



Atıfta Bulunmak İçin / Cite This Paper: Erdal, H. (2019). “İş Sağlığı ve Güvenliği İçin Dematel-Aras Tabanlı Risk Değerlendirme Metodolojisi ve Bir Uygulama”, *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8 (2): 1831-1853
Geliş Tarihi / Received Date: 29.09.2018 **Kabul Tarihi / Accepted Date:** 02.02.2019

Araştırma Makalesi

İş SAğLIğI VE GÜVENLİğI İÇİN DEMATEL-ARAS TABANLI RİSK DEğERLENDİRME METODOLOJİSİ VE BİR UYGULAMA

Dr. Hamit ERDAL

Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, Türkiye
hamit_erdal@hotmail.com
ORCID ID: 0000-0001-8352-6427

Öz

İş sağlığı ve güvenliği alanında tehlikeli durumları ve riskleri tespit ederek, bunları bir metodolojisi içerisinde ele almak, sağlıklı ve mutlu bir çalışma ortamının temel prensiplerinden biridir. Kurum ve kuruluşlarda yapılan risk değerlendirmelerin çeşitlendirilmesi ve olaylara farklı yöntemlerle bakılması riskin etkisinin en aza indirilmesi için son derece önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, DEMATEL ve ARAS yöntemleri risk analizine uyarlanarak yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu çalışmanın amacı, bir kamu kuruluşunun araçlarının bakım-onarımlarının yapıldığı kademede iş sağlığı ve güvenliği için en fazla riski oluşturan risk faktörlerinin önceliklendirilmesi ve bu risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirlerin belirlenerek, kamu kurumuna rehberlik edilebilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Risk Analizi, İş Sağlığı ve Güvenliği, DEMATEL, ARAS.

DEMATEL-ARAS BASED RISK ASSESSMENT METHODOLOGY FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY AND AN APPLICATION

Abstract

It is one of the basic principles of a healthy and happy working environment to identify the treaty situations and risks, and to analyze them in a methodology in the field of occupational health and safety. Diversification of risk assessments conducted at institutions and organizations and looking at events in different ways are vital for minimizing the risk. Therefore, in this study, DEMATEL and ARAS methods were adapted to the risk analysis and a new approach was proposed. The aim of this study is to prioritize the risk factors that constitute the highest level of risk for occupational health and safety in the garage of a public institution where the maintenance and repair of the vehicles are conducted, and to determine the measures that can be taken to prevent these risks and to provide guidance to the public institution.

Keywords: Risk Analysis, Occupational Health and Safety, DEMATEL, ARAS.

1. GİRİş

İşçi sağlığı ve güvenliği (İSG) bütün işveren ve çalışanları yakından ilgilendiren, çalışma yaşamının en temel öğelerinden biridir (TMMOB, 2018: i).

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO); (i) işçi sağlığını, “Çalışan tüm insanların fiziksel, ruhsal, moral ve sosyal yönden tam iyilik durumlarının sağlanması ve en yüksek düzeylerde sürdürülmesini, iş koşulları ve kullanılan zararlı maddeler nedeniyle çalışanların sağlığına

gelebilecek zararların önlenmesini ve ayrıca işçinin fizyolojik özelliklerine uygun yerlere yerleştirilmesini, işin insana ve insanın işe uymasını asıl amaçlar olarak ele alan tıp bilimidir” şeklinde, (ii) iş güvenliğini, “İşyerlerinde işin yapılması sırasında çalışma ortamındaki çeşitli etmenler nedeniyle çalışanların karşılaştıkları sağlık sorunları ve mesleki tehlikelerin ortadan kaldırılmasına yönelik yapılan sistemli ve bilimsel çalışmalar” şeklinde, (iii) İSG’yi ise, “İşçinin sağlık ve emniyetinin işyeri sınırları ve iş dolayısıyla doğan tehlikelere karşı korunması” şeklinde tanımlamaktadırlar (<http://www.iloencyclopaedia.org/>).

Dünya Sağlık Örgütü’de iş kazalarını; önceden planlanmamış, çoğu kez kişisel yaralanmalara, makinelerin, araç ve gereçlerin zarara uğramasına, üretimin belirli bir süre aksamasına yol açan olaylar şeklinde tanımlamaktadır (WHO, 2018).

İş kazalarının nedenlerine bakıldığında; işyerindeki fiziksel ve kimyasal etkenler ile mekanik ve ergonomik etkenlerin çalışanlar üzerinde doğrudan ve dolaylı etkileri göze çarpmaktadır. Doğrudan etkiler sonucunda boğulma, zehirlenme, meslek hastalıkları vb. sonuçlar ortaya çıkarken, olumsuz çalışma koşullarının dolaylı etkileri de, iş kazaları şeklinde görülür.

İş kazalarının oluşmasında üretim teknoloji ve araçları, çevresel şartlar, psikolojik, fizyolojik şartlar gibi pek çok etken rol oynamaktadır. İş kazalarının oluşmasında etkili olan bu faktörlerin tamamı ise işyerlerindeki “güvensiz durumlar (ör: Güvensiz çalışma yöntemi ve çevre koşulları, uygun olmayan alet, edevatlar vb.)” ile “güvensiz davranışlar (ör: Eğitimsizlik, dalgınlık, dikkatsizlik, disiplinsizlik vb.)” olarak iki grupta toplanabilir (TMMOB, 2018: 124).

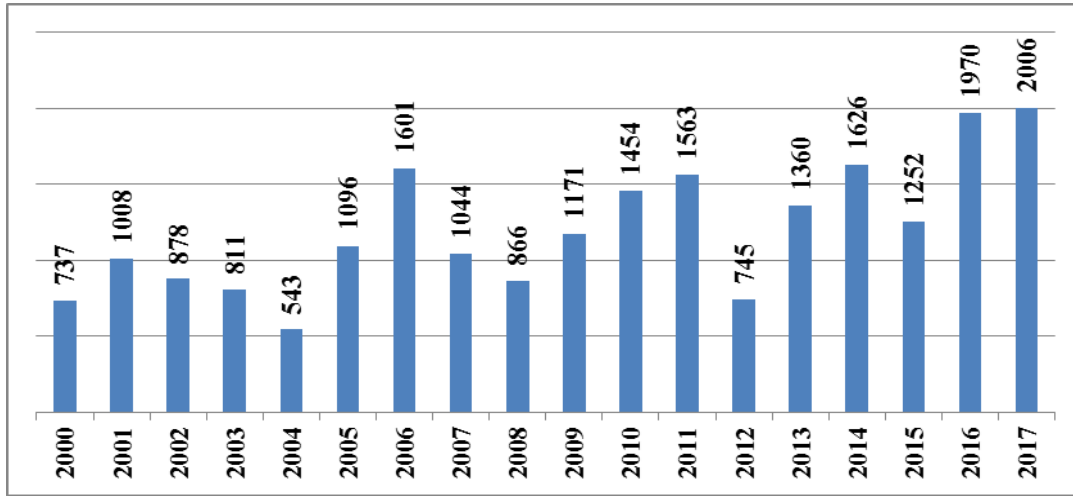
Bunun yanında iş kazalarını artıran nedenlerin bazıları şu şekilde sıralanabilir; iş güvencesinin azalması, esnek çalışma biçimleri, çalışma koşullarının ağırlığı, artan taşeron kullanımı, kayıt dışı istihdam ve çocuk işçi çalıştırma, işveren isteksizliği, denetim eksikliği, idari/cezai yaptırımların yetersizliği vb. (Bilir, 2016: 64-76).

İş kazaları ve meslek hastalıkları nedeniyle her yıl milyonlarca can kaybı yaşanırken, yüksek oranda da mal ve işçilik kayıpları meydana gelmektedir.

ILO verilerine göre (2014: 1): (i) Dünya genelinde her yıl iş kazaları ve meslek hastalıklarının yılda 2.3 milyondan fazla ölüme neden olduğu, bunun yaklaşık 350 bininin iş kazalarından, yaklaşık 2 milyonunun da meslek hastalıklarından kaynaklandığı; (ii) Her gün yaklaşık 6 bin 300 kişinin iş kazaları veya meslek hastalıkları nedeniyle hayatını kaybettiği; (iii) Sadece 2010 yılında dünya genelinde 313 milyon yaralanmalı iş kazası yaşandığını, bunun da günlük yaklaşık 860 bine tekabül ettiği tahmin edilmektedir.

Ülkemizde de özellikle son yıllarda her ne kadar ciddi çabalar gösterilse de, Avrupa İstatistik Ofisi (Eurostat, 2015)’ne göre ülkemiz iş kazalarında Avrupa ve dünyada ilk sıralarda; ölümlü iş kazalarında da benzer şekilde Avrupa’da birinci sırada yer almaktadır.

Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) verilerine göre 2000 yılından günümüze kadar yıllara göre iş kazalarında hayatını kaybedenlerin sayısı Şekil 1.'de görüldüğü gibi toplam 21.732 kişidir (SGK, 2018).



Şekil 1. İş Kazalarında Hayatını Kaybedenlerin Sayısı

Sadece bir işçinin hayatını kaybetmesi veya sürekli olarak iş göremez hale gelmesi durumunda 7.500 iş günü kaybedildiği düşünüldüğünde, bu durumun ekonomik olarak da ciddi iş kaybına neden olduğu görülmektedir. Şöyle ki, ülkemizin gayrisafı yurtiçi hasıla (GSYİH) rakamlarına göre iş kazaları ve meslek hastalıklarının toplam maliyetinin, sadece 2016 yılında 103 milyar TL olduğu tahmin edilmektedir (TMMOB, 2018: 40, 130).

Halen yürürlükte olan İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, çalışan sayısı veya çalışmanın türü ayırt edilmeksizin bütün işyerlerini ve devlet memurları, özel işletme çalışanları ve serbest çalışanlar dâhil bütün çalışanları kapsadığından, özel sektör-kamu ayırımı yapmaksızın her iş yerinde İSG uygulamaları son derece önemlidir (Bilir, 2016: 10).

Özel sektörde olduğu gibi kamu kurumlarında da İSG kapsamında yapılan risk değerlendirmeleri olası can ve mal kayıplarının önüne geçilebilmesi için son derece önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada, bir kamu kurumunun araçlarının bakım-onarımlarının yapıldığı kademede, İSG için en fazla riski oluşturan faktörlerinin önceliklendirilmesi ve bu risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirlerin belirlenmesi amacıyla çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) ve Additive Ratio Assessment (ARAS) yöntemlerinin kullanıldığı bir metodoloji önerilmiş ve risk analizi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan kapsamlı literatür araştırmasında genel bütçeli kamu kurumları özelinde daha önce yapılan bir başka risk analizine rastlanmaması ve bu alanda DEMATEL-ARAS yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanıldığı başkaca bir çalışmaya rastlanmaması çalışmanın

önemini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatür taraması yapılmış, üçüncü bölümde çalışmada kullanılan yöntemler tanıtılmış, dördüncü bölümde bir kamu kuruluşu için uygulama gerçekleştirilmiştir. Tartışma ve sonuç bölümü olan beşinci bölümde ileride yapılacak çalışmalara da önerilerde bulunularak çalışma tamamlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

İSG yönetimi sürecinin ilk ve en hayati adımı olası tehlike ve risklerin tanımlamasıdır. Bu aşamada olası risk türlerinin, faktörlerinin ya da her ikisinin tanımlaması sağlanır. Yapılacak risk analiz ve değerlendirmeleri boyunca icra edilecek tüm faaliyetler bu aşamada tanımlanacak risklerin üzerine inşa edilecektir. Özel sektör veya kamu kurumlarının farkında oldukları risklere uygun tedbir alacakları düşünüldüğünde, bunlar için en tehlikeli riskler farkında olunmayan riskler olacaktır. Bu nedenle risk tanımlama sürecinde son derece dikkatli olunmalıdır (Erdal, 2017a: 27-28). Bu çerçevede Kern vd., (2012: 63) risk tanımlama faaliyetinin, risk değerlendirme üzerinde pozitif etkisini ortaya koymuştur.

Bazı yazarlar tarafından literatürde ortak risk tanımlamalarının halen yapılmamış olduğu vurgulanarak bu durumun, araştırmacıların uygulamacılarla iletişim kurmada ve deneysel çalışmalar yapabilmek için endüstriye ulaşmada zorluk yaşanmasına neden olduğu belirtilmiştir (Diehl ve Spinler, 2013: 312; Ho vd., 2015: 5035; Erdal, 2017b: 123; Erdal, 2018a: 775).

İSG risk değerlendirmesi ve yönetimi, farklı amaçlara ve faktör önceliğine sahip birçok paydaşı kapsamaktadır (Klinke ve Renn, 2002). ÇKKV yöntemleri, eksik veri olduğunda dahi olası tehlikeleri içeren risk faktörlerinin ağırlıklandırılması ve sıralanması için karar vericilerin değerlendirmelerinden istifade edilebilmesini sağlar (Zhang vd., 2017). Bu kapsamda ÇKKV yöntemleri nicel risk değerlendirme kategorisinde yer almaktadır (Kubler vd., 2016).

Önceki yıllarda İSG risk değerlendirmesi kapsamında kullanılan yöntemlerin tarandığı sınırlı sayıda tarama makalesi yayımlanmıştır. Tixier vd., (2002) endüstriyel üretim alanlarında aktif olarak kullanılan 62 farklı risk analiz metodolojisini incelemiştir. Pinto vd. (2011), inşaat endüstrisi için İSG risk değerlendirme yöntemlerinden bulanık tabanlı yaklaşımları inceleyerek, avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuştur. Marhvilas vd. (2011), 2000-2009 yılları arasında yapılan İSG yayınlarının literatür taramasını yaparak, bu çalışmalarda kullanılan ana risk değerlendirme yöntemlerini sınıflandırmıştır. Verma ve Chaudhri (2016), maden endüstrisi için kullanılan risk değerlendirme yöntemlerinin kapsamlı bir taramasını gerçekleştirmiştir. Aven (2016), risk değerlendirmesi ve yönetimi konusundaki son gelişmelerin, temel fikir ve düşüncelerin ortaya koyulabilmesi amacıyla bir tarama gerçekleştirmiştir.

Bu tarama çalışmalarında incelenen yayınlarda genellikle, geleneksel risk analizi yöntemlerine (ör: risk matrisi, hata türü ve etkileri analizi, Fine–Kinney, tehlike ve işletilebilirlik analizi (HAZOP), hata ağacı analizi (FTA), İnsan hatası değerlendirme ve azaltma metodu (HEART), İnsan faktörleri değerlendirme ve sınıflandırma sistemi(HFACS)) odaklanıldığı, ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalarda ise en fazla Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yönteminin, daha sonra sırasıyla, Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ve ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yöntemlerinin veya bunların bulanık türlerinin (FAHP, FTOPSIS, FVIKOR) kullanıldığı tespit edilmiştir.

Bazı çalışmalarda geleneksel risk analizi yöntemlerinin eksikliklerine vurgu yapılarak, ÇKKV yöntemlerinin İSG risk değerlendirme sürecinde etkin olarak kullanılabilceği vurgulanmıştır (Meknatjoo ve Omidvari, 2015; Othman vd., 2016; Gül ve Güneri, 2016; Kokangül vd., 2017).

2016 yılına kadar yapılan çalışmalar yukarıda sıralanan tarama çalışmalarında kapsamlı olarak incelendiğinden, bu çalışmada daha güncel çalışmalara odaklanılmış ve ÇKKV yöntemlerinin yalın veya bütünleşik olarak kullanıldığı çalışmalar Tablo 1.'de sunulmuştur.

Tablo 1. ÇKKV Yöntemlerinin Kullanıldığı Güncel İSG Çalışmaları

| Yayın | Konu | Kullanılan Yöntem(ler) | Uygulama Alanı/Sektör |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Acuner ve Çebi (2016) | Liman düzenlemeleri için İSG model önerisi | FAHP, FIS (bulanık çıkarım sistemi) | Taşımacılık |
| Debnath vd. (2016) | İSG risk değerlendirmesi | AHP, ANFIS (Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi) | İnşaat |
| Dong ve Cooper (2016) | Sipariş öncesi sipariş boyutu sıralaması | AHP, Risk matris | Taşımacılık |
| Gül ve Güneri (2016) | Alüminyum üretim tesisinde İSG risk değerlendirmesi | FAHP, FTOPSIS | Üretim |
| Othman vd. (2016) | Tehlikeli madde önceliklendirmesi | AHP, HAZOP | Kimya |
| Wang vd. (2016) | İSG risk değerlendirmesi | FAHP | Madencilik |
| Kokangül vd. (2017) | Fine–Kinney risk gruplarının AHP ile belirlenmesi | AHP, Fine–Kinney | Üretim |
| Akyüz (2017) | Kargo gemilerinde yürütülen operasyonlar için olası kaza analizi | ANP (Analitik Ağ Süreci), HFACS | Taşımacılık |
| Liu vd. (2017) | İSG risk analiz model önerisi | PROMETHEE, FMEA, Bulut Bilişim | Sağlık |
| Rezaee vd. (2017) | Taş kesim süreci risk analizi | DEA (Veri Zarflama Analizi), FMEA | Üretim |
| Yazdi (2017) | Kimyasal maddeler üretim alanı İSG yönetimi örnek olay incelemesi | FAHP, FTA | Kimya |
| Yılmaz ve Şenol (2017) | Metal üretim tesisinde İSG risk değerlendirmesi | FAHP, FTOPSIS | Üretim |
| Carpitella vd. (2018) | Temizlik araçlarının bakım planının optimizasyonu | AHP, FTOPSIS, FMECA | Üretim |
| Fattahi ve Khalilzadeh (2018) | Çelik üretim tesisinde İSG risk değerlendirmesi | Fuzzy MULTIMOORA, FMEA, FAHP | Üretim |

Önceki literatür tarama çalışmalarına benzer olarak 2016 yılı ve sonrasında yapılan çalışmalarda da, AHP ve geleneksel risk analizi yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir.

Son yıllarda ÇKKV yöntemlerinin İSG risk analizi çalışmalarında etkin olarak kullanıldığı ve bu çalışmada olduğu şekilde bir kaç yöntemin bütünleşik olarak kullanıldığı çalışmalarda artış olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada kullanılan DEMATEL-ARAS bütünleşik yaklaşımının kullanıldığı az sayıda çalışma tespit edilebilmiştir; Varmazyar vd. (2016) İran'daki bir araştırma ve teknoloji merkezinin performansını değerlendirmek için Balanced Scorecard (Dengeli Karne, Kurumsal Karne) ve ÇKKV yöntemlerine dayalı bütünleşik bir model önermiştir. Çalışmada, Kurumsal Karne perspektifleri arasındaki karşılıklı bağımlılıkların ortaya konulması için DEMATEL, ardından endeksleri ağırlıklandırmak için Analitik Ağ Süreci (ANP) kullanılmıştır. Daha sonra ARAS, COPRAS, MOORA ve TOPSIS yöntemleriyle karar alternatifleri sıralanmıştır. Son olarak, sıralanan ÇKKV yöntemlerinin sıralama sonuçlarının birleştirilmesi için Fayda Aralığı (Utility Interval) yöntemi uygulanmıştır. Chatterjee vd. (2018) yeşil tedarik zinciri uygulamaları için tedarikçi değerlendirmesi yaptıkları çalışmalarında Gri DEMATEL-ARAS bütünleşik yöntemini kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarının etkinliğinin değerlendirilmesi için gerçekleştirdikleri duyarlılık analizi ile Gri TOPSIS ve Gri COPRAS yöntemleri ile elde ettikleri sonuçları karşılaştırmışlardır.

Literatürde her ne kadar risk kriter ağırlıklarının hesaplanması için DEMATEL ve bulanık türlerinin uygulandığı çalışmalar (ör: Zhou vd., 2014; Meknatjoo ve Omidvari, 2015; Mentş vd., 2015) bulunsa da, DEMATEL-ARAS bütünleşik yaklaşımının veya ARAS yönteminin kullanıldığı başkaca bir çalışmaya rastlanmamıştır. Benzer şekilde genel bütçeli kamu kurumları özelinde de yapılan başkaca bir İSG çalışmasına rastlanmamıştır.

3. ANALİZ YÖNTEMLERİ

Bu çalışmada ele alınan problem için ölçülebilir ve sayısal olarak ortaya koyulabilen veriler elde etmenin zorluğu nedeniyle, uzman görüşlerine dayalı değerlendirme yapma olanağı sağlayan ÇKKV yöntemlerinden istifade edilmek zorunda kalınmıştır.

Bu kapsamda, risk faktör ağırlıklarının belirlenmesinin yanı sıra diğer ÇKKV yöntemlerinden farklı olarak faktörler arası ilişkilerin de ortaya koyulabilmesi amacıyla DEMATEL yöntemi, karar alternatiflerinin performanslarını değerlendirirken de, her karar alternatifinin ideal karar alternatifine göre oransal benzerliğinin ortaya koyulabilmesi amacıyla ARAS yöntemi tercih edilmiştir.

Bu aşamada çalışmada kullanılan DEMATEL ve ARAS yöntemleri hakkında kısaca bilgi verilerek, matematiksel işlem adımları açıklanacaktır.

3.1. DEMATEL Yöntemi

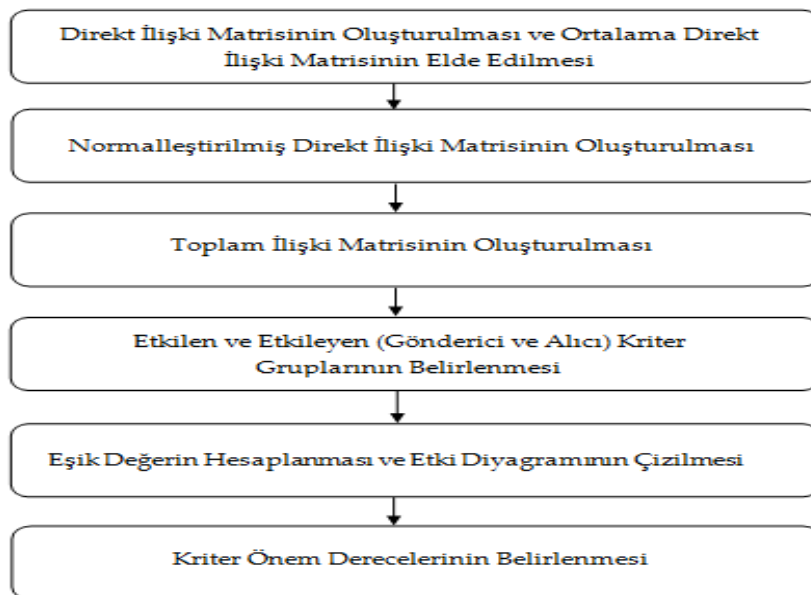
DEMATEL yöntemi karmaşık karar problemlerinde, etkileyen ve etkilenen karar kriterlerinin saptanması ve kriterler ağırlıklarının belirlenmesi için kullanılan bir metottur (Demirdöğen vd., 2017: 152; Korucuk vd., 2018a: 100).

Yöntem, sistem bileşenleri arasındaki yapı ve ilişkileri incelemeye etkili sonuçlar vermektedir. Yöntemin en önemli faydası, kriterler arasındaki yapı ve ilişkileri inceleyen, uzlaşmacı neden-sonuç ilişkilerini görselleştirerek anlamlı sonuçlar elde edilmesini sağlayan etkili bir yöntem olmasıdır (Erdal, 2017a: 83; Erdal ve Korucuk, 2018: 8).

Yöntem, klasik ÇKKV yaklaşımlarından AHP gibi unsurlarının sadece hiyerarşik bir yapıda ve birbirlerinden bağımsız olduğu varsayımını reddederek unsurların karşılıklı olarak birbirlerine olan ilişkilerini de araştırmaya olanak sağlar (Erdal, 2018b: 93).

DEMATEL yönteminde k adet karar verici (veya uzman) tarafından grup karar verme yöntemine uygun bir şekilde değerlendirmeye alınan ve birbirleri ile etkileşim içerisinde olan n adet kriter bulunur. Karar vericiler ve karar kriterleri belirlendikten sonra yöntemin hesaplama adımları uygulanarak değerlendirmeler yapılır.

DEMATEL yönteminin şematik gösterimi Şekil 2.'de gösterilmiş olup, hesaplama adımları aşağıda sunulmuştur (Lin ve Wu, 2008: 208-210; Erdal, 2017a: 84-94; Korucuk vd. 2018b: 825-827; Memiş ve Korucuk, 2019: 1103-1105; Korucuk ve Erdal, 2019: 163-166):



Adım 1- Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması ve Ortalama Direkt İlişki Matrisinin Elde Edilmesi:

Direkt ilişki matrisi; karar kriterleri arasındaki ikili karşılaştırmalar yoluyla uzmanların değerlendirmelerine göre oluşturulur. DEMATEL yönteminin çözümü için literatürde yaygın olarak kullanılan Dey vd., (2012: 3561)'nin karşılaştırma ölçeğinden istifade edildiğinden, bu ölçek Tablo 2.'de sunulmuştur.

Tablo 2. DEMATEL Yöntemi İçin Karşılaştırma Ölçeği

| Sayısal Değer | Sözel İfade |
|---------------|-------------------|
| 0 | Etkisiz |
| 1 | Düşük Etkili |
| 2 | Orta Etkili |
| 3 | Yüksek Etkili |
| 4 | Çok Yüksek Etkili |

Bu adımda uzmanlardan Tablo 2.'deki ölçeğe göre; "Hangi kriter hangi kriteri ne düzeyde etkiliyor?" sorusuna cevap vermesi istenerek her bir uzmanın değerlendirmelerine göre k adet $n \times n$ boyutlu direkt ilişki matrisi oluşturulur. Direkt ilişki matrisi simetrik değildir ve köşegen elemanları 0'dır. Bu matrisin her (i, j) elemanı kriter i 'den kriter j 'ye olan direkt ilişkiyi gösterir.

Elde edilen k adet direkt ilişki matrisinin Denklem (1) kullanılarak aritmetik ortalaması alınır ve ortalama direkt ilişki matrisi (X) oluşturulur ki bu matris grup kararını oluşturur.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & x_{11} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & 0 & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad a_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k x_{ij}^n \quad (1)$$

Adım 2- Normalleştirilmiş Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması:

Denklem (2) ve (3) kullanılarak normalleştirilmiş direkt ilişki matrisi (C) elde edilir. x_{ij} elemanları yerine a_{ij} elemanları yazılır. X matrisinin satır ve sütun toplamları içinden en büyüğü belirlenerek ortalama direkt ilişki matrisi bu değere bölünür.

$$s = \max \left(\max \sum_{j=1}^n x_{ij}, \max \sum_{i=1}^n x_{ij} \right) \quad (2)$$

$$C = \frac{X}{s} \quad (3)$$

X matrisinin satır toplamları, satırdaki her bir kriterin diğerleri üzerindeki toplam etkisini gösterdiğinden Denklem (2)'de yazılan ifadelerden ilki diğerleri üzerinde en fazla

etkisi olan kriterin toplam etkisini gösterecektir. Benzer şekilde her i sütununun toplamı i kriterinin üzerindeki toplam etkiyi göstermektedir. Bu değerlerden maksimuma sahip olan ise en fazla etkiyi gösterendir. İki değerden en büyük olanı seçip her elemanı bu değere böldüğümüzde de elemanları 0-1 arasında değer alan (C) matrisi oluşturulur.

Adım 3- Toplam İlişki Matrisinin Oluşturulması:

Toplam ilişki matrisinin (F) oluşturulabilmesi için Denklem (4) ve (5) kullanılır. Bu denklemlerde I , $n \times n$ boyutundaki birim matrisi, C 'ler ise gittikçe azalan dolaylı etkileri ifade eder.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} c + c^2 + c^3 + \dots + c^k \quad (4)$$

$$F = C + C^2 + C^3 + \dots + C^k = C(I - C)^{-1} \quad (5)$$

Adım 4- Etkilenen ve Etkileyen (Gönderici ve Alıcı) Kriter Gruplarının Belirlenmesi:

Bir önceki adımda elde edilen F matrisinden yola çıkarak; bu matrisin i . satırının toplamı (D_i), i kriteri tarafından diğer kriterlere gönderilen etkilerin (doğrudan ve dolaylı) toplamını gösterir. Sütun toplamı (R_i) ise aynı kriter için diğer kriterlerden gelen etkilerin toplamını ifade eder.

Her kriter için satır ve sütun toplamlarıyla elde edilen ($D_i + R_i$) değeri gönderilen ve alınan toplam etki değerini; ($D_i - R_i$) değeri ise i kriterinin bütüne yaptığı net etkiyi göstermektedir. Bu değer pozitif olması i kriterinin "net etkileyen", negatif olması ise "net etkilenen" olduğunu ifade eder. Daha açık bir ifadeyle; (D_i) gönderilen etkileri, (R_i) alınan etkileri; ($D_i + R_i$) merkezi rol derecesini ve son olarak da ($D_i - R_i$) etki derecesini ifade eder.

($D_i + R_i$) değerleri kriterlerin ne kadar önem derecelerine sahip olduğunu gösterirken, ($D_i - R_i$) değerleri kriterleri gönderici ve alıcı gruplar olarak ikiye ayırır. Genel olarak ($D_i - R_i$) değerlerinden negatif olanlar alıcı (etkilenen) grubu, pozitif olanlar ise gönderici (etkileyen) grubu oluşturur.

Adım 5- Eşik Değerin Hesaplanması ve Etki Yönlü Graf Diyagramının Çizilmesi:

Eşik değer uzmanlar tarafından doğrudan belirlenmesi klasik ve yaygın bir yaklaşımdır. Ancak bazı karar problemleri için görüşlerine başvuru karar verici sayısının çok olması nedeniyle eşik değer tespiti zorlaşabilmektedir. Eşik değer elde edilmesi için bir diğer yaygın kullanım bu çalışmada da kullanıldığı şekilde toplam ilişki matrisinin aritmetik ortalamasının alınmasıdır.

Etki yönlü graf diyagramı, yatay eksen ($D_i + R_i$), dikey eksen ($D_i - R_i$) olan bir koordinat düzleminde $[(D_i + R_i), (D_i - R_i)]$ noktalarının gösterilmesiyle ve etkileşimin bu diyagram üzerinden gösterilmesiyle elde edilir.

Adım 6: Kriter Önem Derecelerinin Belirlenmesi:

Denklem (6) ve (7) kullanılarak kriterlerin öncelikleri belirlenir.

$$w_i = \sqrt{[(D_i + R_i)]^2 + [(D_i - R_i)]^2} \quad (6)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (7)$$

3.2. ARAS Yöntemi

ARAS (Additive Ratio Assesment) yöntemi Zavadskas ve Turskis tarafından ÇKKV problemlerinin çözümü için önerilen güncel yaklaşımlardan biridir (Zavadskas ve Turskis, 2010). Bu yaklaşım, karar alternatiflerinin çeşitli kriterler altında fayda fonksiyonuna göre sıralayan bir ÇKKV yöntemidir. Bu yöntemde, bir fayda fonksiyon değeri, bir karar alternatifinin diğer bir karar alternatifine göre görece etkinliğini belirler. Yöntemde, karar alternatiflerinin fayda fonksiyonu değer oranları optimum karar alternatiflerinin fayda fonksiyon değerleri ile karşılaştırılır (Shariati vd., 2014:411).

ARAS yöntemi karar alternatiflerinin performanslarını değerlendirirken, her karar alternatifinin ideal karar alternatifine göre oransal benzerliğini ortaya koyar (Dadelo vd., 2012: 68). ARAS yöntemi niceliksel ölçümlere ve fayda teorisine dayanmaktadır.

ARAS yönteminin şematik gösterimi Şekil 3.'de gösterilmiş olup, hesaplama adımları aşağıda sunulmuştur (Zavadskas ve Turskis, 2010: 163-165):



Şekil 3. ARAS Yönteminin Şematik Gösterimi

Alternatif sayısı m , kriter sayısı n ile ifade edilmek üzere; karar alternatifleri $A = a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$, kriterler $K = k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ ve optimum kriter değerleri $X_o = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ şeklinde formüle edilir.

Adım 1- Karar Matrisinin Oluşturulması:

İlk olarak aşağıda sunulduğu şekilde karar matrisi (X) oluşturulur. ARAS yönteminde başlangıç karar matrisinde diğer ÇKKV yöntemlerinde farklı olarak her bir kritere ait optimum değerlerden oluşan bir satır yer alır. Kriterlerin farklı boyutlarının neden olduğu güçlüklerden kaçınmak için optimum değere oran yaklaşımı kullanılır. Optimum değerler, karar verici tarafından belirlenebildiği gibi Denklem (8) veya (9) kullanılarak da belirlenebilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0n} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0,1,2, \dots, m \text{ ve } j = 1,2, \dots, n$$

$$x_{0j} = \max_i x_{ij}, \text{ fayda (maksimizasyon durumu)} \quad (8)$$

$$x_{0j} = \min_i x_{ij}, \text{ maliyet (minimizasyon durumu)} \quad (9)$$

Burada; x_{ij} , j . kritere göre i . karar alternatifinin performans değerini göstermektedir. m , karşılaştırılacak karar alternatiflerinin ve n kriterlerin sayısını göstermektedir. x_{0j} ise j . kriterin optimum değerini ifade etmektedir.

Genellikle, performans değerleri x_{ij} ve kriter ağırlıkları w_j , ÇKKV probleminin girdileri olarak görülür. Kriterler sistemi, değerleri ve ağırlıkları başlangıçta karar vericiler tarafından belirlenir.

Adım 2- Karar Matrisinin Normalize Edilmesi:

Genellikle kriterlerin boyutları birbirinden farklı olmaktadır. Bu nedenle kriterlerin boyutsuz ağırlık değerlerinin alınması gerekir. Normalizasyon işlemi ile farklı boyutlarda olan ölçüler için, $[0,1]$ ya da $[0, \infty]$ aralığında değerler olarak, aşağıdaki formda standart hale getirilir.

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{01} & \bar{x}_{02} & \dots & \bar{x}_{0n} \\ \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0,1,2, \dots, m \text{ ve } j = 1,2, \dots, n$$

Normalizasyon sürecinde kriterler maksimizasyon (fayda) yönlü ise normalizasyon işlemi Denklem (10)'a göre yapılır.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (10)$$

Kriterlerin minimizasyon (maliyet) yönlü olma durumuna göre ise iki aşamalı olarak Denklem (11) kullanılarak karar matrisi standart hale getirilir.

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*}; \quad \bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (11)$$

Adım 3- Ağırlıklandırılmış Matrisin Oluşturulması:

Üçüncü adımda normalize edilmiş ağırlıklı matrisi (\hat{X}), aşağıda gösterildiği şekilde ve formda oluşturulur.

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} \hat{x}_{01} & \hat{x}_{02} & \dots & \hat{x}_{0n} \\ \hat{x}_{11} & \hat{x}_{12} & \dots & \hat{x}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \hat{x}_{m2} & \dots & \hat{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad i = 0, 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, n$$

Ağırlıklar her zaman özneliği etkilediğinden doğru belirlenmelidir. Kriter ağırlıkları $0 < w_i < 1$ aralığında yer alır. Kriter ağırlıkları toplamı Denklem (12)'de gösterildiği gibi 1 olur.

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (12)$$

Normalize edilmiş karar matrisi elemanları, Denklem (13) kullanılarak ilgili kriterin ağırlığı ile çarpılır ve ağırlıklandırılmış matris elde edilir.

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot w_j \quad i = 0, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, n \quad (13)$$

Adım 4: Optimumluk Fonksiyonunun Hesaplanması:

Ağırlıklandırılmış matristen Denklem (14) kullanılarak her bir karar alternatifinin optimumluk fonksiyon değeri hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij} \quad i = 0, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, n \quad (14)$$

Burada S_i , i . karar alternatifinin optimumluk fonksiyon değeridir. En büyük S_i değeri en iyisi ve en küçük S_i değeri ise en kötüsü olarak değerlendirilir. Hesaplama süreci dikkate alındığında, optimumluk fonksiyonu S_i , dikkate alınan kriterlerin nihai sonuç üzerindeki göreceli etkisi olan x_{ij} ve w_j değerleri ile doğrudan ve orantılı bir ilişkiye sahiptir. Bu nedenle S_i değeri ne kadar yüksek olursa, o karar alternatifi de, o kadar etkili olur. Karar alternatiflerinin öncelikleri S_i değerine göre belirlenir.

Adım 5- Fayda Derecesinin Hesaplanması ve Sıralamanın Elde Edilmesi:

Fayda derecesi K_i , bir karar alternatifinin optimumluk fonksiyon değeri S_i ile en iyi karar alternatifinin optimumluk fonksiyon değerine (S_0) oranlanması ile bulunur. Bu durum Denklem (15) ile ifade edilmiştir.

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (15)$$

Fayda derecesi hesaplandıktan sonra alternatiflerin sıralaması yapılır. Karar alternatiflerinin performansları büyükten küçüğe doğru sıralanır. İlk sıradaki alternatif en uygun alternatif olarak kabul edilir.

4. KAMU KURUMU İÇİN UYGULAMA

Bu çalışmada ele alınan problemin amacı, bir kamu kuruluşunun araçlarının bakım-onarımlarının yapıldığı kademede, iş sağlığı ve güvenliği için en fazla riski oluşturan risk faktörlerinin önceliklendirilmesi ve bu risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirlerin belirlenmesidir. Literatürde iş sağlığı ve güvenliği için en fazla riski oluşturan risk faktörlerinin önceliklendirilmesi ve bu risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirlerin belirlendiği çok az sayıda nicel metodolojinin önerilmesi, ayrıca ilgili kamu kurumunda halen uygulanan bilimsel esaslara dayalı bir risk analiz metodolojisinin bulunmaması nedeniyle, bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu amaca ulaşmak için öncelikle probleme etki eden risk faktörlerinin, görüşlerine başvurulacak karar uzmanların ve risklerin önlenmesi için alınabilecek alternatif tedbirlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu genel çerçevede;

Probleme etki eden risk faktörleri ve hesaplama adımlarında kullanılacak kısaltmaları Tablo 3.'de gösterilmiştir. Risk faktörleri bahse konu kademede daha önce meydana gelen riskli olaylar ve uzman personelin tecrübelerine göre uzman personelce belirlenmiştir.

Tablo 3. Risk Faktörleri ve Kısaltmaları

| Kısaltma | Risk Faktörleri (Kriterleri) |
|----------------|---------------------------------------------------------------------|
| R ₁ | Eğitim ve tecrübe eksikliği nedeniyle kaza meydana gelmesi |
| R ₂ | Fiziksel ve ruhsal yorgunluk nedeniyle kaza meydana gelmesi |
| R ₃ | Yanma, patlama veya düşme nedeniyle kaza meydana gelmesi |
| R ₄ | Tezgah ve el aletleri kaynaklı çapakların göz veya vücuda sıçraması |

Görüşlerine başvurmak için uzmanların belirlenmesi sürecinde söz konusu kamu kurumundan destek talep edilmiş ve kurumun İSG uzmanı, kademe amiri, kademe şefi, oto teknisyeni ve son olarak da yine kurum bünyesinde görev yapan müfettiş personel olmak üzere toplam 5 uzman ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Benzer şekilde risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirler uzmanlarla yapılan görüşmelerde belirlenmiş ve kısaltmalarıyla beraber **Tablo 4.**'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Alternatif Tedbirler ve Kısaltmaları

| Kısaltma | Alternatif Tedbirler |
|----------------|----------------------------------|
| A ₁ | Eğitim ve Bilinçlendirme |
| A ₂ | Koruyucu Teçhizat Kullanımı |
| A ₃ | Çalışma Ortamının Aktif Kontrolü |
| A ₄ | Uyarı İkaz Levhaları |

4.1. DEMATEL Hesaplamaları

Bu bölümde yapılan hesaplamalar açıklama kolaylığı sağlanması ve daha anlaşılır olması bakımında yöntem açıklamasında anlatıldığı adım sıralamasına göre gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda Microsoft EXCEL tablo ve formüllerinden istifade edilmiştir.

Adım 1- Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması ve Ortalama Direkt İlişki Matrisinin Elde Edilmesi:

Bu aşamada her bir uzman tarafından Tablo 2.'deki ölçeğe göre kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Tablo 5.'de uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmelerden oluşan direkt ilişki matrisleri sunulmuştur.

Tablo 5. Direkt İlişki Matrisleri

| | | Uzman1 | | | | Uzman2 | | | | Uzman3 | | | |
|----------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Kriterler | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ |
| R ₁ | | 0 | 2 | 4 | 3 | 0 | 3 | 3 | 4 | 0 | 3 | 3 | 4 |
| R ₂ | | 2 | 0 | 4 | 4 | 1 | 0 | 3 | 4 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| R ₃ | | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| R ₄ | | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | Uzman4 | | | | Uzman5 | | | | | | | |
| Kriterler | | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | | | | |
| R ₁ | | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 2 | 4 | 4 | | | | |
| R ₂ | | 1 | 0 | 3 | 3 | 1 | 0 | 3 | 4 | | | | |
| R ₃ | | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 2 | | | | |
| R ₄ | | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |

Tablo 5.'de sunulan birinci uzmanın değerlendirmesine göre Tablo 2.'deki ölçek kullanılarak R₁, R₃'ü "Çok Yüksek Etkili" şekilde etkilerken; R₃, R₁'i "Düşük Etkili" şekilde etkilemektedir.

Her bir uzmandan elde edilen değerlendirmelerin Denklem (1) ile aritmetik ortalamalarının alınması sonucunda grup kararı olan X matrisi oluşturulmuş ve Tablo 6.'da sunulmuştur.

Tablo 6. Ortalama direkt ilişki matrisi (X)

| Kriterler | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| R_1 | 0,00 | 2,80 | 3,60 | 3,80 |
| R_2 | 0,60 | 0,00 | 3,00 | 3,60 |
| R_3 | 0,80 | 0,80 | 0,00 | 2,00 |
| R_4 | 0,20 | 1,00 | 1,00 | 0,00 |

Adım 2- Normalleştirilmiş Direkt İlişki Matrisinin Oluşturulması:

Bir önceki adımda elde edilen X matrisi Denklem (2) ve (3) kullanılarak normalizasyon işlemine tabi tutulmuş ve C matrisi oluşturularak Tablo 7.'de sunulmuştur.

Tablo 7. Normalleştirilmiş Direkt İlişki Matrisi (C)

| Kriterler | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| R_1 | 0,00 | 0,27 | 0,35 | 0,37 |
| R_2 | 0,06 | 0,00 | 0,29 | 0,35 |
| R_3 | 0,08 | 0,08 | 0,00 | 0,20 |
| R_4 | 0,02 | 0,10 | 0,10 | 0,00 |

Adım 3- Toplam İlişki Matrisinin (F) Oluşturulması:

Denklem (4) ve (5) kullanılarak F matrisi oluşturulmuş ve Tablo 8.'de sunulmuştur.

Tablo 8. Toplam İlişki Matrisi (F)

| Kriterler | R_1 | R_2 | R_3 | R_4 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| R_1 | 0,081 | 0,405 | 0,565 | 0,657 |
| R_2 | 0,108 | 0,113 | 0,416 | 0,515 |
| R_3 | 0,101 | 0,145 | 0,108 | 0,306 |
| R_4 | 0,042 | 0,131 | 0,161 | 0,093 |

Adım 4- Etkilen ve Etkileyen (Gönderici ve Alıcı) Kriter Gruplarının Belirlenmesi:

Bir önceki adımda oluşturulan F matrisinden; (D_i) , (R_i) , $(D_i + R_i)$ ve $(D_i - R_i)$ değerleri hesaplanarak Tablo 9.'da sunulmuştur.

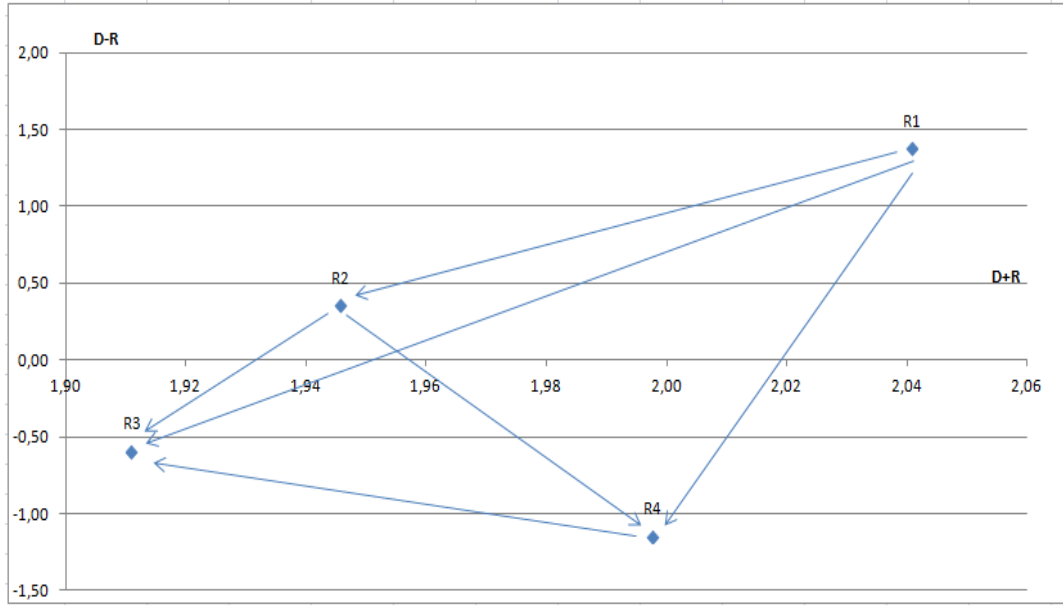
Tablo 9. Etkileyen ve Etkilenen Kriter Grupları

| Kriterler | D_i | R_i | $D_i + R_i$ | $D_i - R_i$ |
|-----------|--------|--------|-------------|-------------|
| R_1 | 1,7084 | 0,3324 | 2,0408 | 1,3760 |
| R_2 | 1,1514 | 0,7943 | 1,9457 | 0,3571 |
| R_3 | 0,6609 | 1,2500 | 1,9110 | -0,5891 |
| R_4 | 0,4269 | 1,5709 | 1,9977 | -1,1440 |

Eşik Değer: 0,2467

Adım 5- Eşik Değerin Hesaplanması ve Etki Yönlü Graf Diyagramının Çizilmesi:

Eşik değer toplam ilişki matrisinin aritmetik ortalaması ile 0,2467 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.'de Etki Yönlü Graf Diyagramı sunulmuştur.



Şekil 4. Etki Yönlü Graf Diyagramı

Şekil 4. incelendiği zaman R_1 ve R_2 kriterlerinin etkileyen faktörler R_3 ve R_4 kriterlerinin ise etkilenen faktör olduğu, probleme en fazla etkiyi yapan risk kriterinin ise R_1 olduğu görülmektedir.

Adım 6- Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi:

Denklem (6) ve (7)'nin kullanılmasıyla elde edilen kriter önem dereceleri ve sıralaması Tablo 10.'da sunulmuştur.

Tablo 10. Kriter Önem Dereceleri ve Sıralama

| Kriterler | Önem Dereceleri | Sıralama |
|-----------|-----------------|----------|
| R_1 | 0,3398 | 1 |
| R_2 | 0,2790 | 2 |
| R_3 | 0,2114 | 3 |
| R_4 | 0,1699 | 4 |

Buna göre, DEMATEL yöntemiyle elde edilen risk kriter önem derecelerine göre sıralama; Eğitim ve tecrübe eksikliği nedeniyle kaza meydana gelmesi (R_1)>> Fiziksel ve ruhsal yorgunluk nedeniyle kaza meydana gelmesi (R_2)>> Yanma, patlama veya düşme nedeniyle kaza meydana gelmesi (R_3)>> Tezgah ve el aletleri kaynaklı çapakların göz veya vücuda sıçraması (R_4) şeklinde elde edilmiştir.

4.2. ARAS Hesaplamaları

Bu bölümde yapılan hesaplamalar da açıklama kolaylığı sağlanması ve daha anlaşılır olması bakımında yöntem açıklamasında anlatıldığı adım sıralamasına göre gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda Microsoft EXCEL tablo ve formüllerinden istifade edilmiştir.

Adım 1- Karar Matrisinin Oluşturulması:

İlk olarak Tablo 11.'de sunulduğu şekilde karar matrisi (X) oluşturulmuştur. Bu adımda uzmanlara her bir karar alternatifinin her bir risk kriteri kapsamında değerlendirilmesi için 1-10 ölçeğine göre değerlendirmelerini yapmaları talep edilmiştir. Uzmanların değerlendirmelerinde fikir birliği sağlanması nedeniyle matrise tek bir değer girilmiştir. Tablo 11.'de gösterilen kriter ağırlıkları bir önceki aşamada DEMATEL yöntemiyle hesaplanan değerlerden oluşmaktadır. Benzer şekilde karar kriterlerinin risk faktörleri olmaları ve hepsinin maliyet (minimizasyon) yönlü olmaları nedeniyle sorulan sorular mevcut riskin ortadan kaldırılması (veya en aza indirilmesi) için hangi karar alternatifinin daha iyi olduğunun araştırılması olduğundan fayda yönlü olarak sorulmuş ve optimal değerler Denklem (8) kullanılarak belirlenmiştir.

Tablo 11. Karar Matrisi

| Kriterler | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ağırlıklar | 0,3398 | 0,2790 | 0,2114 | 0,1699 |
| Optimal | 10 | 9 | 9 | 7 |
| A₁ | 10 | 8 | 7 | 7 |
| A₂ | 4 | 7 | 9 | 4 |
| A₃ | 8 | 9 | 9 | 6 |
| A₄ | 4 | 3 | 5 | 3 |

Adım 2- Karar Matrisinin Normalize Edilmesi:

Risk kriterlerine verilen cevapların fayda yönlü olması nedeniyle bu adımda normalizasyon işlemi (10) numaralı Denklem kullanılarak gerçekleştirilmiş ve normalize edilmiş karar matrisi Tablo 12.'de sunulmuştur.

Tablo 12. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

| Kriterler | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Optimal | 0,2778 | 0,2500 | 0,2308 | 0,2593 |
| A₁ | 0,3846 | 0,2963 | 0,2333 | 0,3500 |
| A₂ | 0,1538 | 0,2593 | 0,3000 | 0,2000 |
| A₃ | 0,3077 | 0,3333 | 0,3000 | 0,3000 |
| A₄ | 0,1538 | 0,1111 | 0,1667 | 0,1500 |

Adım 3- Ağırlıklandırılmış Matrisin Oluşturulması:

Bu adımda, bir önceki adımda elde edilen normalize edilmiş karar matrisinin her bir elemanı, kriter ağırlıklarıyla çarpılmak ağırlıklandırılmış matris oluşturulmuş ve Tablo 13.'de sunulmuştur.

Tablo 13. Ağırlıklandırılmış Matris

| Kriterler | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Optimal | 0,0944 | 0,0698 | 0,0488 | 0,0440 |
| A ₁ | 0,1307 | 0,0827 | 0,0493 | 0,0595 |
| A ₂ | 0,0523 | 0,0723 | 0,0634 | 0,0340 |
| A ₃ | 0,1046 | 0,0930 | 0,0634 | 0,0510 |
| A ₄ | 0,0523 | 0,0310 | 0,0352 | 0,0255 |

Adım 4- Optimumluk Fonksiyonunun Hesaplanması:

Ağırlıklandırılmış matristen istifade edilerek ve (14) numaralı Denklem kullanılarak her bir karar alternatifinin optimumluk fonksiyon değeri hesaplanmıştır (Tablo 14.).

Adım 5- Fayda Derecesinin Hesaplanması ve Sıralamanın Elde Edilmesi:

Fayda dereceleri K_i , Denklem (15) ile hesaplanmış ve alternatifler sıralanarak Tablo 14.'de sunulmuştur.

Tablo 14. S_i , K_i Değerleri ve Nihai Sıralama

| Kriterler | S_i | K_i | Sıralama |
|----------------|-------|-------|----------|
| Optimal | 0,257 | 1,000 | |
| A ₁ | 0,322 | 1,254 | 1 |
| A ₂ | 0,222 | 0,864 | 3 |
| A ₃ | 0,312 | 1,214 | 2 |
| A ₄ | 0,144 | 0,560 | 4 |

Buna göre, ARAS yöntemiyle elde edilen ve risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirlerin sıralanması; Eğitim ve Bilinçlendirme (A₁)>> Çalışma Ortamının Aktif Kontrolü Fiziksel (A₃)>> Koruyucu Teçhizat Kullanımı (A₂)>> Uyarı İkaz Levhaları (A₄) şeklinde elde edilmiştir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, bir kamu kuruluşunun araçlarının bakım-onarımlarının yapıldığı kademede iş sağlığı ve güvenliği için en fazla riski oluşturan risk faktörlerinin önceliklendirilmesi ve bu risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirlerin belirlenmesi amacıyla DEMATEL ve ARAS yöntemlerinin kullanıldığı bir risk metodolojisi önerilmiştir.

Uygulama için ilgili kamu kurumunun İSG uzmanı, kademe amiri, kademe şefi, oto teknisyeni ve son olarak da yine kurum bünyesinde görev yapan müfettiş personel olmak üzere toplam 5 uzman ile yüz yüze görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonucunda DEMATEL yöntemiyle elde edilen risk kriter önem derecelerine göre sıralama; Eğitim ve tecrübe eksikliği nedeniyle kaza meydana gelmesi (R₁)>> Fiziksel ve ruhsal yorgunluk nedeniyle kaza meydana gelmesi (R₂)>> Yanma, patlama veya düşme nedeniyle kaza

meydana gelmesi (R₃)>> Tezgah ve el aletleri kaynaklı çapakların göz veya vücuda sıçraması (R₄) şeklinde, ARAS yöntemiyle risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirler, sırasıyla; Eğitim ve Bilinçlendirme (A₁)>> Çalışma Ortamının Aktif Kontrolü (A₃)>> Fiziksel Koruyucu Teçhizat Kullanımı (A₂)>> Uyarı İkaz Levhaları (A₄) şeklinde elde edilmiştir.

Aynı zamanda risk kriterleri arasındaki ilişki de ortaya koyularak “Eğitim ve tecrübe eksikliği nedeniyle kaza meydana gelmesi (R₁)” ve “Fiziksel ve ruhsal yorgunluk nedeniyle kaza meydana gelmesi (R₂)” kriterlerinin etkileyen faktörler; “Yanma, patlama veya düşme nedeniyle kaza meydana gelmesi (R₃)” ve “Tezgah ve el aletleri kaynaklı çapakların göz veya vücuda sıçraması (R₄)” kriterlerinin ise etkilenen faktör olduğu, probleme en fazla etkiyi yapan risk kriterinin ise “Eğitim ve tecrübe eksikliği nedeniyle kaza meydana gelmesi (R₁)” olduğu tespit edilmiştir.

İSG kapsamında risk kriterlerinin önceliklendirilmesi ve risklerin önlenmesi için alınabilecek tedbirlerin belirlenebilmesi için yapılacak çalışmalar da, bu çalışmada ve pek çok alanda etkin olarak kullanılan; DEMATEL ve ARAS yöntemlerinin uygun birer yöntem olduğu belirlenmiştir. Önerilen metodolojinin etkinliği ilgili kamu kurumunca da belirtilerek, sonuçların tecrübeleriyle örtüştüğü ve iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında istifade edileceği belirtilmiştir.

İleride yapılacak çalışmalarda; önerilen metodolojinin etkinliğinin karşılaştırılabilmesi amacıyla farklı geleneksel ve/veya ÇKKV yöntemleriyle aynı girdiler kullanılarak karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilebilir. Benzer şekilde bu çalışmada kullanılan risk kriter ve önleyici tedbirleri, gerek literatür gerekse uzman görüşlerine göre çeşitlendirilerek İSG için ortak risk tanımlaması ve tedbirler önerilebilir.

KAYNAKÇA

- Acuner, O., & Çebi, S. (2016). An effective risk-preventive model proposal for occupational accidents at shipyards. *Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike*, 67(1), 67-84.
- Akyüz, E. (2017). A marine accident analysing model to evaluate potential operational causes in cargo ships. *Safety science*, 92, 17-25.
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1-13.
- Bilir, N. (2016). İş sağlığı ve güvenliği profili : Türkiye, Uluslararası Çalışma Örgütü, ILO Türkiye Ofisi, Ankara: ILO. <https://www.csgb.gov.tr/media/4578/kitap09.pdf>
- Carpitella, S., Certa, A., Izquierdo, J., & La Fata, C. M. (2018). A combined multi-criteria approach to support FMECA analyses: A real-world case. *Reliability Engineering & System Safety*, 169, 394-402.
- Chatterjee K., Zavadskas E.K., Roy J., & Kar S. (2018). Performance Evaluation of Green Supply Chain Management Using the Grey DEMATEL–ARAS Model. In: Kar S., Maulik U., Li X. (eds) Operations Research and Optimization. FOTA 2016. *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, vol 225. Springer, Singapore.
- Dadelo, S., Turskis, Z., Zavadskas, E. K., & Dadelienė, R. (2012). Multiple criteria assessment of elite security personal on the basis of ARAS and expert methods. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 46(4), 65-88. Germany.

- Debnath, J., Biswas, A., Sivan, P., Sen, K. N., & Sahu, S. (2016). Fuzzy inference model for assessing occupational risks in construction sites. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 55, 114-128.
- Demirdöğen, O., Erdal, H., & Akbaba, A. İ. (2018). The analysis of factors that affect innovation performance of logistics enterprises in Turkey. In *German-Turkish Perspectives on IT and Innovation Management* (pp. 143-164). Springer Gabler, Wiesbaden.
- Dey, S., Kumar, A., Ray, A., & Pradhan, B. B. (2012). Supplier selection: integrated theory using DEMATEL and quality function deployment methodology. *Procedia Engineering*, 38, 3560-3565.
- Diehl, D., & Spinler, S. (2013). Defining a common ground for supply chain risk management—A case study in the fast-moving consumer goods industry. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 16(4), 311-327.
- Dong, Q., & Cooper, O. (2016). An orders-of-magnitude AHP supply chain risk assessment framework. *International Journal of Production Economics*, 182, 144-156.
- Gül, M., & Güneri, A. F. (2016). A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: a case study for aluminum industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 89-100.
- Erdal, H. (2017a). Tedarik zinciri ağında riskin yönetimi: tedarik yönlü bir karar destek sistemi tasarımı, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- Erdal, H. (2017b). Tarihsel Tecrübeler Işığında Tedarik Zinciri Risk Yönetiminin Önemi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 50, 121-139.
- Erdal, H. (2018a). Tedarik Zinciri Risk Yönetimi: Kavramsal Çerçeve Ve Tedarik Yönlü Bir Literatür Araştırması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (4), 764-796.
- Erdal, H. (2018b). Lojistik Strateji Oluşturulmasına Etki Eden Faktörlerin Nicel Analizi. içinde Lojistik Stratejiler (Yalın, Çevik ve İşbirlikli), (pp.85-116), Bursa: Ekin Yayınevi.
- Erdal, H., & Korucuk, S. (2018). Lojistik Sektöründe İnovasyon Önceliklerinin Belirlenmesi: Karşılaştırmalı Bir Analiz. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 36, 1-24.
- Eurostat, Avrupa İstatistik Ofisi. (2015).https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics.
- Fattahi, R., & Khalilzadeh, M. (2018). Risk evaluation using a novel hybrid method based on FMEA, extended MULTIMOORA, and AHP methods under fuzzy environment. *Safety Science*, 102, 290-300.
- Ho, W., Zheng, T., Yildiz, H., & Talluri, S. (2015). Supply chain risk management: a literature review. *International Journal of Production Research*, 53(16), 5031-5069.
- ILO, International Labour Organization.(2014). Creating Safe and Healthy Workplaces for All, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_305423.pdf
- Kern, D., Moser, R., Hartmann, E., & Moder, M. (2012). Supply risk management: model development and empirical analysis. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 42(1), 60-82.
- Klinke, A., & Renn, O. (2002). A New Approach to Risk Evaluation and Management: Risk-Based, Precaution-Based, and Discourse-Based Strategies 1. *Risk Analysis: An International Journal*, 22(6), 1071-1094.
- Kokangül, A., Polat, U., & Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Safety Science*, 91, 24-32.
- Korucuk, S., Ergün, M., Memiş, S., & Erdal, H. (2018a). An Implementation for Determination of the Importance of Green Logistics Applications in Manufacturing Enterprises: Eskişehir Case. International Conference on Agriculture, Technology, Engineering and Sciences-ICATES, (pp. 97-106), 19-21 September 2018, Lviv, Ukraine
- Korucuk, S., Turpçu, E., & Akyurt, H. (2018b). Bütünleşik Dematel ve GİA Yöntemleri İle Seyahat Acentalarında Lojistik Performans Unsurlarının Ölçülmesi ve En İdeal Seyahat Acentası Seçimi: Giresun İli Örneği. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 10(4), 820-842.
- Korucuk, S., & Erdal, H. (2019). Stratejik Bir Lojistik Fonksiyon Olan Depo Yeri Seçimi Problemi İçin Karşılaştırmalı Nicel Bir Analiz. içinde Lojistikte Güncel Uygulamalar, (pp.155-172), Ankara: Akademisyen Kitabevi.
- Kubler, S., Robert, J., Derigent, W., Voisin, A., & Le Traon, Y. (2016). A state-of-the-art survey & testbed of fuzzy AHP (FAHP) applications. *Expert Systems with Applications*, 65, 398-422.
- Lin, C. J., & Wu, W. W. (2008). A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 205-213.
- Liu, H. C., Li, Z., Song, W., & Su, Q. (2017). Failure mode and effect analysis using cloud model theory and PROMETHEE method. *IEEE Transactions on Reliability*, 66(4), 1058-1072.
- Marhavilas, P. K., Koulouriotis, D., & Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 477-523.

- Meknatjoo, M., & Omidvari, M. (2015). Safety risk assessment by using William–Fine method with compilation fuzzy DEMATEL in machining process. *Iran Occupational Health*, 12(5), 31-42.
- Memiş, S. ve Korucuk, S. (2019). Dematel ve Vikor Bütünselik Yaklaşımı ile Gıda İşletmelerinde İnovasyon Çeşitlerinin Önceliklendirilmesi ve En İdeal Firma Seçimi. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8 (Ek Sayı 1), 1099-1113.
- Menteş, A., Akyıldız, H., Yetkin, M., & Türkoğlu, N. (2015). A FSA based fuzzy DEMATEL approach for risk assessment of cargo ships at coasts and open seas of Turkey. *Safety Science*, 79, 1-10.
- Othman, M. R., Idris, R., Hassim, M. H., & Ibrahim, W. H. W. (2016). Prioritizing HAZOP analysis using analytic hierarchy process (AHP). *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(5), 1345-1360.
- Pinto, A., Nunes, I.L., & Ribeiro, R.A. (2011). Occupational risk assessment in construction industry—Overview and reflection. *Safety Science*, 49(5), 616-624.
- Rezaee, M. J., Salimi, A., & Yousefi, S. (2017). Identifying and managing failures in stone processing industry using cost-based FMEA. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(9-12), 3329-3342.
- SGK, Sosyal Güvenlik Kurumu. (2018). SGK İstatistik Yıllıkları. http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari
- Shariati, S., Yazdani-Chamzini, A., Salsani, A., & Tamosaitiene, J. (2014). Proposing a new model for waste dump site selection: Case study of Ayerma Phosphate Mine. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 25(4), 410-419.
- Tixier, J., Dusserre, G., Salvi, O., & Gaston, D. (2002). Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*, 15(4), 291-303.
- TMMOB, Makine Mühendisleri Odası. (2018). Oda Raporu: İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği. Güncellenmiş 8.Baskı, Yayın No: MMO-689, Ankara.
- Varmazyar, M., Dehghanbaghi, M., & Afkhami, M. (2016). A novel hybrid MCDM model for performance evaluation of research and technology organizations based on BSC approach. *Evaluation and Program Planning*, 58, 125-140.
- Verma, S., & Chaudhari, S. (2016). Highlights from the literature on risk assessment techniques adopted in the mining industry: a review of past contributions, recent developments and future scope. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(4), 691-702.
- Wang, Q., Wang, H., & Qi, Z. (2016). An application of nonlinear fuzzy analytic hierarchy process in safety evaluation of coal mine. *Safety Science*, 86, 78-87.
- WHO, Dünya Sağlık Örgütü. (2018). Occupational Health. http://www.who.int/topics/occupational_health/en/
- Yazdi, M. (2017). Hybrid probabilistic risk assessment using fuzzy FTA and fuzzy AHP in a process industry. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 17(4), 756-764.
- Yılmaz, N., & Şenol, M. B. (2017). İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için bulanık çok kriterli bir model ve uygulaması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 77-87.
- Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decisionmaking. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.
- Zhang, F., Rahman, A., Goh, M., Ignatius, J., & Ng, P. S. (2017). The State of the Art in FAHP in Risk Assessment. In *Fuzzy Analytic Hierarchy Process* (pp. 33-66). Chapman and Hall/CRC.
- Zhou, J. L., Bai, Z. H., & Sun, Z. Y. (2014). A hybrid approach for safety assessment in high-risk hydropower-construction-project work systems. *Safety Science*, 64, 163-172.

EXTENDED ABSTRACT

It is one of the basic principles of a healthy and happy working environment to identify the treaty situations and risks, and to analyze them in a methodology in the field of occupational health and safety. Diversification of risk assessments conducted at institutions and organizations and looking at events in different ways are vital for minimizing the risk. International Labour Organization defines

(i) Occupational health: The development, promotion, and maintenance of workplace policies and programs that ensure the physical, mental, and social well-being of employees. These policies and programs strive to: prevent harmful health effects because of the work

environment, protect employees from health hazards while on the job, place employees in work environments that are suitable to their physical and mental capacities and other characteristics, and address other factors that may affect an employee's health and well-being;

(ii) Occupational safety: The maintenance of a work environment that is relatively free from actual or potential hazards that can injure employees; and

(iii) Occupational health and safety: The discipline dealing with the prevention of work-related injuries and diseases as well as the protection and promotion of the health of workers. It aims at the improvement of working conditions and environment. Members of many different professions (e.g. engineers, physicians, hygienists, psychologists, nurses) contribute to "occupational safety, occupational health, occupational hygiene, well-being at work and improvement of the working environment" (<http://www.iloencyclopaedia.org/>).

Worldwide, there are millions of occupational accidents and victims of work-related illnesses annually. As for the private sector, the risk assessment within the scope of occupational health and safety is extremely important for public sector in order to prevent possible loss of life and property.

Therefore, in this study, The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Additive Ratio Assessment (ARAS) methods have been adapted to the risk analysis and a new approach was proposed.

In order to determine the relationship between the risk factors as well as the prioritization of risk factors, unlike other multi-criteria decision-making methods, we preferred to utilize the DEMATEL method. While evaluating the performance of decision alternatives, ARAS method was preferred in order to reveal the proportional similarity of each decision alternative to the ideal decision alternative.

The aim of this study is to prioritize the risk factors that constitute the highest level of risk for occupational health and safety in the garage of a public institution where the maintenance and repair of the vehicles are conducted, and to determine the measures that can be taken to prevent these risks, and to provide guidance to the public institution.

This study has been carried out because of the fact that there are limited proposed quantitative methodologies for prioritizing the risk factors for occupational health and safety and the measures that can be taken to prevent these risks in the literature. Besides, there is no risk analysis methodology which is currently utilized in the related public institution.

While determination of the risk factors and the measures, face to face interviews were carried out with the five experts who are working within the institution. According to the results of the analysis, the prioritization of risk factors obtained by DEMATEL method are; An

accident occurred by lack of training and experience(R_1)>> An accident occurred by physical and mental fatigue(R_2)>> An accident occurred by burning, explosion or falling(R_3)>> Workbench and hand tools related burrs to eye or body (R_4), respectively.

The prioritization of measures that can be taken to prevent these risks obtained by ARAS method are; Education and consciousness raising(A_1)>> Active control of working environment(A_3)>> The use of physical protective equipment(A_2)>> Caution-warning signs(A_4), respectively.

The cause-and-effect relations among the factors are also obtained. An accident occurred by lack of training and experience (R_1) and An accident occurred by physical and mental fatigue (R_2) factors are obtained as cause factors, and An accident occurred by burning, explosion or falling and Workbench and hand tools related burrs to eye or body (R_4) factors are obtained as effect factors.

An accident occurred by lack of training and experience (R_1) factor apparently has the most influence on risk perception. It is concluded that the DEMATEL and ARAS methods, which are utilized in this study and many other studies, can be used effectively in order to prioritize the risk factors that constitute the highest level of risk for occupational health and safety, and to determine the measures that can be taken to prevent these risks.

In future studies, in order to compare the effectiveness of the proposed methodology, a comparative analysis can be performed by using the same inputs with different traditional and/or multi-criteria decision methods. Similarly, risk criteria and preventive measures, utilized in this study, can be diversified according to the literature and expert opinions, and common risk identification and measures can be proposed for occupational health and safety.