



## İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğinde Bulanık Yöntemlere Dayalı Risk Değerlendirme Yaklaşımları

Emine BOZKUŞ<sup>1\*</sup> Özcan BOZKUŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

### Makale Tarihiçesi

Gönderim: 22.06.2021

Kabul: 27.08.2021

Yayın: 30.08.2021

### Derleme Makale

**Öz-** Üretim ve hizmet veren tüm endüstriyel organizasyonlarda meydana gelmesi olası kazaların ve bu kazaların insana, çevreye ve işletmeye olan zararlarının en aza indirilmesi amacıyla, sürekli ve etkili tedbirlerin alınması iş sağlığı ve güvenliği açısından en büyük ihtiyaçtır. Bu sebeple karşılaşılabilecek tüm tehlikeleri en aza indirmek için farklı risk değerlendirme metodolojileri kullanılmaktadır. Risk değerlendirmesi, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) yönetiminin önemli bir parçasıdır. Uygun bir risk değerlendirmesi yapıldığında tehlikeler ve riskler ortaya konur, risk altında olabilecek kişiler belirlenir ve hastalığı/yaralanmayı önlemek için kontrol önlemlerinin nerede gerekli olduğu belirlenebilir. Bu çalışmanın amacı, bulanık mantık yaklaşımı kullanılarak iş sağlığı ve güvenliği kapsamında yapılan risk değerlendirme uygulamalarını incelemektir. Bu amaçla önceden belirlenmiş dâhil etme kriterleri ile ilgili makaleler için Scopus veri tabanında sistematik bir literatür araştırması yapılmıştır. Çalışmada konferans bildirilerini, tezleri ve kitap bölümleri incelenmemiş olup, sadece araştırma makaleleri incelenmiştir. Ayrıca makalelerin dilleri olarak İngilizce ve Türkçe dışında bir dilde yazılmış herhangi bir makale eklenmemiştir. İncelenen çalışmaların genel olarak üç faktörle çalışıldığı ve bir olayla ilişkili riskleri olayın meydana gelme olasılığı, olayın sıklığı ile önem derecesi açısından incelendiği görülmüştür. Risk değerlendirmesinin uygulandığı sektörlerin başında inşaat ve kimya sanayi gelmektedir. Ayrıca bulanık tabanlı risk değerlendirme sürecinin bir parçası olan duyarlılık analizi gözden geçirilen makalelerin birçoğunda yapılmamıştır. Sonuç olarak, uygun bir nicel olasılık modeline sahip olmayan riskler için, bulanık mantık sistemi, neden-sonuç ilişkilerini modellemeye, riske maruz kalma derecesini değerlendirmeye ve hem mevcut verileri hem de uzmanlara göre temel riskleri tutarlı bir şekilde sıralamaya yardımcı olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** – Bulanık mantık, iş sağlığı ve güvenliği, literatür incelemesi, risk değerlendirmesi.

## Risk Assessment Approaches Based on Fuzzy Methods in Occupational Health and Safety

Emine BOZKUŞ<sup>1\*</sup> Özcan BOZKUŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Occupational Health and Safety Department, Faculty of Mechanical Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Energy Systems Engineering Department, Faculty of Technology, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey

### Article History

Received: 22.06.2021

Accepted: 27.08.2021

Published: 30.08.2021

### Review Article

**Abstract** – Taking continuous and effective measures is the greatest need in terms of occupational health and safety to minimize possible accidents that may occur in all industrial organizations that provide production and service and the damage of these accidents to humans, the environment, and business. For this reason, different risk assessment methodologies are used to minimize all possible hazards. Risk assessment is an important part of occupational health and safety (OHS) management. When an appropriate risk assessment is carried out, hazards and risks are identified, people who may be at risk are identified, and where control measures are needed to prevent illness/injury can be determined. This study aims to examine the risk assessment applications made within the scope of occupational health and safety by using the fuzzy logic approach. For this purpose, a systematic literature search was conducted in the Scopus database for articles related to predetermined inclusion criteria. In the study, conference proceedings, theses, and book chapters were not examined, only research articles were examined. In addition, no articles written

<sup>1</sup> eminebusra.bozkus@gmail.com Orcid id:0000-0002-0490-6999

<sup>2</sup> mr.bozkusozcan@gmail.com Orcid id:0000-0002-0975-025X

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: eminebusra.bozkus@gmail.com, İstanbul.

in a language other than English and Turkish were added as the languages of the articles. It was seen that the studies examined were generally studied with three factors and the risks associated with an event were examined in terms of the probability of occurrence of the event, the frequency of the event, and the degree of importance. The construction and chemical industries are the leading sectors in which risk assessment is applied. Also, sensitivity analysis, which is part of the fuzzy-based risk assessment process, was not performed in many of the articles reviewed. As a result, for risks that do not have an appropriate quantitative probability model, the fuzzy logic system helps to model cause-effect relationships, assess the degree of risk exposure, and consistently rank the key risks according to both available data and experts.

**Keywords** – *Fuzzy logic, occupational health and safety, literature review, risk assessment.*

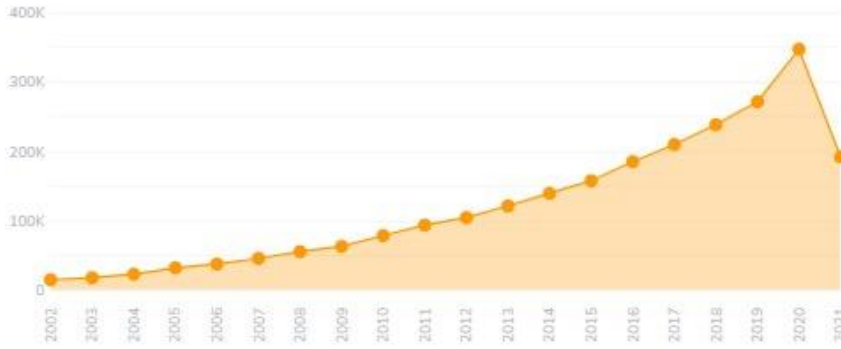
## 1.Giriş

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG), çalışanların iş sürecinde karşılaştıkları potansiyel tehlikelerin belirlenmesi ve analizine yönelik sistematik ve disiplinler arası bir faaliyettir (Özdemir vd., 2017; Gül vd., 2016). İşçi sağlığının korunması ve geliştirilmesi de dâhil olmak üzere işle ilgili yaralanmaların ve hastalıkların önlenmesi ile ilgilenmek için kullanılır (Tepe ve Kaya, 2019). Mesleki tehlikeler, çeşitli endüstriyel faaliyetlerde yaygındır ve günümüzde organizasyonlarda giderek artan sayıda maddi kayıpların yanı sıra maddi olmayan zararlara da neden olmaktadır. Bu nedenle, giderek daha fazla şirket İSG yönetiminin önemini anlamakta ve mesleki tehlikeleri kontrol etmek, çalışma koşullarını ve işçilerin sağlığını iyileştirmek için bir sistem kurmaktadır (Mete, 2019).

Mesleki risk değerlendirmesi, bir işyeri tehlikesinin çeşitli seviyelerine maruz kalmaktan kaynaklanan sağlık risklerini tahmin etmek için bir yöntemdir. Bir tehlikeye ne kadar maruz kalmanın işçiler için sağlık riskleri oluşturduğunu anlamak, bu riskleri uygun şekilde ortadan kaldırmak, kontrol etmek ve azaltmak için önemlidir. Risk değerlendirmesinin amacı üç temel soruyu yanıtlamaktır:

- Ne olabilir?
- Gerçekleşme olasılığı ne kadar?
- Gerçekleşirse sonuçları nelerdir?

Türkiye'de 6331 sayılı yeni İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile risk değerlendirmesi yapma zorunluluğu nedeniyle, işverenler başvurmak için hangi risk değerlendirme yöntemini seçmeleri gerektiği konusunda bir sorunla karşılaşmışlardır. Riskleri yönetmek için firmalar, işyerinde sistematik olarak mesleki tehlikeleri ortadan kaldıran veya kabul edilebilir düzeye indiren, daha iyi bir ekip çalışması ile çalışanların deneyimlerinden yararlanan ve her departmanda aynı çalışmayı yapan kapsamlı ve görünür risk değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 1. Son 20 yılda risk değerlendirmesi ile ilgili yapılan çalışmalar

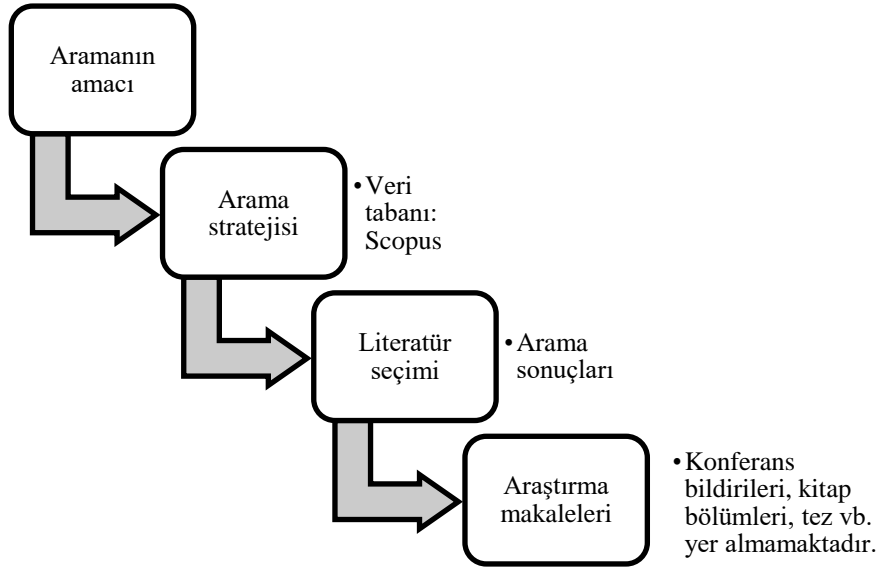
Risk yönetimi, riskleri tamamen ortadan kaldıramaz, ancak yönetmek için yalnızca uygun stratejiler önerebilir. Bu nedenle riskleri belirledikten, analiz ettikten ve değerlendirdikten sonra her biri kontrol edilmeli veya ortadan kaldırılmalıdır. Bu mümkün olmadıkça kabul edilebilir düzeye indirilmelidir (Mahdevari vd., 2014). Risk değerlendirmesi, genel risk tanımlama, analiz ve değerlendirme sürecidir. Riski belirlemek, risk kaynaklarını, etki alanlarını, olayları ve bunların nedenlerini ve olası sonuçlarını anlamayı içerir. Amaç, kuruluşun doğrudan kontrolü dışında kaçırılan fırsatlar ve risklerle ilişkilendirilebilecek riskler de dâhil olmak üzere kapsamlı bir risk listesi oluşturmaktır. Kapsamlı bir inceleme, riskin organizasyon üzerindeki potansiyel etkilerinin tam olarak değerlendirilmesine olanak tanır (Gjerdrum ve Peter, 2011). Etkin bir risk yönetimi süreci yürütmek için yasal bağlam, kavramlar, risk analizi, değerlendirme ve kontrol süreçleri ve sürece dâhil olan herkesin oynadığı rol hakkında net bir anlayışa sahip olmak gerekir.

Bulanık mantık, mantık kurallarını ifade etmek için dil değişkenlerinin kullanıldığı, bilginin öznel, eksik veya güvenilmez olduğu ve sorun alanlarının genellikle doğrusal olmadığı karmaşık iş problemlerini modellemede avantajlara sahiptir. Bulanık bir sistem, insanların mantık kurallarına daha yakındır ve bu nedenle genellikle uzman sistemler oluşturmak için kullanılır. Kural alanlarının bulanık doğası, aynı model değişkenlerine yönelik birden fazla, genellikle farklı veya çelişen uzman görüşlerini modellemeyi kolaylaştırır. Risk modelleme ve değerlendirme açısından, olasılık değerlendirmesinin genellikle uzman görüşüne dayandığı ve risk alanının çok boyutlu olduğu ve oldukça doğrusal olmadığı operasyonel riskle başa çıkma yaklaşımında bulanık mantık, iyi bir potansiyel gösterir.

## 2. Araştırma Metodolojisi

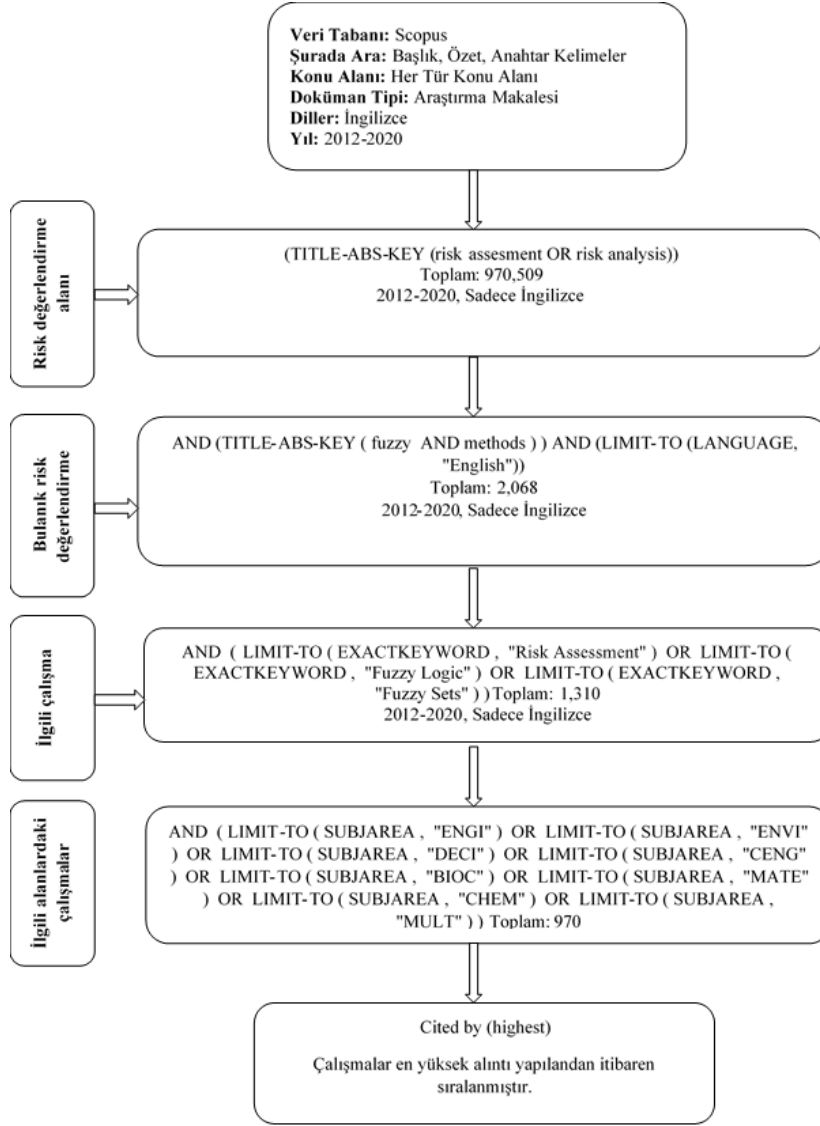
Sistematik bir inceleme, bir araştırma sorusuyla ilgili, belirli bir düzeyde mutabık kalınan kalitedeki tüm literatürü belirlemeye, seçmeye ve değerlendirmeye izin veren özel bir yaklaşımdır (Booth vd., 2012). Fink (2009) tarafından "araştırmacılar, akademisyenler ve uygulayıcılar tarafından üretilen tamamlanmış ve kaydedilmiş çalışmaların mevcut

gövdesini tanımlama, değerlendirme ve sentezleme için sistematik, açık ve eksiksiz bir süreç” olarak tanımlanan bu incelemeyi gerçekleştirmek için, teknikler kullanılmıştır. Bu derleme çalışması, İSG risk değerlendirmesi üzerine çalışan araştırmacı ve uygulayıcılara önemli bilgiler sağlayan önemli dergilerdeki makaleleri bir araya getirmek için yapılmıştır. Bu amaçla, Şekil 1’de bu çalışmada yürütülen ana sistematik inceleme süreci gösterilmektedir.



Şekil 2. Sistematik literatür tarama stratejisi ve içerik sınıflandırması (Zhou vd., 2015’ten uyarlanmıştır).

Öncelikle araştırmanın amacı belirlendikten sonra, daha kapsamlı çalışmanın yer almasından dolayı veri tabanı olarak Scopus seçilmiş, ayrıca Google akademik de kullanılmıştır. Anahtar kelimeler, arama türüne ve her durumda kullanılan web aracına bağlı olarak uyarlanmıştır. Başvurulan veri tabanlarında “başlık/özet/anahtar kelimeler” alanlarında kapsamlı bir arama yapılmıştır. Birinci adım olarak risk değerlendirmesi için “risk assesment” ve “risk analysis” anahtar kelimeleri ile arama yapılmış sonucunda 2012-2020 yıllarını kapsayan toplamda 970,509 araştırma makalesi bulunmuştur. Daha sonra bu çalışmaların arasından bulanık mantık yöntemi ile yapılanları ayırtmak için ‘fuzzy method’ aramaya eklenmiştir. Tüm bu aramalar sadece İngilizce dilinde yapılmıştır. Üçüncü adımda elde edilen çalışmaların anahtar kelimelerinde ‘risk assessment’, ‘fuzzy logic’ ve ‘fuzzy set’ olarak diğer çalışmalardan ayrılmıştır. İşçi sağlığı ve iş güvenliğinde risk çalışmaları daha çok endüstri alanındaki risk değerlendirmelerini içerdiğinden ilgili alanlar seçilmiştir. Toplamda 970 çalışmadan en yüksek alıntılanmaya sahip olanlar konularına göre seçilmiştir.



Şekil 3. Araştırmanın akış şeması

### 3. Bulanık Yöntemlere Dayalı Farklı Risk Değerlendirme Yaklaşımları

Risk değerlendirmesi, bir tehlikeden kaynaklanan risklerin, mevcut kontrollerin yeterliliği dikkate alınarak değerlendirilmesi ve risklerin kabul edilebilir olup olmadığına karar verilmesi sürecidir. Uzmandan katılımcı metodolojilere ve basitten karmaşık yöntemlere kadar değişen risk değerlendirmesini gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Hemen hemen tüm imalat ve hizmet sektörlerinde risk değerlendirmesi önemlidir. Risk değerlendirmesi için çeşitli yöntemler vardır, ancak etkin bir risk değerlendirme yöntemi, faaliyetlerin, süreçlerin ve kuruluşun diğer özelliklerinin doğasına göre uyarlanmalıdır. İSG risk değerlendirme problemlerinin karmaşıklığı ve belirsizliği nedeniyle, mesleki tehlikelerin değerlendirme bilgileri, gerçek dünya durumlarında genellikle bulanık ve belirsizdir. Bulanık mantık yaklaşımı ile son on yılda İSG' de mesleki tehlike riskini değerlendirmek için birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların bazıları sadece riskleri analiz ederken bazıları risk değerlendirmesi yöntemlerine farklı yaklaşımlar içermektedir. Bu bölümde bulanık mantık yaklaşımlarına dayalı risk değerlendirmesi yapılan çalışmalar gözden geçirilmiştir.

Âdem vd., (2020) çalışmalarında Endüstri 4.0 kullanımıyla ortaya çıkan risklerin sıralamasını belirlemek için Kararsız Bulanık AHP önceliklendirme yaklaşımı kullanmışlardır. Seçilen yöntem ile olası iş sağlığı ve güvenliği riskleri; gözle ilgili bozukluklar, zihinsel yorgunluk, statik çalışma pozisyonundan kaynaklanan rahatsızlıklar, robotlarla iş birliği sonucu bilinmeyen tehlikeli parçacıklara maruz kalma ve psikolojik baskı (yaratıcılık gerektiren görevlere uyum sorunlarından kaynaklanmakta) önceliklendirilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, en önemli iki risk faktörü zihinsel yorgunluk ve psikolojik baskı olarak bulunmuştur. Zihinsel yorgunluk, insanlar ve makineler arasındaki birçok karşılaşma nedeniyle beklenmedik bir risk faktörüdür. Bununla birlikte, psikolojik baskı ile ilgili olarak, sonuçları zihinsel yorgunluk vakasıyla aynı şekilde yorumlanamamıştır. Psikolojik baskı karmaşık bir sorundur ve daha derinlemesine ve ayrıntılı bir araştırmaya ihtiyaç olduğu görüşüne varılmıştır. Bu, özellikle işgücü (çeşitlilik, döngü,

beceriler, belirsizlikler, maruz kalma, vb.), Şirket (ekip planlaması, fazla mesai, acil siparişler vb.), yönetim (sorumluluklar, iletişim, roller, ilişkiler, problem çözme vb.) ve diğer organizasyonel etkiler arasındaki ilişki büyüdükçe daha belirgin hale gelir. Kalan risk grupları ise “gözle ilgili bozukluklar”, “statik çalışma pozisyonundan kaynaklanan bozukluklar” ve “robotlarla yapılan iş birliği sonucunda bilinmeyen tehlikeli parçacıklara maruz kalma” olarak sıralanmaktadır.

Gül ve Ak (2020) çalışmada, en iyi ve en kötü yöntem (BWM) olarak adlandırılan iki tanınmış çok kriterli karar verme yöntemi ile bulanık ortam altında çok özellikli ideal gerçek karşılaştırmalı analiz (MAIRCA) birleştirilerek mesleki risk değerlendirmesi için yeni bir model geliştirilmiştir. İlk olarak, bir tehlikenin önem derecesi ve bununla ilişkili riski insan ve çevresel risklilik perspektiflerinden değerlendirir. İkinci olarak, geleneksel Fine–Kinney yönteminin "olasılık, sıklık ve şiddet" olarak adlandırılan üç risk faktörünün göreceli önemini hesaplamak için bulanık BWM (F-BWM) uygular. Üçüncüsü, F-BWM tarafından elde edilen önem değerlerini kullanarak tehlikeleri risk seviyelerine göre sıralamak için bulanık MAIRCA (F-MAIRCA) uygular. Yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek için, bir mermer fabrikasında risk değerlendirmesi ile ilgili bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir.

Korkusuz vd., (2020) çalışmalarında çok kriterli karar verme yöntemlerini entegre bir şekilde kullanarak sağlık sektörü için iş sağlığı ve güvenliği performans ölçüm yöntemi geliştirilmiştir. İlk önce iş sağlığı ve güvenliği (İSG) performans göstergeleri belirlenmiş ardından AHP yöntemi ile bu göstergeler ağırlıklandırılmıştır. Performans indekslerini elde etmek için, PROMETHEE ve GRA yöntemleri kullanılmıştır. Bu iki farklı yöntemle elde edilen performans indeksleri kıyaslanmış ve sonuçların tutarlılığı incelenmiştir. Buna ek olarak İSG performans indeksleri ile hastanenin diğer özellikleri (hastane tipi ve kuruluş yılı, İSG birimi kuruluş yılı ve ISO 9001 sertifikası edinme) arasındaki korelasyonlar analiz edilmiştir. Geliştirilen yöntem İzmir ve İstanbul’da yer alan 27 hastanede uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre AHP yöntemi ile en önemli ana göstergeler belirlenmiştir. Buna göre “iş kazası istatistikleri” ve “risk analizi istatistikleri” en önemli ana göstergeler iken alt göstergelerin ise “yaralanmalı iş kazası sıklık oranı” ve “yüksek önem derecesine sahip risklerin oranı” olduğu belirlenmiştir.

Rezaee (2019), çalışmasında FMEA, bulanık çıkarım sistemi ve bulanık DEA’yı entegre eden kimya endüstrisinde sağlık, güvenlik ve çevre risk analizi yapmışlardır. Bu çalışmanın amacı, bazı RPN kısaltmalarını ve HSE risklerinin önceliklendirilmesini kapsayacak yeni bir puan hesaplamak için FMEA, Bulanık Çıkarım Sistemi (FIS) ve Bulanık Veri Zarflama Analizi (DEA) modeline dayalı hibrit bir yaklaşım sunmaktır. Öncelikle FMEA ekip üyeleri tarafından olası riskler belirlenip RPN belirleyici faktörlere değerler atandıktan sonra bu değerlerin farklılaşması nedeniyle FIS bu faktörler hakkında fikir birliğine varmak için kullanılır. Daha sonra, FIS çıktıları, tam önceliklendirmeye katkıda bulunabilecek risk önceliklendirmesi için bulanık DEA ve onun süper verimlilik modeli tarafından kullanılır. Belirsizliği göz önünde bulundurmanın ve takımın fikirlerine olan bağımlılığı azaltmanın yanı sıra, bu aşamada üçlü faktörlerin ağırlıkları matematiksel programlamaya göre hesaplanır. SEÇ risklerinin önceliklendirilmesi açısından önerilen yaklaşımın kabiliyetini göstermek için kimya endüstrisinde aktif bir şirkette uygulanmıştır. Önerilen puana göre yüksek önceliğe sahip riskler belirlendikten sonra vaka çalışmasına uygun olarak önleyici / düzeltici faaliyetler sunulmuş ve sonuçların daha fazla analizi için bu çalışmada kendi kendini organize etme haritası uygulanmıştır.

Çebi ve Temizoğlu (2019), çalışmalarında makine tabanlı bir kontrol listesi kullanan dinamik bir risk analizi karar destek sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla çalışma ortamındaki riskli durumları analiz etmek ve tespit etmek için bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışma ortamındaki riskli durumları tespit etmek için makine kontrol listesi hazırlanmıştır. Daha sonra, bulanık bir Mamdani çıkarım sistemi kullanılarak her bir risk tanımının risk büyüklüğü elde edilmiştir. Çıkarım sistemi, her bir riskli durum için şiddet, olasılık ve sıklık parametrelerini kullanmıştır. Bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanılarak her bir olayın olabilirlik ve önem değerleri elde edilmiştir. Ayrıca üretim şirketlerinin risk analizlerini etkin bir şekilde yapabilmeleri ve şirketlerde çalışmaya devam edip etmeme konusunda karar vermelerine yardımcı olacak bir karar destek sistemi önerilmiştir. Şirketler, risk kontrol önlemlerinin etkinliğini analiz ederek anlık olarak izleyebilmekte ve ayrıca geliştirilen karar destek sistemini kullanarak işletmelerin iş güvenliği uygulamalarına çalışanların aktif katılımını sağlayabilmektedir. Ayrıca geliştirilen sistem, sistemle ilgili kullanıcılara anlık bildirimler göndererek kullanıcılar arasında etkin bir iletişim sağlamak üzere tasarlanmıştır. Sistem ayrıca riskli durumların risk büyüklüklerini de hesaplar ve risk büyüklüğünü azaltmak için iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarına ve sistem yöneticilerine önleyici tedbirler sunar. Daha fazla çalışma için, sistemde toplanan veriler, riskli faktörlerin olasılığını tahmin etmek ve ayrıca ilgili durumun risk büyüklüğünü kesin olarak elde etmek için makine öğrenme yöntemleri ile analiz edilebilir.

Can ve Toktaş (2018), çalışmalarında yeni bir bulanık risk matrisi tabanlı risk değerlendirme yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu çalışma, bulanık karar verme deneme ve değerlendirme laboratuvarını (F-DEMATEL) ve bulanık çoklu atıflı sınırlı yaklaşım alanı karşılaştırmasını (F-MABAC) entegre eden yeni bir üç aşamalı bulanık risk matrisi tabanlı RA önermektedir. İlk aşamada RF'lerin önem ağırlıkları F-DEMATEL tarafından hesaplanır. İkinci aşamada, RT'lerin risk dereceleri bulanık bir risk matrisi kullanılarak hesaplanır. Üçüncü aşamada, CPM'ler F-MABAC'a göre sıralanır. Önerilen yaklaşım, Türkiye'deki bir traktör üretim fabrikasının ambarındaki sevkiyat ve teslimat alanları için uygulanmaktadır. Sonuçlar, malzeme yükleme veya boşaltma için talimat geliştirilmesinin en önemli düzeltici-önleyici tedbirler olduğunu ve deponun en önemli risk türleri olduğunu göstermektedir.

Gül vd., (2018) çalışmalarında, yeni bir bulanık temelli yöntem kullanarak rüzgâr türbinlerinin yapım ve işletme dönemleri için bir risk değerlendirmesi yapmışlardır. Fine-Kinney risk analizi yönteminin parametrelerine ağırlık atamak için çok sık kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden bulanık analitik hiyerarşi süreci (FAHP) uygulanır. Ardından, tehlikelere öncelik vermek için bulanık VIKOR yöntemi kullanılır. Türkiye'deki bir rüzgâr türbini için, risk parametrelerinin ağırlıklandırılmasında ve tehlikelerin risk sıralamalarının değerlendirilmesinde iş sağlığı ve güvenliği uzmanları kullanılarak bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, rüzgâr türbininin hem yapımı hem de işletme süresi açısından en önemli tehlikeleri ortaya koymaktadır. İnşaat dönemindeki en hayati tehlikelerin emniyet kemerlerinin kullanılmaması, yüksekte düşme, acil bir durumda paniğe kapılma ve acil bir durumda hızlı müdahale edilememesinden kaynaklandığını göstermektedir. Önerilen bulanık temelli yaklaşım, sonuç, maruziyet ve olasılık parametreleri arasında ikili karşılaştırmalar yaparak risklerin daha gerçekçi bir şekilde yorumlanmasına olanak tanır. Mevcut çalışmanın sonucunda, bu riskler için kontrol önlemleri ve iyileştirme için olası düzeltici-önleyici faaliyetler de verilmektedir.

İlkbahar vd., (2018) çalışmalarında Pisagor bulanık AHP ve bulanık çıkarım sistemini kullanarak iş sağlığı ve güvenliği için risk değerlendirmesine yeni yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, iş sağlığı ve güvenliği alanında risk değerlendirmesi için entegre bir yaklaşım olan Pisagor Bulanık Orantılı Risk Değerlendirmesi (PFPR), Fine Kinney, Pisagor bulanık analitik hiyerarşi süreci (PFAHP) ve bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır. PRA (Fine Kinney) yöntemi olasılık, şiddet ve sıklık parametrelerini dikkate alırken; FMEA risk değerlendirme sürecinde olasılık, şiddet ve tespit edilebilirliği dikkate alır. Önerilen yaklaşım, farklı yöntemlerin daha doğru bir risk değerlendirmesi sağlayacak şekilde entegre edilmesini sağlamaktadır. Bir inşaat sahasında kazı işleminin riskleri önerilen yöntemle değerlendirilmiştir. Sonuçlar Pisagor Bulanık Hata Modları ve Etkileri Analizi (PFFMEA) ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin karar verme sürecinin belirsizliğini daha iyi temsil eden güvenilir ve bilgilendirici sonuçlar ürettiği ortaya çıkmıştır.

Yazdi ve Zarai (2018), Kimyasal proses tesisleri, özellikle ağır işleme koşulları altında çalışan ve tehlikeli maddelerle uğraşan petrol ve gaz tesisleri kazalara karşı hassas olmasından dolayı, kimyasal proses tesislerinin risk analizinde belirsizliği ele almak için bulanık küme teorisine ve FTA' ya entegre bir yaklaşım sunmaktadır. Bu bağlamda önce nitel risk analizine dayalı en kötü durum senaryosu seçilir ve ardından bulanık FTA oluşturulur. Son olarak, olasılığı elde etmek için farklı bulanık toplama ve bulanıklaştırma yaklaşımları kullanılır. Her temel olay ve önemli olay için, her yaklaşımın çıktısı en önemli olayın meydana gelme olasılığı ile karşılaştırılır ve kritik temel olaylar sıralanır. Önerilen metodoloji, Mart 2005' teki BP trajik kazasında hidrokarbon salınımının bulanık olasılık analizine uygulanmıştır. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın belirsizliğin azaltılması veya ele alınması dikkate alındığında risk analizinde çok etkili olduğunu göstermektedir.

Akalp ve Özok (2017), çalışmalarında iş sağlığı ve güvenliği kavramına ilişkin risk faktörlerinden biri olan ergonomik riskleri bulanık mantık yöntemi kullanarak değerlendirmiştir. Ergonomik risk değerlendirme yöntemlerinden biri olan hızlı maruziyet değerlendirme yöntemi ile karşılaştırılarak kullanılabilirliği tartışılmıştır. Çalışanların özellikle devamlı bel ağrısından şikâyet ettiği kimya sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada üç istasyonun değerlendirilmesi için uygulama gerçekleştirilmiştir. Belirsizlikleri gidermek için çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biri olan bulanık topsis yöntemi karar verme aracı olarak problemin çözümünde kullanılmıştır.

Jana vd., (2017) Aralık tipi-2 bulanık mantık ve endüstrilerde iş güvenliği risk performansına uygulanmasını çalışmışlardır. Bu çalışmada, yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı önerilmiş ve bir çalışma sahasında bir aralıklı tip-2 bulanık mantık kontrol yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımla, sektörden geçmiş kaza verileri yönteme dâhil edilmiştir. Uzmanların öznel yargıları ve bir şantiyenin mevcut güvenlik seviyesi birlikte bu girdiler, tip 2 bulanık kural tabanlı bir sistemle birleştirilir. Son olarak, gerçek bir karşılaştırmalı çalışmanın tip-1 ve tip-2 bulanık ortamlardaki modelleri doğruladığı ve pratikliğini ve fizibilitesini gösterdiği gösterilmiştir. Bu araştırma çalışmasının en büyük katkısı, iş sağlığı ve güvenliği durumunun iyileştirilebilmesi için kaza analizi ve tahminlerinin modellenmesi için sistematik entegre bir yaklaşım önermektir.

Yazdi ve Kabir (2017), çalışmasında olayların belirsizliği ve istatistiksel bağımlılığı koşulları altında proses endüstrilerinde risk değerlendirmesi için kapsamlı bir çerçeve önermişlerdir. Önerilen yaklaşım, başarısızlık verilerindeki belirsizliği ele almak için uzman bilgisini ve bulanık küme teorisini kullanır ve olaylar arasındaki bağımlılığı yakalamak ve belirsizlik koşullarında sağlam bir olasılıksal akıl yürütme için Bayes Ağ modellemesini kullanır. Yaklaşımın etkinliği, bir etilen oksit (EO) üretim tesisinde etilen taşıma hattı biriminde risk değerlendirmesi yapılarak gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımın daha sağlam olduğu ve elde edilen sonuçların daha doğru olduğu bulunmuştur, çünkü bu yaklaşım olayların gerçekçi olmayan istatistiksel bağımsızlık varsayımı altında sistem güvenilirliğini tahmin etmemektedir.

Yılmaz ve Şenol (2017), çalışmalarında çok kriterli karar verme (ÇKV) yöntemleri ile bulanık mantık ve risk analizi sürecine entegrasyonu sağlanmıştır. Çalışmanın birinci aşaması olan tehlikelerin değerlendirilmesi aşamasında, geleneksel risk analizinde kullanılan şiddet ve olasılık faktörlerine maliyet faktörü de dâhil edilmiş, faktör ağırlıkları ise bulanık-AHP ile belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar ile Bulanık Topsis kullanılarak tehlikeler önceliklendirilmiştir. İkinci aşama olan tehlikelere yönelik önlemlerin değerlendirilmesinde ise tehlikelerin faktör ağırlıkları kullanılmış ve

önlemlerin önceliklendirilmesi Bulanık-TOPSIS ile belirlenmiştir. Bu yaklaşımda risklerin yanında önlemler de önceliklendirilmiştir. Önlemlerin önceliklendirilmesinde tehlikeler için tespit edilen faktör ağırlıkları dikkate alınmış; risk ve önlemler birlikte değerlendirilmiştir. Önerilen yöntem metal sanayisinde faaliyet gösteren bir işletmede uygulanmış ve tehlike büyüklüğünün belirlenmesinde “maliyet” faktörünün, “olasılık” ve “şiddet” faktörlerinden daha etkili olduğu tespit edilmiştir. En önemli üç risk kaynağı “Çalışma Ortamı Kaynaklı, Makine Kaynaklı ve Çalışan Kaynaklı” tehlikeler olurken, önem derecesindeki ilk üç önlem “Tatbikat Yapma, Eğitim Düzenleme ve Makine Yenileme” olarak bulunmuştur.

Gül vd., (2016) çalışmalarında sağlık personeli için riskleri değerlendirmeyi, sağlık hizmetlerinin planlanmasına katkıda bulunmayı ve düzenlemeleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Türkiye'nin önde gelen hastanelerinden birinde, karar sürecinde daha fazla tutarlılık sağlayan ve uygun tehlike türü sıralaması veren iki aşamalı bulanık çok kriterli bir yaklaşım kullanılarak bir vaka çalışması yürütülmektedir. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (FAHP), önem derecesi, oluşum, tespit edilememe, bakımın uygulanmamasına duyarlılık ve kişisel koruyucu ekipman (KKD) kullanılmamasına duyarlılık olmak üzere beş risk parametresinin ağırlıklandırılmasında kullanılmıştır. Bulanık VIKOR (FVIKOR) yaklaşımı daha sonra hastanenin her bölümünde tehlike türlerinin önceliklendirilmesi için uygulanır. Keskin bir risk parametresi hesaplamasının eksikliklerini önleyen ve karar vermedeki tutarsızlığı azaltan FAHP tabanlı bir yöntem önerilmektedir. Klasik İSG risk değerlendirme yöntemlerinden ayrı olarak, karar vericiler Buckley' in FAHP' sini ikili karşılaştırma yöntemiyle ölçüt ağırlıkları atar.

Acuner ve Çebi (2016), çalışmalarında sanayi kuruluşları için iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliklerine uygun etkin bir risk önleyici model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada önerilen yaklaşım, iş sağlığı ve güvenliği açısından olasılık ve şiddet tanımlarındaki belirsizliklerle baş edebilmek için bulanık küme teorisine dayandığından literatür de açıklananlardan farklıdır. Çalışmada risk şiddeti çalışana zarar, çevreye zarar ve donanıma zarar olarak değerlendirilirken, literatür de risk şiddeti genellikle sadece işçiye zarar olarak ele alınmaktadır. Daha sonra bulanık çıkarım sistemi kullanılarak risk büyüklüğü elde edilir. Modelin uygulanabilirliğini göstermek için önerilen yaklaşım Marmara Bölgesi' nde bulunan bir tersaneye uygulanmıştır. İş sürecine bağlı olarak on dört iş istasyonu inşa edilmiş ve süreçte teknolojiden yararlanılmıştır. Bununla birlikte, geleneksel teknikler, tüm şiddet türlerini birleştiren risk şiddeti için yalnızca tek bir parametre kullanır. Bu iş istasyonları için olası tehlike kaynakları tanımlanır ve bu tehlikelerle ilişkili riskler tanımlanır. Önerilen yöntem risk şiddeti için üç girdi kullanır. Değerlendirmede çevreye zarar, çalışana zarar ve donanıma zarar açısından risk şiddeti dikkate alınır. Her bir iş istasyonu için tanımlanan risklerin olasılıkları, ikili karşılaştırmalara göre belirlenmiştir.

Debnath vd., (2016) çalışmasında Takagi-Sugeno tipi bulanık çıkarım sistemi geliştirilmiştir. Model oluşturma sürecinde, kaza sonucu yaralanmalar için risk faktörleri ve kontrol faktörleri girdi parametreleri olarak kabul edilir. Yaralanmaya eğilimli her vücut parçasının güvenlik seviyeleri analitik hiyerarşi süreci kullanılarak değerlendirilir. Kuralların sayısını azaltmak için çıkarımsal kümeleme tekniği kullanılır ve böylece bir başlangıç bulanık çıkarım sistemi oluşturulur. Son olarak, ilk model, bir hibrit öğrenme süreci kullanılarak girdi değişkenlerine karşılık gelen tüm parametrelerin ayarlanmasıyla güncellenir. Geliştirilen metodoloji, Hindistan' da seçilmiş birkaç şantiyeye uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, şantiyelerde risklerin değerlendirilmesi için geliştirilen modelin uygulanabilirliğini doğrulamıştır ve ayrıca mevcut güvenlik stratejilerinin ilgili ilerlemesini tanımlamıştır.

Djapan vd., (2015) çalışmasında küçük ve orta ölçekli işletmelerin imalatında işyerlerinde risk değerlendirmesi için metodolojinin uygun ve kolay kullanımını sağlayacak güvenilir bir değerlendirme aracı sağlamaya odaklanmıştır. Bu amaçla, üç grup faktör tanımlar ve bunların hiyerarşik yapıları tanımlanır.

Gül ve Güneri (2015), çalışmalarında DMRA tekniğine dayalı birleşik bir bulanık AHP-bulanık TOPSIS risk değerlendirme metodolojisi sunmaktadır. DMRA' dan türetilen risk parametrelerinin olasılık ve önem derecesinin ağırlıklandırılmasında Buckley' in FAHP' si kullanılır. Fabrikanın her departmanı için 23 farklı tehlike grubu ve 84 tehlike türünün sıralama sıralarının değerlendirilmesinde bulanık TOPSIS kullanılmaktadır. Önerilen metodoloji, önemli tehlikeleri ortaya çıkarmayı ve bunları yönetmek için kontrol önlemleri önermeyi amaçlamaktadır.

Zile (2015), çalışmasında iş sağlığı ve güvenliğinde bulunan birçok farklı tehlikeyi göz önünde bulundurarak bulanık mantığa dayalı bir risk değerlendirme analiz modeli oluşturmuş ve bununla ilgili bir bilgisayar yazılımı geliştirmiştir.

Supciller ve Abali (2015), çalışmasında, geleneksel PRAT yönteminin dezavantajlarının üstesinden gelmek için ilk kez bulanık orantılı risk değerlendirme tekniği (PRAT) ile risk analizi önerilmiştir. Uygun üyelik işlevleri kullanılarak üç parametre, olasılık, sıklık ve önem derecesi bulanıklaştırılır. ‘Eğer-ise’ kuralları ve bulanık mantık işlemleri tanımlanır ve ardından riskliliği belirlemek için bir çıkarım yapısı. Bulanıklaştırmadan sonra, tanımlanan her olay için risk skoru belirlenir. Konvansiyonel PRAT ve bulanık PRAT sonuçları, havlu ve bornoz üreten bir tekstil firmasında yürütülen bir vaka çalışmasında karşılaştırıldı. Bulanık işlemlere dayalı risk analizi, PRAT tarafından kullanılan geleneksel risk analizi yöntemlerine göre daha kesin sonuçlar verir. Bulanık PRAT, daha detaylı risk analizi sonuçları sağlar ve geleneksel PRAT'tan daha gerçekçi bir veri seti üretir.

Ardeshir vd., (2014) çalışmalarında Bulanık hata ağacı analizi kullanılarak su iletim tünelleri için inşaat projelerinin risk değerlendirmesini gerçekleştirmişlerdir. Bu tür projelerde sıklıkla karşılaşılan riskler ve bunların ana nedenleri



tanımlanmakta ve değerlendirilmektedir. Olayların ve olayların ana nedenlerini belirlemek için bir hata ağacı yöntemi uygulanır. Doğası gereği, bir risk değerlendirmesi mutlak değerlerle tanımlanamaz ve bu nedenle risk olasılığını ve risk şiddetini hesaplamak için bulanık veriler kullanılabilir. Bu zaman, maliyet, kalite ve güvenlik olmak üzere dört ana kriter üzerinden yapılır. Her bir kriterin önemini tahmin etmek ve riskin toplam etkisinin önemini hesaplamak için Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) uygulanır. Çalışmada Dasht-e Zahab su nakil tünelinin vaka çalışması, ciddi ve çoklu tehlikelere maruz kaldığı için tartışma için seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar, saha uzmanları ile farklı görüşmeler yapılarak doğrulanmıştır. Önerilen metodolojinin vaka çalışmasına uygulanmasıyla, projenin risklerinin, yöntem kullanılmadan yapılabileceklerden daha metodik ve doğru bir şekilde değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle bu yaklaşım, kapsamlı bir şekilde araştırılması ve anlaşılması gereken karmaşık risklerin olduğu benzer türdeki projeler için önerilir.

Mahdevari vd. (2014), çalışmalarında güvenlik ve maliyet gibi farklı kaygılar arasında doğru dengeyi sağlayabilen kontrol önlemlerini yönetmek ve karar vermeyi desteklemek için bulanık TOPSIS' e dayalı bir metodoloji önermişlerdir. Bu amaçla, İran' ın Kerman kömür yatağında bulunan Hashouni, Hojedk ve Babnizu adlı üç tehlikeli kömür madeninden toplanan bilgiler, madencilerinin sağlık ve güvenliğini etkileyen riskleri yönetmek için kullanılmıştır. Toplam 86 tehlike tanımlanmış ve sekiz kategori altında sınıflandırılmıştır: jeomekanik, jeokimyasal, kimyasal, çevresel, elektrik, mekanik, kişisel ve sosyal, kültürel ve yönetsel riskler. Modelin sonuçta farklı risklere sahip on iki grup elde edilmiştir. Sonuçlara göre, önerilen metodoloji, performans derecelendirmeleri kesin olmadığına madencilerin sağlık ve güvenliğini etkileyen belirsizliklerle başa çıkmak ve temel tehlikelerin yönetimi için güvenilir bir teknik olduğu görülmüştür.

Abu-Haggag ve Barakat (2013), risk matrisi kullanarak risk değerlendirmesi için bulanık mantığın uygulanması ile ilgili çalışma yapmışlardır. Geliştirilen Risk Matrisi, standart bir risk matrisi şemasına uygulanmış ve risk değerleri, geleneksel standart risk matrisi ile belirlenenlere göre doğrulanmıştır. Ayrıca, geliştirilen model, geleneksel model tarafından belirlenenlere kıyasla en iyi eşleşen risk değerlerini elde etmek için farklı bulanıklaştırma yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Geleneksel risk matrisinin uygulanması basittir, ancak tutarsız olası sonuçlara yol açar. Risk matrisi yöntemini uygulamanın bir yönü, niteliksel risk parametrelerini kullanmaya dayanmaktadır, öznel bir süreçtir. Geliştirilen bulanık risk matrisi, uzman bilgisini yakalamak ve uzmanlığın daha sezgisel, daha insan benzeri bir şekilde tanımlanmasına izin vermek için Mamdani FIS' in geniş kabul gördüğünü göstermiştir.

Liu ve Tsai (2012), inşaat sektöründe mesleki tehlikeler için bulanık bir risk değerlendirme yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımda, inşaat öğeleri, tehlike türleri ve tehlike nedenleri arasındaki ilişkileri temsil etmek için iki aşamalı kalite işlevi dağıtım (QFD) tablolarını kullanmıştır. Önemli tehlike türlerini ve tehlike nedenlerini belirlemek için bulanık bir analitik ağ süreci (ANP) yöntemi geliştirilmiştir. Belirsiz çıkarım yaklaşımına dayalı olarak tehlike nedenlerinin risk değerini değerlendirmek için başarısızlık modları ve etki analizi (FMEA) gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem, güney Tayvan' daki bir telekom mühendisliği şirketine uygulanmıştır. Performans değerlendirme sonucu, bu yöntemin tehlike nedenleri ve ilgili iyileştirme stratejileri için tatmin edici risk değerlendirme değerleri sağlayabileceğini göstermiştir.

Tadic vd. (2012) çalışmalarında, belirsizliklerin olduğu durumlarda mesleki risk değerlendirmesi için yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Tehlikeli faktörlerin belirsiz değerleri ve sonuç sıklıkları, bir güvenlik yönetimi ekibi tarafından tanımlanan dilbilimsel ifadelerle tanımlanıp, bulanık setlerle modellenmiştir. Yönetim verimliliğini artırmak için belirlenen tehlikeli faktörleri önceliklerine göre sınıflandırmışlardır. Geliştirilen sınıflandırma prosedürü, sonuç değerlerini ve sıklıklarını ele almaktadır. Sonuç, şiddetleri mevcut tehlikeli faktörlere bağlıdır ve bunların değerleri önerilen prosedürle hesaplanır. Önerilen model, Orta Sırbistan'daki meyve işleme firmalarından alınan gerçek verilerle test edilmiştir.

#### **4. Araştırma Bulguları**

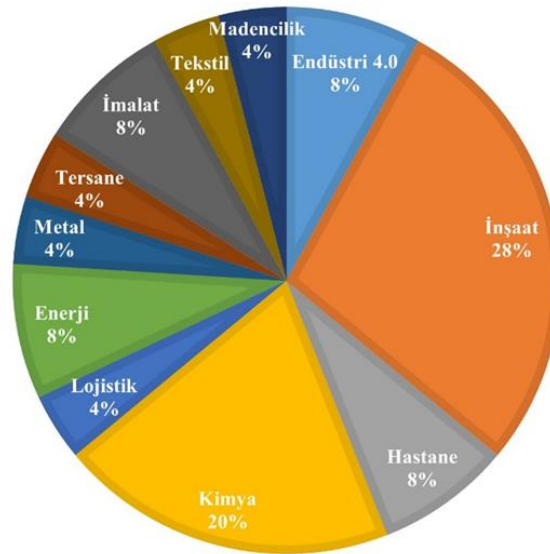
İlgili literatürün kapsamlı bir şekilde gözden geçirilmesi, geçmiş yıllarda işçilerin sağlık ve güvenliğinin iyileştirilmesi için çok çaba harcandığını göstermektedir. İlk olarak mevcut çalışmalar, uzmanların risk değerlendirmeleriyle ilişkili belirsizliği ve bulanıklığı ölçmek için farklı belirsizlik teorileri kullanmıştır. Bununla birlikte, mevcut bulanık yöntemlerin, deneyimlerinin veya bilgilerinin sınırlı olması nedeniyle uzmanların belirsiz değerlendirmelerini yeterince tasvir edemediği durumlar vardır. Öte yandan, İSG' de mesleki tehlike riskini önceliklendirmek için birçok çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımı uygulanmıştır. Literatür çalışması sonucunda elde edilen bilgilerle çalışmaların hangi sektörde uygulandığını ve kullanılan başlıca teknikler Tablo 3.1' de görülmektedir.

**Tablo 1.** Risk Değerlendirmesi Uygulama Alanları ve Kullanılan Teknikler

Yazarlar (Yıl)	Uygulama alanı	Kullanılan Teknik
Adem vd. (2020)	Endüstri 4.0	Kararsız FAHP
Gül ve Ak (2020)	İnşaat	F-BWM/F-MAIRCA
Korkusuz (2020)	Hastane	Promethee-GRA-AHP
Çebi ve Temizoğlu (2020)	Endüstri 4.0	Buckley AHP
Rezae (2019)	Kimya	FMEA-Bulanık DEA/FIS
Can ve Toktaş (2018)	Lojistik	F-Dematel/F-Mabac
Gül vd. (2018)	Enerji	Fine Kinney-AHP/VIKOR
İlkbahar vd. (2018)	İnşaat	Pisagor Bulanık AHP(PRA)/PFPPRA
Yazdi ve Zarai (2018)	Kimya	FTA
Jana vd. (2017)	İnşaat	Aralık Tip-2
Akalp ve Özok (2017)	Kimya	Bulanık Topsis
Yazdi ve Kabir (2017)	Kimya	Bayes Ağ
Yılmaz ve Şenol (2017)	Metal	Bulanık AHP/Bulanık Topsis
Gül vd. (2016)	Hastane	FAHP/FVIKOR
Acuner ve Çebi (2016)	Tersane	FIS
Debnath vd. (2016)	İnşaat	ANFIS
Djepan vd. (2015)	İmalat	FAHP
Gül ve Güneri (2015)	İnşaat	DMRA/Bulanık AHP-TOPSİS
Supciller ve Abali (2015)	Tekstil	PRAT
Zile (2015)	Kimya	FMECA/HAZOP
Ardeshir vd. (2014)	İnşaat	Bulanık hata ağacı (FTA)
Mahdevari vd (2014)	Madencilik	Bulanık TOPSİS
Abu-Haggag ve Barakat (2013)	Enerji	Bulanık risk matrisi
Liu ve Tsai (2012)	İnşaat	FANP-FMEA
Tadic vd. (2012)	İmalat	FAHP

Yapılan çalışmalara bakıldığı zamanda Şekil 4’de görüldüğü gibi en çok çalışmanın %28 ile inşaat ve %20 ile kimya sektöründe olduğu görülmüştür. İnşaat sektörü, dünyanın hemen her yerinde en çok ölümlü iş kazasının görüldüğü sektörlerden biridir. Bu sebeple en çok çalışılan alan olması olağan karşılanmaktadır. Kimya sektörünün ise özel sektör arasında en çok payı olan ve yine inşaat sektörü gibi tehlike grubu fazla olan grupta yer almasından dolayı çalışmaların fazla olduğu düşünülmektedir.

■ Endüstri 4.0 ■ İnşaat ■ Hastane ■ Kimya ■ Lojistik ■ Enerji ■ Metal ■ Tersane ■ İmalat ■ Tekstil ■ Madencilik



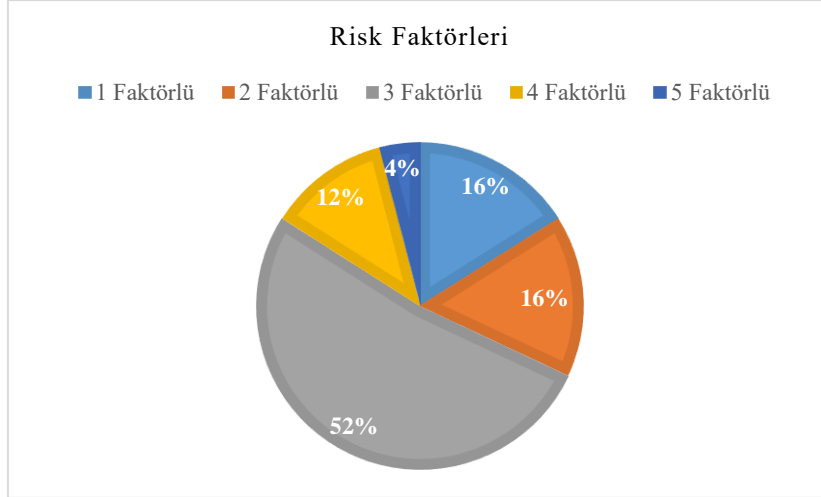
**Şekil 4.** Risk değerlendirmesi uygulama alanları

Risk değerlendirme çalışmalarında araştırmacılar, tehlikeleri / tehlikeli durumları önceliklendirmek için nicel risk ilişkilerini kullanırlar. Bu ilişkiler çeşitli parametreleri/faktörleri içerir. Tablo 3.2’ de kullanılan risk parametreleri gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Makalelerin risk parametreleri/faktörlerine göre dağılımı

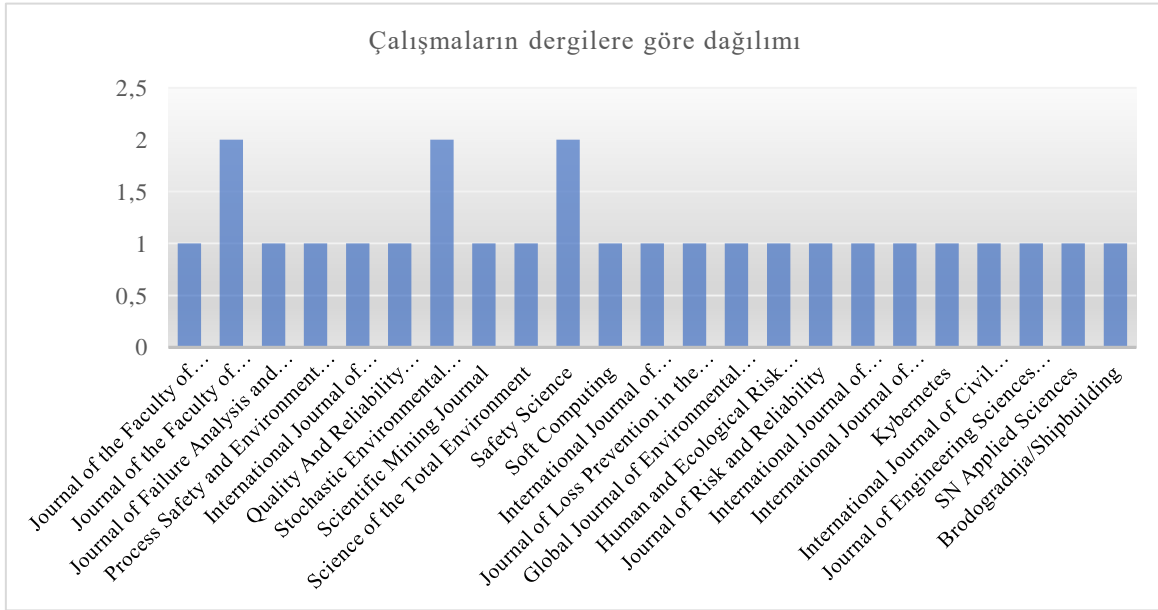
Yazarlar (Yıl)	Risk parametreleri/faktörleri
Adem vd. (2020)	Gözle ilgili bozukluklar, zihinsel yorgunluk, statik çalışma pozisyonundan kaynaklanan rahatsızlıklar, robotlarla iş birliği sonucu bilinmeyen tehlikeli parçacıklara maruz kalma ve psikolojik baskı
Gül ve Ak (2020)	Olasılık, şiddet, sıklık
Korkusuz (2020)	İş kazası sıklık oranı, Yaralanmalı iş kazası sıklık oranı, İş kazası ağırlık oranı
Çebi ve Temizoğlu (2020)	Kazaya neden olma ağırlığı, şiddet ve frekans
Rezae (2019)	Önem, tespit, oluşum
Can ve Toktaş (2018)	Olasılık / Sıklık / Önem
Gül vd. (2018)	Olasılık / Sıklık / Önem
İlkbahar vd. (2018)	Olasılık / Sıklık / Önem
Yazdi ve Zarai (2018)	Olasılık/Önem
Jana vd. (2017)	Kaza olasılığı, sonuç şiddeti, kaza şiddeti
Akalp ve Özok (2017)	İş organizasyonu, çevre, araç-gereç ve insan faktörü
Yazdi ve Kabir (2017)	Başarısızlık olasılığı
Yılmaz ve Şenol (2017)	Olasılık, şiddet, maliyet
Gül vd. (2016)	KKD’nin kullanılmasında duyarlılık
Acuner ve Çebi (2016)	Önem
Debnath vd. (2016)	Kaza Yüzdesi, Kaza Şiddeti, Güvenlik Seviyesi, Masraflar
Djepan vd. (2015)	İnsan yapısı, örgütsel ve teknik-teknolojik faktörler
Gül ve Güneri (2015)	Olasılık
Supciller ve Abali (2015)	Olasılık / Sıklık / Önem
Zile (2015)	Olasılık, şiddet
Mahdevari vd. (2014)	Olasılık/Önem
Ardeshir vd. (2014)	Zaman, maliyet, kalite ve güvenlik
Abu-Haggag ve Barakat (2013)	Olasılık, şiddet
Liu ve Tsai (2012)	Olasılık / Sıklık / Önem
Tadic vd. (2012)	Sıklık / Önem

Literatür taramasının sonuçları şunu göstermektedir: Araştırmacılar en çok %52 ile üç parametresi olan risk parametreleri/ faktörler sınıfını tercih etmektedir. En sık kullanılan üç faktörler olasılık / sıklık / önem risk parametreleridir. Çalışmaların %16’sı 2 faktörle çalışırken, yine %16’sı 1 faktörle çalışmıştır. %12’sinde 4 faktörlü çalışma vardır.



Şekil 5. Çalışmaların risk parametrelerine göre dağılımı

Çalışmaların dergilere göre dağılımına bakıldığı zaman 2 dergi Elsevier kuruluşuna ait olan ‘Safety Science’ dergisinde, diğer iki dergi ‘Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University’ dergisinde ve iki dergi de Springer kuruluşunun ‘Stochastic Environmental Research and Risk Assessment’ dergisinde yayımlanmıştır. Diğerleri aşağıdaki grafikte gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Çalışmaların dergilere göre dağılımı

Şekil 7’ te, gözden geçirilen çalışmaların yıllara göre dağılımı vermektedir. Buna göre çalışmalardan yaklaşık %15’i 2015 yılında, %15’i 2017 ve %15’i 2018 yılında yayımlanmıştır. Yaklaşık %12’i 2020 ve %12’si 2016 yılında yayımlanmıştır. 2014 yılından itibaren genel olarak bulanık tabanlı risk değerlendirme çalışmalarında bir artış söz konusudur.



Şekil 7. İncelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı

## 5. Tartışma ve Sonuç

Günümüzde tüm ülkelerde iş gücü sağlığı konusunun önemi göz önüne alındığında, İSG risklerini belirlemek, değerlendirmek ve üretim sistemlerindeki çalışma koşullarını daha da iyileştirmek için tam teşekküllü yöntemler geliştirmeye artan bir ihtiyaç vardır. Üretkenliği artırmak için güvenliğe ciddi şekilde dikkat edilmesinin çok önemli bir ihtiyaç olduğu endüstrideki yöneticiler tarafından daha iyi anlaşılmıştır. Bu konu aynı zamanda ekonomik açıdan da önemlidir, çünkü kazalar aşırı maliyetlere neden olabilmektedir (örneğin, ekipman ve ürünlerde hasar, değişim zamanlarında işsizlik, zaman alan araştırmalar ve eğitim için gerekli masraflar). Bu nedenle endüstri yöneticilerinin, sermaye israfını önlemek için fabrikalarında iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemlerini kullanmaları gerekmektedir.

İşçi sağlığı ve iş güvenliği sistemleri, işçilerin sağlığına ve refahına zarar verebilecek işyerinde veya işyerinden kaynaklanan tehlikelerin öngörülmesi, tanınması, değerlendirilmesi ve kontrolü bilimiyle ve çevre üzerindeki olası sonuçları hesaba katarak ilgilidir. İSG' nin en önemli süreçlerinden biri olan risk değerlendirmesi, risk kaynaklarının belirlenmesinde ve kontrol önlemlerinin belirlenmesinde önemli bir aşama olarak ortaya çıkmıştır. Bulanık tabanlı yöntemler, nicel araçlar olarak risk değerlendirmesi için yaygın olarak uygulanmaktadır. Uygun bir nicel olasılık modeline sahip olmayan riskler için bulanık mantık sistemi, neden-sonuç ilişkilerini modellemeye, riske maruz kalma derecesini değerlendirmeye ve hem mevcut verileri hem de uzmanlara göre temel riskleri tutarlı bir şekilde sıralamaya yardımcı olmaktadır.

Geleneksel risk modelleri, olasılık ve klasik küme teorisine dayanmaktadır. Bazı durumlarda sayısal verilere ulaşmak zor olabilir. Bu tür durumlarda risklerin sayısal verilerden ziyade karar vericilerin görüş ve yargılarına dayalı olarak sözlü olarak ifade edilmesi, bulanık tabanlı risk değerlendirme yaklaşımları uygulanarak mümkün olabilir. Bulanık mantık modelleri, bulanık küme teorisi ve bulanık mantık üzerine kuruludur ve yetersiz bilgi veya kesin olmayan verilerle riskleri analiz etmek için kullanışlıdır. Tehlikeler geleneksel yöntemlerle önceliklendirilirken, tamamen farklı anlamlara sahip tartışmalı bir risk değeri hesaplaması elde edilebilir. Yani, yüksek olasılıklı ve düşük önem derecesindeki tehlikeler, düşük olasılıklı ve yüksek şiddetteki tehlikelerle aynı seviyede sınıflandırılabilir. Bazı durumlarda, küçük bir uzman ekip tarafından yapılan risk analizi sonuçlarının, dağıtılmış bir organizasyonun gerçek durumunu yansıtması zordur. Uzmanların önem ağırlıklarının önceden bilinmesi ve vaka çalışmasında önceden verilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, gelecekteki araştırmalar, uzmanların İSG risk değerlendirmesindeki fikir birliği derecelerine göre ağırlıklarını hesaplamak için bir yöntem geliştirmeye yönelik olmalıdır.

Günümüzde risk değerlendirmeleri, kullanımları için önemli miktarda veri ve açıkça tanımlanmış sınırları olan durumlarda iyi bir şekilde oluşturulmuştur. İstatistiksel ve olasılıksal araçlar geliştirilmiştir ve birçok uygulama türü için faydalı karar desteği sağlamaktadır. Bununla birlikte, risk kararları, artan ölçüde, büyük belirsizlikler ve ortaya çıkma ile karakterize edilen durumlarla ilgilidir. Bu tür durumlar farklı türde yaklaşımlar ve yöntemler gerektirir ve risk alanının bu amaç için uygun çerçeveler ve araçlar geliştirmesi temel bir zorluktur. Statik veya geleneksel risk değerlendirmesinden ziyade dinamik risk değerlendirmesi ve yönetimine odaklanan genel bir araştırma vardır.

Risk değerlendirmesi ve risk yönetimi bilimsel bir alan olarak kurulmuş ve karar vermeyi desteklemede önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada, risk alanlarının dayandığı temel fikirleri ve düşünceleri kapsayan bulanık tabanlı son çalışmalara ve gelişmelere odaklanmıştır. Bu alandaki gözden geçirilen makaleleri değerlendirdikten sonra aşağıdaki ana sonuçlar çıkarılmıştır:

- Üçün üzerinde parametreleri kullanan bulanık tabanlı risk değerlendirme çalışmaları gerçekten daha azdır.
- Çalışanlar ve işyerleri açısından ergonomik faktörler çoğunlukla araştırmacılar tarafından ihmal edilmektedir. Bu nedenle, daha fazla parametreyi dikkate alarak ve çok uygun bir nihai tehlike sıralaması üreterek eksiksiz bir risk değerlendirme aracı geliştirmek mümkün olabilir.
- Ayrıca bulanık tabanlı risk değerlendirme sürecinin bir parçası olarak bir duyarlılık analizinin dâhil edilmemesi, gözden geçirilen makalelerin çoğunda ciddi bir kısıttır.
- İncelenen makalelerin çoğunda tehlikelerle ilişkili risk puanları, grup karar verme mantığı dikkate alınmadan verilmiştir. Bu, karar verme süreçlerinde tutarsızlığa neden olabilmektedir. Bu tutarsızlığı önlemek için, risk değerlendirmesi sırasında her bir analistin deneyim seviyesinin dâhil edilmesi düşünülebilir.
- Son yıllarda, riskin kavramsallaştırılması, değerlendirilmesi ve yönetimine ilişkin daha geniş perspektifler oluşturan bütünlendirici araştırmalara yönelik çalışmalar yer almaktadır.

## Kaynaklar

- Abul-Haggag O. Y., Barakat W. (2013). Application of Fuzzy Logic for Risk Assessment using Risk Matrix, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(1). <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.413.6689&rep=rep1&type=pdf>
- Acuner, O., Çebi, S., (2016). An Effective Risk-Preventive Model Proposal For Occupational Accidents at Shipyards. *Brodogradnja*, 67, 67-84. DOI: <http://dx.doi.org/10.21278/brod67104>.
- Âdem A., Çakit E. & Dağdeviren M., (2020). Occupational health and safety risk assessment in the domain of Industry 4.0., *SN Applied Sciences*, 2(5). DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42452-020-2817-x>.
- Akalp G., Özok A.F., (2017). Ergonomik Risklerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi ve Bir Uygulama, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(SI: Ergonomi2016), 69-79. DOI: <http://dx.doi.org/10.21923/jesd.19802>.
- Ardeşir A, Amiri M, Ghasemi Y, Errington M. (2014). Risk Assessment of Construction Projects for Water Conveyance Tunnels Using Fuzzy Fault Tree Analysis, *International Journal of Civil Engineering*. 12 (4), 396-412. <http://ijce.iust.ac.ir/article-1-878-en.pdf>
- Booth A, Papaioannou D., Sutton A., (2012). *Systematic Approaches to a Successful Literature Review*, London, Sage Publications.
- Can G. F, Toktas, P. (2018). A novel fuzzy risk matrix based risk assessment approach. *Kybernetes*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/K-12-2017-0497>.
- Çebi S., Temizoğlu H. (2020). Makine Tabanlı Dinamik Risk Analizi İçin Bir Karar Destek Sistemi Geliştirme. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, Prof. Dr. Talha Ustasüleyman Özel Sayısı, 149-166. DOI: <http://dx.doi.org/10.18092/ulikidince.579073>
- Debnath, J., Biswas, A., Sivan, P., Sen, K. N., Sahu, S. (2016). Fuzzy inference model for assessing occupational risks in construction sites. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 55, 114–128. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2016.08.004>
- Djapan, M. J., Tadic, D. P., Macuzic, I. D., Dragojovic, P. D. (2015). A new fuzzy model for determining risk level on the workplaces in manufacturing small and medium enterprises. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 229(5), 456–468. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/1748006x15581219>
- Fink A., (2009). *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper*, California, Sage Publications.
- Gjerdrum D., Peter M. (2011). The New International Standard on the Practice of Risk Management- A Comparison of ISO 31000:2009 and the COSO ERM Framework, *Risk Management, Society of Actuaries*, 21, 8-12. <https://www.soa.org/globalassets/assets/library/newsletters/risk-management-newsletter/2011/march/jrm-2011-iss21-gjerdrum.pdf>
- Gul M., Ak, M. F., Guneri, A. F. (2016). Occupational health and safety risk assessment in hospitals: A case study using two-stage fuzzy multi criteria approach. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 187-202. Doi: <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2016.1234363>
- Gul M., Guneri, A. F & Başkan M. (2018). An occupational risk assessment approach for construction and operation period of wind turbines, *Global Journal of Environmental Science and Management*, 4(3), 281-298. DOI: <http://dx.doi.org/10.22034/gjesm.2018.03.003>

- Gul M, Ak M. F. (2020). Assessment of occupational risks from human health and environmental perspectives: a new integrated approach and its application using fuzzy BWM and fuzzy MAIRCA, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-020-01816-x>
- Gul M., Guneri A.F., (2016), A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for aluminum industry, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 89-100. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jlp.2015.11.023>.
- Herrera F, Viedma E.H. (2000). Linguistic Decision Analysis: Steps For Solving Decision Problems Under Linguistic Information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1), 67–82. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114\(99\)00024-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0165-0114(99)00024-X)
- Ilbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S., Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103, 124–136. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.025>.
- Jana, D. K., Pramanik, S., Sahoo, P., Mukherjee, A. (2017). Interval type-2 fuzzy logic and its application to occupational safety risk performance in industries, *Soft Computing*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-017-2860-8>
- Korkusuz A, İnan U, Özdemir Y, Başlıgil H. (2019). Entegre çok kriterli karar verme yöntemleriyle sağlık sektöründe iş sağlığı ve güvenliği performansının ölçülmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35 (1), 81-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.17341/gazimmfd.441032>.
- Liu, H.-T., Tsai, Y. (2012). A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. *Safety Science*, 50(4), 1067–1078. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.021>.
- Mahdevari S, Shahriar K, Esfahanipour A. (2014). Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 488, 85–99. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.076>
- Mete S., (2019). Assessing occupational risks in pipeline construction using FMEA-based AHP-MOORA integrated approach under Pythagorean fuzzy environment, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25 (7), 1645-1660. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2018.1546115>.
- Özdemir Y., Gül M., Çelik E. (2017). Assessment of occupational hazards and associated risks in fuzzy environment: a case study of a university chemical laboratory, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23 (4),895-924. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2017.1292844>.
- Rezaee MJ, Salimi A, Yousefi S. (2017). Identifying and managing failures in stone processing industry using cost-based FMEA. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(9–12),3329–42. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-016-9019-0>
- Ringdahl L. H., (2001). Safety Analysis Principles and Practice in Occupational Safety Risk Assessment, New York, Taylor&Francis.
- Supciller A., Abali N. (2015). Occupational Health and Safety Within the Scope of Risk Analysis with Fuzzy Proportional Risk Assessment Technique (Fuzzy Prat). *Quality and Reliability Engineering International*, 31(7), 1137–1150. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/qre.1908>.
- Tadic, D., Djapan, M., Misita, M., Stefanovic, M., Milanovic, D. D. (2012). A Fuzzy Model for Assessing Risk of Occupational Safety in the Processing Industry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(2), 115–126. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2012.1107692>
- Tepe S., Kaya İ. (2019). A fuzzy-based risk assessment model for evaluations of hazards with a real-case study, *Human and Ecological Risk Assessment*, 26 (2), 512-537. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2018.1521262>.
- Yazdi M., Kabir S., (2017). A Fuzzy Bayesian Network approach for Risk Analysis in Process Industries. *Process Safety and Environmental Protection*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.015>
- Yazdi, M.& Zarei, E. (2018). Uncertainty Handling in the Safety Risk Analysis: An Integrated Approach Based on Fuzzy Fault Tree Analysis. *Journal of Failure Analysis and Prevention*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11668-018-0421-9>.
- Yılmaz N., & Şenol M.B. (2017). İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme süreci için bulanık çok kriterli bir model ve uygulaması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 32(1), 77-87. DOI: <http://dx.doi.org/10.17341/gazimmfd.300597>
- Zile M., (2015). İş Güvenliği Risk Değerlendirme Analiz Modellemesi ve Yazılımının Bulanık Mantıkla Oluşturulması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 267-273. DOI: <http://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.242762>

Zhou Z, Goh Y.M., Li Q, (2015). Overview and analysis of safety management studies in the construction industry, *Safety Science*, 72, 337-350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.10.006>

**Conflict of Interest / Çıkar Çatışması**

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.