



İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için bulanık çok kriterli bir model ve uygulaması

Nahit Yılmaz¹, Mehmet Burak Şenol^{2*}

¹Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Harekât Araştırması Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Ankara, Türkiye

ÖNEÇİKANLAR

- İş sağlığı ve güvenliği kapsamında risk ve önlemlerin entegre değerlendirmesi
- Bulanık mantık ile çok kriterli risk değerlendirme
- Önlemlerin önceliklendirilmesine risk ağırlıklarının etkisi

Makale Bilgileri

Geliş: 02.11.2015

Kabul: 10.11.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.300597

Anahtar Kelimeler:

İş sağlığı ve güvenliği, risk analizi ve değerlendirmesi, bulanık-analitik hiyerarşi prosesi, ideal çözüme benzerliğe göre tercihlerin sıralanması, çok kriterli karar verme

ÖZET

İşletmelerde kaza veya kayıpların önlenmesi etkin bir İş Sağlığı ve Güvenliği Sisteminin (ISG) kurulmasına ve risk analizlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesine bağlıdır. Uzman görüşlerindeki öznellik risk analizini ve sonuçları etkilemektedir. Tehlikelerin değerlendirilmesi ve tehlikelere yönelik önlemlerin değerlendirilmesi olmak üzere iki aşamadan oluşan bu çalışmada, Bulanık Mantık ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin risk analizi sürecine entegrasyonu ile geleneksel risk analizi yaklaşımının etkinliği artırılmıştır. Birinci aşamada, geleneksel risk analizinde kullanılan "olasılık" ve "şiddet" faktörlerine "maliyet" unsuru da dâhil edilmiş, faktör ağırlıkları Bulanık-AHP ile belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar kullanılarak Bulanık-TOPSIS ile tehlikeler önceliklendirilmiştir. İkinci aşamada ise tehlikelerin faktör ağırlıkları kullanılarak önlemlerin öncelik sırası Bulanık-TOPSIS ile belirlenmiştir. Bu yaklaşımın önemi risklerin yanında önlemlerin de önceliklendirilmesidir. Önlemlerin önceliklendirilmesinde tehlikeler için tespit edilen faktör ağırlıkları dikkate alınmış; risk ve önlemler birlikte değerlendirilmiştir. Önerilen yöntem metal sanayinde faaliyet gösteren bir işletmede uygulanmış ve tehlike büyüklüğünün belirlenmesinde "maliyet" faktörünün "olasılık" ve "şiddet" faktörlerinden daha etkili olduğu tespit edilmiştir. En önemli ilk üç risk kaynağı "Çalışma Ortamı Kaynaklı, Makine Kaynaklı ve Çalışan Kaynaklı" tehlikeler olurken, öncelikli ilk üç önlem "Tatbikat Yapma, Eğitim Düzenleme ve Makine Yenileme" olarak belirlenmiştir.

A model and application of occupational health and safety risk assessment

HIGHLIGHTS

- Evaluation of risks and preventive actions simultaneously for occupational health and safety
- Fuzzy logic and multi-criteria risk evaluation
- Effects of risk weights on prioritizing preventive actions

Article Info

Received: 02.11.2015

Accepted: 10.11.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.300597

Keywords:

Occupational health and safety, risk analysis and assessment, fuzzy-analytic hierarchy process, technique for order of preference by similarity to ideal solution, multi-criteria decision making

ABSTRACT

An efficient Occupational Health and Safety System (OHSAS) and successful risk analysis are required to prevent accidents in companies. Subjectivity within experts' view effects risk analysis and results. This study consist of two phases which are evaluations of risks and preventive actions, the efficiency of traditional risk analysis approach has been increased with the integration of Fuzzy Logic and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. In the first phase, "cost" factor was included in addition to "probability" and "violence" factors employed in traditional risk analysis. Hazards are ordered by F-TOPSIS with respect to these weights. In the second phase, preventive actions are ordered by F-TOPSIS with respect to hazard factor weights. Hazard factor weights were taken into account while ordering preventive actions, risks and preventive actions are simultaneously evaluated. The proposed approach was applied in a metal industry company and it is revealed that "cost" factor is more important than "probability" and "violence" in determining hazards values. While "Operating Environment, Machinery-Related and Employee-Related" hazards are determined as the primary three sources of risks, "Field Exercise, Internal Trainings and Machinery Renewal are identified as the three primary actions to eliminate these risks.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: mburaksenol@gazi.edu.tr / Tel: +90 312 252 6200-5980

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) açısından tehlike; çalışma ortamında var olan veya dışarıdan gelebilecek, çalışanları veya işyerini etkileme potansiyeline sahip bir durumdur. Risk; bu tehlikelerden doğacak yaralanma veya kayıp şeklindeki her türlü sonucun meydana gelme olasılığıdır. Tehlikelerden kaynaklanan riskin büyüklüğünü tahmin etme ve mevcut kontrollerin yeterliliğini dikkate alarak riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar verme süreci ise "Risk Değerlendirme" olarak tanımlanır. İSG Risk değerlendirmesinde Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi (FTA), Olay Ağacı Analizi (ETA), Sapma Analizi (SA), Sebep-Sonuç Analizi, Eğer-Öyleyse Analizi (If-then), Başlangıç Tehlike Analizi vb. nitel veya nicel birçok yöntem kullanılmaktadır. Kullanım kolaylığı nedeniyle en çok tercih edilen metotlardan biri de Matris Tipi Analiz yöntemleridir. Matris Tipi Analiz yöntemleri ile yapılan geleneksel risk değerlendirme yaklaşımında, tehlikelerin büyüklüğü "gerçekleşme olasılığı" ve "şiddeti" ile ölçülmektedir. Ancak risklerin verimlilik, itibar, prestij kaybı, mali zarar, çevre etkisi vb. sonuçları da mümkündür. Labodová vd. öngörülmemiş bir tehlikenin riske dönüşmesiyle oluşacak kazaların mali zararlar, idari-hukuki yaptırımlar, çalışanlar için iş günü, motivasyon ve performans kayıpları vb. birçok olumsuzluğa yol açtığına dikkat çekmektedir [1]. Bu nedenle; itibar-verimlilik kaybı, olasılık-çevre etkisi, şiddet-maliyet vb. birden fazla faktörün aralarındaki ilişkilerin belirlenmesi ve bunların riskler bazında etkilerinin ölçülmesi gerekmektedir. Geleneksel risk değerlendirme yaklaşımındaki bu eksiklik, birden çok kriterin ilişki değerlerinin ve ağırlıklarının belirlenmesine imkân sağlayan Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri (ÇKKV) ile giderilebilir [2]. Altı bölümden oluşan bu çalışmada, risklerin tespit edilmesi ve öncelik sıralarının belirlenmesi aşamalarına bulanık mantık ve ÇKKV uygulamaları dâhil edilerek, uzmanların geleneksel risk analiz sürecinde dilsel değişkenler kullanmasına olanak sağlayan bulanık bir yaklaşım önerilmiştir. Bulanık mantık ve ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonu ile geleneksel risk değerlendirme yaklaşımına yeni bir bakış kazandırılması amaçlanmıştır. İkinci bölümde literatürde bulunan risk analizi yöntem ve yaklaşımları sunulmuştur. Bulanık Mantık, AHP ve TOPSIS yöntemleri üçüncü bölümde, önerilen yeni yöntem ise makalenin dördüncü bölümünde açıklanmıştır. Önerilen yöntem metal kesimi, kaynak ve doğrama işlemlerinin yürütüldüğü bir işletmenin risk analizi sürecinde uygulanmış, elde edilen sonuçlar beşinci bölümde sunulmuştur. Altıncı bölümde çalışmaya ilişkin değerlendirmeler ve ileriki çalışmalar için öneriler sunulmuştur. Risklerin büyüklüklerinin belirlenmesinde, tehlikelerin "gerçekleşme olasılıkları" ile "şiddet" faktörlerinin yanında "Maliyet" unsuru da dikkate alınmış, ele alınan bu risk faktörlerinin ikili ilişkilerini belirlemede Bulanık-AHP kullanılmış, daha sonra Bulanık-TOPSIS yöntemi kullanılarak tehlikelerin öncelik sırası belirlenmiştir. Tespit ve değerlendirme işlemi yapılan

risklerin giderilmesi için alınacak önlemlerin önceliklendirilmesinde ise Bulanık-TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmanın önemi ve literatüre katkısı; risklerle birlikte bu riskleri gidermek için gereken önlemlerin de bulanık mantıkla önceliklendirilmesi ve önlemler önceliklendirilirken riskler için tespit edilen faktör ağırlıklarının (çarpılması) dikkate alınmasıdır. Tehlike kaynaklarına ait faktör ağırlıklarının önlemlerin önceliklendirilmesi sürecine dâhil edilmesi en kritik risklere yönelik önlemlerin öncelikli uygulanmasını sağlayacaktır. Bu ağırlıklar dikkate alınmazsa düşük öncelikli bir risk için belirlenen önlemler işletmelerde ilk sırada uygulanabilir. Özetle İSG açısından risk ve önlemlerin entegre bir şekilde birlikte değerlendirmesi konusu ilk defa bu çalışmada önerilmiş ve uygulanmış, ayrıca maliyet faktörü risk değerlendirmeye dahil edilmiş, tehlikelerin büyüklüklerinin belirlenmesinde maliyet faktörünün olasılık ve şiddet faktöründen daha önemli olduğu tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Risk analizine ilişkin ilk çalışmalar 1950'li yıllardaki askeri uygulamalara dayanmaktadır. Analiz metotları uygulandıkları alanın gereksinimlerine göre zamanla gelişim göstermiştir. Risk analizi kapsamında yapılan çalışmaların, yaşanmış iş kazalarının sınıflandırılması ve kazaların sıklıklarının belirlenmesi, riskin bileşenlerinin ortaya çıkarılması ve alternatif risk değerlendirme metotlarının geliştirilmesi konularında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir: Larsson ve Field iş kazası risklerinin dağılımını bölgesel olarak belirlemeye çalışmış, yapılan işe özgü analiz tekniklerinin kullanılmasını gerektiğini vurgulamıştır [3]. Makin ve Winder riskleri yönetim, fiziksel çevre, dış saha ve çalışan başlıkları altında incelemiştir [4]. Chen mobilya sektöründe yaşanmış iş kazalarının analizini yaparak erken önlem almaya imkân verebilecek bir değerlendirme aracı önermiştir [5]. Literatürde yapılan incelemede; nitel ve nicel birçok metodun kullanıldığı [6] görülmekle birlikte L ve X Tipi Matris Metodu, FMEA, FTA, ETA [7], Sebep-Sonuç Analizi, If-then, Başlangıç Tehlike Analizi [8] metotları sıklıkla kullanılmaktadır. Bowles ve Pelaez'e göre L ve X Tipi Matris metodu, acil olarak önlem alınması gerekli görülen risklerin tespiti ve analizi için sebep ve sonuç ilişkisi temelinde değerlendirme yapan bir yöntemdir [9]. Problem üzerinde etkisi olan parametrelerin tanımlanmasına ve aralarındaki ilişkilerin belirlenmesine imkân sağladığından, önerilen yaklaşım matris tipi analiz yöntemi üzerine teşkil edilmiştir. İSG'ye ilişkin risk analizi çalışmalarına bakıldığında, sisteminin iyileştirmesinde iki önemli etken olarak çalışanların iş güvenliği bilinçlerinin artırılması ve risk analizi sürecinin uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi gösterilmektedir [10]. Geleneksel risk analizi sürecinde; risk değerini sadece olasılık ve şiddet faktörleri belirlemede; maliyet, çevre etkisi, çalışanların verimlilik, performans ve motivasyon kayıpları vb. diğer faktörler göz ardı edilmektedir. Ayrıca risk analiz

ekibindeki uzmanlar belirli bir risk için farklı değerlendirmelerde bulunabilmektedirler. Birden çok faktörü ele alabilmek ve uzman görüşlerindeki farklılığı giderebilmek için son yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları şu şekilde özetlenebilir: Cho vd. yapı projelerinde yürüttükleri risk analizi çalışmalarında ETA yöntemini kullanmış ve bu yöntemi bulanık mantık ile geliştirerek öznel ve olasılıklı değerlerin oluşturduğu belirsizliği gidermeye çalışmıştır [11]. Hadjimichael havacılık sektöründe yaptıkları risk analizi sürecinde bulanık küme teorisini kullanarak proaktif bir risk belirleme ve karar alma sistemi olan Uçuş Operasyonları Risk Analizi Sistemini (FORAS) geliştirmiştir [12]. Zhang ve Chu FMEA tekniği ile yaptıkları değerlendirme sürecinde risklerin önceliklendirilmesi için bulanık ağırlık ortalamalarını kullanılmıştır [13]. Padma ve Balasubramanie mesleki rahatsızlıkların risk kaynaklarını psikolojik, fiziksel ve mekaniksel olarak üç ana başlıkta sınıflandırmış ve boyun ile omuz ağrılarına en çok etki eden risk kaynağını belirlemede Bulanık-AHP kullanmıştır [14]. Mokhtari vd. liman hizmetlerinde yürüttükleri risk analizi çalışmasında risk kaynaklarını güvenlik, kirlilik, yasal yükümlülükler, insan faktörleri ve teknik olmak üzere beş ana başlıkta sınıflandırmış, çalışma sahalarında tespit ettikleri riskleri Kanıtsal Muhakeme (ER) yöntemi ile değerlendirmiş ve AHP ile önceliklendirmiştir [15]. Fan vd. bilgi teknolojilerinin yoğun olarak kullanıldığı çalışma ortamlarında risklerin önem seviyelerinin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında 2-Tuple bulanık dilsel ifadeler ve DEMATEL metodu kullanmıştır [16]. Kutlu ve Ekmekçioğlu otomotiv sanayinde yürüttükleri FMEA analizi çalışmasında risk parametrelerinin belirlenmesinde ve ağırlıklandırılmasında Bulanık-TOPSIS yöntemi kullanmıştır [17]. Liu vd. tıbbi kaynaklı risklerin parametrelerinin belirlenmesinde Bulanık-FMEA, önceliklendirilmesinde ise VIKOR yöntemi kullanmıştır [18]. Samantra vd. risk kaynaklarını stratejik, teknik, finansal, sektörel, operasyonel, çevresel, bilgi, yönetsel ve yönetim ilişkileri olarak 10 kategoride değerlendirmiş, karar vericilerin olasılık ve şiddet öngörülerini dilsel ifadelerle almıştır [19]. Mandal ve Maiti vinç operasyonlarında risk seviyesinin belirlenmesi için kullandıkları olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik parametrelerinin ağırlıklarını belirlemede bulanık mantık uygulamıştır [20]. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, bulanık mantık uygulamasının sadece risklerin değerlendirilmesi sürecinde farklı ÇKKV teknikleri ile kullanıldığı görülmektedir. Ancak, risk analizi ve değerlendirmesi sürecinde risklerin doğru tespiti kadar, bu riskleri gidermek için alınacak önlemlerin hangi sıra ile uygulanacağı da önemlidir. Bu çalışma ile risklerin tespiti süreciyle birlikte alınacak önlemlerin belirlendiği süreçte de bulanık mantığın kullanılmasını sağlayan bir yöntem önerilmektedir. Birinci bölümde de ifade edildiği üzere İSG açısından bu çalışmanın önemi ve literatüre katkısı risklerle birlikte önlemlerin de önceliklendirilmesi ve önlemler önceliklendirilirken riskler için tespit edilen faktör ağırlıklarının (çarpılması) dikkate alınması; risk ve önlemlerin entegre bir şekilde birlikte değerlendirilmesi ve ayrıca maliyet faktörünün risk değerlendirmeye dahil edilmesidir.

3. BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC)

Nesnelerin sınıflandırılmasında üyelik derecelerinin net olarak belirlenemediği durumlarda bulanık mantık kullanılmaktadır [21]. Zadeh [22], üyelik derecesinin sadece “0” ve “1” ile temsil edilmesinin yetersiz olduğunu ileri sürmüştü; bu şekilde tanımlanan bulanık bir kümenin, geleneksel küme yapısından farklı olarak küme sınırlarını esnek tutacağını ve üyelik derecesi için [0, 1] aralığındaki değerlerin de kullanılabilceğini ifade etmiştir. Buckley’ye göre “1”nin en az olası değer, “m”nin en olası değer ve “u”nun en geniş olası değer olarak belirlendiği bir kümede, üçgensel üyelik fonksiyonu, bu üç parametre kullanılarak Eş. 1’de verildiği gibi hesaplanabilir [23].

$$\mu_A(x; l; m; u) = \begin{cases} \frac{(x-l)}{(m-l)}, & l \leq x \leq m \\ \frac{(u-x)}{(u-m)}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u, x < l. \end{cases} \quad (1)$$

3.1. Bulanık AHP (Fuzzy-Analytic Hierarchy Process)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) karar sürecine etki eden kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterler arasındaki ilişki seviyelerinin ortaya çıkarılmasında kullanılmaktadır [24]. Laarhoven ve Pedrycz, Saaty’nin önceliklendirme teorisini bulanık mantıkla geliştirerek, Bulanık-AHP modelini ortaya çıkarmıştır [25]. Bulanık-AHP, karar vericiye sayısal değerlendirmeler yanında yaklaşık değerlendirme yapma imkânı da vermektedir [24]. Chang kriterlerin ikili karşılaştırmasında üçgensel bulanık sayıları, kriterlerin önceliklendirmesinde ise geliştirdiği boyut analizi yöntemini kullanarak Bulanık-AHP sürecinde yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur [26]. Chang S_i ’yi i . kriterin bulanık değeri, $M_{g_i}^j$ ’yi ise i . kriterin j . kritere göre bulanık karşılaştırma değeri olarak Eş. 2’de verildiği şekilde tanımlamıştır [27]:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j * [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} \\ \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \\ [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (2)$$

M_1 ve M_2 üçgensel bulanık sayılarını sırasıyla (l_1, m_1, u_1) ve (l_2, m_2, u_2) ile gösterirsek, $(M_2 \geq M_1)$ ifadesinin olasılık derecesi Eş. 3 ve 4’de verildiği şekilde belirlenir;

$$V(M_2 \geq M_1) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & dd. \end{cases} \quad (3)$$

$$i = \{1, 2, \dots, n\} \text{ için } d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_n) \quad (4)$$

Buradan, $n \neq i$ olmak üzere ağırlık vektörü Eş. 5’te verildiği şekilde ifade edilir;

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (5)$$

Normalize edilen ağırlık vektörü ise Eş. 6'da yer aldığı şekildedir;

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

Bulanık AHP, literatürde çok sayıda karar verme probleminin çözümünde kullanılmıştır. Aksakal ve Dağdeviren [28] işgücü yetenek düzeylerinin AHP ve DEMATEL yöntemleri ile bulanık bir değerlendirmesini yaparak elde edilen değerlendirme sonuçlarını hedef programlama için birer kısıta dönüştürmüştür. Bunların dışında hata türü ve etkileri analizi [2], personel seçimi [29], tedarikçi seçimi [30] ve değerlendirmesi [31], üretim ve yatırım kararlarının verilmesi [32], lojistik sürecinde araç seçimi [33] vb. alanlarda kriter ağırlıklarının belirlenmesi için AHP yöntemi uygulanmıştır.

3.2 Bulanık TOPSIS

(Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)

Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, alternatiflerin kriterlere göre değerlendirdiği ve en iyi çözümün, ideal çözüme olan pozitif ve negatif uzaklıklara göre belirlendiği ÇKKV metodudur [34]. Tedarikçilerin değerlendirilmesi, yer seçimi, ulaştırma problemleri, kalite sistemlerinin değerlendirilmesi, amaç programlama vb. birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Chen ve Hwang TOPSIS yöntemini bulanık mantıkla geliştirerek, alternatiflerin kriterler bazında değerlendirilmesinde karar vericiye yaklaşık değerlendirmeler yapma imkânı sağlamıştır [35].

Bulanık mantıkla geliştirilen bu yöntemde, karar vericiler $\{KV_1, KV_2, \dots, KV_N\}$, kriterlere $\{K_1, K_2, \dots, K_N\}$ göre alternatifleri $\{A_1, A_2, \dots, A_N\}$ değerlendirir ve ardından alternatiflerin üçgensel bulanık kriter değerleri $x'_j = (a_j, b_j, c_j)$ ve kriterlerin üçgensel bulanık ağırlıkları $w'_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ Eş. 7'de verildiği şekilde hesaplanır. Burada; $x'_j = (a_j, b_j, c_j)$, alternatiflerin sırasıyla en az olası, en olası ve en geniş olası üçgensel bulanık kriter değerlerini ifade ederken, $w'_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ ise kriterlerin sırasıyla en az olası, en olası ve en geniş olası üçgensel bulanık ağırlıklarını ifade eder.

$$\begin{aligned} x'_j &= (a_j, b_j, c_j) & a_j &= \min_k \{a_{ijk}\} \\ b_j &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N b_{ijk} & c_j &= \max_k \{c_{ijk}\} \\ w'_j &= (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3}) & w_{j1} &= \min_k \{w_{k1}\} \\ w_{j2} &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_{k2} & w_{j3} &= \max_k \{w_{k3}\} \end{aligned} \quad (7)$$

Oluşturulan karar matrisi fayda (B) ve maliyet (C) kriterleri ile normalize edilir, Eş. 8 yardımıyla r'_j normalize edilmiş üçgensel bulanık sayılar belirlenir:

$$r'_j = \left(\frac{a_j}{c_j^*}, \frac{b_j}{c_j}, \frac{c_j}{c_j^*} \right) \quad ve \quad c_j^* = \max_k c_j, \quad j \in B \quad (8)$$

$$r'_j = \left(\frac{a'_j}{c_j}, \frac{a'_j}{b_j}, \frac{a'_j}{a_j} \right) \quad ve \quad a'_j = \min_k a_j, \quad j \in C$$

Normalize edilmiş ağırlıklı bulanık karar matrisi ($V'_j = r'_j * w'_j$) hesaplandıktan sonra, bulanık pozitif ideal çözüm vektörü $\{info: V_j^* = \max \{V_{j3}\}; A^* = (V_1^*, V_2^*, \dots, V_n^*)\}$ ve negatif ideal çözüm vektörü $\{info: V_j^- = \min \{V_{j1}\}; A^- = (V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-)\}$ oluşturulur. Alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözüm vektörlerine olan uzaklıkları ve her bir alternatif için yakınlık değeri (C_i) Eş. 9'da verildiği şekilde hesaplanır. En iyi çözümün, (C_i) yakınlık katsayısı değerinin yüksek olması beklenir.

$$\begin{aligned} d_i^* &= \sum_{j=1}^n d_v(V_j', V_j^{*}) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \\ d_i^- &= \sum_{j=1}^n d_v(V_j', V_j^{-}) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \\ d_i^- &= \frac{d_i}{a_i^- + d_i^*} \end{aligned} \quad (9)$$

Bulanık TOPSIS literatürde çeşitli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Delice en öncelikli hizmet kriteri olarak uçuş güvenliğinin belirlendiği havayolu taşımacılığı hizmet sektöründe havayolu firma alternatiflerinin sıralanmasında Bulanık-VIKOR ve Bulanık-TOPSIS yöntemlerini kullanılmıştır [36]. Bunun dışında; demiryolu bağlantı yollarına ilişkin yatırım kararı verilmesi [37], firmaların finansal performans değerlendirmesi [38, 39] vb. alanlarda en uygun alternatifin seçimi için TOPSIS yöntemi uygulanmıştır.

4. ÖNERİLEN YÖNTEM (PROPOSED METHOD)

Geleneksel risk analizi süreci tehlikelerin belirlenmesi, etki değerlerinin ölçülmesi, sıralanması ve en yüksek tehlikeden başlanmak üzere önleyici tedbirlerin belirlenmesi, uygulanması ve sürekli kontrol şeklindedir [2]. Bu aşamalar içerisinde özellikle tehlikelerin tanımlanması, etki değerlerinin ölçülmesi ve sıralanması adımları doğrudan uzman görüşlerine dayanmaktadır [17]. Belirli bir tehlike kaynağına ilişkin uzman görüşlerinin farklı olduğu durumunda, kesin risk skorunun hesaplanmasında zorluk yaşanabilir. Sözel ifadelerin sayısallaştırılması ve farklı düşüncelerin ortak bir paydada birleştirilmesi bulanık mantık uygulamasıyla mümkündür. Önerilen yöntemde; öncelikle tehlikelerin büyüklüklerinin belirlenmesinde dikkate alınan faktörlerin hangi ağırlık ile ele alınması gerektiğinin belirlenmesi için bu faktörler arasındaki ikili ilişkiler belirlenir ve ağırlıkları hesaplanır. Elde edilen bu ağırlıklar, risklerin önceliklendirilmesinde kullanılır. Geliştirilen yöntemde, risk analizi süreci temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; önce tehlikelerin değerlendirilmesi, ardından tespit edilen tehlikelere yönelik önlemlerin belirlenmesidir. Birinci aşamada; "olasılık", "şiddet" ve "maliyet" faktörlerinin ağırlık değerleri Bulanık-AHP yöntemi ile hesaplanır. Ardından, elde edilen bu ağırlık değerleri, Bulanık-TOPSIS yönteminde girdi olarak kullanılır ve her bir tehlikenin büyüklüğü hesaplanarak öncelik sıralaması yapılır. İkinci aşamada ise, tehlikelerin öncelik sırasına göre hangi önlemlerin alınması

gerektiği sorgulanır. Önlemlerin etki değerlerinin belirlenmesinde, uzmanlar “Alınacak önlem, büyüklüğü belirlenmiş tehlikenin olasılığını, şiddetini ve maliyetini ne derece azaltabilir?” sorusuna cevap verecek bir değerlendirme yapar. Ardından, Bulanık-TOPSIS yöntemi ile her bir önlemin etki değeri ve öncelik sırası tehlike kaynaklarının faktör ağırlıkları ile çarpılarak belirlenir. Çalışmada uzmanların kullandığı dilsel ifadeler Tablo 1a [23] ve Tablo 1b’de [25] verilmiştir.

5. UYGULAMA (APPLICATION)

Geliştirilen yöntem metal kesimi, kaynak ve doğrama işlemlerinin yürütüldüğü bir işletmede uygulanmıştır. Analiz sürecinde görev alan üç kişilik uzman ekibinin atölyede yürütülen faaliyetlere ve İSG esaslarına hâkim

olması aranmış, bu nedenle uzman ekip; İSG Uzmanı, İş Müfettişi ve Atölye Şefinden oluşturulmuştur. Üç kişilik uzman ekibinin görüşleri, önerilen yönteme uygun olarak hazırlanan anket formu ile temin edilmiştir. Uygulama adımları;

Aşama 1: (Tehlikelerin Değerlendirilmesi) Uzmanlarca atölyede tespit edilen tehlike kaynakları ve riskler Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de verilen tehlikelerin büyüklüklerinin belirlenmesinde, “Olasılık”, “Şiddet” ve “Maliyet” faktörlerinin hangi ağırlık değerleri ile ele alınması gerektiğini belirlemek amacıyla uzman görüşleri alınmıştır. Alınan uzman görüşleri Tablo 1a kullanılarak üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş, Eş. 7 ile bu bulanık sayılar tek bir değere indirgenmiştir. Buna göre oluşan Bulanık Karar Matrisi Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 1. Değerlendirmede kullanılan dilsel ifadeler (Linguistic expressions for evaluations)

a. Faktörlerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel İfadeler (Linguistic Expressions for Evaluations of Criteria) (Buckley, 1985)				b. Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dilsel İfadeler (Linguistic Expressions for Evaluations of Alternatives) (Laarhoven, 1983)			
	Bulanık Değerler				Bulanık Değerler		
Kesinlikle Güçlü (KG)	2	2,50	3	Çok Yüksek (ÇY)	8	10	10
Çok Güçlü (ÇG)	1,50	2	2,50	Yüksek (Y)	7	8	9
Yeterince Güçlü (YG)	1	1,50	2	Biraz Yüksek (BY)	5	6,50	8
Biraz Güçlü (BG)	1	1	1,50	Orta (O)	4	5	6
Eşit (E)	1	1	1	Biraz Düşük (BD)	2	3,50	5
Biraz Zayıf (BZ)	0,60	1	1	Düşük (D)	1	2	3
Yeterince Zayıf (YZ)	0,50	0,60	1	Çok Düşük (ÇD)	0	0	2
Çok Zayıf (ÇZ)	0,40	0,50	0,60				
Kesinlikle Zayıf (KZ)	0,20	0,40	0,50				

Tablo 2. Tehlike kaynakları ve riskler (Hazards and hazard resources)

Tehlike Kodu	Tehlike Kaynakları	Riskler
T-1	Kaynak işlemi esnasında oluşan gazın çalışma ortamında birikmesi.	Oksijen yetersizliği ve kaynak gazı nedeniyle zehirlenme.
T-2	Torna ve freze işlemlerinde ortaya çıkan metal çapaklarının çalışanlara zarar vermesi.	Çapakların çalışanların göz veya vücutlarına sıçraması.
T-3	Çalışanların mesleki olarak yeterli eğitime sahip olmamaları.	Mesleki eğitim eksikliği nedeniyle kazaya sebebiyet verilmesi.
T-4	Uzun çalışma süreleri nedeniyle personelin mental ve fiziksel yorgunluğu.	Mental ve fiziksel yorgunluğun kazaya sebebiyet vermesi.
T-5	Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak tüplerinin yanma ve patlama tehlikesi oluşturması.	Yanma veya patlama.

Tablo3. Uzmanların faktörlere ilişkin değerlendirmeleri ve bulanık karar matrisi
(Experts’ assessments for risk factors and fuzzy evaluation matrix)

Faktörler	Dilsel Değerlendirmeler			Bulanık Karar Matrisi		
	Olasılık	Şiddet	Maliyet	Olasılık	Şiddet	Maliyet
Olasılık	E,E,E,	YG,BG,BG	BG,YG,BG	(1 1 1)	(1 1,17 2)	(1 1,70 2)
Şiddet		E,E,E,	ÇG,YG,ÇG	(0,50 0,89 1)	(1 1 1)	(1 1,83 2,5)
Maliyet			E,E,E	(0, 50 0,89 1)	(0,40 0,56 1)	(1 1 1)

Tablo 4. Uzmanların risk kaynaklarına ilişkin değerlendirmeleri ve bulanık karar matrisi
(Experts' assessments for hazard resources and fuzzy evaluation matrix)

Tehlike Kaynağı Kodu	Dilsel Değerlendirmeler			Bulanık Karar Matrisi		
	Olasılık	Şiddet	Maliyet	Olasılık	Şiddet	Maliyet
T-1	ÇY, Y, ÇY	ÇY, Y, Y	O, Y, BY	(7 9,33 10)	(7 8,66 10)	(4 6,50 9)
T-2	ÇY, Y, Y	BY, Y, O	Y, O, Y	(7 8,66 10)	(4 6,50 9)	(4 79)
T-3	ÇY, ÇY, Y	O, Y, Y	Y, Y, O	(7 9,33 10)	(4 79)	(4 79)
T-4	D, O, D	D, D, O	D, O, O	(1 36)	(1 36)	(1 46)
T-5	ÇY, Y, BY	ÇY, BY, Y	Y, Y, BY	(5 8,16 10)	(5 8,16 10)	(5 7,5 9)

Tablo 5. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi ve yakınlık katsayıları
(Weighted normalized fuzzy decision matrix and closeness coefficients)

Tehlike Kaynağı Kodu	a. Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi			b. İdeal Çözüme Uzaklık ve Yakınlık Katsayıları		
	Olasılık	Şiddet	Maliyet	d^*	d^-	C_i
T-1	(0,20 0,25 0,45)	(0,20 0,25 0,45)	(0,12 0,17 0,40)	0,59	0,82	0,58
T-2	(0,20 0,23 0,45)	(0,11 0,17 0,40)	(0,12 0,19 0,40)	0,65	0,77	0,54
T-3	(0,20 0,25 0,45)	(0,11 0,19 0,40)	(0,12 0,19 0,40)	0,64	0,77	0,55
T-4	(0,03 0,09 0,27)	(0,030,08 0,27)	(0,03 0,11 0,30)	0,97	0,43	0,31
T-5	(0,14 0,22 0,45)	(0,15 0,22 0,45)	(0,15 0,20 0,4)	0,64	0,80	0,56

Tablo 6. Mevcut tehlikelerin önlenmesi için alınabilecek önlemler (Actions for preventing current risks)

Tespit Edilen Tehlikelerin Önlenmesi İçin Alınacak Önlem Alternatifleri (A1-A10)	
A1 (Tatbikat)	A6 (Ergonomik Düzenleme)
A2 (İç Eğitim)	A7 (Saha Kontrolü)
A3 (Uyarı İkaz Levhaları)	A8 (Alternatif Malzeme/Kimyasal)
A4 (KKD Kullanımı)	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)
A5 (Makine-Ekipman Yenileme)	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)

Tablo 7. Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi (Normalized Fuzzy Decision Matrix)

	A1 (Tatbikat)	A2 (İç Eğitim)	A3 (İkaz Levhaları)	A4 (KKD Kullanımı)	A5 (Makine Yenileme)
T1	(0,40 0,50 0,58)	(0,29 0,46 0,58)	(0,29 0,4 0,52)	(0,29 0,46 0,58)	(0,4 0,54 0,58)
T2	(0,37 0,46 0,54)	(0,27 0,44 0,54)	(0,27 0,37 0,48)	(0,37 0,5 0,54)	(0,27 0,43 0,54)
T3	(0,38 0,51 0,55)	(0,44 0,55 0,55)	(0,27 0,45 0,55)	(0,38 0,51 0,55)	(0,27 0,41 0,49)
T4	(0,03 0,19 0,55)	(0,03 0,27 0,49)	(0,03 0,19 0,33)	(0,06 0,3 0,49)	(0,12 0,33 0,49)
T5	(0,44 0,55 0,55)	(0,44 0,55 0,55)	(0,28 0,45 0,55)	(0,28 0,45 0,55)	(0,39 0,51 0,55)
	A6 (Ergonomik Düzenleme)	A7 (Saha Kontrolü)	A8 (Alternatif Malzeme/Kimyasal)	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)
T1	(0,46 0,58 0,58)	(0,05 0,2 0,34)	(0,05 0,2 0,34)	(0,11 0,31 0,52)	(0 0,15 0,52)
T2	(0,37 0,46 0,54)	(0,27 0,41 0,54)	(0,27 0,43 0,54)	(0,05 0,24 0,43)	(0,05 0,24 0,43)
T3	(0,27 0,44 0,55)	(0,22 0,45 0,55)	(0,05 0,24 0,44)	(0,22 0,35 0,49)	(0,44 0,55 0,55)
T4	(0,03 0,12 0,18)	(0,06 0,17 0,27)	(0,21 0,26 0,31)	(0,24 0,31 0,31)	(0,21 0,26 0,31)
T5	(0,28 0,45 0,56)	(0,22 0,39 0,5)	(0,44 0,56 0,56)	(0,1 0,05 0,28)	(0,05 0,19 0,33)

Bulanık değerlendirme matrisinde yer alan verilerle Eş. 2 kullanılarak faktörlerin ikili karşılaştırma değerleri aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$S_{olasılık} = S_0 = (3 \ 3,33 \ 5) * \left(\frac{1}{12,5} \ \frac{1}{9,5} \ \frac{1}{7,4}\right) = (0,24 \ 0,35 \ 0,67)$$

$$S_{sidet} = S_s = (2,5 \ 3,724,5) * (0,08 \ 0,11 \ 0,14) = (0,200 \ 0,391 \ 0,608)$$

$$S_{maliyet} = S_m = (1,942,443) * (0,08 \ 0,11 \ 0,14) = (0,152 \ 0,257 \ 0,405)$$

Elde edilen vektörler Eş. 3 ve 4 ile karşılaştırılmış ve aşağıdaki değerlere bulunmuştur.

$$V(S_0 \geq S_s) = 1 \quad V(S_s \geq S_0) = 1,21 \quad V(S_m \geq S_0) = 1$$

$$V(S_0 \geq S_m) = 0,64 \quad V(S_s \geq S_m) = 0,60 \quad V(S_m \geq S_s) = 1$$

Eş. 5 ile $W' = (0,64 \ 0,6 \ 1)^T$ şeklinde bulunan ağırlık vektörü, Eş. 6 kullanılarak normalize edildiğinde faktör ağırlıkları $W = (0,29 \ 0,27 \ 0,45)^T$ olarak tespit edilmiştir. Uzman görüşleri “Maliyet” faktörünün, tehlike büyüklüklerinin belirlenmesinde daha etkili olduğunu göstermektedir. Tehlike kaynaklarının, bu faktörler bazında değerlendirilmesi için Tablo 4’de verildiği şekilde uzman görüşleri alınmıştır. Alınan uzman görüşleri Tablo 1b kullanılarak üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüş, Eş. 7 ile bu bulanık sayılar tek bir değere indirgenmiştir. Buna göre oluşan Bulanık Karar Matrisi Tablo 4’de verilmiştir. Bulanık karar matrisi Eş. 8 kullanılarak önce normalize edilmiş, ardından $W = (0,29 \ 0,27 \ 0,45)^T$ şeklinde tespit edilen faktör ağırlıkları ile çarpılarak Tablo 5’de verildiği gibi ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Matriste yer alan veriler kullanılarak Eş. 9 ile tehlike kaynaklarının öncelik sıralaması hesaplanmıştır. Burada; d^+ ideal çözüme pozitif uzaklık, d^- ideal çözüme negatif uzaklık, C_i ise yakınlık katsayısıdır. En iyi çözümün, C_i yakınlık katsayısı değerinin yüksek olması beklenir. Buna göre; T-1 “Kaynak işlemi esnasında oluşan gazın çalışma ortamında birikmesi” tehlikesi, uzman ekip değerlendirmeleri sonucu öncelikli tehlike kaynağı olarak bulunmuştur. Bunu sırasıyla; T-5 “Kaynak işlemlerinde

kullanılan kaynak tüplerinin yanma ve patlama tehlikesi oluşturması”, T-3 “Çalışanların mesleki olarak yeterli eğitime sahip olmamaları.”, T-2“Torna ve freze işlemlerinde ortaya çıkan metal çapaklarının çalışanlara zarar vermesi”, ve son olarak T-4 “Uzun çalışma süreleri nedeniyle personelin mental ve fiziksel yorgunluğu” takip etmektedir.

Aşama 2: (Önlemlerin Belirlenmesi) Bir önceki aşamada tespiti yapılan tehlikelerin önlenmesi için uygulanacak önlemler Tablo 6’da listelenmiştir.

Bu adımda; tespit edilen tehlike kaynaklarını önlenmesi için alınacak önlemlerin hangi öncelik sırası ile uygulanması gerektiği sorgulanır. Tablo 6’da verilen önlem alternatifleri, tehlike kaynaklarına göre uzman ekip tarafından Tablo 1b’de verilen dilsel ifadeler kullanılarak değerlendirilir. EK A (Tablo A1)’de uzman ekibin değerlendirmeleri verilmiştir. Uzman ekibin dilsel değerlendirmeleri, Tablo 1b dikkate alınarak üçgen bulanık sayılara dönüştürülmüş. Ortaya çıkan bulanık karar matrisi EK B (Tablo A2)’de verilmiştir. Elde edilen bulanık karar matrisi, EK C (Tablo A3)’de verildiği üzere Eş. 8 ile normalize edilmiştir. Tehlike kaynaklarının faktör ağırlıkları ile bulanık değerler çarpılarak Tablo 7’de verilen Ağırlıklı Normalize Edilmiş Bulanık Karar Matrisi oluşturulmuştur. Son olarak, Eş. 9 kullanılarak her alternatifin yakınlık katsayıları Tablo 8’de verildiği şekilde belirlenmiştir. Geliştirilen yöntem ile elde edilen sonuçlar, ideal çözüme pozitif ve negatif uzaklıklar ile yakınlık katsayıları açısından incelendiğinde; “0.58” yakınlık katsayısı değeri ile T-1 “Kaynak işlemi esnasında oluşan gazın çalışma ortamında birikmesi” tehlikesinin öncelikli tehlike kaynağı olarak değerlendirildiği görülmektedir. Bunu sırasıyla; T-5, T-3, T-2 ve son olarak T-4 takip etmektedir. Tehlikelerin önlenmesi için alınması gereken önlemlere yönelik analiz sonuçları incelendiğinde; “0.73” yakınlık katsayısı değeri ile A1 “Tatbikat” uygulamasının öncelikli önlem olduğu görülmektedir. Bunu; sırasıyla A2 “İç Eğitim”, A5 “Makine-Ekipman Yenileme”, A4 “Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımı” ve A6 “Ergonomik Düzenleme” uygulamaları takip etmektedir. En az etkiye sahip önlemin ise A9 “Yönetim-Strateji Değişikliği” olduğu görülmektedir.

Tablo 8. Alternatiflerin Yakınlık Katsayıları (Closeness Coefficients of Alternatives)

Alternatifler	A1 (Tatbikat)	A2 (İç Eğitim)	A3 (Uyarı İkaz Levhaları)	A4 (KKD Kullanımı)	A5 (Makine-Ekipman Yenileme)	A6 (Çalışma Ortamı Düzenleme)	A7 (Saha Kontrolü)	A8 (Alternatif Malzeme/ kimyasal)	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)
d_i^*	0,76	0,82	1,22	0,88	0,84	0,97	1,39	1,28	1,57	1,50
d_i^-	2,13	2,07	1,73	2,02	2	1,84	1,49	1,57	1,32	1,44
C_i	0,73	0,71	0,60	0,70	0,70	0,65	0,51	0,55	0,45	0,49

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

İSG sisteminin geliştirilmesinde çalışanların iş güvenliği bilinçlerinin artırılması ve risk analizi sürecinin uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Bulanık Mantık ve ÇKKV yöntemlerinin İSG alanındaki risk analizi uygulamalarına entegrasyonu ile geleneksel risk değerlendirme yaklaşımına yeni bir bakış kazandırılması amaçlanmıştır, bu kapsamda; kesin bir risk skorunun hesaplanmasında ve alınacak önlemlerin belirlenmesinde karşılaşılan zorlukları ortadan kaldırmak, uzman görüşlerindeki farklılıkları azaltarak ortak bir paydada birleştirmek için dilsel değişkenlerin kullanıldığı bulanık bir yaklaşım önerilmiştir. Metal sanayinde faaliyet gösteren bir işletmede yapılan risk değerlendirmesi uygulamasında, uzman görüşleri alınarak öncelikle atölye ortamındaki tehlikeler tespit edilmiş, ardından tehlike faktörlerinin ikili ilişkileri Bulanık-AHP yöntemi ile belirlenmiş, elde edilen faktör ağırlıkları kullanılarak Bulanık-TOPSIS metodu ile tehlikeler önceliklendirilmiştir. Risklerin değerlendirilmesinden sonra, uzman görüşleri alınarak tehlikeleri ortadan kaldırabilecek önlemler belirlenmiş ve Bulanık-TOPSIS metodu kullanılarak önlemler önceliklendirilmiştir. Geliştirilen yöntem ile yapılan uygulama sonuçları incelendiğinde; “0,58” yakınlık katsayısı değeri ile T-1 “Kaynak işlemi esnasında oluşan gazın çalışma ortamında birikmesi” tehlikesinin, uzmanlarca öncelikli tehlike kaynağı olarak değerlendirildiği gözükmektedir. Tehlikelerin önlenmesi için belirlenen önlemlere yönelik analiz sonuçları incelendiğinde; “0,73” yakınlık katsayısı değeri ile A1 “Tatbikat” uygulamasının öncelikli önlem olduğu görülmekte, A9 “Yönetim-Strateji Değişikliği” ise en az etkiye sahip önlem olarak değerlendirilmektedir. Bu bulgular çerçevesinde, önerilen ilk iki önlemin eğitim faaliyeti içerikli olması da dikkat çekici bir husustur. Önerilen yaklaşım Matris Tipi Analiz Teknikleri üzerine teşkil edilmiştir. İleriki çalışmalarda, Bulanık Mantığın entegre edildiği risk analizi sürecinin Olay Ağacı Analizi, Hata Türleri ve Etkileri Analizi, Eğer-Öyleyse vb. farklı risk analizi tekniklerinde uygulanması araştırılabilir. Bunun yanında; önerilen yaklaşımda kullanılan Bulanık AHP-TOPSIS metodu yerine farklı ÇKKV teknikleri kullanılarak riskler ve tedbirlerin öncelik sıralamasında yapacağı etki de incelenebilir. Bu çalışmada risk büyüklüklerinin belirlendiği aşamada, tehlikelerin “gerçekleşme olasılığı”, “şiddet” ve “maliyet” faktörlerine göre değerlendirilmesi sağlanmıştır. İleriki çalışmalar için “çevre etkisi”, “itibar kaybı”, “verimlilik kaybı” vb. daha fazla faktörün ele alındığı modellerin uygulanması önerilmektedir. Ayrıca; risk faktörlerinin ağırlık değerleri değiştirilerek bir Duyarlılık Analizi uygulaması yapılabilir ve değişen faktör ağırlıklarının risk önceliklerini nasıl etkilediği de araştırılabilir.

NOT: Bu çalışmada belirtilen hususlar Türk Silahlı Kuvvetlerinin resmi görüşü olmayıp, yazarların bireysel görüşü ve değerlendirmesidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Labodová A., Implementing Integrated Management Systems Using A Risk Analysis Based Approach, Journal of Cleaner Production, 12, 571-580, 2003.
2. Özfirat P.M., A New Risk Analysis Methodology Integrating Fuzzy Prioritization Method and Failure Modes and Effects Analysis, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29 (4), 755-768, 2014.
3. Larsson T.J., Field B., The Distribution of Occupational Injury Risks In the State of Victoria, Safety Science, 40 (5), 419-437, 2002.
4. Makin A.M., Winder C., A New Conceptual Framework to Improve the Application of Occupational Health and Safety Management Systems, Safety Science, 46, 935-948, 2008.
5. Chen C.Y., A Comparative Analysis of the Factors Affecting the Implementation of Occupational Health and Safety Management Systems in the Printed Circuit Board Industry in Taiwan, Journal of Prevention in the Process Industries, 22, 210-215, 2009.
6. Marhavalas P.K., Koulouriotis D., Gemeni V., 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, 2011.
7. Tixier J., Dusserre G., Salvi O., Gaston D., Review of 62 Risk Analysis Methodologies of Industrial Plants, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 15 (4), 291-303, 2002.
8. Pinto A., Nunes I.L., Ribeiro R.A., Occupational Risk Assessment in Construction Industry–Overview and Reflection, Safety Science, 49 (5), 616-624, 2011.
9. Bowles J.B., Pelaez C.E., Fuzzy Logic Prioritization of Failures in A System Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, Reliability Engineering & System Safety, 50 (2), 203-213, 1995.
10. Ceylan H., Başhelvacı V.S., Risk Analysis With Risk Assessment Matrix Method: An Application, International Journal of Engineering Research and Development, 3 (2), 25-33 (InTurkish), 2011.
11. Cho H.N., Choi H.H., Kim Y.B., A Risk Assessment Methodology for Incorporating Uncertainties Using Fuzzy Concepts, Reliability Engineering and System Safety, 78, 173-183, 2002.
12. Hadjimichael M., A Fuzzy Expert System for Aviation Risk Assessment, Expert Systems with Applications, 36, 6512-6519, 2009.
13. Zhang Z., Chu X., Risk Prioritization in Failure Mode and Effects Analysis Under Uncertainty, Expert Systems with Applications, 38, 206-214, 2011.
14. Padma T., Balasubramanie P., A Fuzzy Analytic Hierarchy Processing Decision Support System to Analyze Occupational Menace Forecasting the Spawning of Shoulder and Neck Pain, Expert Systems with Applications, 38, 15303-15309, 2011.

15. Mokhtari K., Ren J., Roberts C., Wang J., Decision Support Framework for Risk Management on Sea Ports and Terminals Using Fuzzy Set Theory and Evidential Reasoning Approach, *Expert Systems with Applications*, 39, 5087-5103, 2012.
16. Fan Z.P., Suo W.L., Feng B., Identifying Risk Factors of it Outsourcing Using Interdependent Information: An Extended DEMATEL Method, *Expert Systems with Applications*, 39, 3832-3840, 2012.
17. Kutlu A.C., Emekçioğlu M., Fuzzy Failure Modes and Effects Analysis by Using Fuzzy TOPSIS-Based Fuzzy AHP, *Expert Systems with Applications*, 39, 61-67, 2012.
18. Liu H.C., Liu L., Liu N., Mao L. X., Risk Evaluation in Failure Mode and Effects Analysis with Extended VIKOR Method Under Fuzzy Environment, *Expert Systems with Applications*, 39, 12926-12934, 2012.
19. Samantra C., Datta S., Mahapatra S.S., Risk Assessment in IT Outsourcing Using Fuzzy Decision-Making Approach: An Indian Perspective, *Expert Systems with Applications*, 41, 4010-4022, 2014.
20. Mandal S., Maiti J., Risk Analysis Using FMEA: Fuzzy Similarity Value and Possibility Theory Based Approach, *Expert Systems with Applications*, 41, 3527-3537, 2014.
21. Capocelli R.M., De Luca A., Fuzzy Sets and Decision Theory, *Information and Control*, 23, 446-473, 1973.
22. Zadeh L.A., Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338-353, 1965.
23. Buckley J.J., Fuzzy Hierarchical Analysis, *Fuzzy Sets and Systems*, 17 (3), 233-247, 1985.
24. Saaty T.L., Modeling Unstructured Decision Problems-The Theory of Analytical Hierarchies, *Mathematics and Computers in Simulatio XX*, 147-158, 1978.
25. Laarhoven V.P.M.J., Pedrycz W., A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory, *Fuzzy Sets and Systems*, 1 (11), 229-241, 1983.
26. Chang D.Y., Extent Analysis and Synthetic Decision, *Optimization Techniques and Applications*, 1, 342, 1992.
27. Chang D.Y., Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655, 1996.
28. Aksakal E., Dağdeviren M., Talent Management Based Personnel Assignment Model and Solution Proposal, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (2), 249-262, 2015.
29. Dağdeviren M., Personnel Selection with Fuzzy Analytical Hierarchy Process and an Application, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22 (4), 791-799, 2007.
30. Dağdeviren M., Dönmez N., Kurt M., Developing a New Model for Supplier Evaluation Process for a Company and its Application, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21 (2), 247-255, 2006.
31. Arıkan F., Küçükçe Y.S., A Supplier Selection-Evaluation Problem for the Purchase Action and its Solution, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27 (2), 255-264, 2012.
32. Güner M., Önder Y., The Determination of Optimal Product by Using the Hierarchical Simulation of Basic Criteria in Clothing Production, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 22 (1), 73-79, 2007.
33. Kabak M., Uyar Ö.O., A Multi Criteria Approach for Heavy Commercial Vehicle Selection Problem in Logistics Sector, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (1), 115-125, 2013.
34. Hwang C.L., Yoon K., *Multiple Attribute Decision Making*, Springer-Verlag, Berlin, 1981.
35. Chen S.J., Hwang C.L., *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
36. Delice E.K., A Fuzzy Multi Criteria Model for Airline Companies Selection, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (2), 263-276, 2016.
37. Kılıç O., Çerçioğlu H., Application of Compromise Multiple Criteria Decision Making Methods for Evaluation of TCDD's Railway Lines Projects, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (1), 211-220, 2016.
38. İç Y.T., Tekin M., Pamukoğlu F.Z., Yıldırım S.E., Development of A Financial Performance Benchmarking Model for Corporate Firms, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (1), 71-85, 2014.
39. Yurdakul M., İç Y.T., An Illustrative Study Aimed to Measure and Rank Performance of Turkish Automotive Companies Using TOPSIS, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 18 (1), 1-18, 2003.

EK A (APPENDIX A)

Tablo A1. Alternatiflerin tehlike kaynaklarına göre değerlendirilmesi
(Linguistic evaluations of alternatives with respect to hazard sources)

Tehlike Kaynağı Kodu	Alternatifler	KV 1 (İSG Uzmanı)	KV 2 (İş Müfettişi)	KV 3 (Atölye Şefi)
T1	A1 (Tatbikat)	Y	ÇY	Y
	A2 (İç Eğitim)	BY	Y	ÇY
	A3 (Uyarı İkaz Levhaları)	BY	BY	Y
	A4 (KKD Kullanımı)	Y	ÇY	BY
	A5 (Makine-Ekipman Yenileme)	ÇY	ÇY	Y
	A6 (Çalışma Ortamı Düzenleme)	ÇY	ÇY	ÇY
	A7 (Saha Kontrolü)	BD	O	D
	A8 (Alternatif malzeme/kimyasal)	BD	O	D
	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)	BD	Y	O
	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)	ÇD	ÇD	Y
T2	A1 (Tatbikat)	Y	ÇY	Y
	A2 (İç Eğitim)	BY	ÇY	ÇY
	A3 (Uyarı İkaz Levhaları)	BY	Y	BY
	A4 (KKD Kullanımı)	ÇY	ÇY	Y
	A5 (Makine-Ekipman Yenileme)	Y	BY	ÇY
	A6 (Çalışma Ortamı Düzenleme)	Y	Y	ÇY
	A7 (Saha Kontrolü)	BY	ÇY	BY
	A8 (Alternatif malzeme/kimyasal)	BY	ÇY	Y
	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)	D	O	BY
	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)	D	O	BY
T3	A1 (Tatbikat)	ÇY	ÇY	Y
	A2 (İç Eğitim)	ÇY	ÇY	ÇY
	A3 (Uyarı İkaz Levhaları)	ÇY	ÇY	BY
	A4 (KKD Kullanımı)	ÇY	ÇY	Y
	A5 (Makine-Ekipman Yenileme)	BY	Y	Y
	A6 (Çalışma Ortamı Düzenleme)	BY	Y	ÇY
	A7 (Saha Kontrolü)	ÇY	ÇY	O
	A8 (Alternatif malzeme/kimyasal)	O	D	BY
	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)	Y	O	BY
	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)	ÇY	ÇY	ÇY
T4	A1 (Tatbikat)	O	D	BD
	A2 (İç Eğitim)	O	D	Y
	A3 (Uyarı İkaz Levhaları)	O	D	BD
	A4 (KKD Kullanımı)	Y	O	BD
	A5 (Makine-Ekipman Yenileme)	Y	O	O
	A6 (Çalışma Ortamı Düzenleme)	O	O	D
	A7 (Saha Kontrolü)	Y	O	BD
	A8 (Alternatif malzeme/kimyasal)	Y	Y	ÇY
	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)	ÇY	ÇY	ÇY
	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)	Y	Y	ÇY
T5	A1 (Tatbikat)	ÇY	ÇY	ÇY
	A2 (İç Eğitim)	ÇY	ÇY	ÇY
	A3 (Uyarı İkaz Levhaları)	ÇY	ÇY	BY
	A4 (KKD Kullanımı)	ÇY	ÇY	BY
	A5 (Makine-Ekipman Yenileme)	ÇY	ÇY	Y
	A6 (Çalışma Ortamı Düzenleme)	BY	Y	ÇY
	A7 (Saha Kontrolü)	Y	Y	O
	A8 (Alternatif malzeme/kimyasal)	ÇY	ÇY	ÇY
	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)	D	BD	D
	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)	D	BD	O

EK B (APPENDIX B)**Tablo A2.** Bulanık karar matrisi (Fuzzy decision matrix)

Tehlike Kaynağı Kodu	A1 (Tatbikat)	A2 (İç Eğitim)	A3 (Uyarı İkaz Levhaları)	A4 (KKD Kullanımı)	A5 (Makine-Ekipman Yenileme)
T1	(7 8,66 10)	(5 8,16 10)	(5 7 9)	(5 8,16 10)	(7 9,3 10)
T2	(7 8,66 10)	(5 8,33 10)	(5 7 9)	(7 9,33 10)	(5 8,16 10)
T3	(79,33 10)	(8 10 10)	(5 8,33 10)	(7 9,33 10)	(5 7,5 9)
T4	(13,5 6)	(1 59)	(1 3,5 6)	(2 5,5 9)	(4 69)
T5	(8 1010)	(8 1010)	(5 8,33 10)	(5 8,33 10)	(7 9,3310)
Tehlike Kaynağı Kodu	A6 (Ergonomik Düzenleme)	A7 (Saha Kontrolü)	A8 (Alternatif Malzeme/ Kimyasal)	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)
T1	(8 10 10)	(1 3,5 6)	(1 3,5 6)	(2 5,5 9)	(0 2,66 9)
T2	(7 8,66 10)	(5 7,66 10)	(5 8,16 10)	(1 4,5 8)	(1 4,5 8)
T3	(5 8,16 10)	(4 8,33 10)	(1 4,5 8)	(4 6,5 9)	(8 1010)
T4	(1 46)	(2 5,5 9)	(7 8,66 10)	(8 10 10)	(7 8,66 10)
T5	(5 8,16 10)	(4 7 9)	(8 10 10)	(1 2,5 5)	(1 3,5 6)

EK C (APPENDIX C)**Tablo A3.** Normalize edilmiş bulanık karar matrisi (Normalized fuzzy decision matrix)

Tehlike Kaynağı Kodu	A1 (Tatbikat)	A2 (İç Eğitim)	A3 (Uyarı İkaz Levhaları)	A4 (KKD Kullanımı)	A5 (Makine-Ekipman Yenileme)
T1	(0,7 0,86 1)	(0,5 0,81 1)	(0,5 0,7 0,9)	(0,5 0,81 1)	(0,7 0,93 1)
T2	(0,7 0,86 1)	(0,50,83 1)	(0,5 0,7 0,9)	(0,7 0,93 1)	(0,5 0,81 1)
T3	(0,7 0,93 1)	(0,811)	(0,5 0,83 1)	(0,7 0,93 1)	(0,5 0,75 0,9)
T4	(0,1 0,351)	(0,1 0,5 0,9)	(0,1 0,35 0,6)	(0,2 0,55 0,9)	(0,4 0,6 0,9)
T5	(0,8 1 1)	(0,8 11)	(0,5 0,83 1)	(0,5 0,83 1)	(0,7 0,93 1)
Tehlike Kaynağı Kodu	A6 (Ergonomik Düzenleme)	A7 (Saha Kontrolü)	A8 (Alternatif Malzeme/ Kimyasal)	A9 (Yönetim Strateji Değişikliği)	A10 (Periyodik Sağlık Kontrolü)
T1	(0,8 11)	(0,1 0,35 0,6)	(0,1 0,35 0,6)	(0,2 0,55 0,9)	(0 0,26 0,9)
T2	(0,7 0,86 1)	(0,50,76 1)	(0,5 0,81 1)	(0,1 0,45 0,8)	(0,1 0,45 0,8)
T3	(0,5 0,81 1)	(0,4 0,83 1)	(0,1 0,45 0,8)	(0,4 0,65 0,9)	(0,8 11)
T4	(0,1 0,4 0,6)	(0,20,550,9)	(0,7 0,86 1)	(0,8 11)	(0,7 0,86 1)
T5	(0,5 0,81 1)	(0,40,7 0,9)	(0,811)	(0,1 0,25 0,5)	(0,1 0,35 0,6)

