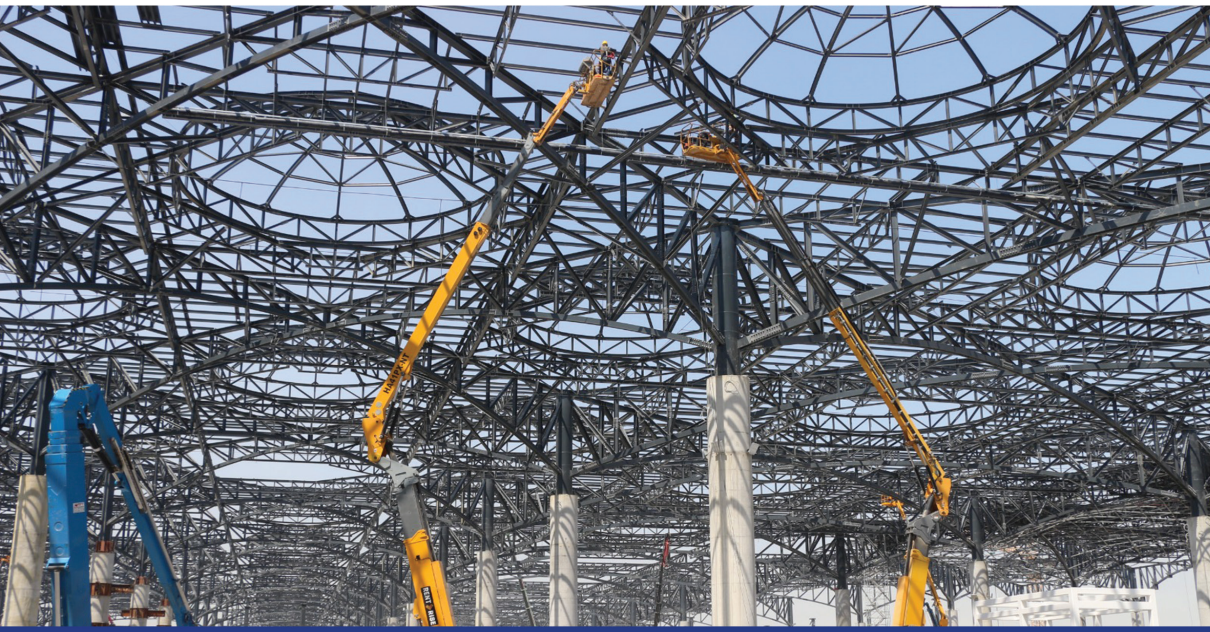


İŞ GÜVENLİĞİ VE ÇALIŞAN SAĞLIĞI



EDİTÖRLER

Prof. Dr. Mohammad ISRAR, Doç. Dr. Ayhan ONAT , Dr. Öğr. Üyesi Senai YALÇINKAYA

İŞ GÜVENLİĞİ VE ÇALIŞAN SAĞLIĞI

EDİTÖRLER
Prof. Dr. Mohammad ISRAR
Doç. Dr. Ayhan ONAT
Dr. Öğr. Üye. Senai YALÇINKAYA

İŞ GÜVENLİĞİ VE ÇALIŞAN SAĞLIĞI

EDİTÖRLER
Prof. Dr. Mohammad ISRAR
Doç. Dr. Ayhan ONAT
Dr. Öğr. Üye. Senai YALÇINKAYA

Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları: 17/2022
20 ARALIK 2022

Yayıncı Sertifika No: 52866
E-ISBN: 978-625-7367-46-2
Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları

Bu bilimsel kitabının her türlü yayın hakkı GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI'na aittir. Yayınevinin yazılı izni olmadan, bilimsel/akademik kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla basımı, yayını, çoğaltımı ve dağıtımı yapılamaz. ***Kitapta yer alan her bölüm ve makalenin sorumluluğu, görseller, grafikler, direkt alıntılar ve etik kurul ve kurum iznine yönelik sorumluluk ilgili yazarlara aittir. Bu yönde Oluşabilecek Herhangi Hukuki bir olumsuzlukta Yayınevi başta olmak üzere kitabın hazırlanmasına destek sağlayan kurumlar, kitabın düzenlenmesi ve tasarımından sorumlular kurum(lar) ve kitap editörleri, hakemler, düzenleme kurulu, bilim kurulu ve diğer kurullar ile yayınevi hiçbir konuda "maddi ve manevi" bir yükümlülük ve hukuki sorumluluğu kabul etmez ve etmesi istenemez; hukuki yükümlülük altına alınamaz. Her türlü hukuki yükümlülük ve sorumluluk "maddi ve manevi" yönden ilgili bölüm yazar(lar)ına aittir. Bu yöndeki haklarımızı maddi ve manevi yönden GÜVEN PULUS GRUP DANIŞMANLIK "YAYINCILIK"A.Ş. olarak ve kitap bilim/editörler kurulları adına saklı tutarız. Herhangi bir hukuki sorunda/durumda İSTANBUL mahkemeleri yetkilidir.*** Güven Plus Grup Danışmanlık bünyesinde hazırlanan ve yayınlan bu eser ISO: 10002:2014-14001:2004-9001:2008-18001:2007 belgelerine sahiptir. Bu eser TPE "Türk Patent Enstitüsü" tarafından "Güven Plus Grup A.Ş.2016/73232" ve "2015/03940" nolu tescil numarası ile markalı bir eserdir. Bu bilimsel/akademik kitap ulusal ve uluslararası nitelikte olup, İstanbul Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü İstanbul Basma Yazı ve Resimleri Derleme Müdürlüğünün Sayı: 37666426-207.01[207.02.02]-E.62175 Tarih: 21.01.2019 bilgileri ile resmi olarak belgelendirilmiştir. ***"2019 yılı akademik teşvik kriterleri kapsamında olup, 17/01/2020 tarihli ve 31011 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan 16/1/2020 tarihli ve 2043 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı Uyarınca ilgili yayınlanan yönetmelik kapsamında değerlendirilmekte"*** olup, akademik teşvik kriterlerini karşılamaktadır. Çok bölümlü ve yazarlı olan bu bilimsel kitabı E-ISBN'li olup Kültür Bakanlığı Milli Kütüphaneler tarafından ve 18 Farklı Dünya Ülkesiyle Anlaşmalı olan Milli Kütüphanenin E Erişim sistemi tarafından da taranmaktadır. Bu kitap maddi bir değer ile alınıp satılamaz. Kitap yer alan bölüm, makalelerden alıntı yapmak ve ilgili bölüm ile makaleye atıf yapılmak koşulu ile kaynak gösterilmek üzere bilimsel ya da ilgili araştırmacılar tarafından kullanılabilir. ***Yayın evimiz ve kitap editörler kurulu kişisel verilerin korunması ve özel hayatın gizliliği kanunlarına uygun hareket eder. Bilimsel kitap bölüm yazarlarının da bu yönde hareket etmesini zorunlu kılar. Kişisel verilerin korunmasına ilişkin olarak işbu akademik/bilimsel kitabına sahip olan bireylerin ilgili kanun, yönetmelik ve uygulamalara göre hareket etmesi bir zorunluluktur. Bunun aksi hareket edenler hakkında oluşan hukuki, maddi ve manevi sorun ile zorunlulukları peşinen kabul etmiş sayılır.***

Metin ve Dil Editörleri
Doç. Dr. Gökşen ARAS (Türkçe – İngilizce)
Dr. Öğr. Üye. L. Santhosh KUMAR (İngilizce)

Kapak ve Grafik Tasarım
Öğr. Gör. Ozan KARABAŞ
Ozan DÜZ

Sayfa Düzeni
Burhan MADEN

Baskı-Cilt
GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®
Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul Tel: +902128014061- 62 Fax:+902128014063 Mobile:+9053331447861

KİTAP İMTİYAZ SAHİBİ
GÜVEN PLUS GRUP DANIŞMANLIK A.Ş. YAYINLARI®
Kayaşehir Mah. Başakşehir Emlak Konutları, Evliya Çelebi Cad. 1/A D Blok K4 D29 Başakşehir İstanbul Tel: +902128014061-62-63 - +905331447861 info@guvenplus.com.tr, www.guvenplus.com.tr

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ **4**

PREFACE **6**

GEÇMİŞTEN GELECEĞE ASBEST GÜVENLİĞİ SORUNU **8**
İsmail TUĞRUL, Ali AĞAR, Seda FANDAKLI

TURİZMDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ **34**
M. Oğuzhan İLBAN, Nur YILDIZ

TEKSTİL SEKTÖRÜNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ **59**
Ahmet ÖZBEK

KAYNAK VE KESME İŞLEMLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSK DEĞERLENDİRMESİ **86**
Erman FERİK, Yahya BOZKURT

İŞ GÜVENLİĞİNDE DİJİTAL TEKNOLOJİ UYGULAMALARI ve ETİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ **126**
Abdullah DEMİR, Ayhan ONAT

KÜTÜPHANELERDE SINIRLANDIRICI VE ÖNLEYİCİ FAALİYETLER **158**
Alpaslan Hamdi KUZUCUOĞLU

ELEKTRİK TEHLİKELERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ **178**
Serdar PAKER , İsmail EKMEKÇİ

UZMAN SİSTEM ÇALIŞMALARININ BİBLİYOMETRİK ANALİZİ VE İŞ SAĞLIĞI GÜVENLİĞİNDE UYGULAMA ÖRNEKLERİ **222**
Bilal MURAT, Ali Riza MOTORCU, Yunus KAYIR

İŞ KAZALARINDA HUKUKİ SORUMLULUK **248**
İbrahim Fevzi KAYAN, Derya Demirdizen ÇEVİK, Fevzi BEDİR

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YÖNETİM SİSTEMİ **270**
Rabia BALCI, Yahya BOZKURT

UZMAN SİSTEM ÇALIŞMALARININ BİBLİYOMETRİK ANALİZİ VE İŞ SAĞLIĞI GÜVENLİĞİNDE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Bilal MURAT[1], Ali Riza MOTORCU[2], Yunus KAYIR[3]

Öz: Gelişen teknoloji ile birlikte artan risk çeşitliliği, beraberinde yönetilmesi zor çok katmanlı bir iş sağlığı ve güvenliği (İSG) disiplini oluşturmuştur. Bununla birlikte, yeni iş kolları, üretim teknikleri ile cobot ve otonom robotlar gibi yeni iş ekipmanları hayatımıza girmeye başlamıştır. Yaşanan gelişmeler sonucunda karmaşık bir yapıya bürünen İSG' nin yönetimi için uzman sistemler (US) kullanılarak çözüm önerileri üretilmeye çalışılmaktadır. Bu bağlamda, US çalışmalarının genel odak noktalarının tespit edilmesi, İSG disiplininde var olan sorun sahalarına nasıl çözümler getirdiği ve elde edilen sonuçların tespit edilmesi maksadıyla çalışma gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak yapay zekâ (YZ) uygulamalarının hızla artmaya başladığı 2015 yılından itibaren gerçekleştirilen US çalışmalarının bibliyometrik analizi yapılmıştır. Müteakiben İSG alanında gerçekleştirilmiş başlıca çalışmalar derlenerek araştırma kapsamı derinleştirilmiştir. Bu çalışmaların ağırlıklı olarak risk değerlendirmesi yapmak üzere gerçekleştirildiği, ancak kaza analizi ve karar destek sistemi olarak yapılan uygulamaların bulunduğu görülmüştür. İSG alanında yapılan çalışmaların bulanık mantık, çok kriterli karar verme (ÇKKV), bayes ağları, makine öğrenmesi, LOPA, bulanık birliktelik kural madenciliği, VBS ve BRB teknikleri, CBR (case-based reasoning- durum tabanlı çıkarsama) ve RBR (rule-based reasoning- kural tabanlı çıkarsama) teknikleri yaygın ola-

1 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çanakkale / Türkiye, e-mail: murratbilal@gmail.com, Orcid No: 0000-0002-1257-3039

2 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale / Türkiye, e-mail: armotorcu@comu.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-9129-8935

3 Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara/Türkiye, e-mail: ykayir@gazi.edu.tr, Orcid No: 0000-0001-6793-7103

rak kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca hata türleri ve etkileri analizi (FMEA) metodunun risk değerlendirme çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Risk değerlendirme metotlarının günümüz sorun sahalarına cevap verebilmesi için genel itibariyle bulanık mantık ağırlıkta olacak şekilde farklı metotlar ile geliştirilerek kullanıldığı görülmektedir. Bibliyometrik analiz neticesinde US' lerin yapay zekâ, makine öğrenmesi ve bulanık mantık anahtar kelimeleri ile yakın ilişkili sonucuna ulaşılmıştır. Yapay zekanın diğer alt dallarının gelişmesi ile US çalışmalarının hibritleşme eğilimi içerisinde olduğu değerlendirilmektedir. Son yıllarda yapılan US çalışmaları Hindistan, Çin, Almanya, İngiltere ve ABD sıralamasıyla gerçekleşmiştir. En fazla yayın expert systems with applications dergisinde yapıldığı görülmüştür. İSG alanında US ile gerçekleştirilen çalışmaların yüksek oranda başarılı sonuçlar elde ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak güvenli iş yerlerinin oluşturulması için kullanılacak US çalışmalarında (1) çok disiplinli yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğu, (2) diğer YZ uygulamalarının artan oranda kullanılabilineceği, (3) dinamik iş yerlerinin yönetilmesinde başarılı sonuçlar verebileceği ve (4) proaktif tutum sergilenmesini sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İş Güvenliği, İş Sağlığı, Uzman Sistemler, Bibliyometrik Analiz

GİRİŞ

Güvenli iş yerlerinin sağlanması 4 aşamalı "Risk Yönetim Süreci" (Karamustafa ve Çebi, 2021) ile literatürde oldukça fazla sayıda geliştirilen kaza analiz metotlarının kullanılması (Fu vd., 2020) ile sağlanmaktadır. Ancak "akıllı fabrika ve dijitalleşmenin" hayatın bir parçası olması ile İSG, yeni boyutlar kazanarak sadece insan çalışanları konu almanın ötesinde cobot ve otonom robotlar gibi yeni iş elemanlarının dâhil olduğu farklı bir alana doğru evrilmeye başlamıştır (Kiangala ve Wang, 2022). Bununla birlikte dinamik ve kompleks yapıların bir arada bulunduğu teknik ve sosyoteknik sistemlerin her geçen gün daha da gelişmesi ve bu gelişimlerin takip edilemez seviye gelmesi ile geliştirilen geleneksel yöntemlerin günümüz şartlarında iş güvenliğini sağlamada yetersiz kalmasına neden olmaktadır (Ceylan vd., 2022; Hollnagel, 2014). Hollnagel tarafından İSG-II (*Safety-II*) olarak adlandırılan bu dönemde, çalışma koşullarında belirginlik kaybolmuş ve işler beklenen performanstan

ziyade durumun gerektirdiği "performans değişikliği" ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir hale gelmiştir (Hollnagel, 2014).

"Piyasada ki rekabetçi ortam, bilgi teknolojilerinde ki hızlı gelişme, insanlar ve otomasyonlar arasında bulunan karmaşık ilişki…" gibi nedenlerden dolayı iş yerlerinde bulunan riskler giderek artmış olup (Rausand, 2011) "yeni teknoloji kullanımı, fiziksel etkilere maruziyet, küreselleşme, hizmet ekonomisine geçiş, sağlıksız yaşam tarız ve demografik yapıda değişiklik…" gibi başlıklar altında 63 yeni iş yeri riski ortaya çıkmıştır (Hauke vd., 2020). Ayrıca, iş güvenliğinin sağlanması için iş yerlerinde giyilebilir teknolojilerden de yararlanılmaya başlanmasının da dahil olduğu (Hinze vd., 2022) tüm bu yenilikler ile birlikte geleneksel yöntemlerin İSG sorunlarını çözmede yetersiz kalması ve artık klasik doğrusal yaklaşımların yerine mevcut duruma cevap verecek şekilde iş güvenliği yönetimi yaklaşımları, kaza analiz ve risk değerlendirme metotlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Hollnagel, 2012). Buna karşın iş yerlerinde İSG gerekliliklerinin yerine getirilmemesi durumunda "kar kaybı, itibar kaybı, üretkenlik kaybı, sermaye kaybı, şirket bütünlüğü ve ününde azalma ile şirketin sorumluluklarını yerine getirmediğine dair olumsuz algının oluşması" gibi olumsuz sonuçlar doğması nedeniyle işverenler tarafından dikkate alınması gereken elzem bir konu olmayı sürdürmektedir (Reese, 2017).

Mevcut haliyle zaten multidisipliner bir yapıya sahip olan İSG, yukarıda belirtilen yeni durumlar ile birlikte daha karmaşık olacağı; gelişen üretim, çalışma şekilleri ve bilgi teknolojileri ile birlikte yönetilmesi güç ve bilgi yoğun bir hal alacağı değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, karmaşık bir yapıda olan İSG' nin gene birden fazla etken ile entegre edilmiş bir model ile çözebileceği değerlendirilmektedir (Jilcha ve Kitaw, 2016). Böylesine zorlu ve karmaşık bir sürecin yönetilmesi için duyulan uzman insanı yetiştirmek uzun ve maliyetli olup yetenek ve derin bilgi birikimi gerektirmektedir (Pavlovic-Veselinovic vd., 2016).

Bu kapsamda günümüz İSG şartlarının yönetilebilmesi teknolojik yenilikler ve (Jilcha ve Kitaw, 2016) gelecekte artan bir oranda kullanılacağı değerlendirilen "akıllı iş güvenliği yönetim sistemlerinin" kullanılması ile sağlanması beklenmektedir (Lyu vd., 2022). Bu bağlamda, belirli bir alanda uzman insan gibi hareket ederek problemleri çözen yapay

zeka (YZ) alt uygulaması uzman sistemler (US) (Allahverdi, 2002) marifetiyle insan uzman bilgisine ihtiyaç duyan İSG uygulamalarının (Karamustafa ve Çebi, 2021) etkili olarak sürdürülebileceği değerlendirilmektedir. 1970' li yıllara ilk uygulama örneklerinin çalışılmaya başlandığı US' ler karmaşık problemlerin çözümünde alana uzman insanların muhakeme ve davranışlarını taklit ederek sorunlara çözüm üretmek üzere geliştirilmiş YZ programlarıdır (Gupta ve Nagpal, 2020). US' lerde insan uzmanın sahip olduğu her türlü bilgi (*tecrübi, sezgisel, vb. dâhil)* belirli kurallara ile bilgi tabanlarında tutularak çıkarım katmanları ile soruna yönelik çıkarımlarda bulunmaktadırlar (Adair ve Briggs, 1993). Bilgi seviyesi ne olursa olsun alana yeni kullanıcılara dahi rehberlik edebileceği gibi karar destek sistemi gibide kullanılabilinmektedirler (Pavlovic-Veselinovic vd., 2016). Bu özelliklerinden dolayı "akıllı danışmanlar" olarak adlandırılan US'ler yeterli yetişmiş uzman olmadığı durumlarda sorunlara cevaplar bularak insanlara, daha üretken olmaları konusunda yardımcı olabilmektedirler. (Adair ve Briggs, 1993)

İş kazalarının kompleks ve etkileşim içerisinde bulunan etkenlerden ileri gelmesi ve bir kazanın nedeninin anlaşılabilmesi "teknolojik, psikolojik, organizasyonel çevresel ve geçici " faktörlerinde dikkate alınarak yapılacak sentezlere ihtiyaç duyulması nedeniyle (Hollnagel, 2012) İSG' de yukarıda kullanım amaçları belirtilen US' lerin kullanılmasını etkili sonuçlar doğurarak güvenli iş yerlerinin sağlanabileceği değerlendirilmektedir.

Bu bilgiler ışığında çok katmanlı ve multidisipliner bir yapıda olan iş sağlığı ve güvenliği etkinliğinin artırılarak proaktif yaklaşımlar ile güvenli iş yerlerinin sağlanabilmesi için genel yaklaşımların tespiti ve İSG alanında yapılan çalışmalarının durumu ortaya konarak gelecekte yapılacak çalışmalara ve mevcut durumun resmedilebilmesi maksadıyla yapılan US' lerin derlenmesi ve gelecekte yapılması muhtemel çalışmalara rehber olması maksadıyla gerçekleştirilen çalışma aşağıda ki sorulara cevap bulmaya çalışılmıştır:

(1) US' ler uygulamalarına yönelik olarak yapılan çalışmalar hangi alanlarda ve hangi yöntemler ile gerçekleştirilmiştir? Literatürdeki genel eğilim hangi yöndedir?

(2) İSG alanında karşılaşılan sorun sahalarının çözümü yönelik hangi yöntemler ile US' ler geliştirilmiştir?

(3) İSG alanında geliştirilen US' lerin uygulamada karşılaşılan sorunlara hangi ölçüde çözüm bulmuşlardır? Başarı oranları nelerdir?

Bu çerçevede çalışmanın ilerleyen safhaları; 2.bölüm kullanılan yöntemlerin açıklanması, 3.bölüm literatürde İSG alanında yapılan çalışmalar ve yapılan bibliyometrik analiz sonuçlarının açıklanması ve 4.bölüm ise elde edilen bulguların değerlendirilmesi olacak şekilde oluşturulmuştur.

METOT

Çalışma iki aşamalı olarak geliştirilmiştir. İlk aşamasında literatürde US üzerine yapılan çalışmaların bibliyometrik analizi, ikinci aşamada ise İSG alanında gerçekleştirilen US uygulamaları incelenerek çalışmaların derlemesi yapılmıştır. Bu bağlamda, ilk etapta Web Of Science (WoS) veri tabanı kullanılarak "expert systems (uzman sistemler)" or "expert system (uzman sistem)" or "knowledge-based systems (bilgi tabanlı sistemler)" or "knowledge-based expert systems (bilgi tabanlı uzman sistemler)" or "rule-based systems (kural tabanlı sistemler)" anahtar kelimeleri ile 2015 yılı (*yapay zeka uygulamalarının 2000 adet/yıl üzerine çıktığı yıldır.*) ile 2022 (Mart ayı) arasında yayımlanan 7.094 çalışma araştırma kapsamında analize tabi tutulmuştur. Müteakiben elde edilen bu çalışmalar VOSviewer programı (*versiyon 1.6.18*) kullanılarak bibliyometrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen veri haritalarına ilave olarak en fazla yayın yapılan dergi, yayınların yıllara göre dağılımı, hangi alanlarda çalışma yapıldığı ve yoğunlaştığı, bu yoğunlaşmanın yıllara göre nasıl bir dağılım sergilediği, hangi alanların birlikte çalışmalara tabi tutulduğu ile hangi ülkelerde US çalışmalarının daha fazla yapıldığına dair incelemeler yapılmıştır. Literatürde çalışmaların yoğunlaştığı alanları bulunması amaçlandığı ve harita görselliğinin kolay yorumlana bilinmesi maksadıyla tekrarlama (*occurance*) sayısı 20 ve üzeri olan anahtar kelimelerin haritalaması yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci safhasında ise Scopus ve WoS veri tabanlarında yukarıda belirtilen anahtar kelimelere ilave olarak "Occupational health and safety (İş sağlığı ve güvenliği)" or "occupational safety (İş Güvenliği)" or "OHS (İSG)" or " risk assessment (risk değerlendirmesi) " or "accident (Kaza)" anahtar kelimeleri sorgulamaları yapılarak 2010 yılı sonrasında yapılan araştırmalar incelenmiştir. Elde edilen çalışmalar incelenerek atıf alma sayısı yüksek ve çalışma kapsamına girenler indirilerek araştırma alanı, kullanılan yöntemler ve ulaşılan sonuçlar yönünden incelenmiştir. Değerlendirmeye tabi tutulan çalışmalar ortak özelliklerine göre gruplandırılmıştır. Ayrıca, çalışmaların hangi sektörlerde ve hangi İSG alt alanında gerçekleştirildiği de tablolar vasıtasıyla derlenmiştir.

Çalışmanın son safhasında her iki farklı analizin birlikte değerlendirmesi yapılarak genel US çalışmaları eğilimi ile İSG alanında gerçekleştirilen US' lerin mukayesesi yapılmıştır. Elde edilen tüm veriler bütüncül olarak değerlendirilerek İSG' de kullanılan US' lerin gelecekte başarı durumları ve genel US çalışmalarının gösterdiği gelişim ortaya konmuştur. Ayrıca hangi sektörlerde ve genel olarak hangi yöntem ve teknikler ile çalışmaların geliştirildiği aktarılmıştır.

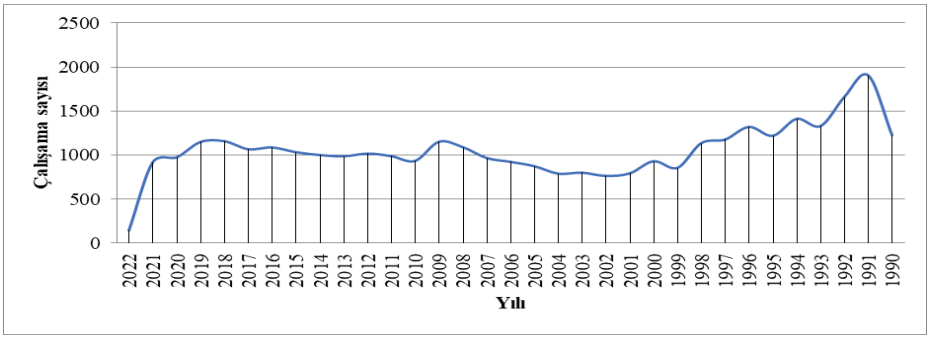
SONUÇLAR

A) Meta-Analizi Sonuçları

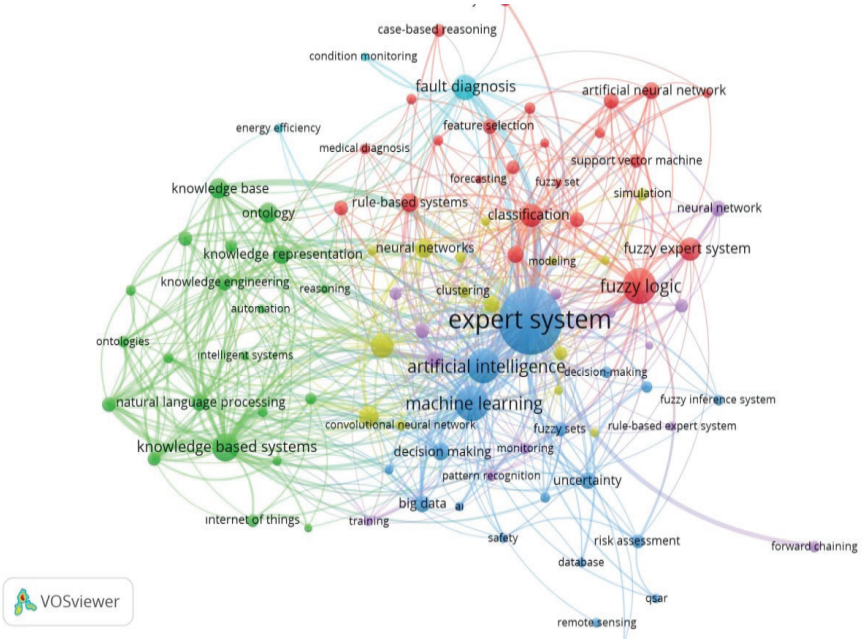
Literatürde önemli oranda çalışmaya konu olan US' lerin (Şekil-1), 1990'lı yılların başlarında oldukça yoğun olarak ele alınmalarına karşın 2000' li yılların başlarında belirgin bir oranda azalma yaşandığı tespit edilmiştir. Ayrıca, 2015 yılından itibaren tekrar artış eğilimine girdiği, ancak 2020 yılı itibariyle negatif yönlü bir eğilim içerisinde olduğu görülmektedir.

Bu çerçevede, yapılan VOSviewer analiz neticesinde çalışmaların 6 farklı kelime kümesi (şekil-2) şeklinde gruplandığı, US' lerin ise karar destek, makine öğrenmesi, bulanık uzman sistemler, risk değerlendirilmesi, büyük veri ile aynı küme içerisinde yer aldığı görülmüştür. Aralarında bulunan mesafelerden anlaşıldığı üzere US' ler ile YZ, makine öğrenmesi, optimizasyon, görüntü işleme, tahmin, karar verme, bulanık mantık, bulanık sistemler modelleme ve karar destek sistemleri çalış-

malarının daha yakın ilişkileri olduğu söylenebilmektedir. Ayrıca çalışmaların yoğunlukla uzman sistemler, yapay zekâ, makine öğrenmesi ve bulanık mantık kelimeleri ile yapıldığı ifade edilebilir. Bilgi tabanı, hata teşhisi ve ileri zincirleme ile US' ler arasında kurulan bağın kuvvetli olmasına karşın aralarında ki ilişkinin uzak olduğu görülmüştür.



Şekil 1. Uzman Sistem Çalışmalarının Yıllara Göre Dağılımı
(*WoS veri tabanına göre***)**



Şekil 2. Anahtar Kelime Analiz Sonuçları

Anahtar kelimelerin aralarında kurudukları bağlantılara ilişkin yapılan inceleme neticesinde yoğun olarak birlikte kullanımları tablo-1' de sunulmuştur. Bununla birlikte her bir kelime grubunun karşılıklı etkileşimini ve aralarında ki bağın kuvvetini gösteren (*strenght*) bulgular ise tablo-2' de olduğu gibi görülmüştür. Bu tabloda hangi anahtar kelimelerin hangileri ile daha fazla bağ kurduğu görülmektedir. Uzman sistemler en fazla bağı bulanık mantık, kusur teşhisi (*fault diagnosis*), güvenlik analizi ve yapay zekâ arasında kurmuştur.

Tablo 1. Birlikte Sıklıkla Kullanılan Kelimeler

Anahtar Kelime	Risk Değerlendirmesi	İş Güvenliği (Safety)	Bilgi Tabanlı Sistemler	Bulanık Mantık
Birlikte sıklıkla kullanıldığı diğer kelimeler	Bulanık US, bulanık mantık, YZ, US, makine öğrenmesi, veri analizi, karar verme, İSG, YSA	Büyük veri, Güvenirlik, Makine öğrenmesi, yapay zekâ, uzman sistem, bulanık mantık, bilgi edinme, kontrol ve teşhis	Görev analizi, doğal dil işleme, semantik, veri modelleri, yapay sistemler, bulut bilişim,	Karar ağacı, bulanık uzman sistemler, bulanık sistem, çok ajanlı sistemler, güç kalitesi

Tablo 2. Araştırma Tekniklerinin Karşılıklı Kurdukları Bağ[4]

Anahtar Kelimeler	Bulanık mantık	Kusur tanısı	YZ	ML	Bilgi Tabanlı US	Görev Analizi	Semantik	Veri madenciliği	İleri zincirleme	SA	YSA	Ontoloji	Sınıflandırma
US	74	52	48	41	48			20	26	21	19	25	
YZ				48									
ML								29					21

4 Şekil-1' de verilen veri haritasının okunmasını kolaylaştırmak için oluşturulmuş. Bahse konu şekilde bulunan bağlantılar detaylandırılmıştır. Böylelikle, alanda yapılan çalışanların aralarında ki en fazla etkileşim ortaya konmaya çalışılmıştır.

Bilgi tabanlı US	51	34

Şekil 3. Yıllara Göre Kullanılan Tekniklerin Değişimi [5]

Yukarıda bilgilere ilave olarak tespit edilen bu bağların yıllara göre dağılımı yönelik yapılan analizde (şekil-3, *20 ve üzeri bağlantıyı gösterir.)* ise son yıllarda yapılan çalışmaların makine öğrenmesi, derin öğrenme, eğitim, veri madenciliği, bilgi tabanlı sistemler, görev analizleri, semantik, karar verme, öznitelik çıkarımı (feature extraction) ve optimizasyon konularında yoğunlaştığı sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca şekil-2' de 20 ve üzeri bağlantı oranına sahip çalışmalar vurgulanarak hangi alanların daha yoğun olduğu ve aralarında var olan bağın kuvveti haritalanmıştır.

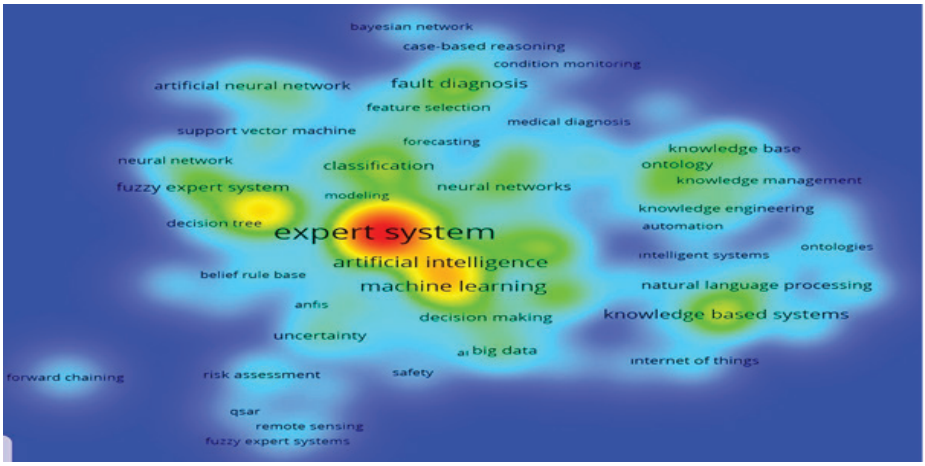
Çalışmaların yoğunlaştığı alanlar ise şekil-4' te sunulmuş olup genel itibariyle yapay zekâ ve makine öğrenmesi alanlarında çalışmaların diğer alanlara göre daha fazla yoğunlaştığı görülmektedir. Bu bilgilerin desteklenebilmesi için maksadıyla kelimelerin birbirleri ile olan ilişkilerinin sunulduğu tabloya (*tablo-3)* göre US sırasıyla en fazla bulanık mantık, makine öğrenmesi, hata tespiti, sinir ağları, veri madenciliği ile kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, bulanık mantık ve makine öğrenmesi tekniklerinin uzman sistem çalışmalarında oldukça fazla sayıda kullanıldığı görülmektedir

Web Of Science analizlerinde ise zaman kısıtı olmaksızın sıralama yapıldığında en fazla yayın yapılan ülke ABD (7936 adet) iken onu Çin Halk Cumhuriyeti (3845 adet) ve İngiltere (2456 adet) takip etmektedir. En çok bilimsel yayın yapan bu ülkeler US alanında en fazla

5 Bu veri haritasında çalışmaların yıllara göre dağılımı sağ alttaki renk skalası marifetiyle görülebilir. Ancak Mart 2022 ayına kadar yapılan çalışmaların en fazla hangi kelimeler ve yıllarda olduğunun daha iyi analiz edilebilmesi için 20 üzeri etkileşime girmiş alanlar belirginleştirilmiştir.

yayına sahip oldukları ifade edilebilir.[6] Ancak son 5 yıllık dönem (2017-2022) içerisinde yapılan yayınların VOSwiever analizi sonucunda en fazla yayının Çin Halk Cumhuriyeti (1113 adet) tarafından yapıldığı görülmektedir. Çalışmaların uygulandıkları alanlara yönelik olarak yapılan incelemede uzman sistem çalışmalarının bilgisayar bilimi ve mühendislik alanlarında yoğunlaştığı görülmektedir.

Yapılan çalışmaların yayımlandığı akademik dergilere göre yapılan incelemede ise en fazla yayının "expert systems with application" (1610 adet) dergisinde yapıldığı görülmüştür. Bu dergiyi "lecture notes in computer" (582 adet) ve "lecture notes in artificial intelligence" (539 adet) dergileri takip etmiştir.



Şekil 4. Çalışmaların Yoğunluk Haritası

Tablo 3. Anahtar Kelimelerinin Kullanım Sıklığı ve Oranı

Anahtar Kelime	Kullanılma Miktarı	Toplam içerisinde ki % dilimi	Toplam bağlantı kuvveti
Uzman Sistemler	1632	23,00	1446
Bilgi Tabanlı Sistemler	426	6,00	571
Yapay Zekâ	345	4,86	504

6 https://cabim.ulakbim.gov.tr/bibliyometrik-analiz/ (ET: 21.04.2022)

Bulanık Mantık	310	4,37	326
Makine Öğrenmesi	307	4,33	435
Hata tespiti	149	2,10	159
Sinir Ağları	148	2,09	230
Veri madenciliği	140	1,97	221
Ontoloji	136	1,92	230
Sınıflandırma	135	1,90	175
Bulanık Uzman Sistem	130	1,83	74
Karar Destek Sistemi	128	1,80	178
Yapay Sinir Ağları	128	1,80	162
Karar Verme	109	1,54	142
Kural tabanlı Sistemler	107	1,51	74
Derin Öğrenme	105	1,48	148
Bilgi tabanı	101	1,42	151
Diğer	2558	36,04	3560
Toplam	7094	100	8293

İSG Alanında Yapılan Çalışmaların Derlemesi

Bilgi güvenliğinin sağlanması (Sendi vd., 2010), bulut bilişim teknolojisi seçim senaryolarının tespiti (Cayirci vd., 2014) ve koronavirüs ile mücadele de etkinliği artırmak (Tkatek vd., 2020) dahil olmak üzere oldukça farklı alanlarda US uygulamaları geliştirilmiştir. İnsan uzmanların iş güvenliğine yönelik algılarının farklı olmasından dolayı ortak bir noktada buluşmanın zor olması, bu algı ve risklerin zamanla değişebilmesi (Carroll vd., 2022) ve iş yeri tehlikelerinin yüksek belirsizlik içermesi nedeniyle (Gül ve Çelik, 2018) US uygulamaları ile insana bağlı bu farklılığın ortadan kaldırılmasına yönelik oldukça yüksek sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, İSG alanında US uygulamaları kaza analizleri, risk değerlendirmesi ve karar destek sistemi (Tablo-4) yapmak üzere tıp, inşaat, demiryolu, havacılık, karayolu, denizcilik,

kimya, çelik, maden, atölye gibi farklı alan ve sektörlere yönelik uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. İSG US Çalışmaları Dağılımı

Risk Değerlendirmesi	Kaza Analizi/ Kaza Tahmini	Karar Destek Sistemi
Thompson vd., 2011, Liu vd., 2013, Ceylan ve Arslanoğlu, 2022, Ceylan vd., 2022, Wang vd., 2019, Ahmadı vd., 2017, Amiri vd., 2017, Gül ve Çelik, 2018, Kilingaru vd., 2013, Qiu vd., 2018, Martí vd., 2010, Karamustafa ve Çebi, 2021, Yan vd., 2022, Djenadic vd., 2022	Taçgın ve Sağır, 2020, Beriha vd., 2012, Markowski ve Sam Mannan, 2010	Jia vd., 2022, Corny vd., 2020, Goh ve Guo, 2018, Acosta vd., 2010, Hänninen vd., 2014,

Literatürde İSG alanında yapılan US çalışmalarının yalın olarak yapılanların dışında genel itibariyle;

(1) Bulanık mantık,

(2) Çok kriterli karar verme (AHP, TOPSIS, aralık tip-2),

(3) Bayes ağları metotları,

(4) Makine öğrenmesi,

(5) LOPA,

(6) Bulanık birliktelik kural madenciliği,

(7) VBS ve BRB teknikleri,

(8) CBR ve RBR teknikleri,

ile çok disiplinli olacak şekilde kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Ayrıca, risk değerlendirme metotlarından FMEA tekniğinin oldukça yaygın bir şekilde kullanıldığı, bazı çalışmalarda hibrit ve farklı metotlar

ile geliştirildiği görülmüştür. Bu bilgiler ışığında elde edilen derleme sonuçları kullanılan metotlara göre kümelenerek sunulmuştur.

Bu bağlamda, bulanık mantık ile Podofillini vd. (2010) risk değerlendirilmesi yapmak üzere insan güvenirlik analizi (HRA) metodu kullanılarak US çalışması gerçekleştirmişlerdir. İnsan güvenirlik analizinin kullanıldığı başka bir çalışmada ise bayes blief network ve bulanık US gibi iki farklı metodun kıyaslamasını yapılarak üstün ve yetersiz kaldıkları yanlar ortaya konmuştur (Baraldi vd., 2015). Beriha vd. (2012) kendilerinden önce yapılan risk değerlendirme çalışmalarından ziyade kaza analizleri ve tahminleri entegre bir şekilde yapan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bulanık mantığın kullanıldığı bu çalışmada kazaların ortaya çıkma durumunu tahmin edebilen, güvenli iş yerlerinin sağlanması için yöneticilere iş yerinde önleyici tedbirleri almasını sağlanabilmiştir. Ayrıca, Gül ve Çelik (2018) tarafından bulanık mantık kural tabanlı Fine-Kinney metodu geliştirilmiş ve gene bulanık mantık kullanılarak risk değerlendirilmesi yapabilen bir US çalışmamsı yapılmıştır. Geliştirilen bu model ile tehlikelerin daha hassas olarak değerlendirilerek gerçeğe daha yakın risk skoru tahmini yapılmış ve risklerin önlenmesi için doğru tedbirlerin alınmasını sağlamıştır. Dinamik iş ortamında çalışanların yaralanmasına neden olan etmenlerin gerçek zamanlı tespit etmek üzere yapılan çalışmada ise Semeykin vd. (2019) kişisel verilerin kıyaslanabilmesi ve kazaların istatistiki olarak değerlendirilebilmesi yapabilen başka bir bulanık mantık US geliştirmişlerdir.

Bulanık mantık ile geliştirilen US çalışmalarından yansıra bayes ağları kullanılarak da geliştirilen başkaca çalışmalar bulunmaktadır. Bu kapsamda, Hänninen vd. (2014) tarafından geliştirilen uygulama ile denizcilik alanında iş güvenliği yönetimi konusunda yönetime karar verme desteği sağlanabilinmektedir. Bayes ağları ile belirsizliğin hesaplanması yapılmış ve denizcilik alanında İSG yönetiminin görselleştirilmesi sağlanmıştır. Bir diğer çalışmada ise parametrik olmayan bayes ağları ile kaza kök nedenleri, genel hata türleri, kazaların frekans, büyüklük ve sonuçlarını hesaba katarak Wuhan şehir metrosunda risk değerlendirilmesi yapan US çalışması yapmışlardır (Wang vd., 2019). Ayrıca geliştirilen model, insan hayatının kaybı durumunda reaksiyon süresine yönelik farklı riskler içinde kullanılabilinmektedir.

Bulanık mantık ve bayes ağlarının yanı sıra çok kriterli karar verme teknikleri (ÇKKV) tekniklerinin uygulandığı US çalışmaları da yapılmıştır. Bu kapsamda Acosta vd., (2010) rekreasyon (eğlence) gemisi hareketlerinden kaynaklı canlıların taşınması sonucunda biyolojik istila olaylarına karşı risk değerlendirilmesi yaparak biyolojik dengeyi korumaya çalışan ve karar destek sistemi sunabilen aralık tip-2 bulanık mantık ile geliştirilmiş US çalışması yapmışlardır. Başka bir çalışmada ise bulanık mantık FMEA ve AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) metotları kullanılarak otoban inşaatında karşılaşılan riskleri analiz etmek için Ahmadı vd. tarafından US tabanlı bütüncül bir bakış açısıyla sistemi ele alan risk yönetim süreci geliştirmiştir. Böylelikle bu tür projelerde risklere yönelik uygun hal tarzının seçilmesinde kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca tüm sistemi bir bütün olarak ele alması nedeniyle diğer çalışmalardan ayırılmaktadır (Ahmadı vd., 2017). Benzer şekilde bir işyerinde insan sağlığı için tehlike arz eden kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olan ergonomik risklerin değerlendirilmesi için web tabanlı olarak geliştirilen US ile kritik ergonomik risklerin fark edilmesi, bütüncül olarak organizasyonel risk faktörlerinin değerlendirilmesi yapılarak önleyici tedbirlerin alınması sağlanmıştır. Bu program geliştirilirken çıkarım katmanı olarak AHP metodu kullanılmıştır (Abdul Aziz vd., 2020). Bu çalışmaları Karasan ve Erdoğan (2021) tarafından hibrit FMEA metodu geliştirilerek ve geliştirilen bu yeni metodun bulanık AHP, TOPSIS ve bulanık çıkarım katmanı kullanılarak risk skoru bulunması sağlayan çalışma izlemiştir. Böylelikle sözel veriler sayısal verilere dönüştürülerek etkili risk skoru hesaplaması yapılmış ve güvenli iş yerleri için önleyici tedbirler alınması sağlanmıştır. Benzer bir diğer çalışma ise Djenadic vd. (2022) bulanık mantık ve AHP ve TOPSIS gibi iki farklı ÇKKV yöntemi kullanılarak FMEA yöntemi güçlendirilmiş, her girdinin hesaplanmasında farklı ağırlıkların oluşması ortadan kaldırılarak sonuçların dağılma oranını düşürülmüştür.

Çok disiplinli yaklaşımlar ile yapılan US çalışmalarından haricinde yalın olarak yapılan çalışmalarda bulunmaktadır. Bu tür çalışmalara anlık veriler kullanarak olumsuz hava koşulları nedeniyle oluşabilecek trafik kazalarına karşı sürücülerin erken ikaz edilmesini sağlayan Martí vd. (2010) tarafından geliştirilen US örnek olarak verilebilir. Yalın US

kullanılan başka bir çalışma ise orman yangınlarına karşı alınması gereken önleyici tedbirlerin alınması ve yangına müdahalede kullanılacak söndürme yönteminin belirlenmesi ile yangının takip edilerek risk trendinin belirlenebilmesini sağlayan US çalışmasıdır (Thompson vd., 2011). Bu modelin test denemeleri neticesinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Başka bir çalışmada ise pilotların durumsal farkındalık eksikliğinden kaynaklı uçak kazalarının önüne geçilerek havacılık sektöründe oluşması muhtemel kaza sayılarının azaltılmasına yönelik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada tecrübeli pilotların uçuş kontrol ekipmanlarına bakışları taklit edilerek acemi pilotların tüm göstergeleri zamanında kontrol etmesi sağlanarak muhtemel kazaya sebebiyet verebilecek bir durum tespit edildiğinde pilot ikaz edilmektedir (Kilingaru vd., 2013). Ayrıca, Pavlovic-Veselinovic vd. (2016) tarafından geliştirilen ve ergonomik koşullar ile risk değerlendirmesi yapan SONEX adlı çalışma, kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarını azaltmada yüksek doğrulukta sonuçlar vermiştir. Ergonomik koşullara yönelik yapılan başka bir çalışmada ise, Mohan vd. NOISH elle yük kaldırma parametrelerini kullanarak çalışanlar için tavsiye edilen ağırlık ve kaldırma limitini hesaplayıp güvenli yük kaldırılması sağlamaya yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Böylelikle, manuel olarak yapılan hesaplamalara göre daha güvenilir sonuçlar elde ederek çalışanların kas ve iskelet sistemi rahatsızlıklarına yakalanma sıkılığını en az seviyelere indirilmeye çalışılmıştır (Mohan vd., 2020). Doktorlara destek olarak iş yüklerini hafifleten, yanlış teşhis koyma riskini ciddi seviyede azaltan, maliyet ve hasta bekleme sürelerinde önemli oranda azaltılmasını sağlayan ve tıbbi görüntüleme alanında geliştirilmiş çalışma, yalın US çalışmalarına örnek olarak verilebilir. Koronavirüs vakalarına uygulanarak test edilen bu çalışma, hem çalışan sağlığı kapsamında daha hızlı ve doğru teşhislerin konulmasını hem de hasta güvenliği konusunda önemli tedbirlerin alınmasını sağlayacağı değerlendirilmektedir (Jia vd., 2022). Mevcut iş yeri koşullarına yönelik yapılan ve yukarıda açıklanan çalışmalara ilave olarak gelecekte yoğun olarak kullanılması beklenen robot teknolojilerinin iş yerlerinde güvenliğine yönelik yapılan çalışmalarda gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda "aktif iş gücüne" katılmaları beklenen robotların acil bir durumda iş yeri acil tahliye kapılarını bularak meydana gelen acil durumlar karşısında

engelsiz rotaları oluşturup en kısa sürede tesisi tahliye etmelerini sağlayan US geliştirilmiştir (Kiangala ve Wang, 2022).

Başlıca aynı yöntemlerin kullanıldığı çalışmaların yanı sıra münferitten başkaca tekniklerin kullanıldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Bu kapsamda, tesisi bütüncül olarak ele alan, bir durum karşısında oluşabilecek kaza senaryosunu seçen ve hızlı bir şekilde risk analizi gerçekleştirebilen, LOPA tekniği ile US birlikte kullanıldığı (ExSys-LOPA) çalışma bunlardan bir tanesi olarak örnek gösterilebilir (Markowski ve Sam Mannan, 2010). ExSys-LOPA ile kimya sektöründe büyük kaza önlemede etkili sonuçlar alınabileceği değerlendirilmektedir. Kimya sektörünün yanı sıra soğuk hava depolarında İSG etkinliğinin artırılması ve operasyonel optimizasyonu sağlamak için bulanık birliktelik kural madenciliği (FARM) ile US entegrasyonu yapılarak geliştirilen çalışmada, Tsang vd. (2018) yaralanma ve kazalarda %58 oranında azalma yapılabileceği sonucuna varmışlardır. Qiu vd. ise tehlikeli madde taşımacılığı ve ASC kullanan araçlarda kaza meydana gelme olasılığını hesaplamak üzere belief kural tabanlı US ve VBS yaklaşımı ile BRB sistemini kullanmışlardır. Böylelikle, hem kantitatif hem de kalitatif verilerin işlenmesini yaparak kuralların ağırlığı ve olay sonuçlarının belirsizliğini ifade etmede esnek olduğu oraya çıkmıştır (Qiu vd., 2018). Goh ve Guo (2018) yüksekten düşmelerde aktif yakalama sistemlerinin seçiminde ve tasarımında yardımcı olabilmesi maksadıyla web tabanlı bir US geliştirmişlerdir. CBR (case-based reasoning) ve RBR (rule-based reasoning) tekniklerinin birlikte kullanımı ile geliştirilen US, FPS Wizard adı verilmiştir. Bu çalışma ile aktif yakalama sistemlerinin tasarlanması sırasında zaman kaybının önüne geçilerek daha etkili tasarımların yapılması konusunda oldukça yüksek seviyede (%91) başarı elde edilmiştir. Tıp alanında geliştirilen diğer bir çalışmada makine öğrenmesi ve US kullanımı ile oluşturulan hibrit bir model ile hastalara reçete edilen ilaçların doğruluğunu kontrol etmek üzere geliştirilmiştir (Corny vd., 2020). Lumio Medication adıyla geliştirilen bu uygulama ile elde edilen sonuçlar literatürde yapılan diğer çalışmalara göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Ayrıca Taçgın ve Sağır (2020) tarafından güncel kaza analiz metotlarından biri olan 2-4 kaza analiz metodunu kullanarak kazaların nedenlerini tespit edebilmek için geliştirilen US çalışması yapılmıştır. Bu çalışma ile kaza-

lara neden olan sonuçların başarılı bir şekilde tespit edilebilmesi sağlanmıştır.

Diğer alanların teknik ve metotların kullanılarak geliştirilen çalışmaların dışında risk değerlendirme metodu olan Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) oldukça yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu metodun hem geliştirilmesi hem de hibrit bir şekilde kullanılması ile risk değerlendirmelerinin daha doğru yapılabilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalardan bir tanesi Baron vd. risk değerlendirmesi yapmak üzere geliştirdikleri US ile katalog sayfa yönetimi, FMEA ve HAZOP tekniklerini bir arada kullandığı çalışmadır (Baron vd., 2012). FMEA metodunun geliştirilmesine yönelik yapılan bir diğer çalışmada ise Liu vd. tarafından bulanık mantık FMEA ile FER tekniği birlikte kullanılmıştır. Geliştirilen US ile FMEA kısıtları giderilerek uygulayıcılara etkili bir araç ortaya konmuştur (Liu vd., 2013). Amiri vd. (2017) ise klasik FMEA günümüz şartlarına yetersiz kalan yönleri olması nedeniyle bulanık mantık FMEA geliştirmiş ve bu metodu US çalışmasına uygulamışlardır. Geliştirilen US ile inşaat sektöründe kaza kök nedenleri tespit edilebilmiş etkili bir İSG aracı olmuştur. Ayrıca bünyesinde barındırdığı uzman bilgisi nedeniyle inşaat sahasında görevli personelin eğitilmesinde kullanılabilinecektir. FMEA metodunun yetersiz kaldığı değerlendirilen noktalarda var olan kısıtların iyileştirilmesi maksadıyla yapılan bir diğer çalışmada "hata türünde ki riskleri sıralamak için " interval alan metriği (IAM-interval area metric) ve "hata türlerindeki belirsizlikleri sıralamak" için boyutsuz belirsizlik metriği (DUM-dimensionless uncertainty metric) kullanılarak FMEA metodu geliştirilmiştir. DUM değerlerinin nitelik olarak değerlendirilmesi ise US vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Böylelikle belirsizlikler tespit edilerek sonuçların daha iyi analiz edilmesi ve güvenirliğinin değerlendirilmesi sağlanmıştır (Yan vd., 2022). Gemi kazalarını engellemek üzere bulanık FMEA metodu geliştirilerek risk değerlendirilmesi yapılmıştır (Ceylan ve Arslanoğlu, 2022). Klasik kaza analiz yöntemlerinin günümüz sosyoteknik sistemlerin kompleks kazalarını açıklamakta yetersiz kalması üzerine kural tabanlı bulanık FMEA ile STAMP metotları birleştirilerek alternatif bir çözüm önerisi üretilmiştir (Ceylan vd., 2022). Geliştirilen yeni yaklaşımın gerçekleşmiş bir gemi kazasına uygulanması neticesin-

de kazaya %80 oranında insan faktörünün sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Geliştirilen tüm bu modellerin hedefledikleri amaçları gerçekleştirdikleri ve başarılı sonuçlar elde ettikleri görülmüştür.

SONUÇ

Halen US çalışmaları önemli oranda literatürde yer bulmaya devam etmekte olup son yıllarda yeni yöntemlerle birlikte çalışmaların derinliğinin artırıldığı görülmektedir. Uzman sistem araştırmalarının 2015 yılından itibaren artan YZ araştırmaları ile birlikte paralel olacak şekilde "yapay zekâ, makine öğrenmesi ve bulanık mantık" ile yakın ilişkiler kurarak sürdürüldüğü sonucuna varılmıştır. Buradan hareketle, uzman sistem çalışmalarının son yıllarda hibritleşme eğilimi içeresinde olduğu ve araştırmaların artık tek yöntemden ziyade farklı yöntemlerle desteklenmeye çalışıldığı görülmektedir. Benzer durumun İSG alanında yapılan çalışmalarda da mevcut olması, bu durumu desteklemektedir. Diğer bir ifade ile güvenli iş yerleri için çok disiplinli uygulamalara ihtiyaç duyduğu ifade edilebilir.

US ile yapılan çalışmalar da kullanılan anahtar kelimelerin kullanılma miktarına yönünden incelendiğinde açıklanan bilgiler ile benzer durumun mevcut olduğu görülmektedir. Araştırma çalışmalarının büyük bir kısmı uzman sistem anahtar kelimeleri (%23) yanı sıra önemli oranda (%13,56) yapay zekâ, makine öğrenmesi ve bulanık mantık ile birlikte yapılması günümüz teknolojik şartlarına ve gelişen farklılaşmış üretim tekniklerine uyum sağlayabilmek maksadıyla yapılmış olabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca bilgi tabanlı sistemlerinde olarak geliştirilen US' ların ise doğal dil işleme, görev analizi, görev analizi, nesnelerin interneti ve bilişsel kavrama kelimeleri ile yakın ilişki olması bu tarzda yapılan çalışmaların bulanık mantık, makine öğrenmesi, yapay sinir ağları ve yapay zekâ uygulamalarından görece daha uzakta şekilde gerçekleştirildiği görülebilmektedir. Bu bağlamda, uzman sistem çalışmalarının hedeflenen amaçları ile kullanılan diğer yöntemlerin değişkenlik gösterebileceği soncuna varılmıştır.

Bulanık mantığın uzman sistemler ile arasında olan yüksek yakınlık ve bağlantı gücü ile önemli oranda uzman sistem çalışmasının bulanık mantık kullanılarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Belirsiz şartlarının oldukça fazla olduğu durumlarda karar vermek için kullanılan bulanık mantığın gelen sorunlara çözüm üretilmesinde veya karar verilmesinde kullanıldığı değerlendirilmektedir. Belirsizliğin tespit edilerek gerekli önleyici tedbirleri almaya çalışan İSG' de ise oldukça yüksek oranda bulanık mantık kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalar başarılı sonuçlar vererek güvenli iş yerlerinin sağlanmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca daha önce tespit edilemeyen risklerin tespit edilmesi veya gereksiz/ yanlış risk skoru verilerek yanlış tedbirlerin alınması gibi hususların ortadan kaldırılması sağlanabilmektedir. Böylelikle insan uzmanların kişisel özelliklerinde kaynaklı hataların önüne geçilerek sürekli bilgi akışı sağlanabilmektedir.

Diğer kelimelerle bağlantıların incelenmesinde yapay zekâ uygulamalarının diğer alt dallarının US ile birlikte artan bir oranda kullanılmaya başlandığını görülmüştür. Güvenlik ile ilgili çalışmaların makine öğrenmesi, büyük veri analizi ve bulanık mantık teknikleri ile birlikte kullanılması yapılan çalışmaların sistemin öğrenmesine veya var olan durumun değerlendirmesinden yararlanılmak maksadıyla yapılmış olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca bulanık mantık çalışmalarının genel olarak karar verilmesine yönelik kullanıldığı görülmüştür.

Yapılan yayınların son yıllarda çalışmaların makine öğrenmesi, optimizasyon, karar verme, derin öğrenme, bilgi tabanlı sistemler, görev analizi, semantik, bilişsel kavrama ve ontoloji alanında yoğunlaştığı çalışmaların yeknesak insan uzman bilgisine ihtiyaç olmaktan öte verilerin işlenmesi ve öğrenmesi de kapsayacak şekilde yönlendiği değerlendirilmektedir. Bu gelişimin son yıllarda yapay zekâ alanında yapılan çalışmaların sayısı ile aralarında korelasyon olduğu ve bu çalışmaların uzman sistemleri etkilemiş olabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca uzman sistem çalışmalarının önemli bir kısmının bilgisayar bilimi alanında olması gelişen programlama tekniklerinden etkilenilmiş olabileceği kanısı oluşturmaktadır. Yukarıda açıklanan bilgiler ışığında artan multidisipliner yaklaşımlar ile birlikte uzman sistem çalışmalarının daha doğru çözüm üretebilmek adına farklı teknik ve yöntemlerinin

kullanmaya başlandığı sonucu çıkarılabilecektir. Benzer sonuçların İSG alanında gerçekleştirilen çalışmalara yansıdığı değerlendirilmektedir.

İSG alanında yapılan çalışmaların risk değerlendirilmesi, kaza analizi ve karar destek sistemi gibi alanlarda gerçekleşmiş olsa da yoğunlukla risk değerlendirilmesi alanında gerçekleştiği görülmektedir. Risk değerlendirmesi yapılırken klasik metotların kullanılmasının görece daha az olduğu, genel itibariyle bulanık mantık ağırlıkta olacak şekilde farklı metotlar ile birlikte kullanılarak geliştirilmesi neticesinde kullanıldığı değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmaların proaktif tutum sergilenmesine katkı sağlayan, sorun sahalarında daha güvenilir ve daha doğru sonuçlar ürettiği, zaman tasarrufu ve daha etkin maliyet sağladığı görülmektedir. Bu bağlamda, gelecekte daha da karmaşık bir yapıya bürünmesi gereken iş yerleri nedeniyle oluşması muhtemel kazaların önlenebilmesinde US önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

1983 yılından itibaren geçekleştirile çalışmaların oldukça büyük kısmı ABD (7936) gerçekleştirilmiş, bu ülkeyi sırasıyla Çin Halk Cumhuriyeti (3845), İngiltere (2456), Almanya (1620) ve Hindistan (1421) gibi ülkeler takip etmektedir. Ancak, uzman sistemlerinin birlikte kullanıldığı yöntemlerde meydan gelen değişikliklerin çalışmaların gerçekleştirildiği merkez ülkeler de önemli oranda değişiklikler meydana getirmiştir. Bu bağlamda, çalışmalarının toplamına göre kıyasla Hindistan %44,26'sını (629), Çin %28,29' unu (1113), Almanya %17,22'sini (279), İngiltere %14,74' ünü (362) ve ABD %0,09' unu (737) 2015 yılında itibaren günümüze kadar gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu bağlamda son yıllarda ülke bazında uzman sistem çalışmalarının başta Çin olmak üzere Hindistan'da yoğunlaştığı ve bu ülkelerde son yıllar da bu alanda oldukça yoğun çalışmaların yürütüldüğü görülmektedir. Buna karşın ABD son yıllarda yapılan çalışma oranın az olmasının günümüze kadar yapılan sayıların çok fazla olmasından kaynaklandığı ve halen önemli miktarda çalışmaların yapılmaya devam edildiği görülmüştür. Ayrıca Türkiye' de yapılan çalışma sayısına bakıldığında ise günümüze kadar toplam 518 adet çalışma yapıldığı ve bunların 199 (%38,41) adetinin 2015 yılından itibaren gerçekleştirilmiştir. Türkiye' de de benzer şekilde son yıllarda artan oranda US çalışmalarının yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Yıllara göre çalışmaların dağılımına bakıldığında US çalışmalarının 2000' li yıların başlarında hafif bir düşüş gösterse de 1990' dan itibaren 1053 ortalama yayın sayısı ile yayın yapılmaya devam edilmektedir. Ancak 2020 yılı itibariyle çalışma sayılarında bir azalma eğilimi olduğu görülmektedir. Ayrıca, çalışmaların yapıldığı dergiler nezdinde ise yayınların sıklıkla yapıldığı dergilerin başından expert systems with applications (1610) dergisi gelmektedir. Diğer dergilerin görece daha az sayıda uzman sistem çalışmaları içermektedir. Alana hâkim çalışmaların büyük bir kısmı bu dergide yayımlanmaktadır.

Tüm bu bilgiler ışığında güvenli iş yerlerinin sağlanabilmesi için geliştirilecek US çalışmalarının;

(1) Çok disiplinli yaklaşımlar ile geliştirilme ihtiyacı duyduğu,

(2) Diğer yapay zekâ alt uygulama alanları ile yapılan çalışmaların artan oranda kullanılabileceği,

(3) Dinamik işyerleri nedeniyle yeni ortaya çıkan risklerin çözümü için ihtiyaç duyulan insan uzman bilgisinin US vasıtasıyla daha yaygın ve hızlı bir şekilde erişilerek bireysel farklılıktan kaynaklı hataların önüne geçilebileceği,

(4) Daha doğru ve erken önleyici tedbir alınması sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Abdul Aziz, F., Ghazalli, Z., ve Mohd Zuki Mohamed, N. (2020). A web-based ergonomics assessment system for prioritizing critical work-related musculoskeletal disorders risk factor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *788*(1), 12024. https://doi.org/10.1088/1757-899X/788/1/012024

Acosta, H., Wu, D., ve Forrest, B. M. (2010). Fuzzy experts on recreational vessels, a risk modelling approach for marine invasions. *Ecological Modelling*, *221*(5), 850–863. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.11.025

Adair, C., ve Briggs, P. A. (1993). The concept and application of expert systems in the field of microbiological safety. *Journal of Industrial Microbiology*, *12*, 263-267.

Ahmadı, M., Behzadıan, K., Ardeshir, A., ve Kapelan, Z. (2017). Comprehensive Risk Management Using Fuzzy Fmea And Mcda Techniques in Hi-

ghway Construction Projects. *Journal Of Civil Engıneering and Management*, *23*(2), 300–310. https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1068847

Allahverdi, N. (2002). *Uzman Sistemler: Bir Yapay Zeka Uygulaması*. Atlas Yayın.

Amiri, M., Ardeshir, A., ve Fazel Zarandi, M. H. (2017). Fuzzy Probabilistic Expert System for Occupational Hazard Assessment in Construction. *Safety Science*, *93*, 16–28. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.11.008

Baraldi, P., Podofillini, L., Mkrtchyan, L., Zio, E., ve Dang, V. N. (2015). Comparing The Treatment Of Uncertainty in Bayesian Networks And Fuzzy Expert Systems Used For A Human Reliability Analysis Application. *Reliability Engineering and System Safety*, *138*, 176–193. https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.01.016

Baron, P., Brázda, P., Dobránsky, J., ve Kočiško, M. (Eds.) (2012). Expert System Approach To Safety Management. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*,44, 77-88. https://doi.org/ 10.2495/RISK120081

Beriha, G. S., Patnaik, B., Mahapatra, S. S., ve Padhee, S. (2012). Assessment Of Safety Performance In Indian Industries Using Fuzzy Approach. *Expert Systems with Applications*, *39*(3), 3311–3323. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.09.018

Carroll, J. S., Pfeiffer, Y., Nowak, H., ve Friis, S. (2022). The Variety Of Beliefs About The Causes Of Safety Among Safety Practitioners. *Safety Science*, *148*. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105641

Cayirci, E., Santana, A., Alexandr, G., ve Roudier, Y. (2014). A Cloud Adoption Risk Assessment Model. In *2014 IEEE/ACM 7th International Conference on Utility and Cloud Computing* (ss. 908–913). IEEE. https://doi.org/10.1109/UCC.2014.148

Ceylan, B. O., Akyuz, E., ve Arslanoğlu, Y. (2022). Modified Quantitative Systems Theoretic Accident Model And Processes (STAMP) Analysis: A Catastrophic Ship Engine Failure Case. *Ocean Engineering, 253*. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111187

Ceylan, B. O., ve Arslanoğlu, Y. (2022). Gemi Kazaları Kök Nedenlerinin Tespiti ve Önceliklendirilmesi İçin Kural Tabanlı FMEA Yaklaşımı. In M. A. Dönmez, P. Sivasakhivelan, ve T. Fırat (Eds.), *4. International New York Academic Research Congress* (ss. 148–155). BZT Akademi Yayınevi. https://www.newyorkcongress2022.com/

Corny, J., Rajkumar, A., Martin, O., Dode, X., Lajonchère, J.-P., Billuart, O., Bézie, Y., ve Buronfosse, A. (2020). A Machine Learning-Based Clinical Decision Support System To İdentify Prescriptions With A High Risk Of Medicati-

on Error. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*, *27*(11), 1688–1694. https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa154

Djenadic, S., Tanasijevic, M., Jovancic, P., Ignjatovic, D., Petrovic, D., ve Bugaric, U. (2022). Risk Evaluation: Brief Review and Innovation Model Based on Fuzzy Logic and MCDM. *Mathematics*, *10*(5). https://doi.org/10.3390/math10050811

Fu, G., Xie, X., Jia, Q., Li, Z [Zonghan], Chen, P., ve Ge, Y. (2020). The Development History Of Accident Causation Models In The Past 100 Years: 24Model, A More Modern Accident Causation Model. *Process Safety and Environmental Protection,*134. https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.027

Goh, Y. M., ve Guo, B. H. (2018). FPSWizard: A Web-Based CBR-RBR System For Supporting The Design Of Active Fall Protection Systems. *Automation in Construction*, *85*, 40–50. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.020

Gül, M., ve Çelik, E. (2018). Fuzzy Rule-Based Fine–Kinney Risk Assessment Approach For Rail Transportation Systems. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *24*(7), 1786–1812. https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1422975

Gupta, I., ve Nagpal, G. (2020). *Artificial Intelligence and Expert Systems*. Mercury Learning and Information.

Hänninen, M., Valdez Banda, O. A., ve Kujala, P. (2014). Bayesian Network Model Of Maritime Safety Management. *Expert Systems with Applications*, *41*(17), 7837–7846. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.06.029

Hauke, A., Flaspöler, E., ve Reinert, D. (2020). Proactive Prevention In Occupational Safety And Health: How To Identify Tomorrow's Prevention Priorities And Preventive Measures. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *26*(1), 181–193. https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1465677

Hinze, A., Bowen, J., ve König, J. L. (2022). Wearable Technology For Hazardous Remote Environments: Smart Shirt And Rugged IoT Network For Forestry Worker Health. *Smart Health*, *23.* https://doi.org/10.1016/j.smhl.2021.100225

Hollnagel, E. (2012). *FRAM: The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-Technical Systems*. Ashgate.

Hollnagel, E. (2014). *Safety-I and safety-II: The Past And Future Of Safety Management*. Ashgate.

Jia, S., Wang, Y [Ying], Wang, W., Zhang, Q., ve Zhang, X. (2022). Value Of Medical Imaging Artificial Intelligence In The Diagnosis And Treatment Of New Coronavirus Pneumonia. *Expert Systems*, *39*(3). https://doi.org/10.1111/exsy.12740

Jilcha, K., ve Kitaw, D. (2016). A Literature Rewiev on Global Occupational Safety And Health Practice And Accidents Severity. *International Journal for Quality Research*, *10*(2), 279–310. https://doi.org/10.18421/IJQR10.02-04

Karamustafa, M., ve Çebi, S. (2021). Extension Of Safety And Critical Effect Analysis To Neutrosophic Sets For The Evaluation Of Occupational Risks. *Applied Soft Computing*, *110*, 107719. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107719

Karasan, A., ve Erdoğan, M. (2021). Creating Proactive Behavior For The Risk Assessment By Considering Expert Evaluation: A Case Of Textile Manufacturing Plant. *Complex ve Intelligent Systems*, *7*(2), 941–959. https://doi.org/10.1007/s40747-020-00246-0

Kiangala, K. S., ve Wang, Z. (2022). An Experimental Safety Response Mechanism for an Autonomous Moving Robot in a Smart Manufacturing Environment Using Q-Learning Algorithm and Speech Recognition. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *22*(3), 941–964. https://doi.org/10.3390/s22030941

Kilingaru, K., Tweedale, J. W., Thatcher, S., ve Jain, L. C. (2013). Monitoring Pilot "Situation Awareness". *Journal of Intelligent ve Fuzzy Systems*, *24*(3), 457–466. https://doi.org/10.3233/IFS-2012-0566

Liu, H.-C., Liu, L., ve Lin, Q.-L. (2013). Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning and Belief Rule-Based Methodology. *IEEE Transactions on Reliability*, *62*(1), 23–36. https://doi.org/10.1109/TR.2013.2241251

Lyu, Q., Fu, G., Wang, Y [Yuxin], Li, J., Han, M., Peng, F., ve Yang, C. (2022). How Accident Causation Theory Can Facilitate Smart Safety Management: An Application Of The 24Model. *Process Safety and Environmental Protection*, *162*, 878–890. https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.068

Markowski, A. S., ve Sam Mannan, M. (2010). ExSys-LOPA for The Chemical Process Industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *23*(6), 688–696. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.05.011

Martí, I., Tomás, V. R., García, L. A., ve Martínez, J. J. (2010). A Multi-Agent System For Managing Adverse Weather Situations On The Road Network. *Integrated Computer-Aided Engineering*, *17*(2), 145–155. https://doi.org/10.3233/ICA-2010-0336

Mohan, S., Anand, A., Ul Haq, M. I., Raina, A., Kumar, R., ve Kamal, M. (2020). Development of a NIOSH Based Software Tool For Musculoskeletal Disorders. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences (IJEMS)*, *27*(4), 860–865.

Pavlovic-Veselinovic, S., Hedge, A., ve Veselinovic, M. (2016). An Ergonomic Expert System For Risk Assessment Of Work-Related Musculo-Skeletal

Disorders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *53*, 130–139. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.11.008

Podofillini, L., Dang, V., Zio, E., Baraldi, P., ve Librizzi, M. (2010). Using Expert Models In Human Reliability Analysis-A Dependence Assessment Method Based On Fuzzy Logic. *Risk Analysis : An Official Publication of the Society for Risk Analysis*, *30*(8), 1277–1297. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01425.x

Qiu, S., Sallak, M., Schön, W., ve Ming, H. X. (2018). A Valuation-Based System Approach For Risk Assessment Of Belief Rule-Based Expert Systems. *Information Sciences*, *466*, 323–336. https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.04.039

Rausand, M. (2011). *Risk Assessment Theory, Methods, and Applications*. John Wiley ve Sons.

Reese, C. D. (2017). *Occupational Safety and Health: Fundamental principles and philosophies* (First edition). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b21975

Semeykin, A. Y., Kochetkova, I. A., Klimova, E. V., Nosatova, E. A., ve Drozdova, A. O. (2019). Decision-Making Process Modeling For Occupational Safety Management System Based On A Fuzzy Analysis Of Production Incidents. *Journal of Physics: Conference Series*, *1333*(7), 72021. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1333/7/072021

Sendi, A. S., Jabbarifar, M., Shajari, M., ve Dagenais, M. (2010). FEMRA: Fuzzy Expert Model for Risk Assessment. In J. L. Mauri ve M. Popescu (Chairs), *2010 Fifth International Conference on Internet Monitoring and Protection: ICIMP 2010,* Barselona, İspanya.

Taçgın, E., ve Sağır, Z. (2020). Development of An Intelligent Knowledge Base For Identification Of Accident Causes Based On Fu Vd.'S Model. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 1–18. https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1831786

Thompson, M. P., Calkin, D. E., Gilbertson-Day, J. W., ve Ager, A. A. (2011). Advancing Effects Analysis For Integrated, Large-Scale Wildfire Risk Assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, *179*(1-4), 217–239. https://doi.org/10.1007/s10661-010-1731-x

Tkatek, S., Belmzoukia, A., Nafai, S., Abouchabaka, J., ve Ibnou-Ratib, Y. (2020). Putting The World Back To Work: An Expert System Using Big Data And Artificial Intelligence In Combating The Spread Of COVID-19 And Similar Contagious Diseases. *(Work (Reading, Mass.)*, *67*(3), 557–572. https://doi.org/10.3233/WOR-203309

Tsang, Y. P., Choy, K. L., Koo, P. S., Ho, G., Wu, C. H., Lam, H. Y., ve Tang, V. (2018). A Fuzzy Association Rule-Based Knowledge Management System For Occupational Safety And Health Programs In Cold Storage Facilities.

VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems, *48*(2), 199–216. https://doi.org/10.1108/VJIKMS-01-2017-0004

Wang, F., Li, H., Dong, C., ve Ding, L. (2019). Knowledge Representation Using Non-Parametric Bayesian Networks For Tunneling Risk Analysis. *Reliability Engineering ve System Safety*, *191*. https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106529

Yan, Y., Suo, B., ve Li, Z [Ziwei] (2022). An Area-Based Metrics to Evaluate Risk in Failure Mode and Effects Analysis Under Uncertainties. *IEEE Access*, *10*, 33969–33979. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3160194

İNTERNET KAYNAKLARI

ULAKBİLİM (2022). Bibliyometrik analiz: Ülkelerin Bilimsel Yayın Sayısı (2017-2021). https://cabim.ulakbim.gov.tr/bibliyometrik-analiz/ (ET: 21.04.2022)