve şiddet parametrelerinin yanında fark edilebilirlik katsayısının olması etkili oldu. Yapılan önlem planlamasında ise işçilere işe girişlerde verilmesi gereken eğitimlerin niteliklerinin arttırılmasının birçok risk üzerinde önleyici etkisi olduğu saptandı [46].

Orsulak v.d., 2010 yılında bir çalışma yayınladılar. MSHA (Mine Safety and Health Administration) veri tabanını kullanarak Pensilvanya' da bulunan 35 kömür madeni için 2007 yılındaki gerçekleşmiş güvenlik ihlallerinin frekansı ve bunların potansiyel maliyetlerini ele alarak bir kural tabanı oluşturdular. Bu doğrultuda,

frekans için, yılda 100' den fazla ise "Çok Yüksek", 100 ve 100' den az ancak 50' den fazla ise "Yüksek", 50 ve 50' den az ancak 20' den fazla ise "Ortalama", 20 ve 20' den az ancak 10' dan fazla ise "Düşük", 10 ve 10' dan az ise "Çok Düşük" dilsel ifadelerini kullandılar. Sonuçların maliyetleri için, yılda 50000$' dan fazla ise "Çok Yüksek Maliyet", 50000$ ve daha az ancak 20000$' dan fazla ise "Yüksek Maliyet", 20000$ ve daha az ancak 10000$' dan fazla ise "Ortalama Maliyet", 10000$ ve daha az ancak 5000$' dan fazla ise "Düşük Maliyet", 5000$ ve daha az ise "Çok Düşük Maliyet" olarak nitelendirdiler. Oluşturulan matris ile dilsel ifadeleri kesiştirerek nihai bir çıkarım elde ettiler. Daha sonra 2008 yılında 38 farklı maden için belirledikleri potansiyel güvenlik açıklarını bu skalaya göre önceliklendirerek risk kontrol prensipleri önerdiler [47].

Wang v.d., 2016 yılında yayınladıkları bir çalışmada, işçilerin güvenliğini ve sağlığını garanti altına almak ve üretkenlik düşüş olasılığını azaltmak amacıyla, risk faktörlerinin önceliğini bulmak için doğrusal olmayan bir metodoloji kullandılar. Mevcut simülasyon deneylerine ve ilgili literatüre dayanarak, yönetimsel, çevresel, operasyonel ve bireysel kriterleri içeren risk faktörlerinin bir kavram haritasını çizme hedefiyle bulanık analitik hiyerarşi sürecini (FAHP) kullanarak, bir yönetim modeli geliştirmek ve iş güvenliği profesyonellerine madencilik sürecinde rehberlik etmek için tüm bu faktörleri sıraladılar. Daha sonra verileri analiz etmek için LFPP (Logarithmic Fuzzy Preference Programming) yöntemini uyguladılar. Bu yöntem, kömür madenciliği için iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesinde ilk defa uygulandı. Sonuçlar geleneksel yöntemler ile elde edilenlerle IBM SPSS programı kullanılarak karşılaştırıldı ve sonuçların kömür madeninin güvenlik değerlendirmesinde anlamlı olduğu onaylandı. Ayrıca mevcut yöntem geleneksel AHP ve FAHP ile karşılaştırıldığında, değerlendirme sürecinde daha uygun, kesin ve eksiksiz sonuçlar verdiği tespit edildi [48].

Samantra v.d., 2017 yılında bir yeraltı kömür madeniyle ilgili olarak fiziksel, kimyasal, biyolojik, ergonomik ve psikososyal riskler dahil olmak üzere çeşitli mesleki sağlık riskleri ve ilişkili olumsuz sonuçlar hakkında benzersiz bir hiyerarşik yapı sundular. Çalışma, üç önemli ölçüm parametresini kullanarak riskin kapsamını tahmin etmek için maruz kalmanın sonucu, maruz kalma süresi ve maruz kalma

olasılığına bağlı sistematik bir risk değerlendirme metodolojisi önermektedir. Bulanık küme teorisini kullanan gelişmiş bir karar verme yöntemi, burada, dilsel verileri sayısal risk derecelendirmelerine dönüştürmek için kullanılmıştır. Genelleştirilmiş üçgensel bulanık sayılar ile alan merkezi yöntemi riskin derecesini hesaplamak için uygulanmıştır. Son olarak, değerlendirilmiş risk skorlarının farklı aralıkları temelinde riskleri farklı risk seviyelerine göre sınıflandırmak için mantıklı bir çerçeve oluşturulmuştur. Ardından, yeraltı kömür madenciliği uygulamaları bağlamında riskleri başarılı bir şekilde yönetmek için yöneticilere kılavuzluk edebilecek bir eylem planı önerilmiştir [49].

Badri v.d., 2013 yılında "Tehlike Konsantrasyonu" adını verdikleri pratik bir yaklaşım önerdiler. Çalışma Kanada Quebec'teki altın madenleri özelinde gerçekleştirilmiştir ve madencilik projelerinin doğasında bulunan tüm riskleri pratik olarak yönetmek için uygun bir yöntem önermeyi amaçlayan daha büyük bir araştırma projesinin parçasıdır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemin temelini oluşturur. Bir yeraltı altın madenindeki yaklaşık 250 potansiyel tehlikeyi kataloglayan uyarlanabilir bir veri tabanı oluşturulmuş ve ikili karşılaştırmalar ile önem derecelerine göre sıralanmıştır. Kısıtlamalara rağmen, bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Quebec madencilik sektörü genelinde potansiyel olarak uygulanabilir kabul edilmiştir [50].

Mızrak Özfırat 2014 yılında FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi) ile FAHP (Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir risk değerlendirme modeli önerdi. Önerilen bu modelde klasik FMEA yöntemindeki olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik parametreleri açısından riskleri bulanık sayılar kullanılarak ikili karşılaştırmalar ile değerlendirmeler yapılır. Bu model bir yeraltı kömür madeninde uygulandı. Belirlenen 10 adet risk FMEA parametreleri açısından 8 uzman tarafından değerlendirildi. Elde edilen sonuçlar klasik FMEA ile yapılan değerlendirme sonuçlarıyla kıyaslandığında daha tutarlı sonuçlar verdi. Yazar, bu durumun yeni yöntemin sübjektifliği azaltmasından kaynaklandığı sonucuna vararak, klasik yöntemde en çok eleştirilen sorunun bu yöntemle giderilebileceğini savundu [51].

Mahdevari v.d. 2014 yılında kontrol önlemlerini yönetmek ve karar vermeyi desteklemek amacıyla insan sağlığı ile ilişkili riskleri değerlendirmek için bulanık TOPSIS'e dayalı bir metodoloji önerdi. Bu amaçla, İran'ın Kerman kömür yatağında bulunan Hashouni, Hojedk ve Babnizu adlı üç tehlikeli kömür madeninden toplanan bilgiler, madencilerinin sağlık ve güvenliğini etkileyen riskleri yönetmek için kullanıldı. Toplam 86 risk faktörü belirlendi ve jeomekanik, jeokimyasal, elektrik, mekanik, kimyasal, çevresel, kişisel ve yönetimsel riskler olmak üzere sekiz kategori altında sınıflandırıldı. Nitel verilerin belirsizliğini ortadan kaldıran sıralama işlemi, bulanık TOPSIS ile gerçekleştirildi. Model çalıştırıldıktan sonra farklı risklere sahip on iki grup elde edildi. Birinci grupta yer alan, olumsuz etkileri en yüksek olan en önemli riskler: malzeme düşmesi, katastrofik arıza, kömür yüzeyinin ve çatının kararsızlığı, gaz patlaması, gaz emisyonu, havalandırma sisteminin durması, eğimlerde vagon ayrılması, boğulma, yetersiz eğitim ve zayıf yönetim sistemi şeklinde sıralandı. Önerilen modelin, öncelikle potansiyel tehlikeleri belirlemek ve kazalar meydana gelmeden önce riskleri en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için uygun önlemlerin alınmasına yardımcı olabileceği öngörüldü [5].

Lang ve Fu-bao 2010 yılında Çin'deki kömür madenlerinde sıklıkla yaşanan bir problem olan kendiliğinden yanma olayına karşılık bir risk değerlendirme modeli önerdiler. Kömür yangınlarıyla ilgili mevcut araştırma bulgularına dayanarak, kömür damarlarının kendiliğinden yanmasına neden olan etkili faktörleri yeniden gözden geçirerek kendiliğinden yanma tehlikesini değerlendirmek için kapsamlı bir sistem oluşturdular. Bütünsel puanlama yöntemini ve Analitik Hiyerarşi Sürecini uygulayarak tüm faktörleri nicel bir modele entegre ettiler ve derecelendirmeleri beş düzeyde sınıflandırdılar. Ek olarak, değerlendirmeye yardımcı olmak için Visual Basic 6.0 tabanlı bir uygulama programı geliştirerek değişen yangın risklerine sahip üç yerli kömür ocağında uygulama gerçekleştirdiler. Pratik uygulama ile karşılaştırılan veriler doğrultusunda yapılan risk değerlendirmelerinin objektif ve geçerli olduğu kanıtlandı [52].

Gul v.d. 2019 yılında iş güvenliği risklerini sınıflandırarak bir değerlendirme sunmak amacıyla Pisagor bulanık sayılar tabanlı VIKOR yaklaşımını önerdiler. Bu yaklaşım literatürde ilk defa iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi için

kullanıldı. Çalışmanın amacı, değerlendirmelerdeki öznellikten kaynaklanan belirsizliği gidermek ve madenlerde iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesinde bir rehber oluşturmaktı. 8 uzmanın değerlendirmeleri ile bir yeraltı bakır çinko madeninde uygulama gerçekleştirildi. Bu doğrultuda her bir aktivite için riskler derecelerine göre sınıflandı [53].

Madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği üzerine yürütülen çalışmalar incelendiğinde de daha temel düzeyde çalışmaların gerçekleştirildiği görülmektedir. Diğer bir ifadeyle; literatürdeki çalışmaların incelenmesi sonucunda, madencilik sektöründe aktivite parametrelerini, risklerin tüm olası sonuçlarını ve risklerin birbirleri üzerindeki etkilerini aynı anda ilişkilendirerek sistemin toplam riskini hesaplayan bir risk değerlendirme modelinin bulunmadığı gözlemlenmiştir. Sistemin bütününü kapsayan ve tüm etkileşimleri içeren bir değerlendirme yapmak adına mevcut yöntemlerin eksikliği maden endüstrisinde iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi için farklı yöntem arayışlarına yönlendirmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Mevcut yöntemler, uzmanların her parametre için bir puan eşdeğeri seçmesine izin verir. Bu nedenle uzmanlar, parametreler için en olası sonucun puanını tercih eder. Ancak bu, diğer tüm olası sonuçları ihmal etmek anlamına gelir. Bu şekilde yapılan değerlendirmeler, işletmelerin gerçek risk düzeyine değil, en olası risk düzeyini ifade eder. Bu nedenle etkili bir değerlendirme sağlamaz.

Mevcut yöntemlerle ilgili bir diğer sorun, risklerin etkileşimlerini hesaba katmamalarıdır. Bununla birlikte, bazı risklerin diğer tanımlanmış risklerin ciddiyeti üzerinde etkisi olabilir. Örneğin ortamda sel yaşanıyorsa elektrik akımına maruz kalma riski toplu bir hasar potansiyeline dönüşebilir. Risk analizleri genellikle faaliyetler arasında ayrı bir değerlendirme ile yapılır. Ancak bu, tüm sistemin bir değerlendirmesini sağlamaz. Sistemin toplam risk durumunun değerlendirilmesi, ancak tüm faaliyetler ve riskler arasında ilişki kurulmasıyla mümkün olabilir.

Bu tez çalışması;

- Endüstrinin büyük bir çoğunluğunda kolay uygulanabilirlikleri nedeniyle sıklıkla uygulanan skorlama tabanlı yöntemlerin en önemli sorunu olan ifade darlığı ile en olası sonuca yönelimden kaynaklanan diğer sonuçların ihmal edilmesi,
- Aktivitelerin ve muhtemel risklerin iç ilişkileri ile birbirleri üzerindeki etkilerinin hesaba katılmaması,
- Parça parça yapılan değerlendirmelerin sistemin bütününe hakim olan riski ifade edememesi,
- Önlem planlamasının efektif uygulanamaması,

gibi problemleri ortadan kaldırabilecek veya en aza indirgeyebilecek yeni bir risk değerlendirme yöntemini literatüre kazandırmaktır.

1.3 Orjinal Katkı

Bu tez çalışması, madencilik sektörü gibi karmaşık iş kollarının birlikte yürütüldüğü çalışma ortamında tek bir yöntemle iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesini etkin olarak gerçekleştirme imkanı sunan; riskin gerçekleşme olasılığına etki eden aktivite parametrelerini, risklerin tüm olası sonuçlarını ve risklerin birbirleri üzerindeki tetikleyici etkilerini aynı anda ilişkilendirerek sistemin toplam riskine ışık tutan ve ayrıca önlemlerin değerlendirilmiş risklerle olan ilişkisini gözlemlenebilir biçimde ortaya koyarak kontrol prensiplerinin maksimum verimlilikle uygulanmasını sağlayan benzersiz bir yöntemi literatüre kazandırır.

2
ÖNERİLEN YÖNTEMDE KULLANILAN TEKNİKLER

Önerilen yöntemde, "Kalite Fonksiyon Yayılımı" yönteminin "Kalite Evi" ilişkilendirmelerinden esinlenilmiştir. Bu doğrultuda parametrelerin ağırlıklandırılması ve ilişkilendirmeler için "Bulanık Çıkarım Mekanizması", "Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi" ve "DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory)" yöntemlerinden yararlanılmıştır.

2.1 Bulanık Çıkarım Mekanizması

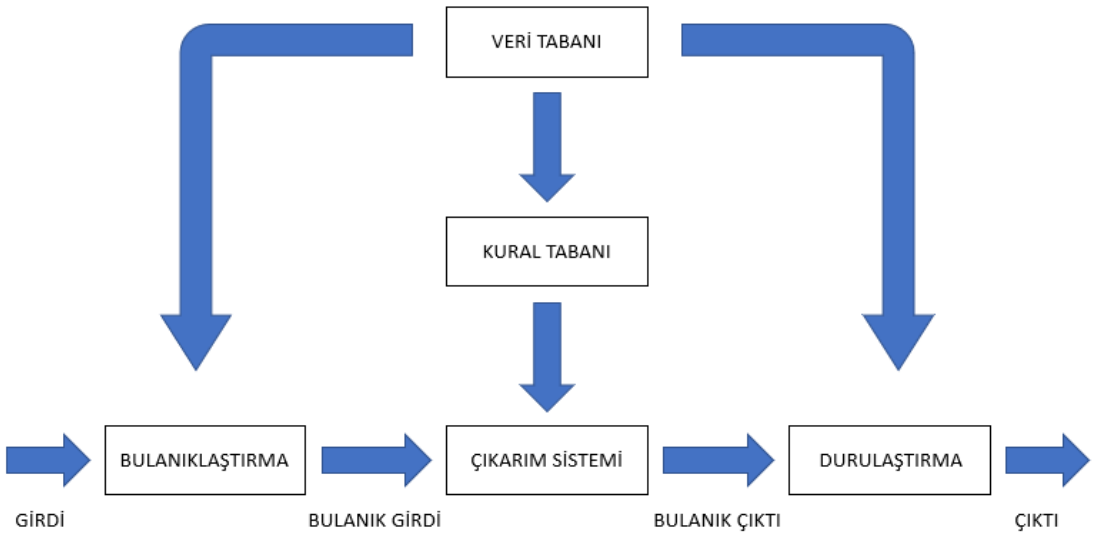
Bulanık Çıkarım Sistemi, karar vermeyi birincil işi olarak alan bulanık mantık sisteminin anahtar birimidir. Temel karar kurallarını çizmek için "VE, VEYA" bağlayıcıları ile birlikte "EĞER-O HALDE" kurallarını kullanır. Bulanık çıkarım mekanizmasına net girdiler bulanıklaştırılır ve çıktılar her zaman bulanıktır. Bu nedenle bulanık çıktılara durulaştırma işlemi uygulanarak net çıktılar elde edilir.

"Bulanık Çıkarım Mekanizması", "Veri Tabanı", "Kural Tabanı", "Bulanıklaştırma", "Çıkarım Sistemi" ve "Durulaştırma" fonksiyonlarından oluşur. Sistemin akım şeması Şekil 2.1'de verilmiştir.

Bulanık çıkarım sisteminin en yaygın kullanılan versiyonları Mamdani ve Takagi-Sugeno modelleridir [54].

İlk olarak literatüre önerilen ve en yaygın kullanılan model 1975 yılında Ebhasım Mamdani tarafından önerilmiştir. Temel olarak, sistem üzerinde çalışan kişilerden elde edilen bir takım bulanık kurallar sentezlenerek bir buhar motoru ve kazan kombinasyonunun kontrol edilmesi öngörülmüştür [55].

İkinci model Takagi ve Sugeno tarafından 1985 yılında literatüre kazandırılmıştır. İki model arasındaki temel farklar ; Takagi-Sugeno modelinde çıktılar doğrusal ya da sabittir. Bu doğrultuda toplama ve durulaştırma prosedürleri de farklılık gösterir. Ayrıca bu model daha fazla matematiksel kural içermektedir [56].



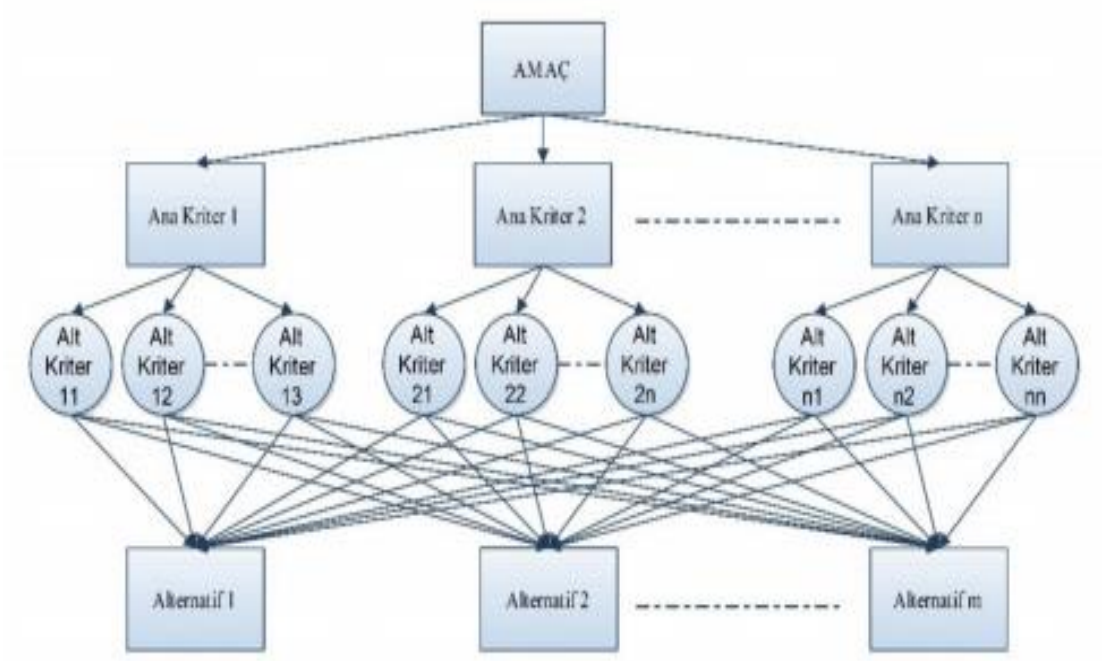
Şekil 2.1 Bulanık çıkarım mekanizması

2.2 Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi, çok kriterli karar verme tekniklerinin en yaygın kullanılan modeli olan AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ile Bulanık Küme Teorisinin kombinasyonu ile ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda yayınlanmış ilk çalışma 1983 yılında Van Larhooven ve Pedrycz tarafından gerçekleştirilmiştir [38]. Daha sonra Chang Bulanık AHP'yi ele almak için ikili karşılaştırmanın sentetik kapsam değerleri için yeni bir kapsam analizi yaklaşımı getirmiştir [57].

Analitik Hiyerarşi Prosesi iyi bilinen çok kriterli bir karar verme tekniğidir. Yöntem kullanışlı, basit ve sistematik bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımda ilk olarak, daha genel kriterden belirli veya belirsiz ya da kontrol edilemezden daha kesin veya kontrol edilebilir olana doğru bir hiyerarşi geliştirilir. Karar değişkenlerinin hiyerarşisi, AHP' nin ikili karşılaştırmasının konusudur.

Geleneksel AHP yönteminde ikili karşılaştırmalar, mevcut alternatifler arasındaki tercihleri eşit, orta, üstün, çok üstün veya aşırı üstün şeklinde ifade edilen dokuz kademeli bir ölçek kullanılarak yapılır. Bu nedenle AHP, yargılamalar ve bunların sonuç olarak ortaya çıkan öncelikleri için yalnızca mutlak ölçek sayılarını kullanır. AHP' nin ayrı ölçeği basitlik ve kullanım kolaylığı avantajlarına sahip olsa da, kişinin algısının bir sayıyla eşleştirilmesiyle ilişkili belirsizliği hesaba katmak için yeterli değildir. Konseptindeki popülerliğine ve basitliğine rağmen bu yöntem, karar vericinin algısının kesin sayılarla eşleştirilmesiyle ilişkili içsel belirsizlik ve belirsizliği yeterince ele alamaması nedeniyle sıklıkla eleştirilir. AHP'nin geleneksel formülasyonunda, insanın yargıları kesin veya bulanık mantık terminolojisine göre net sayılarla temsil edilir. Bununla birlikte, birçok pratik durumda, insan tercihi modeli belirsizdir ve karar vericiler karşılaştırma kararlarına kesin sayısal değerler atayamayabilir. Bazı değerlendirme kriterleri doğası gereği öznel ve niteliksel olduğundan, karar vericinin tercihleri kesin sayısal değerler kullanarak ifade etmesi ve tam ikili karşılaştırma yargıları sağlaması çok zordur. Geleneksel AHP, belirsiz karar verme problemlerini çözmek için doğrudan uygulanamaz [57, 59]. Analitik Hiyerarşi Prosesinde hiyerarşik yapı Şekil 2.2’ de verilmiştir.



Şekil 2.2 AHP hiyerarşik yapı [60]

Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinde net sayılar yerine bulanık sayılar kullanılarak ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilir. Hesaplamalar sonucunda bulanık çıktılar elde edilir ve net çıktılara dönüştürülerek kullanılır.

2.3 DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) Yöntemi

DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) tekniği ilk olarak Battelle Memorial Enstitüsü'nün Cenevre Araştırma Merkezi tarafından karmaşık nedensel ilişkilerin yapısını matrisler aracılığıyla görselleştirmek için geliştirilmiştir [61]. Bir tür yapısal modelleme yaklaşımı olarak, özellikle bir sistemin bileşenleri arasındaki neden-sonuç ilişkilerini analiz etmede yararlıdır. DEMATEL, faktörler arasındaki karşılıklı bağımlılığı onaylayabilir ve içlerindeki göreceli ilişkileri yansıtan bir haritanın geliştirilmesine yardımcı olabilir ve karmaşık sorunları araştırmak ve çözmek için kullanılabilir. Bu yöntem, karşılıklı bağımlılık ilişkilerini matrisler aracılığıyla bir neden-sonuç grubuna dönüştürmekle kalmaz, aynı zamanda bir etki ilişkisi diyagramı yardımıyla karmaşık bir yapı sisteminin kritik faktörlerini de bulur [62].

DEMATEL yöntemindeki ikili ilişkilendirmeler, AHP yönteminde olduğu şekliyle bir hiyerarşik üstünlük değil, özgün bir yöntemle iki parametrenin birbirleri üzerindeki etki derecesini ortaya koyar. Bu ilişkilendirmelerde etki düzeyi yüksek olanlar “Dağıtıcı”, etki düzeyi daha düşük olanlar “Alıcı” olarak nitelendirilir [63]. İlişkilendirmeler; “Etki Yok” (EY), “Çok Düşük Etki” (ÇDE), “Düşük Etki” (DE), “Yüksek Etki” (YE), “Çok Yüksek Etki” (ÇYE) parametreleri ile gerçekleştirilir. Dilsel ifadelere karşılık 0-4 gibi net sayı aralıkları kullanılabildiği gibi bulanık sayılarla da ilişkilendirmeler ve hesaplamalar gerçekleştirilebilir [64].

2.4 Kalite Fonksiyon Yayılımı

Endüstride müşteri odaklı ürün tasarımı amacıyla yaygın bir kullanıma sahip olan "Kalite Fonksiyon Yayılımı" bir diğer adıyla “Kalite Fonksiyon Göçerimi”; müşteri gereksinimlerini teknik parametreler ile ilişkilendirerek müşteri beklentilerine yönelik optimum tasarımı hedefler [65]. Bu yöntem, 1966 yılında Akao tarafından literatüre önerilmiştir [66]. 1970’lerin başında Mitsubishi’nin Kobe tershanesindeki gemilerin tasarımında kullanılmıştır [67].

Kalite Fonksiyonu Yayılımı yöntemi, Kalite Evi adı verilen bir yaklaşım ile şekillenir. Bu şemanın bir matris olduğu düşünüldüğünde sütunlarda teknik parametreler satırlarda ise müşterilerin beklentileri yer alır. Bu parametrelerin her biri zayıf ilişki, güçlü ilişki, orta düzeyde ilişki ve ilişki yok şeklinde birbirleriyle ilişkilendirilir. Bu ilişkilendirmeler için dilsel ifadelere karşılık gelen sayısal değerler ile yapılır. Bu şemanın ev olarak adlandırılmasında baş rolü oynayan çatı bölümünde de korelasyonlar yani teknik parametrelerin iç ilişkileri ele alınır. Bu ilişkiler zayıf, nötr ve güçlü sıfatlarının olumlu veya olumsuz versiyonlarını kapsar. Hesaplamalar sonucunda teknik parametrelerin önem dereceleri belirlenir. Ayrıca rakip firmalarla karşılaştırmalı değerlendirmeler ile güçlü ve zayıf yönler irdelenir[68]. Kalite Fonksiyon Yayılımı yönteminin temelini oluşturan “Kalite Evi” şematik olarak Şekil 2.3’ de verilmiştir.

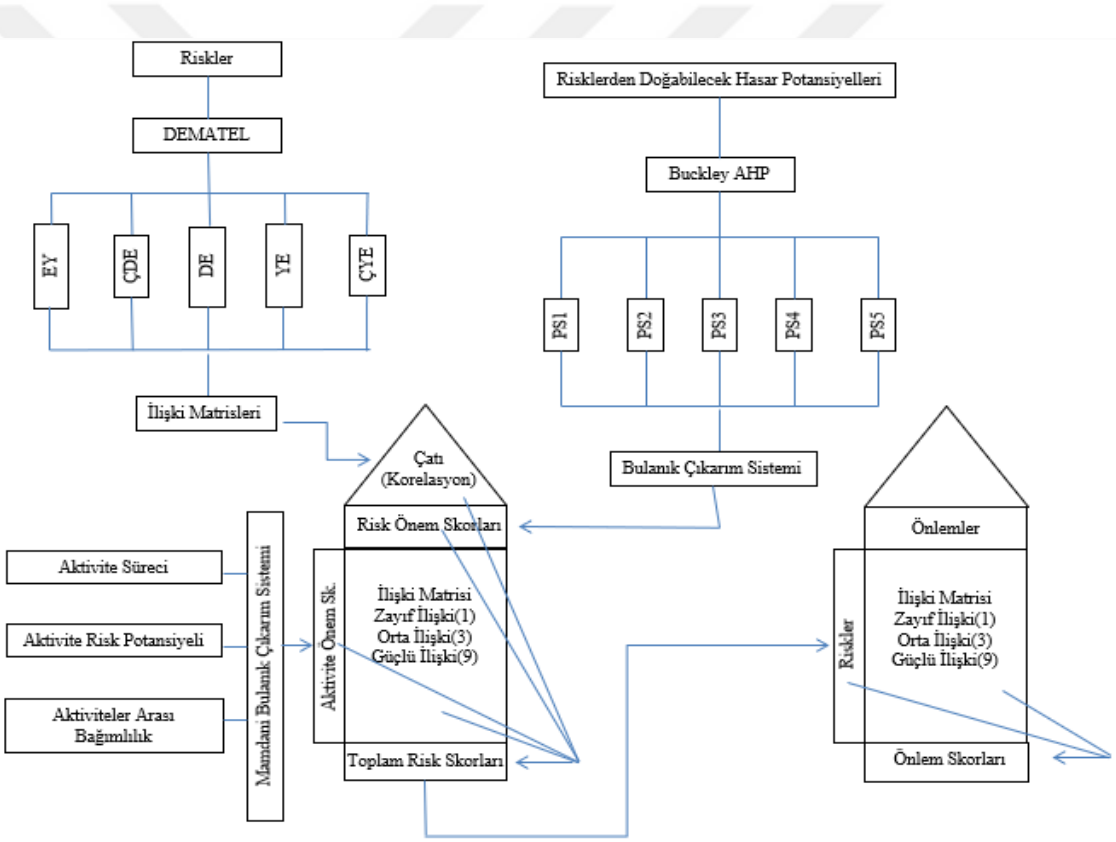


Şekil 2.3 Kalite evi [69]

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Kalite Fonksiyon Yayılımı yönteminin ürün tasarımı, sistem geliştirme, rakip firmalar ile rekabet analizleri gibi farklı alanlarda uygulandığı görülmektedir.

3
ÖNERİLEN YÖNTEM: GÜVENLİK EVİ

Bu bölümde hem riskin olası potansiyel sonuçlarını değerlendirmeye alan hem de faaliyetler arasındaki etkileşimi dikkate alarak risk büyüklüğünü hesaplayan daha sonra risklerle önlemler arasındaki etkileşimi dikkate alarak alınması gereken tedbir sıralamasını tanımlayan yöntemin adımları verilecektir. Önerilen yöntemin şematik gösterimi Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1 Yöntem Akım Şeması

3.1 Aktivitelerin Ağırlıklandırılması

Çalışma sahasında yürütülen aktiviteler ve aktivitelerin ağırlıkları tanımlanır. Ağırlık tanımlama için saha içerisinde yürütülen faaliyetin yoğunluğu ve toplam çalışma süresi içerisindeki aktivitenin kapladığı süre dikkate alınarak hesaplanır. Ağırlık hesaplamasında Mamdani bulanık çıkarım mekanizması kullanılır [55,70,71]. Model kural tabanlı bir sistemi karakterize eder ve modelde kullanılan kural tabanının genel yapısı Eşitlik 1' de verilmiştir. Çıkarım mekanizmasına ilişkin kurallar ise Tablo 3.1.'de verilmiştir.

$$if\ x_1 = Z_{i1}\ and\ x_2 = Z_{i2}\ and\ x_3 = Z_{i3}\ and \dots x_n = Z_{in}\ THEN\ y = P_i.\quad i = 1,2,3,\dots,k \tag{1}$$

Denklemde x_n $(n = 1,2,3,\dots m)$ giriş veri setini, $Z_i\ ve\ P_i$ üyelik fonksiyonlarıyla tanımlı dilsel ifadeyi, y çıktı değerini ve k kural tabanında yer alan kural sayısını ifade etmektedir. Sistemde mevcut olan birden çok ayrık kuralın aynı anda etkinleşmesi durumunda genellikle *MAKS-MİN* operatörü kullanılarak sonuç elde edilir. *MAKS-MİN* operatörü Eşitlik 2' de verilmiştir.

$$\mu_{Pk}(y) = maks\left[min[\mu_{Z1k}(x_1), \mu_{Z2k}(x_2)]\right], k = 1,2,3,..n \tag{2}$$

Eşitlikte verilen $\mu_{Pk}, \mu_{Z1k}, \mu_{Z2k}$ sırasıyla y çıkış değerinin, $x_1\ ve\ x_2$ girdilerinin üyelik dereceleridir.

Modelden bulanık bir değer olarak elde edilen çıktı değerinin durulaştırılması gerekmektedir. Durulaştırma işlemi için çalışma kapsamında, uygulamada yaygınlıkla kullanılan ağırlık merkezi yöntemi (centroid of area veya center of gravity - COA) kullanılacaktır [72]. Yönteme ilişkin Eşitlik 3 ve 4 aşağıda verilmiştir.

$$Z^*_{COZ} = \frac{\int_z \mu_X(x) x dx}{\int_z \mu_Z(x) dx} \tag{3}$$

$$Z^*_{COZ} = \frac{\sum_i^q \mu_Z(x_i) x_i}{\sum_i^q \mu_A(x_i)} \; i = 1, 2, 3, \dots, q \tag{4}$$

Eşitlikte verilen Z^*_{COZ} sistemden elde edilen kesin değeri göstermektedir.

Çalışmamızda kullanılan çıkarım mekanizmasına ilişkin kurallar ise Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Yürütülen aktivitenin riskin oluşmasına neden olma olasılığına ilişkin kural tabanı

Aktivite		**Aktivite süresinin toplam proje süresi içindeki oranı**				
		Çok Düşük	**Düşük**	**Orta**	**Yüksek**	**Çok Yüksek**
Tehdit Düzeyi	**Çok Düşük**	Düşük Derece	Düşük Derece	Düşük Derece	Düşük Derece	Düşük Derece
	Düşük	Düşük Derece	Düşük Derece	Orta Derece	Orta Derece	Orta Derece
	Orta	Düşük Derece	Düşük Derece	Orta Derece	Yüksek Derece	Yüksek Derece
	Yüksek	Düşük Derece	Orta Derece	Yüksek Derece	Yüksek Derece	**Çok Yüksek Derece**
	Çok Yüksek	Orta Derece	Orta Derece	Yüksek Derece	**Çok Yüksek Derece**	**Çok Yüksek Derece**

3.1.1 Tehdit (Vulnerability; *v*) ve aktivite oranının (Activity Rate; *ar*) tanımlanması

Risk değerlendirme uzmanları ilk olarak aktivitelere ilişkin tehdit düzeylerini tanımlar. Bir aktivitenin tehdit düzeyi esasında ilgili aktivite için güvenlik açığının yorumlandığı değerdir. Burada tehdit düzeyleri ikili karşılaştırma yöntemiyle yapılabileceği gibi dilsel olarak da uzmanlar tarafından doğrudan sunulabilir.

Birden fazla uzmanının değerlendirme sürecinde yer aldığı durumlarda aritmetik ortalama kullanılarak değerlendirmeler ortak bir matriste toplanır.

Bir sonraki adım ise aktivite oranının hesaplanmasıdır. Aktivite oranı, aktivite süresinin toplam proje süresi içindeki oranı olarak tanımlanır ve bu oran proje başlangıcında iş planından yaklaşık olarak hesaplanabilir. Oran hesaplanırken Eşitlik 5' den faydalanılır.

$$\widetilde{r_i} = \frac{\tilde{t}_i}{\tilde{T}_p} = \frac{\tilde{t}_i}{\sum_{i;=1}^{n} \tilde{t}_{ai}} \qquad , i=1,2,3,\ldots,m \tag{5}$$

Eşitlik 5' de $\tilde{T}_p$ toplam proje süresini, $\tilde{t}_i$ *i*'inci aktivitenin proje içerisindeki toplam süresini ve $\widetilde{r_i}$ ise *i*'inci aktivitenin toplam proje süresi içerisindeki oranını verir. Burada sayıların bulanık olarak ifade edilmesindeki gerekçe, faaliyet sürelerinin ve dolayısıyla toplam proje süresinin iş kazası, malzeme gecikmesi, olumsuz hava koşulları gibi durumlarda gecikme ihtimalinin olmasıdır. Genelde birçok projede planlanan süreler çeşitli oranlarda aşılır. Bu nedenle aktivite sürelerindeki belirsizlikleri dikkate almak için çalışmamızda hesaplanan değerlendirmeler bulanık sayılarla ifade edilecektir.

3.1.2 Tehdit (Vulnerability; *v*) ve aktivite oranına (Activity Rate; *ar*) ilişkin üyelik derecelerinin hesaplanması

Tehdit ve aktivite sürelerine ilişkin elde edilen verilerin bulanık sayılarla temsil edilmesi durumunda Mamdani çıkarım sisteminde doğrudan kullanılamazlar. Tablo 3.2.'de verilen kural tabanı dilsel ifadelerden oluşmaktadır ve elde dilen verilerin bu dilsel ifadelere ait üyelik derecelerinin hesaplanması gerekir. Bu nedenle, üyelik derecelerinin hesaplanması için Şekil 3.2'de verilen grafikten faydalanılır. Bulanık sayılarla Şekil 3.3'de verilen üyelik fonksiyonlarının kesişim noktası bize üyelik derecelerini verir.

3.1.3 Aktivite kaynaklı riskin ortaya çıkma derecesinin hesaplanması

Bu adımda her bir aktiviteyle ilgili tehdit derecesi ve aktivite süresi Bulanık çıkarım mekanizmasına girdi olarak verilerek ilgili aktivite bazlı riskin oluşma derecesi elde

edilir. Eşitlik 1' de verilen genel ifade, Tablo 3.1'de verilen parametreler dikkate alınarak yazılırsa herhangi bir kural Eşitlik 6' daki gibi ifade edilir;

$$if\ v_i = \mu_{vi}\ and\ ar_i = \mu_{ari}\ then\ w_i^a = \mu_{a_i}\ .\quad i = 1,2,3,\dots,k \tag{6}$$

Eşitlik 6' da verilen μ_{vi}, μ_{ari}, and μ_{a_i} sırasıyla tehdit, aktivite oranı ve aktivitenin önem derecesine ait üyelik derecesi değerleridir. Bulanık çıkarım mekanizmasında girdi değerlerine bağlı olarak birden fazla kural aktif hale gelebilir. Bu durumda bulanık çıkarım mekanizması Eşitlik 7' de verildiği üzere minimum operatörü kullanarak sonuç üretir.

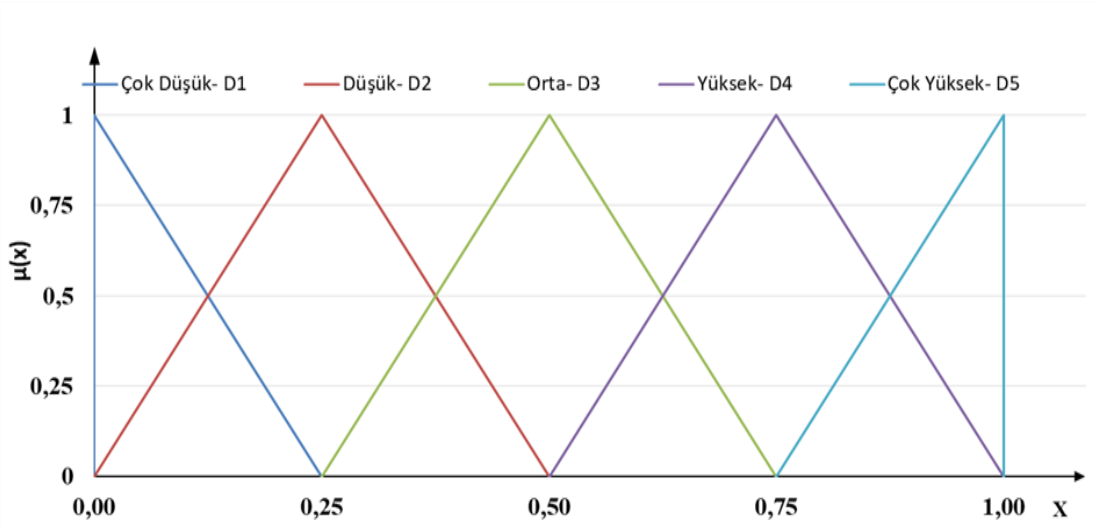
$$\mu_{Ri}(x,y) = \mu_{vi}(x_1), \mu_{ari}(x_y), \mu_{a_i}(y)\ .\quad i = 1,2,3,\dots,k \tag{7}$$

Girdi değerlerine bağlı olarak aktifleşen kurallar sonucunda elde edilen sonuçlara bağlı olarak tek bir sonuç elde edilir ve bu sonuç için Eşitlik 8 kullanılır.

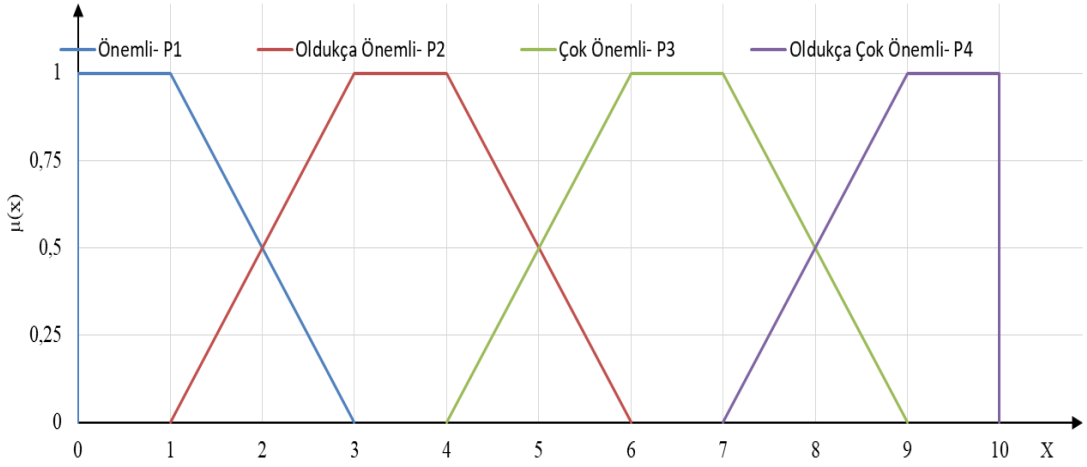
$$\mu_R(x,y) = \bigvee_{i=1}^{k} \mu_{Ri}(x,y)\ . \tag{8}$$

Elde edilen değerlerin üyelik derecesi olması nedeniyle ve verinin "Güvenlik Evi" tablosunda kullanılabilmesi için durulaştırılması gerekir. Durulaştırma işlemi için Eşitlik 9 kullanılır.

$$AS = \frac{\sum_{i=1}^{q} Y_i\ \mu_R(y_i)}{\sum_{i=1}^{q} \mu_R(y_i)} \tag{9}$$



Şekil 3.2 Dilsel ölçek için kullanılan üçgensel bulanık sayılar



Şekil 3.3 Faaliyet ağırlığı için kullanılan dilsel değerlendirme ölçeği (*W*)

3.2 Risklerin Ağırlıklandırılması

Endüstride sıklıkla kullanılan yöntemlerde genellikle birçok farklı potansiyel sonuç arasından en olası sonuca yönelim gösterilir. Bu durum diğer tüm olası sonuçların ihmal edilmesi anlamına gelir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için bir riskin tüm olası sonuçlarını ele alarak tek bir şiddet skoru sağlayan 'Şiddet Metre', risklerden doğan hasar potansiyellerini ifade etmek için ana yöntemin bir elemanı olarak önerilmiştir.

3.2.1 Riskin neden olacağı olumsuz sonuca ait şiddetin derecelendirilmesi (Şiddet Metre)

Bazı kazalar gerçekleştiğinde uzun süreli iş görmezlik, uzuv kaybı, hatta ölüm gibi olumsuz durumlarla sonuçlanabilir. Diğer bir ifadeyle bir kazanın sonucu farklı olasılıklarla değişik şekillerde sonuçlanabilir. Herhangi bir risk sonucunda ortaya çıkabilecek olası sonuçlar Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Riskten doğan potansiyel zararlar

Kısaltmalar	Açıklama
PS1	İş günü kayıpsız kaza
PS2	Kısa süreli iş günü kayıplı kaza
PS3	Uzun süreli iş günü kayıplı kaza
PS4	Uzuv kaybı ya da meslek hastalığı
PS5	Ölüm ya da facia

Çalışma sahası için tanımlanan herhangi bir riskin ortaya çıkması durumunda gerçekleşebilecek olası sonuçlarının yol açacağı şiddet değerleri ikili karşılaştırma yöntemi kullanılarak hesaplanır. Bu hesaplama işlemi için Buckley AHP yöntemi kullanılır [73,74]. Yönteminin adımları şu şekildedir.

İkili karşılaştırmaları gösteren matris $\tilde{C}_i$ olsun.

$$\tilde{C}_i = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{c}_{12} & \cdots & \tilde{c}_{1n} \\ \tilde{c}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{c}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{c}_{n1} & \tilde{c}_{n2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \; i=1, 2, 3,\ldots,l \text{ ve } n=1,2,3,\ldots,p \tag{10}$$

Burada $\tilde{C}_i$, ilgili riskin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkacak olası sonuçlara ilişkin *i.* uzmana ait ikili karşılaştırma matrisidir. Matriste $\tilde{c}_{ij}$ ile gösterilen değer *i'inci* sonucun *j'inci* sonuca kıyasla gerçekleşme olasılığını gösteren dilsel ifadedir. Eşitlikte verilen *l* ve *p* değerleri sırasıyla uzman sayısını ve riskin meydana gelmesi

durumunda ortaya çıkabilecek olası sonuçları göstermektedir. Değerlendirmede kullanılacak dilsel ifadeler Tablo 3.3' de verilmiştir [75]. Değerlendirmeler her bir uzman tarafından ayrı ayrı yapılabileceği gibi uzmanların ortak kararıyla da matris oluşturabilirler.

Tablo 3.3 İkili karşılaştırma için kullanılan dilsel ölçek

Dilsel ifadeler	Kısaltmalar	Bulanık sayılar
Eşit olası	(EO)	(1,1,3)
Biraz daha olası	(BDO)	(1,3,5)
Oldukça olası	(OO)	(3,5,7)
Oldukça daha olası	(ODO)	(5,7,9)
Kesinlikle olası	(KO)	(7,9,9)

Bulanık ağırlıklar aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{c}_{i1} \otimes \tilde{c}_{i2} \otimes \ldots \otimes \tilde{c}_{in})^{1/n} \tag{11}$$

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \ldots + \tilde{r}_n)^{-1} \tag{12}$$

Denklemde $\tilde{r}_i$ risk sonucu oluşabilecek *i'nci* sonucun diğer sonuçlara kıyasla hesaplanan geometrik ortalama değerini ve $\tilde{w}_i$ ise *i'nci* sınıf sonucun şiddet büyüklüğünü göstermektedir. Eşitlik 11 ve 12 tanımlanan her bir risk sonucu için tekrarlanır ve risk şiddetlerine ilişkin değerler hesaplanır. Eğer değerlendirme sürecinde birden fazla uzman varsa ve uzman yargıları konsensüs sağlanarak toplanmıyorsa her bir uzmana ait ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Ardından geometrik ortalama alınmak kaydıyla ortak karar matrisi elde edilir. Son olarak Eşitlik 11 ve 12 uygulanarak ilgili risk sonucu oluşabilecek potansiyel sonuçlara ilişkin şiddet değerleri belirlenir. Her bir riskin sonuç türüne ilişkin

değerin bulanık sayı olması nedeniyle Eşitlik 13 kullanılarak bulanık sayılar durulaştırılır.

$$w_i = \frac{\widetilde{w}_i}{\sum_{j=1}^{n} \widetilde{w}_j} = \frac{(w_{il} + w_{im} + w_{iu})}{\sum_{j=1}^{n} \widetilde{w}_j} \tag{13}$$

Bu adımda risk sonucuna ilişkin bileşke risk şiddeti hesaplanır. Bu adımda her bir risk için her olası sonuca ait şiddet değerleri dikkate alınarak ilgili riske ilişkin şiddet derecesi hesaplanır. Bileşke risk şiddeti (RS) için Şekil 3.2' de verilen ölçek ve Eşitlik 14 kullanılır [76].

$$RS = \frac{\left(\sum_{i=1}^{q} w_i \times \mu(y_i)\right)}{\sum_{i=1}^{q} \mu(y_i)} \tag{14}$$

Eşitlik 14' de verilen RS değeri risk şiddetini, $\mu(y_i)$ değeri Şekil 3.3' de verilen dilsel ifadenin merkez noktasını göstermektedir.

3.3 İlişki Matrisleri

Önem dereceleri belirlenmiş aktivite ve risklerin birbirleri ile olan ilişkilerini belirlemek amacı ile ilişkilendirme yapılacaktır. İlişki matrislerindeki ilişki derecelerinin sayısal karşılıkları; güçlü dereceli ilişki "9", orta dereceli ilişki "3" ve zayıf dereceli ilişki "1" olarak belirlenecektir. Ayrıca risklerin kendi aralarındaki etkileşimi sisteme dahil etmek amacı ile DEMATEL yönteminin adımları uygulanacaktır [77]. İlişkilendirmeler; "Etki Yok" (EY), "Çok Düşük Etki" (ÇDE), "Düşük Etki" (DE), "Yüksek Etki" (YE), "Çok Yüksek Etki" (ÇYE) parametreleri ile gerçekleştirilir ve dilsel ifadelere karşılık gelen skorlar Tablo 3.4' de verilmiştir.

Tablo 3.4 Risklerin etkileşimi için dilsel ifadelere karşılık gelen skorlar

Dilsel ifadeler	Kısaltmalar	Skorlar
Etki Yok	(EY)	0
Çok Düşük Etki	(ÇDE)	1
Düşük Etki	(DE)	2
Yüksek Etki	(YE)	3
Çok Yüksek Etki	(ÇYE)	4

Uzmanlar belirlenen skalaya göre risklerin birbirleri üzerindeki etkilerini değerlendirirler. Değerlendirmelerin aritmetik ortalamaları alınarak Eşitlik 15 ile verildiği gibi n x n boyutunda direkt ilişki matrisi oluşturulur. Daha sonra Eşitlik 16 kullanılarak normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi ve Eşitlik 17 kullanılarak toplam ilişki matrisi oluşturulur.

$$A_0^{TC} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} A_j \tag{15}$$

$$D^{TC} = \frac{1}{max_{1<i,j<k} \sum_{i,j=1}^{k} a_{i,j}} A_0^{TC} \tag{16}$$

$$T^{TC} = D(1-D)^{-1} \tag{17}$$

Toplam ilişki matrisinin satırları toplanarak R, sütunları toplanarak C değerleri elde edilir. Daha sonra her bir risk için, Eşitlik 18 ve 19 kullanılarak mutlak ve bağıl etki ağırlıkları elde edilir.

$$w_i = \sqrt{(R_i - C_i)^2 + (R_i + C_i)^2} \quad (18)$$

$$ES_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \quad (19)$$

3.4 Ağırlıklandırılmış Risk Skorlarının Hesaplanması

Bu aşamaya kadar elde edilen, aktivite skorları (AS_i), risk skorları (RS_i), etki skorları (ES_i) ile ilişki skorlarının (x_{ixi}) kalite fonksiyonu yayılımı yönteminin kalite evinden esinlenerek geliştirilen "Güvenlik Evi" üzerindeki dağılımı şematik olarak Şekil 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4 Güvenlik evi

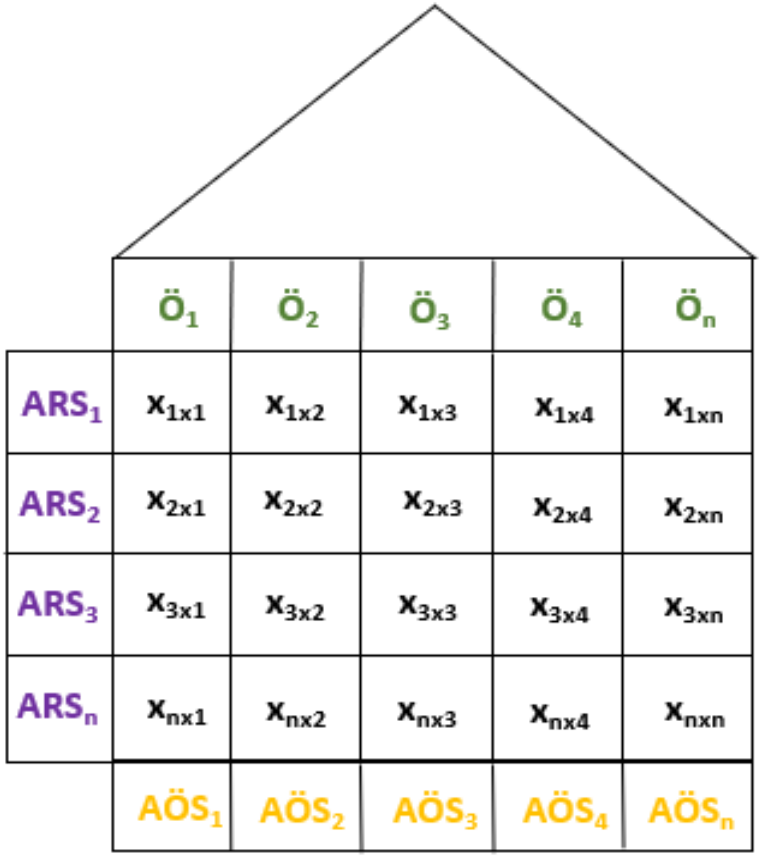
Şekil 3.4' de (ARS_i) kısaltmasıyla gösterilen ağırlıklandırılmış risk skorlarının hesabı için Eşitlik 20 ve 21 uygulanır.

$$ARS_i = RS_i \; x \; ES_i \; x \left\lfloor \sum_{i=1}^{n} AS_i \; x \; X_i \right\rfloor \tag{20}$$

$$ARS_i = \frac{ARS_i}{\sum_{i=1}^{n} ARS_i} \tag{21}$$

3.5 Ağırlıklandırılmış Önlem Skorlarının Hesaplanması

Ağırlıklı önem dereceleri belirlenmiş riskler ile önlemleri ilişkilendirmek amacı ile ikinci bir ev oluşturulur. Oluşturulacak yeni ev şematik olarak Şekil 3.5' de verilmiştir.



Şekil 3.5 Güvenlik evi 2. aşama

İlişkilendirme için birinci şemadaki kurallar yani Eşitlik 22 ve 23 uygulanarak ağırlıklandırılmış önlem skorları (AÖSi) elde edilir.

$$A\ddot{O}S_i = \left\lfloor \sum_{i=1}^{n} ARS_i \; x \; X_i \right\rfloor \tag{22}$$

$$A\ddot{O}S_i = \frac{A\ddot{O}S_i}{\sum_{i=1}^{n} A\ddot{O}S_i} \tag{23}$$

4
UYGULAMA

Uygulama için, açık işletme olarak faaliyet gösteren bir kalker – şist tesisi ele alınmıştır. Madencilik aktiviteleri ve karşılaşılabilecek muhtemel riskler belirlenerek Tablo 4.1' de verilmiştir. Sübjektif farklılıkları en aza indirmek amacıyla sektörde en az 5 yıl deneyimli iki B Sınıfı ve 17 yıl saha tecrübesi bulunan bir A Sınıfı iş güvenliği uzmanı ile risk değerlendirme ekibi oluşturularak değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Uygulama 2020 yılının ikinci yarısında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.1 Aktiviteler ve muhtemel riskler

AKTİVİTELER		**RİSKLER**	
A1	Kazı İşleri	R1	Düşen malzeme sonucu hasar
A2	Delme	R2	Yüksekten düşme sonucu hasar
A3	Nakliye İşleri	R3	Alçak mesafeden düşme sonucu hasar
A4	Patlatma İşleri	R4	Sivri cisim batması sonucu hasar
A5	Yükleme İşleri	R5	Uzuv sıkışması sonucu hasar
A6	Tahkimat İşleri	R6	Sıçrayan malzeme sonucu hasar
A7	Su Atımı	R7	Çarpışma sonucu hasar
A8	Cevher Zenginleştirme	R8	Elektrik maruziyeti sonucu hasar
A9	İnce İşler	R9	Patlama sonucu hasar
A10	Mekanik İşler	R10	Yangın sonucu hasar
A11	Elektrik İşleri	R11	Araç çarpması sonucu hasar
A12	Zemin İşleri	R12	Gürültü maruziyeti sonucu hasar
A13	Destek Hizmetleri	R13	Titreşim maruziyeti sonucu hasar
		R14	Hava akımı sonucu hasar
		R15	Toz maruziyeti sonucu hasar
		R16	Kimyasal maruziyeti sonucu hasar
		R17	Radyasyon maruziyeti sonucu hasar
		R18	Bulaşıcı hastalık sonucu hasar
		R19	Yıldırım düşmesi sonucu hasar
		R20	Ergonomik problemler sonucu hasar

4.1. Aktivitelerin Ağırlıklandırılması

İlk olarak her bir aktivite; tehdit düzeyine göre uzmanlar tarafından dilsel olarak değerlendirilmiştir. Dilsel ifadeler, Şekil 3.2 kullanılarak bulanık sayılara dönüştürülmüş ve aritmetik ortalamalar alınarak Tablo 4.2' de verilen ortak karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4.2 Aktivite tehdit düzeyi için ortak karar matrisi

Aktiviteler	**U1**	**U2**	**U3**	**U1**	**U2**	**U3**	**Ortak Karar**
A1	O	Y	Y	(0.25,0.5,0.75)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.42,0.67,0.92)
A2	ÇY	Y	ÇY	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0.67,0.92,1)
A3	ÇY	Y	Y	(0.75,1,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.58,0.83,1)
A4	Y	Y	Y	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)
A5	Y	Y	Y	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)
A6	ÇY	ÇY	ÇY	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)
A7	ÇY	ÇY	ÇY	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)
A8	ÇY	ÇY	ÇY	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)
A9	Y	Y	ÇY	(0.5,0.75,1)	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0.58,0.83,1)
A10	Y	ÇY	ÇY	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.67,0.92,1)
A11	Y	ÇY	ÇY	(0.5,0.75,1)	(0.75,1,1)	(0.75,1,1)	(0.67,0.92,1)
A12	O	O	O	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)	(0.25,0.5,0.75)
A13	D	ÇD	ÇD	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)	(0,0,0.25)

Aktivitelerin toplam iş periyodundaki kapladığı süreç Eşitlik 5 kullanılarak değerlendirilmiştir. Süreç değerlendirmeleri tahmini olarak gerçekleştiğinden,

faaliyet dönemlerindeki belirsizliği dikkate alabilmek adına bulanık sayılar kullanılmıştır. Elde edilen değerler Tablo 4.3' de verilmiştir.

Tablo 4.3 Süreç için bulanık değerler

Aktiviteler	$\tilde{t}_i$	$\tilde{r}_i$	TFNs
A1	600	0.55	(0.44,0.55,0.68)
A2	350	0.32	(0.25,0.32,0.4)
A3	350	0.32	(0.25,0.32,0.4)
A4	200	0.18	(0.15,0.18,0.23)
A5	150	0.14	(0.11,0.14,0.17)
A6	300	0.27	(0.22,0.27,0.34)
A7	150	0.14	(0.11,0.14,0.17)
A8	500	0.45	(0.36,0.45,0.57)
A9	750	0.68	(0.55,0.68,0.85)
A10	900	0.82	(0.65,0.82,1.02)
A11	1000	0.91	(0.73,0.91,1.14)
A12	500	0.45	(0.36,0.45,0.57)
A13	1100	1	(0.8,1,1.25)
$\tilde{T}_p$	1100		

Tablo 4.2 ve 4.3' deki değerler, bulanık çıkarım mekanizmasına yerleştirmek için Şekil 3.2 kullanılarak üyelik derecelerine dönüştürülmelidir. Hem süreci hem de tehdidi değerlendirmek için kullanılan dilsel ifadelerin üyelik dereceleri Tablo 4.4'

de verilmiştir. Tehdit ve süreç için elde edilen üyelik dereceleri sisteme girildiğinde, Eşitlik 6' da ifade edilen ve Tablo 3.1' de verilen kurallar aktif hale gelir ve faaliyetler için önem derecesi, aktive edilen kurallarla birlikte hesaplanır. Şekil 3.3' de verilen ve önem derecesini temsil etmek için kullanılan dil ölçeğine karşılık gelen üyelik dereceleri hesaplanmıştır. Daha sonra faaliyetlerin risk temeli oluşturmadaki önem dereceleri Eşitlik 3 kullanılarak elde edilmiştir. Hesaplamaların sonuçları Tablo 4.4' de verilmiştir.

Tablo 4.4 Aktivitelerin mutlak ağırlıkları

	v					*ar*					*w*				ASi
	ÇD	D	O	Y	ÇY	ÇD	D	O	Y	ÇY	ÇD	D	O	Y	
A1	0.00	0.17	0.67	0.84	0.33	0.00	0.17	0.93	0.47	0.00	0.17	0.67	0.84	0.33	**5.99**
A2	0.00	0.00	0.17	0.67	0.75	0.00	0.78	0.45	0.00	0.00	0.17	0.75	0.45	0.00	**4.61**
A3	0.00	0.00	0.34	0.83	0.60	0.00	0.78	0.45	0.00	0.00	0.34	0.78	0.45	0.00	**4.21**
A4	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	0.37	0.76	0.00	0.00	0.00	0.50	0.76	0.00	0.00	**2.81**
A5	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	0.50	0.60	0.00	0.00	0.00	0.50	0.60	0.00	0.00	**2.64**
A6	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.11	0.94	0.26	0.00	0.00	0.11	0.94	0.26	0.00	**4.34**
A7	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.50	0.60	0.00	0.00	0.00	0.50	0.60	0.00	0.00	**2.64**
A8	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.40	0.86	0.18	0.00	0.00	0.40	0.86	0.18	**6.54**
A9	0.00	0.00	0.34	0.83	0.60	0.00	0.00	0.54	0.84	0.25	0.00	0.34	0.83	0.60	**7.44**
A10	0.00	0.00	0.17	0.67	0.75	0.00	0.00	0.24	0.84	0.60	0.00	0.17	0.67	0.75	**8.09**
A11	0.00	0.00	0.17	0.67	0.75	0.00	0.00	0.06	0.63	0.81	0.00	0.06	0.63	0.75	**8.44**
A12	0.00	0.50	1.00	0.50	0.00	0.00	0.40	0.87	0.19	0.00	0.40	0.87	0.50	0.00	**4.17**
A13	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	**2.00**

4.2 Risklerin Ağırlıklandırılması

Muhtemel riskler Tablo 3.2' de verilmiş olan potansiyel sonuçlara göre ikili karşılaştırma yöntemi ile uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Tablo 3.3' deki dilsel ifadelere karşılık gelen bulanık sayılar kullanılmıştır.

Düşen malzeme sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.5' de verilmiştir.

Tablo 4.5 Düşen malzeme sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,1,3)	(5,7,9)	(7,9,9)	(3,5,7)
PS2	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(3,5,7)	(7,9,9)	(1,3,5)
PS3	(0.11,0.14,0.2)	(0.14,0.2,0.33)	(1,1,1)	(3,5,7)	(1,1,0.33)
PS4	(0.11,0.11,0.14)	(0.11,0.11,0.14)	(0.14,0.2,0.33)	(1,1,1)	(0.2,0.14,0.11)
PS5	(0.14,0.2,0.33)	(0.2,0.33,1)	(3,1,1)	(9,7,5)	(1,1,1)

Yüksekten düşme sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.6 Yüksekten düşme sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,1,0.33)	(0.14,0.11,0.11)	(0.33,0.2,0.14)	(0.14,0.11,0.11)
PS2	(3,1,1)	(1,1,1)	(0.14,0.11,0.11)	(1,0.33,20)	(0.14,0.11,0.11)
PS3	(9,9,7)	(9,9,7)	(1,1,1)	(3,5,7)	(0.33,0.2,0.14)
PS4	(9,9,7)	(5,3,1)	(0.14,0.2,0.33)	(1,1,1)	(0.2,0.14,0.11)
PS5	(7,5,3)	(9,9,7)	(7,5,3)	(9,7,5)	(1,1,1)

Alçak mesafeden düşme sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.7 Alçak mesafeden düşme sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,1,3)	(5,7,9)	(7,9,9)	(7,9,9)
PS2	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(3,5,7)	(7,9,9)	(7,9,9)
PS3	(0.11,0.14,0.20)	(0.14,0.20,0.33)	(1,1,1)	(5,7,9)	(5,7,9)
PS4	(0.11,0.14,0.14)	(0.11,0.14,0.14)	(0.11,0.14,0.20)	(1,1,1)	(1,1,3)
PS5	(0.11,0.14,0.14)	(0.11,0.14,0.14)	(0.11,0.14,0.20)	(0.33,1,1)	(1,1,1)

Sivri cisim batması sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.8' de verilmiştir.

Tablo 4.8 Sivri cisim batması sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,1,3)	(1,3,5)	(5,7,9)	(7,9,9)
PS2	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(5,7,9)	(7,9,9)
PS3	(0.20,0.33,1)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(5,7,9)
PS4	(0.11,0.14,0.20)	(0.11,0.14,0.20)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(3,5,7)
PS5	(0.11,0.11,0.14)	(0.11,0.11,0.14)	(0.11,0.14,0.20)	(0.14,0.20,0.33)	(1,1,1)

Uzuv sıkışması sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.9' da verilmiştir.

Tablo 4.9 Uzuv sıkışması sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,1,3)	(1,1,3)	(1,3,5)	(5,7,9)
PS2	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,1,3)	(1,3,5)	(5,7,9)
PS3	(0.33,1,1)	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,1,3)	(3,5,7)
PS4	(0.20,0.33,1)	(0.20,0.33,1)	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(3,5,7)
PS5	(0.11,0.14,0.20)	(0.11,0.14,0.20)	(0.14,0.20,0.33)	(0.14,0.20,0.33)	(1,1,1)

Sıçrayan malzeme sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.10' da verilmiştir.

Tablo 4.10 Sıçrayan malzeme sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,1,3)	(1,1,3)	(3,5,7)	(5,7,9)
PS2	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,1,3)	(3,5,7)	(5,7,9)
PS3	(0.33,1,1)	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)
PS4	(0.14,0.20,0.33)	(0.14,0.20,0.33)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,3,5)
PS5	(0.11,0.14,0.20)	(0.11,0.14,0.20)	(0.14,0.20,0.33)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)

Çarpışma sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.11' de verilmiştir.

Tablo 4.11 Çarpışma sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS	(1,1,1)	(1,1,3)	(1,3,5)	(7,9,9	(5,7,9)
PS	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,1,3)	(7,9,9	(5,7,9)
PS	(0.20,0.33,1)	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(5,7,9	(3,5,7)
PS	(0.11,0.11,0.14)	(0.11,0.11,0.14)	(0.11,0.14,0.20)	(1,1,1	(0.33,0.20,0.14)
PS	(0.11,0.14,0.20)	(0.11,0.14,0.20)	(0.14,0.20,0.33)	(7,5,3	(1,1,1)

Elektrik maruziyeti sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.12' de verilmiştir.

Tablo 4.12 Elektrik maruziyeti sonucu hasar

	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5
PS	(1,1,1)	(3,5,7	(0.33,0.20,0.14)	(1,0.33,0.20)	(0.33,0.20,0.14)
PS	(0.14,0.20,0.33)	(1,1,1	(0.14,0.11,0.11)	(0.33,0.20,0.14)	(0.14,0.11,0.11)
PS	(7,5,3)	(9,9,7	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,0.33,0.20)
PS	(5,3,1)	(7,5,3	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,0.33,0.20)
PS	(7,5,3)	(9,9,7	(5,3,1)	(5,3,1)	(1,1,1)

Patlama sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.13' de verilmiştir.

Tablo 4.13 Patlama sonucu hasar

	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5
PS1	(1,1,1)	(1,1,0.33)	(0.33,0.20,0.14)	(0.20,0.14,0.11)	(0.14,0.11,0.11)
PS2	(3,1,1)	(1,1,1)	(0.33,0.20,0.14)	(0.20,0.14,0.11)	(0.14,0.11,0.11)
PS3	(7,5,3)	(7,5,3)	(1,1,1)	(1,0.33,0.20)	(0.33,0.20,0.14)
PS4	(9,7,5)	(9,7,5)	(5,3,1)	(1,1,1)	(1,0.33,0.20)
PS5	(9,9,7)	(9,9,7)	(7,5,3)	(5,3,1)	(1,1,1)

Yangın sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.14' de verilmiştir.

Tablo 4.14 Yangın sonucu hasar

	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5
PS1	(1,1,1)	(1,1,0.33)	(0.33,0.20,0.14)	(1,1,0.33)	(0.20,0.14,0.11)
PS2	(3,1,1)	(1,1,1)	(0.33,0.20,0.14)	(1,1,0.33)	(0.33,0.20,0.14)
PS3	(7,5,3)	(7,5,3)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,1,0.33)
PS4	(3,1,1)	(3,1,1)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(0.33,0.20,0.14)
PS5	(9,7,5)	(7,5,3)	(3,1,1)	(7,5,3)	(1,1,1)

Araç çarpması sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.15' de verilmiştir.

Tablo 4.15 Araç çarpması sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,1,0.33)	(0.33,0.20,0.14)	(1,1,0.33)	(0.33,0.20,0.14)
PS2	(3,1,1)	(1,1,1)	(0.33,0.20,0.14)	(1,1,0.33)	(0.33,0.20,0.14)
PS3	(7,5,3)	(7,5,3)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,1,0.33)
PS4	(3,1,1)	(3,1,1)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,0.33,0.20)
PS5	(7,5,3)	(7,5,3)	(3,1,1)	(5,3,1)	(1,1,1)

Gürültü maruziyeti sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.16' da verilmiştir.

Tablo 4.16 Gürültü maruziyeti sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**
PS1	(1,1,1)	(5,7,9)	(7,7,9)	(1,3,5)
PS2	(0.11,0.14,0.20)	(1,1,1)	(1,3,5)	(0.33,0.20,0.14)
PS3	(0.11,0.11,0.14)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(0.20,0.14,0.11)
PS4	(0.20,0.33,1)	(3,1,1)	(9,7,5)	(1,1,1)

Titreşim maruziyeti sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.17' de verilmiştir.

Tablo 4.17 Titreşim maruziyeti sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**
PS1	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)
PS2	(0.14,0.20,0.33)	(1,1,1)	(1,3,5)
PS3	(0.20,0.33,1)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)

Hava akımı sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.18 de verilmiştir.

Tablo 4.18 Hava akımı sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**
PS1	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)
PS2	(0.14,0.20,0.33)	(1,1,1)	(1,3,5)
PS3	(0.20,0.33,1)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)

Toz maruziyeti sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.19' da verilmiştir.

Tablo 4.19 Toz maruziyeti sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,7)
PS2	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	(1,3,5)
PS3	(0.14,0.20,0.33)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,1,3)
PS4	(0.11,0.14,0.20)	(0.14,0.20,0.33)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,0.33,0.20)
PS5	(0.14,0.20,0.33)	(0.20,0.33,1)	(0.33,1,1)	(5,3,1)	(1,1,1)

Kimyasal maruziyeti sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.20' de verilmiştir.

Tablo 4.20 Kimyasal maruziyeti sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,1,3)	(1,1,3)	(3,5,7)	(1,3,5)
PS2	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,1,3)	(3,5,7)	(1,3,5)
PS3	(0.33,1,1)	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1,1,3)
PS4	(0.14,0.20,0.33)	(0.14,0.20,0.33)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,0.33,0.20)
PS5	(0.20,0.33,1)	(0.20,0.33,1)	(0.33,1,1)	(5,3,1)	(1,1,1)

Radyasyon maruziyeti sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.21' de verilmiştir.

Tablo 4.21 Radyasyon maruziyeti sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)
PS2	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,1,3)	(1,1,3)	(1,1,3)
PS3	(0.14,0.20,0.33)	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,1,3)	(1,1,0.33)
PS4	(0.14,0.20,0.33)	(0.33,1,1)	(0.33,1,1)	(1,1,1)	(1,1,0.33)
PS5	(0.14,0.20,0.33)	(0.33,1,1)	(3,1,1)	(3,1,1)	(1,1,1)

Bulaşıcı hastalık sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.22' de verilmiştir.

Tablo 4.22 Bulaşıcı hastalık sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**	**PS4**	**PS5**
PS1	(1,1,1)	(0.20,0.14,0.11)	(0.20,0.14,0.11)	(1,1,0.33)	(1,0.33,0.20)
PS2	(9,7,5)	(1,1,1)	(1,1,0.33)	(5,7,9)	(1,3,5)
PS3	(9,7,5)	(3,1,1)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1,3,5)
PS4	(3,1,1)	(0.11,0.14,0.20)	(0.11,0.14,0.20)	(1,1,1)	(1,0.33,0.20)
PS5	(5,3,1)	(0.20,0.33,1)	(0.20,0.33,1)	(5,3,1)	(1,1,1)

Yıldırım düşmesi sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.23' de verilmiştir.

Tablo 4.23 Yıldırım düşmesi sonucu hasar

	PS3	**PS4**	**PS5**
PS3	(1,1,1)	(1,1,0.33)	(0.14,0.11,0.11)
PS4	(3,1,1)	(1,1,1)	(0.14,0.11,0.11)
PS5	(9,9,7)	(9,9,7)	(1,1,1)

Ergonomik problemler sonucu hasar riski için oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4.24' de verilmiştir.

Tablo 4.24 Ergonomik problemler sonucu hasar

	PS1	**PS2**	**PS3**
PS1	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)
PS2	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)	(1,3,5)
PS3	(0.14,0.20,0.33)	(0.20,0.33,1)	(1,1,1)

Oluşturulan matrisler, Eşitlik 11, 12 ve 13 kullanılarak her bir risk için potansiyel hasar ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen ağırlıklar Eşitlik 14 kullanılarak her bir riskin nihai ağırlık skoru (RS_i) elde edilmiş ve Tablo 4.25' de verilmiştir.

Tablo 4.25 Ağırlıklandırılmış risk skorları

Risk	PS1	PS2	PS3	PS4	PS5	RS_i
R1	0.45	0.32	0.08	0.03	0.12	**3.103**
R2	0.04	0.05	0.27	0.1	0.55	**7.740**
R3	0.44	0.36	0.13	0.04	0.03	**2.599**
R4	0.39	0.33	0.18	0.07	0.03	**2.933**
R5	0.33	0.28	0.2	0.15	0.04	**3.524**
R6	0.35	0.3	0.22	0.09	0.04	**3.272**
R7	0.4	0.3	0.22	0.03	0.06	**3.022**
R8	0.09	0.03	0.28	0.16	0.45	**7.205**
R9	0.04	0.05	0.15	0.29	0.48	**7.843**
R10	0.07	0.08	0.3	0.1	0.45	**7.035**
R11	0.08	0.09	0.31	0.13	0.4	**6.803**
R12	0.6	0.05	0.04	0.32	1	**3.290**
R13	0.6	0.29	0.12			**1.900**
R14	0.6	0.29	0.12			**1.900**
R15	0.48	0.26	0.13	0.05	0.09	**3.015**
R16	0.34	0.29	0.2	0.06	0.12	**3.705**
R17	0.51	0.19	0.1	0.09	0.11	**3.310**
R18	0.05	0.34	0.4	0.06	0.14	**4.790**
R19	0.09	0.11	0.8			**4.370**
R20	0.6	0.29	0.12			**1.900**

4.3 Risklerin Etki Skorlarının Belirlenmesi

Risklerin birbirleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla uzmanların değerlendirmeleriyle Tablo 4.26' da verilen direkt ilişki matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 4.26 Direkt ilişki matrisi

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
R1	0	1	2	2	2	0	0	0	1	1	0	2	1	0	2	1	0	0	0	1
R2	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
R3	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
R4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0
R5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
R6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
R7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1
R8	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R9	2	2	2	2	2	2	1	1	0	3	0	2	1	0	2	2	1	0	0	2
R10	1	1	1	1	1	1	1	1	3	0	0	1	1	0	1	2	1	0	0	1
R11	0	1	1	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2
R12	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
R13	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
R14	1	1	1	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
R15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
R16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
R17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
R19	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	2	2	0	1	1	1	0	0	1
R20	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Eşitlik 16 kullanılaraak normalleştirilen direkt ilişki matrisi Tablo 4.27' de verilmiştir.

Tablo 4.27 Normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi

0.00	0.04	0.07	0.07	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.07	0.04	0.00	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04
0.04	0.00	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04
0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.04
0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04	0.04	0.00	0.11	0.00	0.07	0.04	0.00	0.07	0.07	0.04	0.00	0.00	0.07
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.11	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.07	0.04	0.00	0.00	0.04
0.00	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.04	0.04	0.00	0.07	0.07	0.00	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.04
0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Daha sonra Eşitlik 17 uygulanarak toplam ilişki matrisi oluşturulmuş ve Tablo 4.28' de verilmiştir.

Tablo 4.28 Toplam ilişki matrisi

0.01	0.05	0.09	0.09	0.09	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.00	0.08	0.05	0.00	0.09	0.06	0.00	0.01	0.00	0.06
0.04	0.01	0.05	0.05	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05
0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.04
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04
0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05
0.00	0.04	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.07	0.00	0.04
0.01	0.04	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	0.08	0.05	0.05	0.03	0.12	0.00	0.10	0.05	0.00	0.10	0.11	0.04	0.01	0.00	0.11
0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.12	0.02	0.00	0.06	0.05	0.00	0.06	0.10	0.04	0.01	0.00	0.06
0.01	0.05	0.05	0.05	0.04	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.01	0.00	0.08
0.00	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
0.00	0.04	0.04	0.01	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
0.05	0.05	0.05	0.01	0.01	0.08	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05	0.05	0.00	0.04	0.00	0.05
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05	0.08	0.05	0.05	0.00	0.09	0.09	0.00	0.05	0.06	0.04	0.01	0.00	0.06
0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01

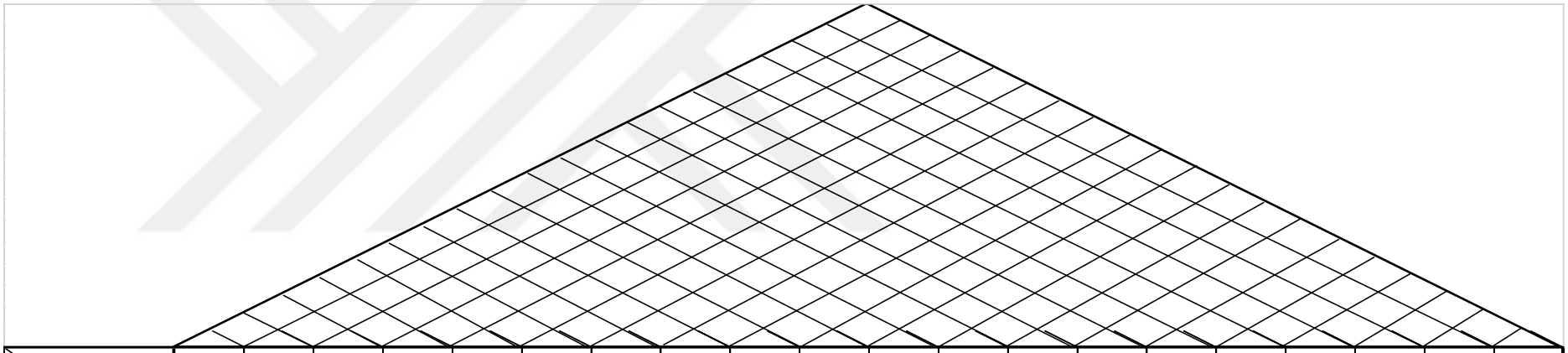
Toplam ilişki matrisinin satırları toplanarak R_i, sütunları toplanarak C_i değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerlere Eşitlik 18 ve 19 uygulanarak etki ağırlık skorları (ES_i) hesaplanmış ve Tablo 4.29' da verilmiştir.

Tablo 4.29 Etki ağırlık skorları

	R	C	R+C	R-C	w	ES_i
R1	0.79	0.41	1.20	0.39	1.26	**6.81**
R2	0.43	0.64	1.07	-0.21	1.09	**5.90**
R3	0.27	0.75	1.02	-0.48	1.13	**6.10**
R4	0.17	0.63	0.80	-0.47	0.93	**5.01**
R5	0.18	0.58	0.76	-0.40	0.85	**4.61**
R6	0.43	0.33	0.76	0.10	0.77	**4.15**
R7	0.28	0.33	0.61	-0.06	0.61	**3.32**
R8	0.26	0.30	0.56	-0.04	0.56	**3.02**
R9	1.37	0.42	1.78	0.95	2.02	**10.91**
R10	0.97	0.40	1.37	0.57	1.48	**8.00**
R11	0.46	0.05	0.51	0.41	0.66	**3.55**
R12	0.19	0.53	0.73	-0.34	0.80	**4.33**
R13	0.24	0.35	0.59	-0.11	0.60	**3.22**
R14	0.52	0.00	0.52	0.52	0.73	**3.96**
R15	0.18	0.61	0.79	-0.44	0.90	**4.87**
R16	0.20	0.73	0.94	-0.53	1.08	**5.81**
R17	0.00	0.14	0.14	-0.14	0.20	**1.08**
R18	0.04	0.26	0.30	-0.21	0.37	**1.99**
R19	0.96	0.00	0.96	0.96	1.36	**7.33**
R20	0.25	0.75	1.00	-0.50	1.12	**6.04**

4.4 Ağırlıklandırılmış Risk Skorlarının Hesaplanması

Elde edilen tüm veriler ile Şekil 4.1' de verilen "Güvenlik Evi" oluşturulmuştur. Eşitlik 20 ve 21 uygulanarak ağırlıklandırılmış risk skorları (ARS_i) elde edilmiştir.



		6,8076	5,9005	6,1016	5,0136	4,6116	4,1454	3,3166	3,0181	10,907	7,9976	3,5505	4,3299	3,2177	3,9619	4,8688	5,8129	1,0779	1,9909	7,3268	6,0431
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20
		3,103	7,740	2,599	2,933	3,524	3,272	3,022	7,205	7,843	7,035	6,803	3,290	1,900	1,900	3,015	3,705	3,310	4,790	4,370	1,900
A1	5,990	3		3	3	1	9	3	3	1	1	3	3	3	3	3	1		1	1	3
A2	4,610	9	9	3	3	3	3	3	3	1	3	1	3	3	3	3	1		1	1	3
A3	4,210	3	3	3	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	3	3	1	1	1	1	3
A4	2,810	1	1	3			3	1	1	3	3	3	3	3	1	3	1	1	1	1	3
A5	2,640	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	1	3	1	3	3	1		1	1	3
A6	4,340	9	9	3	3	3	1	1	1	1	1		3	1	1	1	3		1	1	3
A7	2,640	3	1	1	1	1	1	1	3		1		1	1	1	1	3	1	1	1	3
A8	6,540	3	3	3	3	3	3	1	3	1	1	1	3	3	1	3	9	3	1		3
A9	7,440	3	3	3	3	3	3	1	3	1	1	1	3	1	3	3	1	1	1	1	3
A10	8,090	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	1	3	1	1	3	1	3	1	1	3
A11	8,440	3	3	3	3	3	3	3	9	3	3	1	1	1	1	3	1	1	1	1	3
A12	4,170	3	1	3	3	3	3	3	1	1	1	3	3	3	3	3	1		1	1	3
A13	2,000	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1
AI		**4982**	**9237**	**2894**	**2436**	**2634**	**2845**	**1405**	**4509**	**7167**	**6588**	**2205**	**2359**	**737,2**	**918,7**	**2551**	**2804**	**247,7**	**609,6**	**1773**	**2156**
RI		**8,16**	**15,13**	**4,74**	**3,99**	**4,31**	**4,66**	**2,30**	**7,38**	**11,74**	**10,79**	**3,61**	**3,86**	**1,21**	**1,50**	**4,18**	**4,59**	**0,41**	**1,00**	**2,90**	**3,53**

Şekil 4.1 Güvenlik evi 1. aşama

4.5 Ağırlıklandırılmış Önlem Skorlarının Hesaplanması

Ağırlıklandırılmış risk skorları (ARS_i) ve Tablo 4.30' da verilen önlemler ile Şekil 4.2' de verilen "Güvenlik Evi" nin 2. aşaması oluşturulmuştur. Eşitlik 22 ve 23 uygulanarak ağırlıklandırılmış önlem skorları ($ARÖ_i$) elde edilmiştir.

Tablo 4.30 Önlemler

ÖNLEMLER	
Ö1	Çalışma Ortamında Müdahale
Ö2	Çevresel Tedbirler
Ö3	KKD Kullanımı
Ö4	Uyarı İşaretlerinin Kullanımı
Ö5	Eğitimlerin Arttırılması
Ö6	Denetimin Arttırılması
Ö7	Çalışanlar Arası İletişimin Sağlanması
Ö8	Periyodik Kontrol ve Bakımların Yapılması
Ö9	Ekipmanlar Üzerinde Koruyucu Önlemlerin Alınması

		Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5	Ö6	Ö7	Ö8	Ö9
R1	9,970	9	3	3	3		3	1		
R2	20,980	9	3	9	3	9	3			
R3	3,950	3	3	3	3	1	1	3		
R4	3,780	9	1	9	1	3	1	1	1	3
R5	4,170	9	3	9	3	3	3	1	3	9
R6	4,600	3	3	3	1	3	1	1	1	3
R7	2,840	9	3	3	9	3	1	3		3
R8	5,750	9	1	9	3	3	3	1	3	9
R9	8,930	9	9		3	3	3	3	3	3
R10	11,760	9	9	3	3	3	3	3	3	3
R11	4,210	9	9	3	9	3	1	3		3
R12	3,180	9	3	9	3	9	9		1	3
R13	0,700	9	3	1	3	3	3			3
R14	1,370	3	3	3	3	3	3	1		
R15	3,340	9	3	9	3	9	9		1	3
R16	3,540	9	3	9	9	3	3	1	1	1
R17	0,300	3	3	9	9	3	3	1	1	3
R18	0,950	9	9	3	3	3	3	3		
R19	2,350	9	9	3				3		9
R20	3,340	9				9	9	3		
Mutlak Önem Derecesi		**838,8**	**440,2**	**532,1**	**331,5**	**440,2**	**313,4**	**148,5**	**110,6**	**244,9**
Bağıl Önem Derecesi		**0,247**	**0,129**	**0,156**	**0,098**	**0,129**	**0,092**	**0,044**	**0,033**	**0,072**

Şekil 4.2 Güvenlik evi 2. aşama

4.6. Önerilen Yöntemin Konvansiyonel Yöntemle Kıyaslanması

Endüstride iş sağlığı ve güvenliği risklerinin değerlendirilmesi amacı ile en çok kullanılan yöntemler skorlama tabanlı yöntemlerdir. Bu yöntemlerin en basit ve en çok tercih edileni "L Tipi (5x5) Matris" yöntemidir. Önerilen yöntemi değerlendiren uzmanlardan oluşan aynı ekip L Tipi Matris yöntemi ile de aynı saha için değerlendirme gerçekleştirmiş ve sonuçlar Tablo 4.31' den Tablo 4.43' e kadar listelenmiştir.

Tablo 4.31 Kazı işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A1	R1	2	3	6
	R2	1	4	4
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	4	3	12
	R7	2	3	6
	R8	2	5	10
	R9	2	5	10
	R10	2	4	8
	R11	2	4	8
	R12	3	3	9
	R13	3	2	6
	R14	3	2	6
	R15	4	2	8
	R16	2	3	6
	R17	1	2	2
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.32 Delme işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A2	R1	2	3	6
	R2	2	5	10
	R3	2	3	6
	R4	3	3	9
	R5	3	3	9
	R6	3	3	9
	R7	1	3	3
	R8	2	5	10
	R9	2	5	10
	R10	2	4	8
	R11	2	4	8
	R12	3	3	9
	R13	3	2	6
	R14	3	2	6
	R15	3	2	6
	R16	2	3	6
	R17	1	2	2
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.33 Nakliye işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A3	R1	3	3	9
	R2	2	5	10
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	2	3	6
	R7	2	3	6
	R8	1	5	5
	R9	2	5	10
	R10	2	4	8
	R11	3	4	12
	R12	2	3	6
	R13	2	2	4
	R14	2	2	4
	R15	3	2	6
	R16	2	3	6
	R17	1	2	2
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.34 Patlatma işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A4	R1	2	3	6
	R2	1	5	5
	R3	2	3	6
	R4	1	3	3
	R5	1	3	3
	R6	4	4	16
	R7	1	3	3
	R8	1	5	5
	R9	3	5	15
	R10	3	4	12
	R11	1	4	4
	R12	4	3	12
	R13	3	2	6
	R14	2	2	4
	R15	3	2	6
	R16	2	3	6
	R17	2	2	4
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.35 Yükleme işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A5	R1	3	3	9
	R2	1	5	5
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	2	3	6
	R7	2	3	6
	R8	1	5	5
	R9	1	5	5
	R10	1	4	4
	R11	3	4	12
	R12	2	3	6
	R13	2	2	4
	R14	2	2	4
	R15	3	2	6
	R16	2	3	6
	R17	1	2	2
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.36 Tahkimat işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A6	R1	3	3	9
	R2	3	5	15
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	1	3	3
	R7	1	3	3
	R8	2	5	10
	R9	1	5	5
	R10	1	4	4
	R11	1	4	4
	R12	2	3	6
	R13	2	2	4
	R14	1	2	2
	R15	2	2	4
	R16	3	3	9
	R17	1	2	2
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.37 Su atımı işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A7	R1	3	4	12
	R2	1	5	5
	R3	2	3	6
	R4	1	3	3
	R5	1	3	3
	R6	1	3	3
	R7	1	3	3
	R8	2	5	10
	R9	1	5	5
	R10	1	4	4
	R11	1	4	4
	R12	2	3	6
	R13	2	2	4
	R14	1	2	2
	R15	1	2	2
	R16	3	3	9
	R17	1	2	2
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.38 Cevher zenginleştirme işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A8	R1	3	3	9
	R2	2	4	8
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	2	3	6
	R7	1	3	3
	R8	2	5	10
	R9	1	5	5
	R10	1	4	4
	R11	1	4	4
	R12	2	3	6
	R13	2	2	4
	R14	1	2	2
	R15	2	2	4
	R16	3	3	9
	R17	2	2	4
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.39 İnce işler için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A9	R1	3	3	9
	R2	3	4	12
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	2	3	6
	R7	1	3	3
	R8	2	5	10
	R9	1	5	5
	R10	1	4	4
	R11	1	4	4
	R12	2	3	6
	R13	2	2	4
	R14	2	2	4
	R15	2	2	4
	R16	3	3	9
	R17	1	2	2
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.40 Mekanik işler için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A10	R1	2	3	6
	R2	2	4	8
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	2	3	6
	R7	1	3	3
	R8	2	5	10
	R9	1	5	5
	R10	2	4	8
	R11	1	4	4
	R12	3	3	9
	R13	3	2	6
	R14	2	2	4
	R15	3	2	6
	R16	2	3	6
	R17	2	2	4
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.41 Elektrik işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A11	R1	2	3	6
	R2	2	4	8
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	2	3	6
	R7	1	3	3
	R8	3	5	15
	R9	1	5	5
	R10	2	4	8
	R11	1	4	4
	R12	2	3	6
	R13	2	2	4
	R14	2	2	4
	R15	2	2	4
	R16	2	3	6
	R17	2	2	4
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.42 Zemin işleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A12	R1	3	3	9
	R2	2	4	8
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	2	3	6
	R7	2	3	6
	R8	2	5	10
	R9	1	5	5
	R10	2	4	8
	R11	2	4	8
	R12	2	3	6
	R13	2	2	4
	R14	2	2	4
	R15	2	2	4
	R16	2	3	6
	R17	1	2	2
	R18	1	3	3
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tablo 4.43 Destek hizmetleri için değerlendirmeler

		Olasılık	Şiddet	RÖS
A13	R1	1	3	3
	R2	1	4	4
	R3	2	3	6
	R4	2	3	6
	R5	2	3	6
	R6	1	3	3
	R7	2	3	6
	R8	2	5	10
	R9	1	5	5
	R10	2	4	8
	R11	2	4	8
	R12	2	3	6
	R13	2	2	4
	R14	2	2	4
	R15	2	2	4
	R16	2	3	6
	R17	1	2	2
	R18	2	3	6
	R19	1	5	5
	R20	2	3	6

Tüm değerlendirmeler sonucunda elde edilen risk önem skorlarının tüm aktivitelerdeki değerlerinin ortalamaları alındı ve bağıl önem dereceleri belirlendi. Her bir riskin ağırlıklı önem dereceleri Tablo 4.44' de verilmiştir.

Tablo 4.44 L tipi Matris yöntemi ile değerlendirilen risklerin nihai önem dereceleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	R_{ort}	$R_{bağıl}$
R1	6	6	9	6	9	9	12	9	9	6	6	9	3	7,62	6,47
R2	4	10	10	5	5	15	5	8	12	8	8	8	4	7,85	6,67
R3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6,00	5,10
R4	6	9	6	3	6	6	3	6	6	6	6	6	6	5,77	4,91
R5	6	9	6	3	6	6	3	6	6	6	6	6	6	5,77	4,91
R6	12	9	6	16	6	3	3	6	6	6	6	6	3	6,77	5,76
R7	6	3	6	3	6	3	3	3	3	3	3	6	6	4,15	3,53
R8	10	10	5	5	5	10	10	10	10	10	15	10	10	9,23	7,85
R9	10	10	10	15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6,92	5,89
R10	8	8	8	12	4	4	4	4	4	8	8	8	8	6,77	5,76
R11	8	8	12	4	12	4	4	4	4	4	4	8	8	6,46	5,49
R12	9	9	6	12	6	6	6	6	6	9	6	6	6	7,15	6,08
R13	6	6	4	6	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4,62	3,92
R14	6	6	4	4	4	2	2	2	4	4	4	4	4	3,85	3,27
R15	8	6	6	6	6	4	2	4	4	6	4	4	4	4,92	4,19
R16	6	6	6	6	6	9	9	9	9	6	6	6	6	6,92	5,89
R17	2	2	2	4	2	2	2	4	2	4	4	2	2	2,62	2,22
R18	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3,23	2,75
R19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5,00	4,25
R20	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6,00	5,10

L Tipi Matris yöntemi ile yapılan uzman değerlendirmelerindeki risk öncelik sıralaması; R8 > R2 > R1 > R12 > R9 = R16 > R6 = R10 > R11 > R3 = R20 > R4 = R5 > R19 > R15 > R13 > R7 > R14 > R18 > R17 şeklinde belirlenmiştir.

Önerilen yöntem ile yapılan uzman değerlendirmelerindeki risk öncelik sıralaması; R2 > R9 > R10 > R1 > R8 > R3 > R6 > R16 > R5 > R15 > R4 > R12 > R11 > R20 > R19 > R7 > R14 > R13 > R18 > R17 şeklinde belirlenmiştir.

Açık taş ocaklarında maruz kalınması en muhtemel riskler, yüksekten düşme, malzeme düşmesi, sıçrayan cisim, titreşim, gürültü ve patlama sonucu hasardır [10].

Bunun nedenleri irdelendiğinde, açık işletme taş ocakları genellikle delme, patlatma ve yükleme şeklinde üretim prensibine sahiptir.

L Tipi Matris yöntemi ile elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntem daha tutarlı sonuçlar ortaya koymuştur. Matris yönteminin kısıtlı ifade aralıkları ve uzmanları en muhtemel sonuca yönlendirmesi bunun temel sebebidir. Matris yöntemi kolay uygulanabilirliğinden dolayı oldukça sık tercih edilir ancak yalnızca basit skorlamalar içeren ve hiçbir ekstra parametreyi ve etkileşimleri hesaba katmayan bir yöntemdir. Bu doğrultuda ortaya koyduğu en önemli risk elektrik maruziyeti olmuştur. Halbuki, açık işletmelerde elektrik örneğin su baskını ve elektrik kaçağının bir araya geldiği gibi durumlarda düşük olasılıklarda etkili hasar potansiyeline sahiptir. Uygulanan en baz matris yönteminde bu durumlar hesaba katılmadığı için ve elektrik maruziyetinin en olası sonucunun ölüm olmasından dolayı diğer tüm parametre ve etkileşimler ihmal edilir. Bu da sistem geneline bakıldığında ortalama bir riski en önemli risk haline getirmiştir.

Önerilen yöntem tüm parametrelere etki eden faktörleri ve tüm etkileşimleri hesaba dahil ettiği için daha tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. En önemli risk faktörü olarak belirlenen yüksekten düşme sonucu hasar, açık taş ocaklarında kaymaları önlemek amacı ile ortalama 15 metreyi bulan basamak geometrisinin uygulandığı ve kontrol merkezi oldukça yüksekte bulunan iş makinelerinin kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda oldukça tutarlıdır. Patlatma ana üretim yöntemi olduğu için yüksekten düşme ile ilgili tüm faktörleri de tetikleyebilir. Ayrıca 2. Önemli risk olan patlama sonucu hasar da patlatma ile üretim yapılan bir tesis için mantıklı bir değerlendirmedir.

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde olasılık ve şiddet parametrelerine dayalı olarak risk büyüklüğünü elde eden birçok yöntem bulunmaktadır. Bu parametrelere ek olarak Fine-Kinney ve FMEA yöntemlerinde sırasıyla frekans ve saptanabilirlik parametreleri kullanılmaktadır. Ayrıca L Tipi Matris, Fine-Kinney ve FMEA madencilik sektöründe risk analizi ve risk değerlendirmesi için en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler, her bir risk faktörü için ayrı ayrı risk büyüklüğü sağlamak için iyi çalışsa da, faaliyetler arasındaki karşılıklı bağımlılıkların olduğu madencilik sektörü gibi faaliyetler arası etkileşimin yüksek olduğu çalışmalarda genel riski analiz etmekten uzaktır. Ayrıca, geleneksel risk analizi yöntemleri, herhangi bir risk faktörünün yalnızca potansiyel sonucunu dikkate alır. Oysa herhangi bir risk faktörünün potansiyel sonucu, farklı olasılıklara bağlı olarak farklı sonuçları olabilir. Bunun için bu çalışma kapsamında yukarıda tanımlanan eksikliklerin üstesinden gelmek için KFY, bulanık AHP, DEMATEL ve bulanık çıkarım sistemi gibi teknikleri içeren "Güvenlik Evi" olarak adlandırılan yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, risk büyüklükleri için risklerin tüm potansiyel çıktılarını içeren faaliyetler ve potansiyel riskler arasındaki etkileşimleri dikkate alır. Ayrıca önerilen yöntemde önlem ve riskleri ilişkilendiren ikinci ev, hangi risk üzerinde hangi önlemin doğrudan veya dolaylı etkisinin gözlemlenmesini sağladığından risk kontrol prensiplerinin etkin olarak uygulanmasına önemli katkı sağlamıştır.

Önerilen yöntemin etkinliğini değerlendirmek için, açık işletme maden sahasında bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Yöntemin etkinliğini ortaya koymak için aynı uygulama geleneksel yöntemler kullanılarak risk değerlendirmesi tekrarlanmıştır. Aynı uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelerde mevcut yöntemlerden önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Örneğin klasik yöntem kullanılarak yapılan değerlendirmede en önemli risk faktörü "Elektrik Maruziyeti Sonucu Hasar" olarak belirlenmiştir. Ancak önerilen yöntemde "Yüksekten Düşme Sonucu Hasar" en önemli risk faktörü olarak belirlenmiştir. Bu, çok sınırlı bir seçenek sunan ve birçok parametreyi ihmal eden geleneksel yöntemlerin bir sonucudur. Çünkü elektriğe

maruz kalmanın en olası sonucu ölümdür. Risk puanı da bu doğrultuda oldukça yüksek elde edilmiştir. Bu durum, en olası sonucu yüksek hasar potansiyelli herhangi bir riskin gerçekleşme olasılığı ne olursa olsun öncelikli hale gelmesini sağlar. Önerilen yöntemde elde edilen sonuç ise tüm olasılıkları göz önünde bulundurarak bir değerlendirme sunduğu için değerlendirilen alan için daha mantıklıdır. Dolayısıyla, önerilen yöntemin sunduğu ifade özgürlüğü, uzmanların mantıksal yargılarıyla daha tutarlı sonuçlar vermiştir. Diğer bir ifadeyle önerilen yöntem, faaliyetler arası etkileşimler ile çalışma ortamındaki tüm potansiyel risklerin etkileşimlerini ve olası tüm sonuçları dahil ederek sonuç üretir. Bu doğrultuda çalışma devam ederken aşama aşama uluslararası hakemli bilimsel platformlara sunulmuş ve kabul görmüştür [78-81].

Sonuç olarak önerilen yaklaşımın başlıca avantajları ve özgün yönleri şu şekildedir.

- Önerilen yaklaşım, risk büyüklüğünü hesaplarken çalışma ortamındaki faaliyetler arasındaki karşılıklı bağımlılıkları dikkate alır. Ancak, geleneksel risk analizi yöntemleri karşılıklı bağımlılıkları dikkate alamaz.
- Önerilen yaklaşım, herhangi bir riskin tüm potansiyel sonuçlarına dayalı olarak risk büyüklüklerini hesaplar. Bununla birlikte, geleneksel risk analizi yöntemleri yalnızca en olası sonucu dikkate alır.
- Önerilen yaklaşım, karar sürecinde insan yargılarının daha iyi yansıtılmasını sağlamak için bulanık çıkarım sistemini içermektedir. Dolayısıyla bu, elde edilen sonuç üzerinde hassasiyet sağlar. Ancak konvansiyonel risk değerlendirme yöntemleri kategorik veri setine dayalı olarak çalışmaktadır. Bu nedenle bu yöntemler hassasiyetten uzaktır.
- Değerlendirme sürecinde öznel faktörlerin etkisinin fazla olması nedeniyle geleneksel yöntemler uygulandığında, analistlerin değerlendirmelerine bağlı olarak, aynı değerlendirme için çok farklı sonuçlar elde etmek mümkündür. Ancak önerilen "Güvenlik Evi" yönteminde detaylı bir ilişkilendirme yapılarak öznel değerlendirmeler minimuma indirildiği için gerçek risk ağırlıklarını hesaplamak mümkündür.

- Önerilen yöntemin etkinliğini değerlendirmek amacıyla karmaşık ve tehlikeli iş kollarını içeren uygulama yapılmış olsa da yöntem belirli bir sektöre özgü olmadığı için çalışma ortamındaki riskleri analiz etmek için herhangi bir sektör için kolaylıkla uygulanabilir.

Önerilen yöntemin sınırlaması, sistemin çalışma ortamındaki sensörlerden veri toplamak yerine yalnızca uzman kararlarına bağlı olarak çalışmasıdır. Daha fazla araştırma için, önerilen yöntem önlemlerin bir fayda-maliyet analizi eklenerek genişletilebilir. Ayrıca uzman kararlarındaki belirsizliği ve tereddütü analiz etmek için, önerilen yaklaşım, sezgisel bulanık, tereddütlü bulanık, tip-2 bulanık, Pisagor bulanık küme veya nötrosofik kümeler gibi bulanık küme teorisinin uzantıları kullanılarak geliştirilebilir.

Kaynakça

[1]. T. Boyle, "Health and Safety: Risk Management," 2002.

[2]. M. Rausand, "Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications," 2011.

[3]. P.K. Marhavilas, D. Koulouriotis, and V. Gemeni, "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, vol. 24, pp. 477-523, 2011.

[4]. D. Hubbards, and D. Evans, "Problems with Scoring Methods and Ordinal Scales in Risk Assessment," IBM Journal of Research and Development, vol. 54, no. 3, 2010.

[5]. S. Mehdevari, K. Shahriar, and A. Esfahanipour, "Human Health and Safety Risks Management in Underground Coal Mines Using Fuzzy TOPSIS," Science of the Total Environment, vol. 488-489, pp. 85-99, 2014.

[6]. G.E. Gürcanlı, S. Bilir, and M. Sevim, "Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects," Safety Science, vol. 80, pp. 1-12, 2015.

[7]. V. Souza, N.M Almeida, and L.A. Dias, "Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry – Part 2: Quantitative model," Safety Science, vol. 74, pp. 184-194, 2015.

[8]. T. Akpınar, and B.Y. Çakmakkaya, "İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından İşverenlerin Risk Değerlendirme Yükümlülüğü," Çalışma ve Toplum Dergisi, vol. 1, 2014.

[9]. V. Seber, "İşçi Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Analizleri Nasıl Yapılır?", Elektrik Mühendisliği Dergisi, vol. 445, 2012.

[10]. G.F. Kinney, "Practical Risk Analysis for Safety Management," Calhoun: The NPS Institutional Archive, China Lake, CA: Naval Weapons Center, 1976.

[11]. N. Xiao, H.Z. Huang, Y. Lİ, L. He, and T. Jin, "Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA," Engineering Failure Analysis, vol. 18, no. 4, pp. 1162-1170, 2011.

[12]. ILO (International Labour Office), "International Chemical Control Toolkit, Programme on Safety and Health at Work and the Envıronment, Safework," 2018.

[13]. A. Silvestri, F. De Felice, and A. Petrillo, "Multi-Criteria Risk Analysis to Improve Safety in Manufacturing Systems," International Journal of Production Research, vol. 50, no.17, 2012.

[14]. G.E. Gurcanlı, and U. Mungen, “An Occupational Safety Risk Analysis Method at Construction Sites Using Fuzzy Sets,” International Journal of Industrial Ergonomics, vol. 39, no. 2, pp. 371-387, 2009.

[15]. P. Darling, “SME Mining Engineering Handbook, Third Edition,” 2011.

[16]. ILO (International Labour Office), https://ilostat.ilo.org/ Erişim Tarihi: 21.03.2021

[17]. H. Ceylan, “Analysis of Occupational Accidents According to The Sectors in Turkey,” Gazi University Journal of Science, vol. 25, no. 4, pp. 909-918, 2012.

[18]. ÇASGEM, “Madencilik Sektöründe İş Kazaları,” 2018.

[19]. N. Bilim, S. Dündar, and A. Bilim, “Ülkemizdeki Maden Sektöründe Meydana Gelen İş Kazası ve Meslek Hastalıklarının Analizi,” BEU Journal of Science, vol. 7, no. 2, pp. 423-432, 2018.

[20]. TMMOB Maden Mühendisleri Odası, “Madencilikte Yaşanan İş Kazaları Raporu,” 2010.

[21]. M. Jahangoshai Rezaee, "Risk analysis of health, safety and environment in chemical industry integrating linguistic FMEA, fuzzy inference system and fuzzy DEA," Stoch Environ Res Risk Assess, vol. 34, pp. 201–218, 2020.

[22]. A. Jamshidi, A. Yazdani-Chamzini, S.H. Yakhchali, and S. Khaleghi, "Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 26, no.1, pp. 197-208, 2013.

[23]. H. Kim, K. Kim, and H. Kim, "Vision-Based Object-Centric Safety Assessment Using Fuzzy Inference: Monitoring Struck-By Accidents with Moving Objects," Journal of Computing in Civil Engineering, vol. 30, no.4, 2016.

[24]. E. Ilbahar, A. Karaşan, S. Cebi, and C. Kahraman, "A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system," Safety Science, vol. 103, pp. 124-136, 2018.

[25]. J. Debnath, "Fuzzy inference model for assessing occupational risks in construction sites," International Journal of Industrial Ergonomics, vol. 55, pp. 114-128, 2016.

[26]. R.M.C. Ratnayake, "Application of a fuzzy inference system for functional failure risk rank estimation: RBM of rotating equipment and instrumentation," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 29, pp. 216-224, 2014.

[27]. A.C.F. Guimarães, and C.M.F. Lapa, "Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems," Applied Soft Computing, vol. 7, no.1, pp. 17-28., 2007.

[28]. Y.M. Wang, and T.M.S. Elhag, "An adaptive neuro-fuzzy inference system for bridge risk assessment," Expert Systems with Applications, vol. 34, no. 4, pp. 3099-3106, 2008.

[29]. F. Camastra, "A fuzzy decision system for genetically modified plant environmental risk assessment using Mamdani inference," Expert Systems with Applications, vol. 42, no.3, pp. 1710-1716, 2015.

[30]. M. Ebrat, and R. Ghodsi, "Construction Project Risk Assessment by using Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System: An Empirical Study," KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 18, no. 5, pp. 1213-1227, 2014.

[31]. T.N. Tsai, and J.H. Yeh, "Identification and risk assessment of soldering failure sources using a hybrid failure mode and effect analysis model and a fuzzy inference system," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 28, no.6, pp. 2771-2784, 2015.

[32]. A.F. Guneri, M. Gul, and S. Ozgurler, "A fuzzy AHP methodology for selection of risk assessment methods in occupational safety," International Journal of Risk Assessment and Management, vol. 18, no. 3-4, pp. 319-335, 2015.

[33]. Y. Ozdemir, M. Gul, and E. Celik, "Assessment of occupational hazards and associated risks in fuzzy environment: A case study of a university chemical laboratory," Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, vol. 23, no.4, pp. 895-924, 2017.

[34]. A. Basahel, and O. Taylan, "Using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS approaches for assessing safety conditions at worksites in construction industry," International Journal of Safety and Security Engineering, vol. 6, no. 4, pp. 728-745, 2016.

[35]. M. Gul, M.F. Ak, and A.F. Guneri, "Occupational health and safety risk assessment in hospitals: A case study using two-stage fuzzy multi-criteria approach," Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, vol. 23, no. 2, pp. 187-202, 2017.

[36]. S.Z. Seker, and E.K. Zavadskas, "Application of Fuzzy DEMATEL Method for Analyzing Occupational Risks on Construction Sites," Sustainability, vol. 9, no.11, pp. 2083-2101, 2017.

[37]. K. Karuppiah, B. Sankaranarayanan, and S.M. Ali, "A fuzzy ANP–DEMATEL model on faulty behavior risks: implications for improving safety in the workplace," International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, pub. online, 2020.

[38]. I.M. Uzun, and S. Cebi, "A novel approach for classification of occupational health and safety measures based on their effectiveness by using fuzzy kano model," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 38, no. 1, pp. 589-600, 2020.

[39]. S. Toptanci, and N. Erginel, "Risk Assessment for a Construction Company with Failure Mode and Effects Analysis and Quality Function Deployment," Journal of Engineering Sciences and Design, vol. 5, pp. 189-199, 2017.

[40]. M.K. Özfırat, M.E. Yetkin, F. Şimşir, B. Kahraman, "Uzunayak Üretimindeki Mevcut Tehlike Kaynaklarının İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi," Madencilik, vol. 55, no. 1, pp. 3-16, 2016.

[41]. İ. Çavuşoğlu, H. Ekti, A. Güvendi, A. Gökcan, and H. Demir, "Bir Yeraltı Altın Madeninde Kişisel Koruyucu Donanımlar İçin Risk Değerlendirilmesi," Yerbilimleri, vol. 41, no.1, pp. 100-113, 2020.

[42]. Ö.D. Eratak, "Analysis and Modelling for Risk Management for Underground Coal Mines' Safety," Phd Thesis, Middle East Technical University, 2014.

[43]. M. Colak, C. Aygurler, and T. Cetin, "Risk analysis for occupational health and safety in mining sector," PressAcademia Procedia (PAP), vol. 7, pp.285-289, 2018.

[44]. C. Direk, "Risk Assessment by Fault Tree Analysis of Roof and Rib Fall Accidents in an Underground Hard Coal Mine," Master Thesis, Middle East Technical University, 2015.

[45]. N. Yavuz, "Eti Maden Kırka Bor İşletmeleri, Boraks Penta Fabrika Birimlerinin Risk Analizinin Mukayeseli Olarak Yapılması," Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 2018.

[46]. L. Sırakaya, "Mermer İşletmelerinde Uygulanabilecek Risk Analizi Yöntemlerinin İncelenmesi: Örnek Bir Uygulama," Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 2019.

[47]. M. Orsulak , V. Kecojevic , L. Grayson, and A. Nieto, "Risk assessment of safety violations for coal mines," International Journal of Mining, Reclamation and Environment, vol. 24, no. 3, pp. 244-254, 2010.

[48]. Q. Wang, H. Wang, and Z. Qi, "An application of nonlinear fuzzy analytic hierarchy process in safety evaluation of coal mine," Safety Science, vol. 86, pp. 78-87, 2016.

[49]. C. Samantra, S. Datta, and S.S. Mahapatra, "Analysis of occupational health hazards and associated risks in fuzzy environment: a case research in an Indian underground coal mine," International Journal of Injury Control and Safety Promotion, vol. 24, no. 3, pp. 311-327, 2017.

[50]. A. Badri, S. Nadeau, and A. Gbodossou, "A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec," Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 26, no. 6, pp. 1145-1158, 2013.

[51]. P. Mızrak Özfırat, "Bulanık Önceliklendirme Metodu ve Hata Türü ve Etkileri Analizini Birleştiren Yeni Bir Risk Analizi Yöntemi," Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, vol. 29, no. 4, pp. 755-768, 2014.

[52]. L. Lang, Z. Fu-bao, "A comprehensive hazard evaluation system for spontaneous combustion of coal in underground mining," International Journal of Coal Geology, vol. 82, no. 1–2, pp. 27-36, 2010.

[53]. M. Gul, M.F. Ak, and A.F. Guneri, "Pythagorean fuzzy VIKOR-based approach for safety risk assessment in mine industry," Journal of Safety Research, vol. 69, pp. 135-153, 2019.

[54]. S. Ünsal, and İ. Alişkan, "Performance analysis of fuzzy logic controllers having Mamdani and Takagi-Sugeno inference methods by using unique software and

toolbox," 2016 National Conference on Electrical, Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), pp. 237-241, 2016.

[55]. E.H. Mamdani, and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," International Journal of Man-machine Studies, vol. 7, pp. 1–13, 1975.

[56]. T. Takagi, and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," Syst Man and Cybern IEEE Trans SMC, vol. 15, no. 1, pp. 116–132, 1985.

[57]. F.T.S. Chan, N. Kumar, M.K. Tiwari, H.C.W. Lau, and K.L. Choy, "Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach," International Journal of Production Research, vol. 46, no. 14, pp. 3825-3857, 2008.

[58]. D.Y. Chang, "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP," European Journal of Operational Research, vol. 95, no. 3, pp. 649-655, 1996.

[59]. T.L. Saaty, "Analytic Heirarchy Process," 2014.

[60]. E. Çakır, "Kısmi Zamanlı Olarak Çalışacak Öğrencilerin Analitik Hiyerarşi Prosesi Temelli Vikor Yöntemi ile Belirlenmesi," Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, vol. 12, no. 29, pp. 195-224, 2016.

[61]. A. Gabus, and E. Fontela, "World Problems, An Invitation to Further Thought within The Framework of DEMATEL," Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland, 1972.

[62]. S.L. Si, X.Y. You, H.C. Liu, and P. Zhang, "DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2018, pp. 1-33, 2018.

[63]. S.M. Seyed-Hosseini, N. Safaei, and M.J. Asgharpour, "Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique," Reliability Engineering and System Safety, vol. 91, pp. 872–881, 2006.

[64]. S. Karaoğlan, and S. Şahin, "DEMATEL ve AHP Yöntemleri İle İşletmelerin Satın Alma Problemine Bütünleşik Bir Yaklaşım, DSLR Kamera Örneği," Journal of Business Research Turk, vol. 8, no. 2, pp. 359-375, 2006.

[65]. M.N. Erginel, "Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği için Bir Model ve Uygulaması," Endüstri Mühendisliği Dergisi, vol. 15, no. 3, pp. 17-26, 2002.

[66]. A.I.A. Costa, M. Dekker, and W.M.F. Jongen, "Quality Function Deployment in the Food Industry: A Review," Trends in Food Science&Technology, November, pp. 306-314, 2001.

[67]. D.H. Besterfield, "Total Quality Management," 1999.

[68]. S. Bazaati, S. Bayrmi, and E. Oral, "Kalite fonksiyonu yayılımı ve inşaat sektöründe bir uygulama," Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 29, no. 1, pp. 53-61, 2014.

[69]. E. Kılıç-Delice, and Z. Güngör, "Kalite Fonksiyon Yayılımı için Yeni Bir Yaklaşım: Bir Uygulama," Akademik Bilişim Konferansı 08, Çanakkale, 2008.

[70]. E.H. Mamdani, “Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis,” IEEE Transactions on Computers, vol. 26, no.12, pp. 1182–1191, 1977.

[71]. A. Karasan, E. Ilbahar, S. Cebi, and C. Kahraman, “A new risk assessment approach: Safety and Critical Effect Analysis (SCEA) and its extension with Pythagorean fuzzy sets,” Safety Science, vol. 108, pp.173–187, 2018.

[72]. T.J. Ross, “Fuzzy Logic Engineering Applications,“ 2004.

[73]. J.J. Buckley, “Ranking alternatives using fuzzy numbers,” Fuzzy Sets Systems, vol. 15, no.1, pp. 21-31, 1985.

[74]. S.J. Chen, and C.L. Hwang, “Fuzzy Multi Attribute Decision Making: Methods and Applications,” Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, New York, 1992.

[75]. T.Y. Hsieh, S.T. Lu, and G.T. Tzeng, “Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings,” International Journal of Project Management, vol. 22, pp. 573–584, 2004.

[76]. J. Zeng, M. An, and N.J. Smith, “Application of a Fuzzy Basen Decision Making Methodology to Construction Project Risk Assessment,” International Journal of Project Management, vol. 25, pp. 589–600, 2007.

[77]. S. Cebi, M. Ozkok, and E. Demirci, “Evaluation of Design Parameters for Vessel Engine Room by Using A Modified QFD Technique,” J. of Mult.-Valued Logic & Soft Computing, vol. 23, pp. 559–587, 2014.

[78]. U. Cinar, and S. Cebi, " A hybrid risk assessment method for mining sector based on QFD, fuzzy inference system, and AHP,” Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 39, no. 5, pp. 6047-6058, 2020.

[79]. U. Cinar, and S. Cebi, " A hybrid risk assessment method for mining sector based on QFD, fuzzy inference system, and AHP,” Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. Pre-press, no. Pre-press, pp. 1-16, 2021.

[80]. U. Cinar, and S. Cebi, “A Hybrid Risk Assessment Method for Mining Sector Based on QFD, Fuzzy Inference System, and AHP,” INFUS 2019, AISC 1029, pp. 1198–1207, 2019.

[81]. U. Cinar, and S. Cebi, “Risk Yönetiminde Kalite Fonksiyon Yayılımı,” IOHS 2018, pp. 506–512, 2018.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: ulas.cinar@comu.edu.tr

Makaleler

1. U. Cinar, and S. Cebi, " A hybrid risk assessment method for mining sector based on QFD, fuzzy inference system, and AHP," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 39, no. 5, pp. 6047-6058, 2020.

2. U. Cinar, and S. Cebi, " A Novel Approach to Assess Occupational Risks and Prevention of Hazards: The House of Safety & Prevention," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. Pre-press, no. Pre-press, pp. 1-16, 2021.

Konferans Bildirileri

1. U. Cinar, and S. Cebi, "Risk Yönetiminde Kalite Fonksiyon Yayılımı," IOHS 2018, pp. 506–512, 2018.

2. U. Cinar, and S. Cebi, "A Hybrid Risk Assessment Method for Mining Sector Based on QFD, Fuzzy Inference System, and AHP," INFUS 2019, AISC 1029, pp. 1198–1207, 2019.