



## A model proposal for occupational health and safety risk assessment based on multi-criteria hesitant fuzzy linguistic term sets: An application in plastics industry

Aslı Çalış Boyacı<sup>1\*</sup>, Muhsin Burak Solmaz<sup>1</sup>, Mehmet Kabak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Ondokuz Mayıs University, Samsun, 55139, Turkey

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Gazi University, Ankara, 06570, Turkey

### Highlights:

- Inclusion of cost factor in addition to probability, frequency, and severity factors
- Risk assessment using MC-HFLTS
- Comparative analysis for pre-improvement and post-improvement conditions

### Keywords:

- Occupational health and safety
- Risk assessment
- Hesitant fuzzy linguistic term sets
- Fine-Kinney method

### Article Info:

Research Article  
Received: 12.10.2019  
Accepted: 25.11.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.632323

### Correspondence:

Author: Aslı Çalış Boyacı  
e-mail: asli.calis@omu.edu.tr  
phone: +90 362 312 1919

### Graphical/Tabular Abstract

According to the occupational health and safety law, it is necessary to take protective and preventive measures against risks by conducting risk assessment to ensure occupational health and safety in the workplaces. Many qualitative or quantitative methods are used in occupational health and safety risk assessment. In this study, which offers a new perspective on the Fine-Kinney method which is widely used in workplaces, “Cost” factor was included in addition to the “Probability”, “Frequency”, and “Severity” factors and a risk assessment model based on Multi-Criteria Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (MC-HFLTS) was proposed.

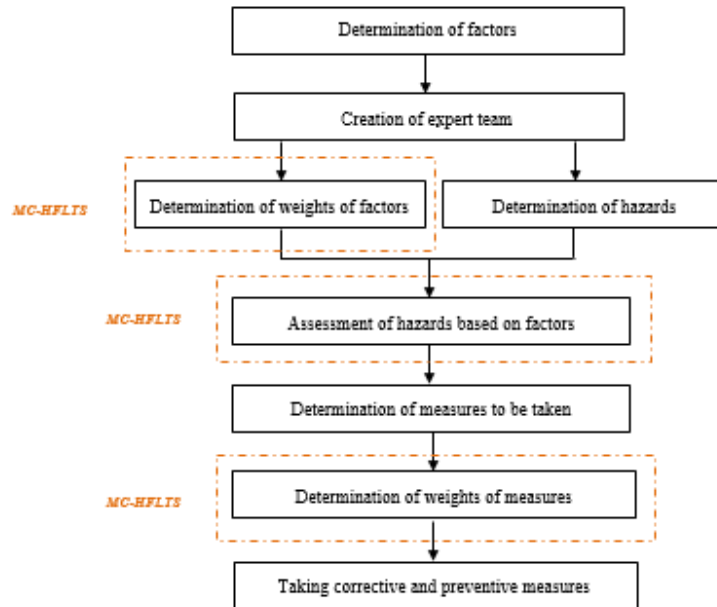


Figure A. The flow chart of the proposed method

**Purpose:** The aim of this study is to determine the weights of factors, evaluate the hazards, determine the weights of measures, and take corrective and preventive control measures by using the proposed model.

**Theory and Methods:** In this study “cost” factor was included in addition to the “probability”, “frequency”, and “severity” factors used in Fine-Kinney method and a risk assessment model based on Multi-Criteria HFLTS was implemented in the molding unit of a company operating in the plastics industry. Firstly, the hazards were determined in line with the opinions of the experts and the weights of factors were determined using MC-HFLTS method and then the hazards were prioritized on the basis of factors. Following the assessment of the hazards, measures that could be taken were weighted by using the same method and necessary measures were taken.

**Results:** The most important factor was the “Severity” and the hazard type with the highest weight was determined as “Hazards that may cause fire and explosion”. After improvement, the hazards were reevaluated using the same method and the rankings were compared.

**Conclusion:** It is appropriate to use the proposed to evaluate the occupational health and safety risks. For future work, the number of factors may be increased and sensitivity analysis may be performed to show the robustness of the decision-making process.



## Kararsız bulanık dilsel terim setleri ile iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için model önerisi: Plastik sektöründe bir uygulama

Aslı Çalış Boyacı<sup>1\*</sup>, Muhsin Burak Solmaz<sup>1</sup>, Mehmet Kabak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 55139 Atakum, Samsun, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570, Maltepe, Ankara, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Olasılık, sıklık ve şiddet faktörlerine maliyet faktörünün dâhil edilmesi
- ÇK-KBDTS ile risk değerlendirme
- İyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası karşılaştırmalı analiz

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi  
Geliş: 12.10.2019  
Kabul: 25.11.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.632323

### Anahtar Kelimeler:

İş sağlığı ve güvenliği,  
risk değerlendirme,  
kararsız bulanık dilsel terim  
setleri,  
Fine-Kinney yöntemi

### ÖZET

İş sağlığı ve güvenliği kanununa göre, iş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması için risk değerlendirmesi yapılarak risklere karşı koruyucu ve önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesinde nitel veya nicel birçok yöntem kullanılmaktadır. İş yerlerinde yaygın olarak kullanılan Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemine farklı bir bakış açısı sunulan bu çalışmada, "Olasılık", "Sıklık" ve "Şiddet" faktörlerine "Maliyet" faktörü de dâhil edilmiş ve Çok Kriterli Kararsız Bulanık Dilsel Terim Setleri (ÇK-KBDTS) temelli bir risk değerlendirme modeli önerilmiştir. Önerilen model, plastik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin kalıphane biriminde uygulanmıştır. Uzmanların görüşleri doğrultusunda öncelikle tehlikeler belirlenerek ÇK-KBDTS yöntemi ile faktör ağırlıkları elde edilmiş ve ardından faktörler bazında tehlikeler önceliklendirilmiştir. En yüksek öneme sahip faktör "Şiddet" olurken, en yüksek ağırlığa sahip tehlike türü ise "Yangın ve patlamaya neden olabilecek tehlikeler" olarak belirlenmiştir. Tehlikelerin değerlendirilmesinin ardından alınabilecek önlemler ağırlıklandırılmış ve gerekli tedbirin alınması sağlanmıştır. İyileştirme sonrası yine aynı yöntem kullanılarak tehlikelerin tekrar değerlendirilmesi sağlanmış ve sıralamalar karşılaştırılmıştır

## A model proposal for occupational health and safety risk assessment based on multi-criteria hesitant fuzzy linguistic term sets: An application in plastics industry

### H I G H L I G H T S

- Inclusion of cost factor in addition to probability, frequency, and severity factors
- Risk assessment using MC-HFLTS
- Comparative analysis for pre-improvement and post-improvement conditions

### Article Info

Research Article  
Received: 12.10.2019  
Accepted: 25.11.2020

### DOI:

10.17341/gazimmfd.632323

### Keywords:

Occupational health and  
safety,  
risk assessment,  
hesitant fuzzy linguistic term  
sets,  
Fine-Kinney method

### ABSTRACT

According to the occupational health and safety law, it is necessary to take protective and preventive measures against risks by conducting risk assessment to ensure occupational health and safety in workplaces. Many qualitative or quantitative methods are used in occupational health and safety risk assessment. In this study, which offers a new perspective on the Fine-Kinney method which is widely used in workplaces, "Cost" factor was included in addition to the "Probability", "Frequency", and "Severity" factors and a risk assessment model based on Multi-Criteria Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets (MC-HFLTS) was proposed. The proposed model was implemented in the molding unit of a company operating in the plastics industry. Firstly, the hazards were determined in line with the opinions of the experts, and the weights of factors were determined using MC-HFLTS method. Then the hazards were prioritized on the basis of factors. The most important factor was the "Severity" and the hazard type with the highest weight was determined as "Hazards that may cause fire and explosion". Following the assessment of the hazards, measures that could be taken were weighted and the necessary measure was taken. After improvement, the hazards were reevaluated using the same method and the rankings were compared.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çalışanların korunmasını sağlamaya yönelik inceleme ve uygulamalar bütünü olan İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) açısından tehlike; iş yerinde var olan veya dışarıdan gelebilecek, insanların yaralanmasına, hastalanmasına, malın veya malzemenin ya da işyeri ortamının zarar görmesine neden olabilecek potansiyele sahip bir durumdur. Risk ise tehlikeden kaynaklanabilecek kayıp, yaralanma veya başka zararlı sonucun meydana gelme ihtimalidir. Tehlikeden kaynaklanan riskin büyüklüğünün tahmin edilmesi ve mevcut kontrollerin yeterliliğinin dikkate alınarak riskin kabul edilebilir olup olmadığına karar verilmesi için gerçekleştirilen kapsamlı çalışma ise risk değerlendirme olarak ifade edilir. İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununa göre iş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması için risk değerlendirmesi yapılarak risklere karşı koruyucu ve önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir [1]. İSG risk değerlendirmesi için kalitatif ve kantitatif birçok yöntem mevcuttur. Yaygın olarak kullanılan yöntemler; Ön Tehlike Analizi (PHA), İş Güvenlik Analizi (JSA), Olursa Ne Olur? (What If.?), Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi (FTA), Neden-Sonuç Analizi (CCA), Olay Ağacı Analizi (ETA), Tehlike ve İşletilebilir Çalışması Metodolojisi (HAZOP), Risk Değerlendirme Karar Matris Metodolojisi ve Fine-Kinney Metodudur.

Risk değerlendirme metodolojilerinin tarihçesi Sanayi Devrimi'ne dayanmakla birlikte risk değerlendirmesi kavramı ilk olarak 20. yüzyılın başlarında güvenilirlik teoreminin oluşturularak kullanılmaya başlanması ile telaffuz edilmiştir. 1950'li yılların sonlarına doğru, sistemlerin bozulmasında insan hatalarının önemi üzerinde duran birçok savunma sanayi ve uzay çalışması gerçekleştirilmiştir. Teknolojideki gelişime bağlı olarak artan iş kazaları ve meslek hastalıkları nedeniyle İSG risk değerlendirme çalışmaları zamanla önem kazanmıştır [2]. Literatürdeki İSG risk değerlendirme çalışmalarını şu şekilde özetlemek mümkündür: Leigh ve Miller [3], ABD'deki meslek hastalıkları ve ölümlerin meslekler üzerindeki dağılımlarını incelemişlerdir. İşçiler, makine teknisyenleri, hemşire yardımcıları ve temizlik görevlilerinin çeşitli hastalıklara yakalanma olasılıklarının yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Larsson ve Field [4], mesleki travmanın önlenmesi için ulusal bir sistem geliştirmek amacıyla Avustralya'nın Victoria eyaletinde meydana gelen iş kazası risklerinin dağılımını incelemişlerdir. Dollard ve Knott [5], psikososyal stres yükleyicileri ve psikolojik riskleri inceledikleri çalışmalarında, işyerinde fiziksel sağlık kadar ruh sağlığının da önemli olduğunu vurgulayarak sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı elde etmek için psikososyal risk kontrolünün gerekli olduğunu öne sürmüşlerdir. Chen vd. [6], İSG Yönetim Sistemleri'nin (OHSAS) uygulanabilirliğini araştırmak amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmalarında, Tayvan'da Baskılı Devre Kartı (PCB) endüstrisinde faaliyet gösteren on bir PCB üreticisine OHSAS performanslarını değerlendirmek için anket uygulamışlardır. Anket sonuçları PCB endüstrisinde

OHSAS 18001'in uygulanmasının müşteri gereksinimi, şirket içi imaj ve üst yönetim gereksinimleri ile motive edildiğini göstermiştir. OHSAS uygulamasının başarısı için en kritik faktörün üst yönetimin taahhüdü ve desteği, başarısızlığının ana nedeninin ise şirket çalışanları arasında zayıf iş birliğinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sousa vd. [7], inşaat sektöründe İSG risk yönetimi için fayda-maliyet analizine yardımcı olacak bir risk modeli önermişlerdir. Risk değerlendirme genel olarak; bilgi toplama, tehlikelerin tespit edilmesi, risklerin belirlenmesi ve risklerin değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır [8]. Faktörler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve riskler bazında etkilerinin ölçülmesi hususunda geleneksel risk değerlendirmede yaklaşımındaki eksikliğin giderilmesi amacıyla literatürde Bulanık Mantık ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ile gerçekleştirilen İSG risk değerlendirme çalışmaları da mevcuttur [9]: Dağdeviren vd. [10], iş kazalarının ve yaralanmaların önüne geçebilecek bir çalışma yeri tasarımı için çalışanların toplam iş yükü seviyelerinin belirlenmesine yönelik bir model önermiş ve ANP yöntemi ile geliştirilen modeli analiz etmişlerdir. Grassi vd. [11], işyerlerinde risk değerlendirme süreci için insan davranışlarının ve çevrenin risk seviyesi üzerindeki etkilerini hesaba katan yeni bir yöntem önererek, tehlikeli faaliyetlerin sıralanmasında Bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Fan vd. [12], bilgi teknolojileri dış kaynak kullanımındaki risk faktörlerinin belirlenmesi için bulanık mantık ve DEMATEL yöntemini kullanmışlardır. Liu ve Tsai [13], inşaat sektöründeki mesleki tehlikeleri azaltmak veya önlemek için bir bulanık risk değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Önemli tehlike türlerinin ve nedenlerinin belirlenmesinde Bulanık ANP; tehlike nedenlerine ilişkin risk değerinin hesaplanmasında ise FMEA yöntemini kullanmışlardır. Mahdevari vd. [14], İran'da yeraltı kömür madenciliğinde potansiyel tehlikeleri tanımlamak ve kazalar meydana gelmeden önce riskleri en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için uygun önlemlerin alınması amacıyla Bulanık TOPSIS temelli bir yöntem önermişlerdir. Liu vd. [15], risk faktörlerine göre hata türlerinin değerlendirilmesi için bulanık mantık ve MULTIMOORA yöntemine dayalı yeni bir model önermişlerdir. İnan vd. [16], firmaların İSG Yönetim Sistemi performanslarını değerlendirmek için model önerisinde bulunmuşlardır. Simos prosedürü ile kriterlerin önem derecelerini belirleyerek VIKOR yöntemi ile firmaların sıralanmasını sağlamışlardır. Gül vd. [17], hastanelerde İSG risk değerlendirmesi için iki aşamalı bulanık çok kriterli bir yaklaşım önermişlerdir. Risk parametrelerinin ağırlıklandırılmasında Bulanık AHP, hastane departmanlarındaki tehlike türlerinin önceliklendirilmesinde ise Bulanık VIKOR yöntemini kullanmışlardır. Yılmaz ve Şenol [9], İSG risk değerlendirme süreci için Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerini kullanarak yeni bir model önermişler ve metal sanayinde bir uygulama gerçekleştirmişlerdir. Ersoy vd. [18] bir mermer ocağında gerçekleştirdikleri İSG risk analizine ilişkin çalışmalarında öncelikle mermer ocağındaki blok üretim faaliyetlerini incelemişler ve tehlikeleri listelemişlerdir. Ardından üretim süreci adımlarını ve kaza

türlerini risklerine göre Borda sayım yöntemi ile ağırlıklandırarak Gri İlişkisel Analiz (GRA) yöntemi ile sıralamışlardır. Bu çalışmada, Fine-Kinney metodunda kullanılan “olasılık”, “sıklık” ve “şiddet” faktörlerine “malîyet” faktörü de dâhil edilerek Çok Kriterli Kararsız Bulanık Dilsel Terim Setleri (ÇK-KBDTS) temelli bir risk değerlendirme modeli önerilmiştir. Önerilen model, plastik sektörde faaliyet gösteren bir işletmede uygulanarak öncelikle faktör ağırlıklarının belirlenmesi ve tehlikelerin önceliklendirilmesi sağlanmıştır. Tehlikelerin değerlendirilmesinin ardından, yine aynı yöntem kullanılarak alınabilecek önlemler ağırlıklandırılmıştır. Literatürde KBDTS ile gerçekleştirilen çalışmalar Tablo 1’de özetlenmiştir. Tablo 1 incelendiğinde İSG risk

değerlendirmesi için KBDTS ve Fine-Kinney metodunun birlikte kullanıldığı bir çalışma olmadığı görülmektedir. Çalışmanın bu yönüyle literatüre katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

### 2.1. Fine-Kinney Yöntemi (Fine-Kinney Method)

Fine-Kinney, ilk olarak 1971 yılında Fine tarafından tehlikelerin kontrolü için matematiksel bir değerlendirme yöntemi olarak önerilmiştir [44]. Kinney ve Wiruth 1976 yılında yöntemi geliştirerek, uygulamasını matematiksel yaklaşımdan grafiksel yaklaşıma dönüştürmüşlerdir [45].

**Tablo 1.** Literatürde KBDTS ile gerçekleştirilen çalışmalar (Studies with HFLTS in literature)

Yazar(lar)		Kullanılan Yöntem(ler)	Uygulama Alanı	Ülke
Beg & Rashid	[19]	KBDTS, TOPSIS	Yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi	Pakistan
Rodríguez vd.	[20]	KBDTS, Grup karar verme	Konferans bildirisi seçimi	İspanya
Liao vd.	[21]	KBDTS	Film kalitelerinin değerlendirilmesi	Çin
Liu & Rodríguez	[22]	KBDTS, OWA operatörü, Bulanık TOPSIS	Tedarikçi seçimi	Çin
Liao & Xu	[23]	KBDTS, TOPSIS, VIKOR	ERP sistemi seçimi	Çin
Montes vd.	[24]	KBDTS	Emlak piyasası için bir web aracı geliştirilmesi	İspanya
Wang vd.	[25]	KBDTS, ELECTRE	Yeşil tedarikçi seçimi	Çin
Wei vd.	[26]	KBDTS, TODIM	İnternet servis sağlayıcılarının değerlendirilmesi	Çin
Yavuz vd.	[27]	KBDTS	Alternatif yakıtlı araçların değerlendirilmesi	Türkiye
Da & Xu	[28]	KBDTS	Kentsel kıyı iyileştirme projelerinin değerlendirilmesi	Çin
Fahmi vd.	[29]	KBDTS, ELECTRE I	Tedarikçi seçimi	Türkiye
Liu vd.	[30]	KBDTS, FMEA	Sağlık hizmetlerinde risk analizi	Çin
Wei & Liao	[31]	KBDTS	Tıbbi atık bertarafı için arıtma teknolojisinin seçimi	Çin
Gou vd.	[32]	KBDTS, Bonferroni operatörü	Hastane seçimi	Çin
Gou vd.	[33]	KBDTS, MULTIMOORA	Hava kirliliği kontrolü açısından en uygun şehrin seçimi	Çin
Khishtandar vd.	[34]	KBDTS	Biyoenjerji üretim teknolojilerinin değerlendirilmesi	İran
Tüysüz & Şimşek	[35]	KBDTS, AHP	Kargo şirketi şubelerinin performanslarını etkileyen faktörlerin analizi	Türkiye
Feng vd.	[36]	KBDTS, PROMETHEE	Tesis yeri seçimi	Çin
Ghadikolaei vd.	[37]	Genişletilmiş KBDTS, VIKOR	İnternet servis sağlayıcısı seçimi	İran
Adem vd.	[38]	KBDTS, SWOT	Rüzgâr türbinlerinin ömür devrinde İSG risk değerlendirilmesi	Türkiye
Liao vd.	[39]	KBDTS, ELECTRE II	Bakım servisi seçimi	Çin
Aktaş & Kabak	[40]	KBDTS, AHP, TOPSIS	Güneş enerjisi santrali yeri seçimi	Türkiye
Liao vd.	[41]	KBDTS, MULTIMOORA	Bisiklet paylaşım firması seçimi	Çin
Wu vd.	[42]	KBDTS, VIKOR, TOPSIS	Tıbbi atık bertaraf yöntemlerinin seçimi	Çin
Çalış Boyacı	[43]	KBDTS, ARAS	Çevre dostu şehirlerin seçimi	Türkiye

Fine-Kinney yönteminde Risk ( $R$ ) değeri; Olasılık ( $O$ ), Sıklık ( $S$ ) ve Şiddet ( $\$$ ) faktörlerinin çarpımıyla Eş. 1’deki gibi hesaplanmaktadır:

$$R = O \times S \times \$ \quad (1)$$

Fine-Kinney yöntemine ilişkin olasılık, sıklık ve şiddet skalaları sırasıyla Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4’te sunulmaktadır. Olasılık, sıklık ve şiddet değerlerinin çarpımıyla elde edilen risk değerleri ve bu değerlere karşılık gelen risk durumları ise Tablo 5’te sunulmaktadır [18, 45].

**Tablo 2.** Fine-Kinney olasılık skalası  
(Probability scale of Fine-Kinney)

Olasılık ( $O$ )	$O$ Değeri
Neredeyse kesin	10
Oldukça mümkün	6
Nadir fakat olabilir	3
Oldukça düşük olasılık	1
Zayıf olasılık	0,5
Pratik olarak imkansız	0,2
Neredeyse imkansız	0,1

**Tablo 3.** Fine-Kinney sıklık skalası  
(Frequency scale of Fine-Kinney)

Sıklık ( $S$ )	$S$ Değeri
Sürekli	10
Sık (Günde bir)	6
Ara sıra (Haftada bir)	3
Nadir (Ayda bir)	2
Oldukça nadir (Yılda birkaç kez)	1
Çok nadir (Yılda bir)	0,5

**Tablo 4.** Fine-Kinney şiddet skalası  
(Severity scale of Fine-Kinney)

Şiddet ( $\$$ )	$\$$ Değeri
Felaket (Birden fazla ölüm ya da $>10^7\$$ zarar)	100
Çok kötü (Birkaç ölüm ya da $>10^6\$$ zarar)	40
Çok ciddi (Ölüm ya da $>10^5\$$ zarar)	15
Ciddi (Ciddi yaralanma ya da $>10^4\$$ zarar)	7
Önemli (Yaralanma ya da $>10^3\$$ zarar)	3
Dikkate değer (Küçük yaralanma ya da $>100\$$ zarar)	1

**Tablo 5.** Fine-Kinney risk skalası (Risk scale of Fine-Kinney)

Risk ( $R$ ) Değeri	Risk Durumu
$R > 400$	Çok yüksek risk; çalışmaya ara verilerek derhal tedbir alınmalı
$200 < R < 400$	Yüksek risk; kısa vadeli eylem planına alınarak giderilmeli
$70 < R < 200$	Önemli risk; dikkatle izlenmeli ve yıllık eylem planına alınarak giderilmeli
$20 < R < 70$	Olası risk; eylem planına alınmalı
$R < 20$	Kabul edilebilir risk; acil tedbir gerekmez

## 2.2. ÇK-KBDTS Yöntemi (MC-HFLTS Method)

Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi, belirsiz bilginin başarılı bir şekilde üstesinden gelmektedir. Ancak iki veya daha fazla belirsizlik kaynağı eş zamanlı olarak ortaya çıktığında bulanık kümeler sınırlı kalmaktadır [46]. Kararsız bulanık kümeler, Torra tarafından farklı üyelik işlevlerinin mümkün olduğu düşünülen durumu temsil eden bulanık kümelerin bir genelmesi olarak önerilmiştir [47]. Bulanık dilsel yaklaşımlarda, uzmanları sınırlayan tek bir ifade seçilmektedir. Ancak uzmanlar bazı durumlarda uygun dilsel ifadeyi seçmekte tereddüt edebilirler [48]. Rodriguez vd. tarafından, uzmanların farklı dilsel ifadeler arasında kararsız kalmaları durumunda kullanabilecekleri KBDTS temelli bir grup karar verme modeli önerilmiştir. Önerilen modelde uzmanlar, alternatifleri tek bir kriter bazında değerlendirmektedir [20]. Yavuz vd., bu algoritmayı ÇKKV problemleri için genişletmiş olup önerilen ÇK-KBDTS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir [27]:

*Adım 1.*  $S$  dilsel terim seti için semantik ve sentaks Eş. 2’deki gibi tanımlanır.

$$S = \left\{ \begin{array}{l} \text{önemsiz } (\ddot{o}), \text{çok düşük önem } (\text{çd}), \\ \text{düşük önem } (d), \text{orta önem } (o), \\ \text{yüksek önem } (y), \\ \text{çok yüksek önem } (\text{çy}), \\ \text{mutlak önem } (m) \end{array} \right\} \quad (2)$$

*Adım 2.* İçerikten bağımsız gramer ( $G_H$ ) tanımlanır.  $G_H = \{V_N, V_T, I, P\}$  olup genişletilmiş bir Backus-Naur formu şeklinde ifade edilmektedir. Burada “ $V_N$ ” terminal olmayan sembolleri (Eş. 3), “ $V_T$ ” terminal sembolleri (Eş. 4), “ $I$ ” başlangıç sembolünü ve “ $P$ ” üretim kurallarını temsil etmektedir [46].

$$V_N = \left\{ \langle \text{tek terim} \rangle, \langle \text{bileşik terim} \rangle, \langle \text{tek bağıntı} \rangle, \langle \text{ikili bağıntı} \rangle, \langle \text{bağlaç} \rangle \right\} \quad (3)$$

$$V_T = \left\{ \begin{array}{l} -\text{den daha düşük}, -\text{den daha yüksek}, \\ \text{en az}, \text{en çok}, \text{arasında}, \text{ve}, s_0, s_1, \dots, s_g \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$I \in V_N$$

İçerikten bağımsız gramer için üretim kuralları Eş. 5’teki gibidir.

$$P = \left\{ \begin{array}{l} I = \langle \text{tek terim} \rangle \mid \langle \text{bileşik terim} \rangle, \\ \langle \text{bileşik terim} \rangle ::= \\ \langle \text{tek bağıntı} \rangle \langle \text{tek terim} \rangle \langle \text{ikili bağıntı} \rangle \\ \langle \text{tek terim} \rangle \langle \text{bağlaç} \rangle \langle \text{tek terim} \rangle, \\ \text{tek terim} ::= s_0 \mid s_1 \dots \mid s_g, \langle \text{tek bağıntı} \rangle ::= \\ -\text{den daha düşük} \mid -\text{den daha yüksek} \mid \text{en az} \mid \text{en çok}, \\ \langle \text{ikili bağıntı} \rangle ::= \text{arasında}, \langle \text{bağlaç} \rangle ::= \text{ve} \end{array} \right\} \quad (5)$$

*Adım 3.*  $k$  sayıda uzman tarafından ( $k \in \{1,2,\dots,m\}$ ) her bir kriter ve alternatif için tercih ilişkileri ( $p^k$ ) belirlenir.

*Adım 4.* Dönüştürme fonksiyonu  $E_{GH}$  kullanılarak tercih ilişkileri aşağıdaki örneklerde olduğu gibi KBDTS'ye dönüştürülür.

$$E_{GH}(\text{düşük önem}) = \{\text{düşük önem}\}$$

$$E_{GH}(\text{çok düşük önem ile orta önem arasında})$$

$$= \{\text{çok düşük önem, düşük önem, orta önem}\}$$

$$E_{GH}(\text{en az çok yüksek önem})$$

$$= \{\text{çok yüksek önem, mutlak önem}\}$$

$$E_{GH}(\text{çok yüksek önemden daha yüksek})$$

$$= \{\text{mutlak önem}\}$$

*Adım 5.* Her bir KBDTS için alt ve üst sınırı olan bir zarf ( $[p_{ij}^{k-}, p_{ij}^{k+}]$ ) elde edilir. Örneğin  $\{\text{çok düşük önem, düşük önem, orta önem}\}$  seti için  $[çd,o]$  şeklinde bir zarf elde edilmektedir.

*Adım 6.* Bir dilsel birleştirme operatörü ( $\varphi$ ) seçilerek, kötümser ( $P_C$ ) ve iyimser ( $P'_C$ ) ortak tercih ilişkileri elde edilir. Çalışmada, dilsel birleştirme operatörü için aritmetik ortalama kullanılmıştır (Eş. 6).

$$\bar{x} = \Delta\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i)\right) = \Delta\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i\right) \quad (6)$$

$S$  ile ilişkilendirilmiş iki-boyutlu küme  $S = S \times [0.5, 0.5]$  olmak üzere,  $\Delta: [0, g] \rightarrow S$  fonksiyonu Eş. 7'deki gibi tanımlanır.

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha) \begin{cases} i = \text{yuvarla}(\beta) \\ \alpha = \beta - i \end{cases} \quad (7)$$

Burada  $\beta$  değeri kendisine en yakın  $i$  tamsayısına yuvarlanır ve  $\Delta^{-1}: \langle S \rangle \rightarrow [0, g]$  Eş. 8'deki gibi ifade edilir.

$$\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha \quad (8)$$

*Adım 7.* Dilsel birleştirme operatörü ( $\varphi$ ) kullanılarak her bir alternatif için kötümser ve iyimser ortak tercihler hesaplanır.

*Adım 8.* Alternatifler ( $p_i^R = [p_i^-, p_i^+]$ ) için ortak tercihlerin aralık vektörü ( $V^R = (p_1^R, p_2^R, \dots, p_n^R)$ ) oluşturulur.

*Adım 9.* Aralık değerleri normalize edilerek ağırlıklar hesaplanır.

### 3. UYGULAMA (APPLICATION)

Önerilen yöntem, plastik sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın Kalıphane biriminde uygulanmıştır. Analiz

sürecinde iki İSG uzmanı ve bir üretim şefi olmak üzere, birimdeki faaliyetlere ve İSG esaslarına hâkim üç kişilik uzman ekip görev almıştır. Uygulama, faktör ağırlıklarının belirlenmesi, tehlikelerin değerlendirilmesi, önlemlerin ağırlıklandırılması, düzeltici ve önleyici kontrol tedbirlerinin alınması olmak üzere dört alt bölümden oluşmaktadır. Uygulamanın aşamaları Şekil 1'de gösterilmektedir.

#### 3.1. Faktör Ağırlıklarının Belirlenmesi (Determination of Weights of Factors)

Fine-Kinney yöntemindeki faktörlere ilave olarak tehlikenin maliyetinin de dikkate alındığı çalışmada İSG risk değerlendirme süreci için faktörler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Faktör 1 (F1) : Olasılık
- Faktör 2 (F2) : Sıklık
- Faktör 3 (F3) : Şiddet
- Faktör 4 (F4) : Maliyet

Faktör ağırlıklarının belirlenmesi için uzman ekibin görüşü alınarak elde edilen ikili karşılaştırmalar Tablo 6'da, KBDTS için elde edilen zarflar ise Tablo 7'de sunulmaktadır. Tablo 6'ya göre birinci uzmanın F1'i F2 ile karşılaştırdığında "en az yüksek önem (en az y)" şeklinde görüş bildirdiği görülmektedir. Bu görüş ayrık set olarak ifade edildiğinde {yüksek önem, çok yüksek önem, mutlak önem} şeklinde bir set oluşacaktır. Bir sonraki adımda ayrık setten, [yüksek önem, mutlak önem] veya kısaca Tablo 7'de görüldüğü gibi  $[y,m]$  şeklinde minimum ve maksimum değerlerin ifade edildiği bir aralık veya başka bir ifadeyle zarf elde edilmektedir.

KBDTS için zarflar elde edildikten sonra üç uzmanın görüşlerinin grup kararı şeklinde birleştirilmesi gerekmektedir. Bunun için kullanılacak dilsel birleştirme operatörü Eş. 6 ile ifade edilen aritmetik ortalamadır. Dilsel birleştirme operatörü için gereken dilsel terimler skalası Tablo 8'de sunulmaktadır. Dilsel birleştirme operatörü kullanılarak elde edilen kötümser ve iyimser ortak tercihler sırasıyla Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmektedir. Kötümser ortak tercihler için F1'in F3 ile karşılaştırıldığı örnek hesaplama aşağıdaki gibidir:

$$P_{13}^- = \Delta\left(\frac{1}{3}\left(\Delta^{-1}(y, 4) + \Delta^{-1}(o, 3) + \Delta^{-1}(\delta, 0)\right)\right)$$

$$= \Delta\left(\frac{1}{3}(4 + 3 + 0)\right) = \Delta(2, 33) = (d, +0, 33)$$

Benzer şekilde iyimser ortak tercihler için F1'in F3 ile karşılaştırıldığı örnek hesaplama aşağıdaki gibidir:

$$P_{13}^+ = \Delta\left(\frac{1}{3}\left(\Delta^{-1}(y, 4) + \Delta^{-1}(o, 3) + \Delta^{-1}(d, 2)\right)\right)$$

$$= \Delta\left(\frac{1}{3}(4 + 3 + 2)\right) = \Delta(3) = (o, 0)$$

Bir sonraki adımda kötümser ve iyimser ortak tercihlerden Tablo 11'deki gibi her bir faktör için aralık değerleri elde edilmektedir. Örneğin F1 için aralık değeri aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

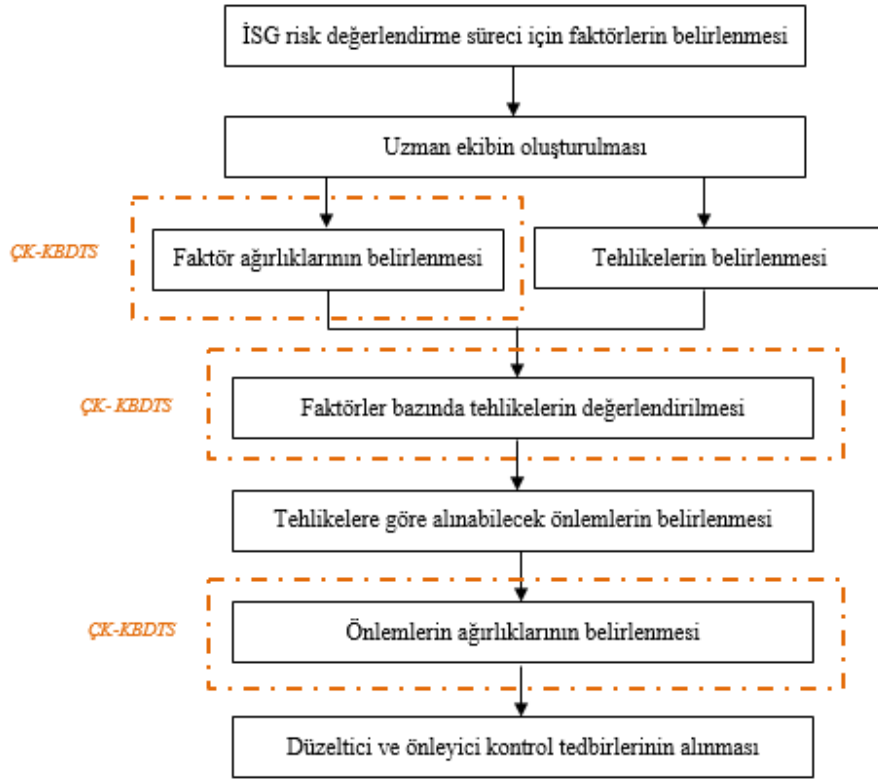
$$\left[ \left( \frac{((d, 0) + (d, +0, 33) + (o, -0, 33)) \div 3}{((y, 0) + (o, 0) + (y, 0)) \div 3} \right) \right]$$

$$= \left[ (d, +0, 33), (y, -0, 33) \right]$$

Bu dilsel aralığa karşılık gelen sayısal aralık ise [(2,33), (3,67)] ile ifade edilmektedir. Aralıkların orta noktalarının hesaplanarak normalize edilmesiyle faktörler için ağırlıklar elde edilmektedir. Tablo 11 incelendiğinde en yüksek faktör ağırlığının 0,324 değeriyle F3 yani "Şiddet" faktörüne; en düşük faktör ağırlığının ise 0,208 değeriyle F2 diğer bir ifadeyle "Sıklık" faktörüne ait olduğu görülmektedir.

### 3.2. Tehlikelerin Değerlendirilmesi (Assessment of Hazards)

Kalıphane birimindeki potansiyel tehlikeler ve bunlara ilişkin riskler, geçmiş yıllara ait risk değerlendirme



Şekil 1. Uygulamaya ait akış şeması (The flow chart)

Tablo 6. Faktörler için uzmanların ikili karşılaştırmaları (Pairwise comparisons of experts for the factors)

	F1	F2	F3	F4
Uzman 1				
F1	-	en az <i>y</i>	<i>y</i>	<i>y</i>
F2	en çok <i>d</i>	-	<i>çd</i> ve <i>o</i> arasında	<i>d</i>
F3	<i>d</i>	<i>o</i> ve <i>çy</i> arasında	-	<i>o</i>
F4	<i>d</i>	<i>y</i>	<i>o</i>	-
Uzman 2				
F1	-	<i>d</i> ve <i>y</i> arasında	<i>o</i>	en çok <i>d</i>
F2	<i>d</i> ve <i>y</i> arasında	-	en çok <i>o</i>	en çok <i>o</i>
F3	<i>o</i>	en az <i>o</i>	-	<i>o</i>
F4	en az <i>y</i>	en az <i>o</i>	<i>o</i>	-
Uzman 3				
F1	-	en çok <i>d</i>	en çok <i>d</i>	en az <i>y</i>
F2	en az <i>y</i>	-	en çok <i>d</i>	en az <i>çy</i>
F3	en az <i>y</i>	en az <i>y</i>	-	en az <i>çy</i>
F4	en çok <i>d</i>	en çok <i>çd</i>	en çok <i>çd</i>	-

raporlarının incelenmesi ve uzman ekibin görüşü doğrultusunda Tablo 12'deki gibi sekiz ana başlıkta toplanmıştır.

**Tablo 7.** KBDTS için elde edilen zarflar (Obtained envelops for HFLTS)

	F1	F2	F3	F4
<b>Uzman 1</b>				
F1	-	[y,m]	[y,y]	[y,y]
F2	[ö,d]	-	[çd,o]	[d,d]
F3	[d,d]	[o,çy]	-	[o,o]
F4	[d,d]	[y,y]	[o,o]	-
<b>Uzman 2</b>				
F1	-	[d,y]	[o,o]	[ö,d]
F2	[d,y]	-	[ö,o]	[ö,o]
F3	[o,o]	[o,m]	-	[o,o]
F4	[y,m]	[o,m]	[o,o]	-
<b>Uzman 3</b>				
F1	-	[ö,d]	[ö,d]	[y,m]
F2	[y,m]	-	[ö,d]	[çy,m]
F3	[y,m]	[y,m]	-	[çy,m]
F4	[ö,d]	[ö,çd]	[ö,çd]	-

**Tablo 8.** Dilsel terimler skalası (Scale of the linguistic term)

ö	çd	d	o	y	çy	m
0	1	2	3	4	5	6

**Tablo 9.** Kötümser ortak tercihler (Pessimistic collective preferences)

	F1	F2	F3	F4
F1	-	(d,0)	(d,+0,33)	(o,-0,33)
F2	(d,0)	-	(ö,+0,33)	(d,+0,33)
F3	(o,0)	(o,+0,33)	-	(y,-0,33)
F4	(d,0)	(d,+0,33)	(d,0)	-

**Tablo 10.** İyimser ortak tercihler (Optimistic collective preferences)

	F1	F2	F3	F4
F1	-	(y,0)	(o,0)	(y,0)
F2	(y,0)	-	(o,-0,33)	(y,-0,33)
F3	(y,-0,33)	(m,-0,33)	-	(y,0)
F4	(o,+0,33)	(y,-0,33)	(d,+0,33)	-

**Tablo 11.** Dilsel aralıklar ve faktör ağırlıkları (Linguistic intervals and weights of the factors)

Faktörler	Dilsel Aralıklar	Aralık Değerleri	Orta Noktalar	Ağırlıklar
F1	[(d,+0,33),(y,-0,33)]	[(2,33),(3,67)]	3,00	0,250
F2	[(d,-0,44),(o,+0,44)]	[(1,56),(3,44)]	2,50	0,208
F3	[(o,+0,33),(y,+0,44)]	[(3,33),(4,44)]	3,89	0,324
F4	[(d,+0,11),(o,+0,11)]	[(2,11),(3,11)]	2,61	0,218

Tehlikeler belirlendikten sonra aynı algoritma kullanılarak uzmanlar tarafından her bir faktör (kriter) bazında tehlikeler (alternatifler) birbiriyle karşılaştırılmıştır. Uzman ekibin dilsel değerlendirmeleri doğrultusunda ÇK-KBDTS yönteminin aşamaları Bölüm 3.1'deki gibi tekrarlanmış ve tehlikelere ilişkin ağırlıklar Tablo 13'teki gibi elde edilmiştir.

Tablo 13 incelendiğinde ilgili birimde en yüksek öneme sahip tehlike türünün Tehlike 1 (T1) yani “Yangın ve patlamaya neden olabilecek tehlikeler”; en düşük öneme sahip tehlike türünün ise Tehlike 8 (T8) yani “Mesleki eğitimsizlik kaynaklı tehlikeler” olduğu görülmektedir. Tehlikelerin öncelik sıralaması ise T1-T2-T3-T4-T5-T7-T6-T8 şeklindedir. Firma yöneticilerinin görüşleri doğrultusunda, çalışma kapsamında öncelikle birimdeki en yüksek risk seviyesi olan “Yüksek risk” seviyesindeki “Yangın, patlama” (R1) riskine yol açabilecek tehlike türü (T1) için alınabilecek önlemlerin değerlendirilerek düzeltici ve önleyici kontrol tedbirlerinin alınması amaçlanmıştır.

**3.3. Önlem Ağırlıklarının Belirlenmesi**  
(Determination of Weights of Measures)

Bu aşamada, en yüksek öneme sahip tehlike türü olan T1 için tehlike kaynakları ve alınabilecek önlemler uzman ekibin görüşü de alınarak Tablo 14'teki gibi belirlenmiştir. Uzmanların önlemlere ilişkin ikili karşılaştırmaları Tablo 15'te verilmekte olup ÇK-KBDTS yöntemi ile elde edilen önlem ağırlıkları Tablo 16'da sunulmaktadır.

Tablo 16 incelendiğinde en yüksek ağırlığa sahip önlemin Ö1 yani “Tüpler için uygun depolama alanı belirlenmeli”; en düşük ağırlığa sahip önlemin Ö4 yani “Kapıların doğrudan dışarıya veya güvenli bir alana açılması sağlanmalı” olduğu görülmektedir. Önlemlerin öncelik sıralaması ise Ö1-Ö2-Ö3-Ö5-Ö4 şeklindedir.

**3.4. Düzeltici ve Önleyici Kontrol Tedbirlerinin Alınması**  
(Taking Corrective and Preventive Control Measures)

Yangın ve patlamaya neden olabilecek tehlikeler için alınması gereken önlemlerin başında “Tüpler için uygun depolama alanı belirlenmesi”, “Yanıcı kimyasal maddeler için havalandırılmalı uygun ortamın belirlenmesi” ve “Bütün makinelerde ayrı gövde topraklamasının bulunması” gelmektedir. Firma yetkilileri tarafından öncelikle en yüksek ağırlığa sahip olan önlem (Ö1) için düzeltici ve önleyici kontrol tedbirlerinin alınması uygun görülmüş olup Şekil 2'deki gibi çalışma ortamında gelişigüzel bırakılan basınçlı gaz tüpleri için Şekil 3'teki depolama alanı oluşturulmuştur.

**3.5. İyileştirme Sonrası Tehlikelerin Değerlendirilmesi**  
(Assessment of Hazards After Improvement)

Tüpler için uygun depolama alanı belirlendikten sonra (yaklaşık bir yıl sonra) uzman görüşleri doğrultusunda ÇK-KBDTS yöntemi ile faktörler bazında tehlikelerin tekrar değerlendirilmesi sağlanmıştır. İyileştirme öncesi ve



**Tablo 12.** Tehlikeler ve riskler (Hazards and risks)

Tehlike Kodu Tehlikeler		Risk Kodu Riskler	
Tehlike 1 (T1)	Yangın ve patlamaya neden olabilecek tehlikeler	Risk 1 (R1)	Yangın, patlama
Tehlike 2 (T2)	Elektrik çarpmasına neden olabilecek tehlikeler	Risk 2 (R2)	Elektrik çarpması
Tehlike 3 (T3)	Makine ve teçhizat kullanımından kaynaklı tehlikeler	Risk 3 (R3)	Çeşitli iş kazaları (Göze çapak kaçması, hareketli aksam kapılma vb.)
Tehlike 4 (T4)	Kimyasal risklere neden olabilecek tehlikeler	Risk 4 (R4)	Kimyasal maruziyeti
Tehlike 5 (T5)	Fiziksel risklere neden olabilecek tehlikeler	Risk 5 (R5)	Gürültü maruziyeti
Tehlike 6 (T6)	Biyolojik risklere neden olabilecek tehlikeler	Risk 6 (R6)	Bakteri ve mikrop maruziyeti
Tehlike 7 (T7)	Ergonomik olmayan koşullardan kaynaklanan tehlikeler	Risk 7 (R7)	Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları
Tehlike 8 (T8)	Mesleki eğitimsizlik kaynaklı tehlikeler	Risk 8 (R8)	Mesleki eğitimsizlik kaynaklı iş kazaları

**Tablo 13.** Tehlikelere ilişkin ağırlıklar (Weights for hazards)

Faktör	Faktör Ağırlığı	Tehlikeler							
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
F1	0,250	0,045	0,040	0,041	0,038	0,030	0,018	0,022	0,016
F2	0,208	0,041	0,034	0,029	0,031	0,020	0,018	0,019	0,016
F3	0,324	0,079	0,064	0,045	0,035	0,031	0,022	0,024	0,024
F4	0,218	0,053	0,035	0,027	0,027	0,021	0,017	0,021	0,017
Tehlike Ağırlığı		0,218	0,173	0,142	0,131	0,102	0,075	0,086	0,073

**Tablo 14.** T1 için tehlike kaynakları ve önlemler (Hazard sources and measures for T1)

Tehlike Kaynakları	Önlemler	Önlem Kodu
Basınçlı gaz tüplerinin çalışma ortamında gelişigüzel bırakılması	Tüpler için uygun depolama alanı belirlenmeli	Önlem 1 (Ö1)
Yanıcı kimyasal maddeler yakınında sıcak işler yapılması (taşlama vb.)	Yanıcı kimyasal maddeler için havalandırılmalı uygun ortam belirlenmeli	Önlem 2 (Ö2)
Makine ayrı gövde topraklamasının bulunmaması	Bütün makinelerde ayrı gövde topraklaması bulunmalı	Önlem 3 (Ö3)
Acil çıkış kapılarının olmaması veya standartlara uygun yapılmaması	Kapıların doğrudan dışarıya veya güvenli bir alana açılması sağlanmalı	Önlem 4 (Ö4)
Çalışanın çalışma ortamında sigara içmesi	Sigara içme alanı belirlenmeli	Önlem 5 (Ö5)

iyileştirme sonrası tehlikelere ilişkin ağırlıklar ve sıralamalar karşılaştırmalı olarak sırasıyla Tablo 17 ve Şekil 4'te sunulmaktadır. Tablo 17 incelendiğinde T1'in iyileştirme öncesi 0,218 olan ağırlığının, iyileştirme sonrası 0,189'a düştüğü, T2'nin ağırlığının 0,173'ten 0,201'e yükseldiği, diğer tehlikelerin ağırlıklarında ise önemli bir değişiklik

olmadığı görülmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi tehlikelere ilişkin sıralamalarda sadece T1 ve T2 yer değiştirmiştir. Başka bir ifadeyle, yangın ve patlamaya neden olabilecek tehlikeler için yapılan iyileştirme sonrasında en yüksek öneme sahip tehlike türünün elektrik çarpmasına neden olabilecek tehlikeler olarak değiştiği gözlemlenmiştir.

**Tablo 15.** Önlemler için uzmanların ikili karşılaştırmaları (Pairwise comparisons of experts for measures)

	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5
<b>Uzman 1</b>					
Ö1	-	$y$	$\zeta y$	$y$	$y$ 'den yüksek
Ö2	$d$	-	en az $y$	$y$ ve $m$ arasında	$y$ ve $m$ arasında
Ö3	$\zeta d$	en çok $d$	-	$\zeta d$ ve $o$ arasında	$\zeta d$ ve $o$ arasında
Ö4	$d$	$\delta$ ve $d$ arasında	$o$ ve $\zeta y$ arasında	-	$o$
Ö5	$d$ 'den düşük	$\delta$ ve $d$ arasında	$o$ ve $\zeta y$ arasında	$o$	-
<b>Uzman 2</b>					
Ö1	-	$y$	$\zeta d$ ve $d$ arasında	en az $\zeta y$	$o$
Ö2	$d$	-	$d$	$\zeta y$	$y$ ve $\zeta y$ arasında
Ö3	$y$ ve $\zeta y$ arasında	$y$	-	$\zeta y$ 'den yüksek	$o$
Ö4	en çok $\zeta d$	$\zeta d$	$\zeta d$ 'den düşük	-	$o$
Ö5	$o$	$\zeta d$ ve $d$ arasında	$o$	$o$	-
<b>Uzman 3</b>					
Ö1	-	$o$ ve $y$ arasında	$y$ ve $\zeta y$ arasında	en az $\zeta y$	$y$
Ö2	$d$ ve $o$ arasında	-	$o$	$y$	$o$ ve $y$ arasında
Ö3	$\zeta d$ ve $d$ arasında	$o$	-	$y$ ve $\zeta y$ arasında	$o$
Ö4	en çok $\zeta d$	$d$	$\zeta d$ ve $d$ arasında	-	$d$
Ö5	$d$	$d$ ve $o$ arasında	$o$	$y$	-

**Tablo 16.** Önlemlere ilişkin ağırlıklar (Weights for measures)

Önlemler	Dilsel Aralıklar	Aralık Değerleri	Orta Noktalar	Ağırlıklar
Ö1	$[(y,-0,08),(y,+0,42)]$	$[(3,92),(4,42)]$	4,17	0,278
Ö2	$[(o,+0,25),(y,0)]$	$[(3,25),(4,00)]$	3,63	0,242
Ö3	$[(o,-0,42),(o,+0,33)]$	$[(2,58),(3,33)]$	2,96	0,197
Ö4	$[(\zeta d,+0,42),(d,0)]$	$[(1,42),(2,00)]$	1,71	0,114
Ö5	$[(d,+0,25),(o,-0,17)]$	$[(2,25),(2,83)]$	2,54	0,169



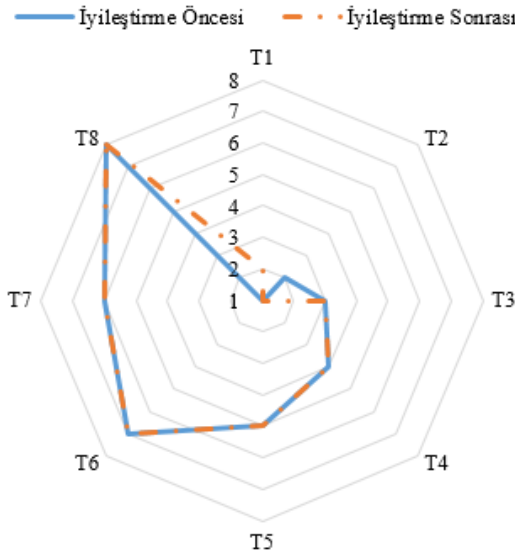
**Şekil 2.** İyileştirme öncesi basınçlı gaz tüplerinin yerleşimi (Location of pressurized gas cylinders before improvement)



**Şekil 3.** İyileştirme sonrası basınçlı gaz tüpleri için oluşturulan depolama alanı  
(Storage area for pressurized gas cylinders after improvement)

**Tablo 17.** İyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası tehlikelere ilişkin ağırlıklar  
(Pre-improvement and post improvement weights of hazards)

Tehlike	Ağırlık	
	İyileştirme Öncesi	İyileştirme Sonrası
T1	0,218	0,189
T2	0,173	0,201
T3	0,142	0,141
T4	0,131	0,126
T5	0,102	0,103
T6	0,075	0,078
T7	0,086	0,091
T8	0,073	0,071



**Şekil 4.** İyileştirme öncesi ve iyileştirme sonrası tehlikelere ilişkin sıralamalar  
(Pre-improvement and post improvement rankings of hazards)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Teknolojik gelişmeler ve sanayileşmenin doğurduğu olumsuz çalışma koşulları, iş yerlerinde insan sağlığı ve güvenliği için tehdit unsuru oluşturmaktadır. Çalışma koşullarının iyileştirilerek meydana gelebilecek iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesi için iş yerlerinde risk değerlendirmesi yapılmalı ve risklere karşı koruyucu, önleyici tedbirler alınmalıdır. Bu amaçla İSG risk değerlendirmesinde nitel veya nicel birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada iş yerlerinde yaygın olarak kullanılan Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemine farklı bir bakış açısı sunulmuş, hesaplamalarda kullanılan “Olasılık”, “Sıklık” ve “Şiddet” faktörlerine “Maliyet” faktörü de dâhil edilmiş ve ÇK-KBDTS temelli yeni bir model önerilmiştir. Önerilen model, plastik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin kalıphane biriminde uygulanmıştır. Birimdeki İSG risklerinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen uygulamada, uzman ekibin oluşturulmasının ardından öncelikli faktör ağırlıkları ve birimdeki potansiyel tehlikeler ile bunlara ilişkin riskler belirlenmiştir. ÇK-KBDTS yöntemine göre en yüksek ağırlığa sahip faktör 0,324 değeriyle “Şiddet” faktörü olurken, en düşük ağırlığa sahip faktör ise 0,208 ile “Sıklık” faktörü olmuştur. Faktörlerin ağırlıkları doğrultusunda, uzmanların her bir faktör bazında tehlikelere ilişkin değerlendirmeleri dikkate alındığında en yüksek öneme sahip tehlike türü Tehlike 1 (T1) yani “Yangın ve patlamaya neden olabilecek tehlikeler”; en düşük öneme sahip tehlike türü ise Tehlike 8 (T8) yani “Mesleki eğitimsizlik kaynaklı tehlikeler” olarak elde edilmiştir. Firma yöneticilerinin görüşleri doğrultusunda çalışma kapsamında, öncelikle birimdeki en yüksek risk seviyesinde yer alan “Yangın, patlama” (R1) riskine yol açabilecek tehlike türü (T1) için alınabilecek önlemlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Uzman görüşleri alınarak yapılan değerlendirmeler neticesinde yangın ve patlamaya neden olabilecek tehlikeler için alınması gereken önlemlerin başında “Tüpler için uygun depolama alanı belirlenmesi”, “Yanıcı kimyasal maddeler için havalandırılmalı uygun ortamın belirlenmesi” ve “Bütün makinelerde ayrı gövde topraklamasının bulunması” geldiği görülmüştür. Firma yetkilileri tarafından öncelikle en yüksek ağırlığa sahip olan önlem (Ö1) için düzeltici ve önleyici kontrol tedbirlerinin alınması uygun görülmüş olup mevcut durumda çalışma ortamında gelişigüzel bırakılan basınçlı gaz tüpleri için uygun depolama alanı oluşturulmuştur. İyileştirme sonrası uzman görüşleri doğrultusunda ÇK-KBDTS yöntemi ile tehlikelerin tekrar değerlendirilmesi sağlanarak en yüksek öneme sahip tehlike türünün elektrik çarpmasına neden olabilecek tehlikeler olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Diğer tehlikelerin ağırlıklarında çok önemli bir değişiklik olmazken, sıralamada sadece T1 ve T2 yer değiştirmiştir.

Literatürde İSG risk değerlendirmesi için KBDTS'nin kullanıldığı sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan biri Adem vd. tarafından gerçekleştirilmiş olup çalışmada rüzgâr türbinlerinin ömür devrinde İSG risk değerlendirmesi için SWOT analizi ile KBDTS'nin entegre

edildiği bir model önerilmiştir. SWOT analizi ile riskler belirlenerek uzmanların görüşleri doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Ardından KBDTS ile risk değerlendirmesi sağlanmıştır. En yüksek risk grupları için birtakım önerilerde bulunulmuştur. Gerekli önlemler alındıktan bir süre sonra tekrar risk değerlendirmesi yapılarak her iki durum için karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir [38].

İleriki çalışmalarda T1 için alınabilecek diğer önlemlerin de hayata geçirilmesi durumunda tekrar risk değerlendirmesi yapılarak sıralamalar karşılaştırılabilir. Ayrıca önerilen modele farklı faktörler dâhil edilerek, değişen faktör ağırlıklarının tehlikelerin öncelik sıralamasını ne derece etkilediği Duyarlılık Analizi ile araştırılabilir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. ÇSGB., 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, T.C. Resmi Gazete, 30 Haziran 2012.
2. Özkılıç Ö., Risk değerlendirmesi, Türk İşveren Sendikaları Konfederasyonu, No:338, Ankara, 2014.
3. Leigh J. P., Miller T. R., Job-related diseases and occupations within a large workers' compensation data set, *American Journal of Industrial Medicine*, 33, 197-211, 1998.
4. Larsson T.J., Field B., The distribution of occupational injury risks in the state of Victoria, *Saf. Sci.*, 40, 419-437, 2002.
5. Dollard M., Knott V., Incorporating psychosocial issues into our conceptual models of OHS, *Journal of Occupational Health and Safety, Australia and New Zealand*, 20 (4) 345-358, 2004.
6. Chen C. Y., Wu G. S., Chuang K. J., Ma C. M., A comparative analysis of the factors affecting the implementation of occupational health and safety management systems in the printed circuit board industry in Taiwan, *J. Loss Prevent. Proc.*, 22, 210-215, 2009.
7. Sousa V., Almeida N. M., Dias L. A., Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry-Part 2: Quantitative model, *Saf. Sci.*, 74, 184-94, 2015.
8. Çavuş Ö. H., 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği kanunu kapsamında ofis işyerlerinde risk değerlendirmesi, *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 6 (2), 1-16, 2015.
9. Yılmaz N., Şenol M.B., A model and application of occupational health and safety risk assessment, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (2), 751-770, 2017.
10. Dağdeviren M., Eraslan E., Kurt M., A model to determine overall workload level of workers and its applications, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 20 (4), 517-525, 2005.
11. Grassi A., Gamberini R., Mora C., Rimini B., A fuzzy multi-attribute model for risk evaluation in workplaces, *Saf. Sci.*, 47, 707-716, 2009.
12. Fan Z. P., Suo W. L., Feng B., Identifying risk factors of IT outsourcing using interdependent information: An extended DEMATEL method, *Expert Syst. Appl.*, 39, 3832-3840, 2012.
13. Liu H. T., Tsai Y. L., A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry, *Saf. Sci.*, 50, 1067-1078, 2012.
14. Mahdevari S., Shahriar K., Esfahanipour A., Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS, *Science of the Total Environment*, 488-489, 85-99, 2014.
15. Liu H. C., Fan X. J., Li P., Chen Y. Z., Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 34, 168-177, 2014.
16. İnan U. H., Gül S., Yılmaz H., A multiple attribute decision model to compare the firms' occupational health and safety management perspectives. *Saf. Sci.*, 91, 221-231, 2017.
17. Gül M., Ak M. F., Güneri A. F., Occupational health and safety risk assessment in hospitals: A case study using two-stage fuzzy multi-criteria approach, *Human and Ecological Risk Assessment*, 23 (2), 187-202, 2017.
18. Ersoy M., Çelik M.Y., Yeşilkaya L., Çolak O., Combination of Fine-Kinney and GRA methods to solve occupational health and safety problems, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (1), 77-87, 2019.
19. Beg I., Rashid T., TOPSIS for Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets, *Int. J. Intell. Syst.*, 28, 1162-1171, 2013.
20. Rodríguez R. M., Martínez L., Herrera F., A group decision making model dealing with comparative linguistic expressions based on hesitant fuzzy linguistic term sets, *Inf. Sci.*, 241, 28-42, 2013.
21. Liao H. C., Xu Z. S., Zeng X. J., Distance and similarity measures for hesitant fuzzy linguistic term sets and their application in multi-criteria decision making, *Inf. Sci.*, 271, 125-142, 2014.
22. Liu H. B., Rodríguez R. M., A fuzzy envelope for hesitant fuzzy linguistic term set and its application to multicriteria decision making, *Inf. Sci.*, 258, 220-238, 2014.
23. Liao H. C., Xu Z. S. Approaches to manage hesitant fuzzy linguistic information based on the cosine distance and similarity measures for HFLTSs and their application in qualitative decision making, *Expert Syst. Appl.*, 42, 5328-5336, 2015.
24. Montes R., Sánchez A. M., Villar P., Herrera F., A web tool to support decision making in the housing market using hesitant fuzzy linguistic term sets, *Appl. Soft Comput.*, 35, 949-957, 2015.
25. Wang J., Wang J. Q., Zhang H. Y., Chen X. H., Multi-criteria decision-making based on hesitant fuzzy linguistic term sets: An outranking approach, *Knowl. Based Syst.*, 86, 224-236, 2015.
26. Wei C. P., Ren Z. L., Rodríguez R. M., A hesitant fuzzy linguistic TODIM method based on a score function, *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, 8 (4), 701-712, 2015.

27. Yavuz M., Öztayşi B., Onar S. Ç., Kahraman C., Multi-criteria evaluation of alternative-fuel vehicles via a hierarchical hesitant fuzzy linguistic model, *Expert Syst. Appl.*, 42, 2835-2848, 2015.
28. Da T., Xu Y. J., Evaluation on connectivity of urban waterfront redevelopment under hesitant fuzzy linguistic environment, *Ocean Coast. Manag.*, 132, 101-110, 2016.
29. Fahmi A., Kahraman C., Bilen Ü., ELECTRE I method using hesitant linguistic term sets: An application to supplier selection, *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, 9 (1), 153-167, 2016.
30. Liu H. C., You J. X., Li P., Su Q., Failure mode and effect analysis under uncertainty: An integrated multiple criteria decision making approach. *IEEE Trans. Reliab.*, 65 (3), 1380-1392, 2016.
31. Wei C., Liao H., A multigranularity linguistic group decision-making method based on hesitant 2-tuple sets, *Int. J. Intell. Syst.*, 31 (6), 612-634, 2016.
32. Gou X. J., Xu Z. S., Liao H. C., Multiple criteria decision making based on bonferroni means with hesitant fuzzy linguistic information, *Soft. Comput.*, 21, 6515-6529, 2017.
33. Gou X. J., Liao H. C., Xu Z. S., Herrera F., Double hierarchy hesitant fuzzy linguistic term set and MULTIMOORA method: A case of study to evaluate the implementation status of haze controlling measures, *Inf. Fusion*, 38, 22-34, 2017.
34. Khishtandar S., Zandieh M., Dorri B., A multi criteria decision making framework for sustainability assessment of bioenergy production technologies with hesitant fuzzy linguistic term sets: The case of Iran, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 77, 1130-1145, 2017.
35. Tüysüz F., Şimşek B., A hesitant fuzzy linguistic term sets based AHP approach for analyzing the performance evaluation factors: An application to cargo sector, *Complex Intell. Syst.*, 3, 167-175, 2017.
36. Feng X. Q., Tan Q. Y., Wei C. P., Hesitant fuzzy linguistic multi-criteria decision making based on possibility theory, *Int. J. Mach. Learn. Cyber.*, 9, 1505-1517, 2018.
37. Ghadikolaei A. S., Madhoushi M., Divsalar M., Extension of the VIKOR method for group decision making with extended hesitant fuzzy linguistic information, *Neural Comput & Applic.*, 30, 3589-3602, 2018.
38. Adem A., Çolak A., Dağdeviren M., An integrated model using SWOT analysis and hesitant fuzzy linguistic term set for evaluation occupational safety risks in life cycle of wind turbine, *Saf. Sci.*, 106, 184-190, 2018.
39. Liao H. C., Yang L. Y., Xu Z. S., Two new approaches based on ELECTRE II to solve the multiple criteria decision making problems with hesitant fuzzy linguistic term sets, *Appl. Soft Comput.*, 63, 223-234, 2018.
40. Aktaş A., Kabak M., A hybrid hesitant fuzzy decision-making approach for evaluating solar power plant location sites, *Arab. J. Sci. Eng.*, 44, 7235-7247, 2019.
41. Liao H., Qin R., Gao C., Wu X., Hafezalkotob, A., Herrera, F., Score-HeDLiSF: A score function of hesitant fuzzy linguistic term set based on hesitant degrees and linguistic scale functions: An application to unbalanced hesitant fuzzy linguistic MULTIMOORA, *Inf. Fusion*, 48, 39-54, 2019.
42. Wu Z., Xu J., Jiang X., Zhong L., Two MAGDM models based on hesitant fuzzy linguistic term sets with possibility distributions: VIKOR and TOPSIS, *Inf. Sci.*, 473, 101-120, 2019.
43. Çalış Boyacı A., Selection of eco-friendly cities in Turkey via a hybrid hesitant fuzzy decision making approach, *Appl. Soft Comput.*, 89, 106090, 2020.
44. Fine W. T., Mathematical evaluation for controlling hazards, *Journal of Safety Research*, 3 (4), 157-166, 1971.
45. Kinney G. F., Wiruth A. D., Practical Risk Analysis for Safety Management, Technical Publication 5865, Naval Weapons Center, China Lake CA, 1976.
46. Rodríguez R. M., Martínez L., Herrera F., Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20 (1), 109-119, 2012.
47. Torra V., Hesitant fuzzy sets, *Int. J. Intell. Syst.*, 25, 529-539, 2010.
48. Onar S.Ç., Büyüközkan G., Öztayşi B., Kahraman C., A new hesitant fuzzy QFD approach: An application to computer workstation selection. *Appl. Soft Comput.*, 46, 1-16, 2016.

