

İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Sektörel İş Kazalarının Yapay Zekâ Teknolojileri ve Uzman Sistem Uygulamaları Yönünden İncelenmesi

Investigation of Sectoral Occupational Accidents in terms of Artificial Intelligence Technologies and Expert System Applications within the Scope of Occupational Health and Safety

Türkay Ercan ŞENGÖZ^{1*}, Yahya BOZKURT²

^{1*} Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Yapay Zekâ Teknolojileri ve Uzman Sistem Uygulamaları, farklı iş sektörlerinde işlerin yapılış şekillerini, kurumların ve firmaların iş düzenlerini ve çalışan kişilerin işten tatmin olma seviyelerini değiştirmekte ve genel olarak iyileştirmektedir. Dünya çapında bilinen teknoloji firmalarının oluşturduğu yapay zekâ ürünleri, gün geçtikçe önemi artan iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ile birleştiğinde gerek işverenlerin memnun kaldığı ve iş dünyasının takdir ettiği gerekse farklı sektörlerde çalışanların onay verdiği uygulamalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür teknolojiler ve uygulamalar, çalışma hayatında yaşanabilecek iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesinde kullanılmaktadır. Önlenebilen her iş kazasının veya meslek hastalığının farklı sektörler, işverenlere, çalışanlara, kurumlara ve ülkelere birçok açıdan olumlu etkisi bulunmaktadır. Bu olumlu etkiler; işverenler açısından iş kaybının yaşanmamasına, çalışanlar açısından rahat ve güvenli bir ortamda çalışmalarına ve çalışanlarda güven duygusu oluşmasına, kurumlar açısından iş güvenliği kültürünün oluşmasına ve gelişmesine, ülkemiz açısından ise ülke ekonomimizin olumlu bir şekilde gelişmesine ve ilerleyebilmesine destek olmaktadır. Bu çalışmada, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında sektörel iş kazaları, yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları yönünden incelenmiş, bu tür teknolojilerin ve uygulamaların çalışma hayatına olan etkilerinden bahsedilmiş, yapılması gerekenlerle ilgili bilgiler verilmiş ve konuyla ilgili problemlerin çözümünde kullanılmak üzere çeşitli öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Teknoloji, Yapay Zekâ, İş Kazaları, İş Sağlığı, İş Güvenliği.

ABSTRACT

Artificial Intelligence Technologies and Expert System Applications change and generally improve the way work is done in different business sectors, the work patterns of organizations and companies, and the level of job satisfaction of employees. Artificial intelligence products created by world-renowned technology companies, combined with occupational health and safety practices that are becoming more and more important day by day, appear as applications that employers are satisfied and appreciated by the business world and approved by employees in different sectors. Such technologies and practices are used to prevent occupational accidents and occupational diseases that may occur in working life. Every preventable occupational accident or occupational disease has a positive impact on different fields, sectors, employers, employees, institutions and countries in many ways. These positive effects support employers in avoiding job losses, employees in working in a comfortable and safe environment and creating a sense of trust in employees, institutions in the formation and development of occupational safety culture, and our country in the positive development and progress of our country's economy. In this study, sectoral occupational accidents within the scope of occupational health and safety are analyzed in terms of artificial intelligence technologies and expert system applications, the effects of such technologies and applications on working life are mentioned, information about what needs to be done is given and various suggestions are presented to be used in solving the problems related to the subject.

Keywords: Technology, Artificial Intelligence, Occupational Accidents, Occupational Health, Occupational Safety.

Başvuru: 17.04.2025 Son Revizyon: 20.05.2025 Kabul: 21.05.2025

Doi: 10.51764/smutgd.1678632

^{1*}Sorumlu yazar: Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Bölümü, İstanbul, Türkiye; E-mail: turkay.ercan@marun.edu.tr; ORCID: 0000-0002-5577-8990

²Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye E-mail: ybozkurt@marmara.edu.tr; ORCID: 0000-0003-1816-5922

1. GİRİŞ

Bu çalışma, işyerlerinde veya farklı çalışma ortamlarında çalışan kişilerde görülebilen iş kazaları ile ilgili yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamalarının bilimsel ve teknik çalışmalarda kullanılması sonucunda iş güvenliğine, iş sağlığına ve iş kazalarına nasıl bir fayda sağlayabileceğinin görülebilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu tür teknolojilerin kullanılmasıyla birlikte yaşanan iş kazaları sonucunda sektörlerdeki değişimler daha rahat bir şekilde incelenebilecek ve iş kazaları ile ilgili düzenlenmesi gereken belgeler iş kazası bildirim formları, kök-neden analizleri, risk değerlendirmeleri vb. belgeler kolaylıkla hazırlanabilecektir.

İş kazalarının, yapay zekâ teknolojilerinin ve uzman sistem uygulamalarının farklı sektörlerle olan olumlu veya olumsuz etkilerinin incelendiği literatür kaynakları sınırlı sayıdadır ve farklı sektörlerdeki beklentileri karşılayamamaktadır. Bu durum sonucunda, sektörel anlamda yeterli bir bilgilendirmeye ve uygulama örneklerine ihtiyaç olduğu görülmektedir. Araştırma literatüründe mevcut olan bilgiler ve bulgular incelendiğinde konuyla ilgili olan kaynaklarda; sektörlerdeki değişen trendlerle ilgili teknik bilgilerin az sayıda olması, görüntü işleme teknolojilerinin faydalarının yeterli derecede açıklanmamış olması, başarılı uygulama örneklerine ulaşılmasının zor olması, konuyla ilgili cevaplanmamış bazı soruların bulunması veya bu sorulara verilmiş cevapların beklentileri karşılayamamış olması gibi problemlerin çözümünde yeterli literatür kaynaklarının bulunmadığı görülebilmektedir. Bu tür ihtiyaçların karşılanabilmesi amacıyla gerekli literatür çalışması yapılmış ve uygulamada konuyla ilgili olan başarılı uygulama örnekleri de çalışma içerisinde paylaşılmıştır.

Bu çalışmada, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) kapsamında sektörel iş kazalarında yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları ile ilgili olan konu başlıkları hakkında genel bilgilere yer verilmiş ve konuyla ilgili detaylı bilgiler ele alınmıştır. Çalışmanın bu bölümünde öncelikle konunun daha iyi anlaşılabilmesi açısından bazı tanımlamaların (İSG, iş kazası, yapay zekâ, uzman sistem) yapılması gerekmektedir. İSG, işyerlerinde işlerin yürütülmesinde farklı nedenlerden kaynaklanabilecek çalışanların sağlığına zarar verebilecek koşullardan korunulmasında, halihazırda olan sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesinde kullanılan veya uygulanan sistemli ve bilimsel çalışmalardır (ASBÜ, 2017). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, çalışanların tamamının sağlıklarının ve güvenliklerinin sağlanabilmesi amacıyla 30 Haziran 2012 tarihinde yürürlüğe girmiş bulunmaktadır (MBS, 2012). İş Kazası, çalışma hayatında kişilerin 5510 sayılı Kanunda belirtilen durumlardan birinde oluşan veya vuku bulan ve sigortalı çalışanları bedenlen veya ruhen engelli hale getiren olaydır (SGK, 2022). 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 13 üncü maddesinin birinci fıkrasında iş kazası; sigortalının işyerinde bulunduğu sırada, işveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle, bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda, bu kanunun 4 üncü maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi kapsamındaki emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda, sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş geliş sırasında, meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenlen ya da ruhen engelli hâle getiren olaydır (MBS, 2006). Yapay Zekâ, insanlar tarafından bilgi girişi gerektiren iç içe geçmiş görevleri gerçekleştirebilen uygulamaları veya yazılımları kapsayan bir terim olarak açıklanabilmektedir. Bu terim genellikle Makine Öğrenimini ve Derin Öğrenmeyi kapsayan alt dallarıyla birbirlerinin yerine kullanılabilen terim veya terimler olarak karşımıza çıkmaktadırlar (Oracle, 2021). Uzman Sistem, belirlenebilen problemlerin çözümleri ile ilgili olan bir veya birden fazla uzman kişinin bilgilerini ve becerilerini kullanabilen bir bilgisayar sistemi olarak tanımlanmaktadır (Allahverdi, 2002). Uzman sistemler incelendikleri alanlarla ilgili özelleşmiş bazı problemlerin çözümlerinde uzman kişilerin bilgilerini kopyalamayı amaçlayan ve her zaman bilgilere dayalı işlemler ve danışmanlık yapabilen bilgisayar programlarıdır (Turban, 1993).

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada; yapay zekâ, makine öğrenmesi, derin öğrenme, iş kazaları, iş güvenliği, iş sağlığı anahtar kelimeleri seçim kriterleri olarak belirlenmiş, literatürde taranmış ve yapılan çalışmalar sistematik bir şekilde derlenmiştir. Bu çalışma ile ilgili Web of Science, Science Direct, Researchgate, Google Scholar, Tübitak Dergipark vb. veri tabanlarında sistematik aramalar yapılmıştır. Bu aramalar, 1993-2025 yılları arasındaki literatür çalışmalarını kapsamaktadır. Çalışmanın kapsamı, son yıllarda iş sağlığı ve güvenliği alanında kullanılan yapay zekâ teknolojilerini ve uzman sistem uygulamalarını içeren çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Ülkemizde ve Dünya genelinde İSG profesyonelleri tarafından geliştirilen yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, iş hayatında başarılı olan örnek uygulamalardan bahsedilmiş ve iş kazalarının engellenebilmesi için çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Yapay Zekâ teknolojilerinin oluşturduğu etkin araçlarla insana olan bağımlı olma durumu, insanların hataları, bilgilerin doğru bir şekilde düzenlenmesi ve sunulması ile tehlikelerin ve risklerin azaltılabilmesi sağlanabilecektir (Sattari vd., 2021). Bu nedenle “bilgi tabanlı bir karar destek mekanizması olan uzman sistemler, insan bir uzmanın problemler karşısındaki davranışını taklit ederek” problemlere çözümler üretebilme gücü (Başak vd., 2008) İSG’de kullanılabilmektedir. Aynı zamanda kolaylık sağlamasıyla karar verebilme proseslerinde önemli bir etkisi olan doğru ve etkin bilgiler (Lilić vd., 2010) kullanılarak konuya hâkim olmayan kullanıcının da doğru kararlar verebilmesini sağlamaktadırlar (Pavlovic-Veselinovic vd., 2016). Gelecek dönemlerde daha çok kullanılacağı düşünülen yapay zekâ uygulamaları iş sağlığı ve güvenliği araştırmacıları, uygulayıcıları, işverenler ve çalışan kişiler açısından değerli olabilecek hususları gündeme getirebilmektedir. Bununla birlikte yapay zekâ teknolojilerinin iş hayatında ve işyerlerinde oluşturabilecekleri değişikliklerle iş ortamlarının ve işlerin değişime uğramasına neden olacağı düşünüldükçe işlerin yeniden tasarlanmasını sağladıkları belirtilmiştir (Howard, 2019). Tablo 1’de 2008-2021 yılları arasındaki Geliştirilmiş Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamaları ile ilgili literatürden araştırma sonuçları paylaşılmıştır.

Tablo 1. 2008-2021 yılları arasındaki Geliştirilmiş Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamaları (Motorcu vd., 2021).

Kapsamı	Yazar	Yöntemi	İçeriği
İHA Risk Yöntemi	Başak vd., (2008, s.198)	Uzman Sistem	Yüksek maliyetli İnsansız Hava Araçları (İHA) sistemlerinin dahil oldukları kazaları engellemek amacıyla risk yönetim modeli geliştirilmiştir.
Kesme Sıvısı Risk Değerlendirmesi	Meciarova, (2011, s. 461)	Uzman Sistem	Çalışanların doğrudan maruziyeti neticesinde solunum yolu hastalıkları, deri rahatsızlıkları, kanser vb. rahatsızlıklara neden olan kesme sıvılarının meydana getirdiği riskler değerlendirilerek bu risklerin yok edilebilmesi için Uzman Sistem geliştirilmiştir.
Maden Güvenliği	Lilić vd., (2010, ss. 460–461)	Uzman Sistem ve Sinir Ağları	Maden sektöründe iş güvenliği sorunlarına çözümlerin bulunması hedeflenmiş ve geliştirilmiş programlar aracılığıyla yapılan durum çalışmasında başarılı sonuçlara ulaşılmıştır.
Petro-Kimya Endüstrisinde İş Sağlığı ve Güvenliği	Azadeh vd., (2014, s. 27)	Akıllı Algoritmalar	Petrokimya endüstrisinde sağlık, güvenlik, çevre ve ergonomi çerçevesinde iş güvenliğini ölçen, değerlendiren ve araştıran uyumlaştırılmış akıllı algoritmalar geliştirilmiştir.
Risk Analizi	Alaeddinoğlu vd., (2015, s. 275)	Yapay Sinir Ağları	İş Sağlığı ve Güvenliği profesyonelleri tarafından İş Sağlığı ve Güvenliği’ ne yönelik alınacak tedbirler ile kazaların önüne geçilebilmesi için karar destek sistemi geliştirilmiştir.
Ergonomik Risk Analizi	Pavlovic-Veselinovic vd., (2016, s. 138)	Uzman Sistem	Geniş iş gruplarında işle ilgili Kas ve İskelet Sistemi Rahatsızlıklarının (KİSR) tespitinde ve bu tür risklerin oluşturacağı negatif durumların önlenmesi amacıyla uzmanlara tavsiyeler sağlayan Uzman Sistem geliştirilmiştir.
Metal Sektörü Kaza Analizi	Koçar & Dizdar, (2018, s.74)	Yapay Sinir Ağları	Yaşanmış iş kazaları incelenerek yapay sinir ağları aracılığıyla kazalar sonucunda oluşabilecek iş gücü kayıpları tahmin edilmeye çalışılmıştır.
Metal Sektörü Kaza Tahmini	Ayanoğlu & Kurt, (2019, s. 86)	Yapay Sinir Ağları	Metal sektöründe iş kazalarının tahmin edilebilmesi amacıyla “Kaza Tahmin Modeli Yapay Sinir Ağı” geliştirilmiştir.
İnşaat Güvenliği	Ayhan & Tokdemir, (2019, ss. 274-285)	Büyük Veri Analizi	Mega projelerdeki iş güvenliğinin sağlanması amacıyla önemli raporlamalardan kaynaklanan veri yığınları ve onların heterojen yapıları gereği oluşacak problemleri analiz etmek için Yapay Zekâ uygulaması geliştirilmiştir.
Madencilikte Risk Tahmini Ve Risk Analizi	Xie vd., (2019, ss. 169-184)	Meyve sineği optimizasyon algortması (IFOA) ve Genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (GRNN)	Felakete sebep olabilecek iş kazalarını önceden tahmin etmek ve önleyici tedbir almaya yönelik Yapay Zekâyla risklerin tahmini ve risk analizi yöntemi geliştirilmiştir.
Kaza Sebep Tespiti	Taçgın & Sağır, (2020, s. 2)	Akıllı Bilgi Tabanı	Kaza nedenlerini 2-4 Kaza Analiz Teorisi çerçevesinde tespit edebilecek Akıllı Bilgi Tabanı geliştirilmiştir.
Risk Analizi	Sattari vd., (2021, s. 1)	Bayes Ağları	Firmaların iş yerlerinde vuku bulan olayları kullandıkları raporlama sistemi aracılığıyla elde ettikleri verileri Makine Öğrenme ile kazaları ve olayları azaltabilmek amacıyla Bayes Ağları kullanılmıştır.
Risk Değerlendirmesi	Okudan vd., (2021, s. 2)	Web Tabanlı Yapay Zekâ	Yapay Zekâ kullanılarak web tabanlı CBRisk isimli modelle risk yönetimi proseslerinde riskle ilişkili bilgilerin yakalanması, depolanması, kurtarılması ve yayılması sağlanmıştır.

Risk Analizi	Baron vd., (2012, s.80)	Uzman Sistem	Sysklass programı kullanılarak geliştirilen programla risk analizleri ve risklerin tanımlanabilmesi amacıyla katalog sayfa yöntemi, FMEA ve HAZOP teknikleri kullanılarak Uzman Sistem geliştirilmiştir.
Petrol Sektörü	Azadeh vd., (2008, s. 27)	Uzman Sistem	Bir petrol rafinerisinde iş sağlığı ve güvenliği, çevresel etkilerin ve ergonominin değerlendirilmesi, izlenmesi, kontrolü ve geliştirilmesi amacıyla Uzman Sistem geliştirilmiştir.
İnşaat Sektörü Risk Analizi	Amiri vd., (2017, ss. 17-26)	Bulanık Mantık Uzman Sistem	İnşaat sektöründeki iş güvenliği risklerini analiz edebilmek ve değerlendirebilmek için Uzman Sistem geliştirmişlerdir.
Kaza Tahmini	Beriha vd., (2012, ss. 3311-3314)	Bulanık Mantık Uzman Sistem	Hindistan'da çelik, inşaat ve refrakter sektörlerinde iş kazalarının tahmin edilmesi amacıyla Bulanık Uzman Sistem geliştirilmiştir.
Risk Değerlendirmesi	Hadjimichael, (2009, ss. 6512-6513)	Bulanık Uzman Sistem	Havacılık sektöründe risk değerlendirilmesi yapılarak proaktif yaklaşım sergilenebilmesi amacıyla bulanık Uzman Sistem geliştirilmiştir.

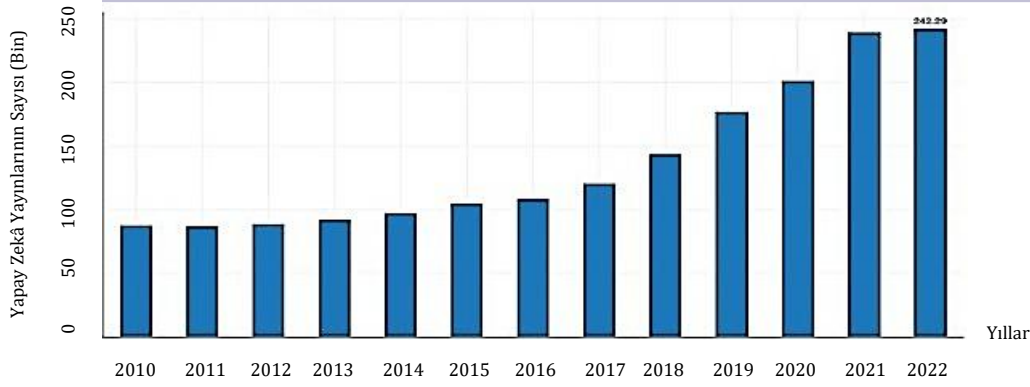
Bu tablo; kapsam, yazar, yöntem ve içerik başlıkları adı altında düzenlenmiştir. Bu tablodan, 2008-2021 yılları arasındaki Geliştirilmiş Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamaları ile ilgili çalışmalar dikkatli bir şekilde incelendiğinde; kapsam olarak sırasıyla, risk yöntemi, risk değerlendirme, risk analizi, kaza analizi, kaza tahmini, risk tahmini ve risk analizi, kaza sebep tespiti konularının belirlendiği, sektör olarak ise sırasıyla, maden, petrokimya, metal, inşaat, petrol sektörlerinin incelendiği görülmektedir. Birçok farklı kapsamda, farklı sektörde ve farklı yazar tarafından ele alınan konuların yönteminde ve içeriğinde Geliştirilmiş Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamaları ve başarılı örnekleri bulunmaktadır.

Çalışma hayatında işletmelerde kullanılan yapay zekâ teknolojileri, çalışan kişilerin İSG gibi önemli alanlar başta olmak üzere birçok alanda ihtiyaçlarının karşılanmasına yardımcı olmaktadır. İşletmelerde yapay zekâ destekli uygulamaların iş sağlığı ve güvenliğinde kullanımı sayesinde günümüzde işletme körlüğü başta olmak üzere birçok problemin analiz edilmesi, tehlikelerin ve risklerin belirlenmesi, iş kazalarının engellenmesi ve meslek hastalıklarının teşhisi mümkündür. Ayrıca, iş kazaları ve meslek hastalıklarıyla ilişkili bilgilerin toplanması, analiz edilmesi ve değerlendirilmesi kolaylaşmıştır.

Teknolojinin ve endüstrinin hızlı bir şekilde ilerlemesi, üretim süreçlerinin karmaşıklaşmasına neden olmakta ve iş sağlığı ve güvenliğinde literatürde bulunmayan yeni tehlikelerin veya risklerin meydana gelmesini sağlamaktadır. Bu tür tehlikelerin ve risklerin tespit edilmesinde ve yok edilmesinde, çalışılan alanlarda yeni teknolojilerin kullanılması ile daha çok denetimin yapılması sağlanmakta ve bu sayede iş kazalarının sayısının azaltılması veya hiç yaşanmaması amacıyla birçok uygulama kullanılabilmektedir. İş kazalarının görülmesinde en önemli etken insan faktörüdür. Bilimsel olarak iş kazalarının %80'i çalışanlardan, %18'i fiziksel ve mekanik çevre şartlarından, %2'si ise beklenmedik olaylardan kaynaklıdır. Bununla birlikte, bu tür yüzdesel dağılımlar dikkate alındığında, açık bir şekilde insan faktörünün yüzdesi en yüksek iş kazası faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır (Bozkurt & Naycı, 2021).

Yapay zekâ kullanımı ile çalışan kişiler tarafından tehlikeli olarak görülen işlerin uzman sistemler tarafından yapılması sağlanmakta, sahadan elde edilen verilerle saha analizlerinin yapılması, tehlikelerin ve risklerin tespiti ve değerlendirilmesi, çalışma ortamlarının gözetiminin sağlanması, kök neden analizlerinin hazırlanması gibi uygulamalar daha rahat ve daha çok sayıda yapılabilmektedir. İşletmelerin farklı bölümlerinde uygulanan bu uygulamalar iş kazalarının azaltılmasında İSG profesyonellerine yardımcı olmaktadır. Yapay zekâ, işletmelerde çalışan işçilerin güvenliklerini sağlamada, sağlıklarını korumada ve sağlıklarının iyileştirilmesinde faydalı olabilmektedir. Yapay zekanın çalışan kişilerin sağlığında, güvenliğinde ve refah seviyesi üzerindeki etkilerini anlayabilmek, İSG' deki birçok alanda önemli bir yere sahiptir (Ayan vd., 2024; Fisher vd., 2023).

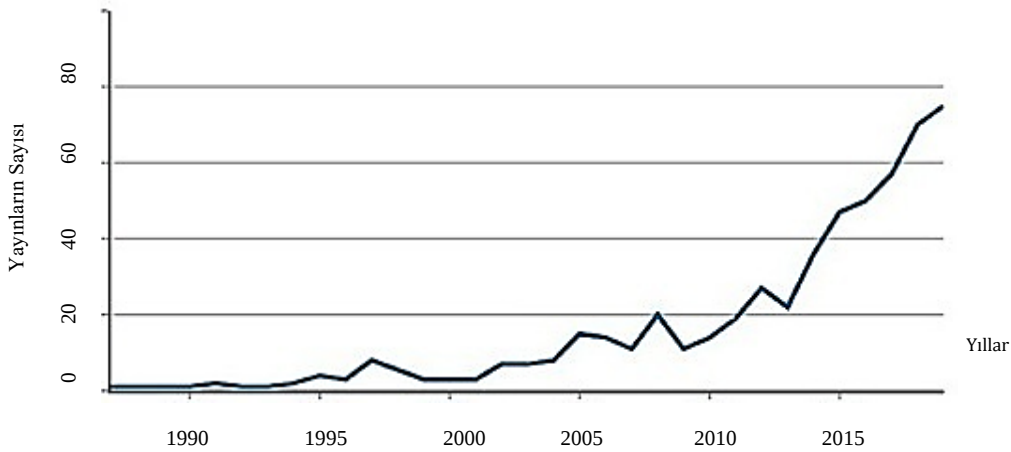
İSG' de yapay zekâ uygulamaları kullanılarak çalışanlar izlenebilir, çevreye ait sensörler ve biyosensörler her türlü değişiklikleri izleyip gerekli verileri toplayabilir ve bu veriler ışığında meslek hastalıklarının olup olmadığı belirlenebilmektedir. Özellikle imalat, metal, sağlık, ulaşım, lojistik vb. sektörlerde kullanılan robotik uygulamalar, insanları temasını azaltabilmek, tehlikeli ve riskli işlerden uzaklaştırabilmek amacıyla yapay zekâ ve sensörlere dayalı teknolojiler kullanılmaktadır (Quentic, 2023). Günümüzde farklı alanlarda yapay zekâ uygulamaları kullanılmakta ve yapay zekâ odaklı çözümlerin etkileri, kapsamı ile potansiyel güçleri belirtilmektedir. Şekil 2'de 2010-2022 yılları arasında yayınlanan yapay zekâ ile ilgili makalelerin sayısı ile ilgili bilgiler paylaşılmıştır. Stanford Üniversitesi tarafından 2024 yılı "Yapay Zekâ Endeksi Raporu" verilerine göre, yapay zekâ ile ilgili makalelerin sayılarında artış olduğu görülebilmektedir (Maslej vd., 2024).



Şekil 2. Dünya'daki Yapay Zekâ Yayınlarının Sayısı, 2010-22. Kaynak: Center for Security and Emerging Technology, 2023. Grafik: 2024 AI Index Report/2024 Yapay Zekâ Endeksi Raporu (Maslej vd., 2024).

Stanford Üniversitesinin bu raporu, yapay zekâ yayınlarının artması ile birlikte her yıl yenilenmektedir. Şekil 2' deki grafikten anlaşılabacağı üzere, 2013 yılından itibaren yapay zekâ yayınlarının sayısında sürekli bir artış yaşanmıştır. Yapay zekâ ve İSG ile ilgili Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH) tarafından Mesleki Robotik Araştırma Merkezi (CORR) kurulmuştur. Bu merkezde, robotik ve yapay zekanın çalışma ortamındaki işçilerin güvenliklerini, sağlıklarını ve refah seviyesindeki etkilerini değerlendirebilmektedir (Pishgar vd., 2021).

Avrupa Sağlık ve Güvenlik Ajansı, yapay zekâ destekli olan araçlar veya uygulamalarla ilgili olarak bu araçların işyerlerindeki kullanımlarını analiz edip nerelerde ve nasıl çalıştıkları hakkında bilgi edinmiş, çalışan kişilerin iş sağlığı ve güvenliğindeki etkileri ile ilgili incelemeler yapmıştır (Pishgar vd., 2021). Şekil 3'te ise, 1986 yılından 2019 yılına kadar İSG ile ilişkili olan alanlarda yapay zekanın kullanımına ilişkin makale sayıları belirtilmiştir. Bu grafikte görüldüğü üzere, başlangıç yılı olan 1986 yılından itibaren İSG ile ilgili alanlarda yapay zekanın kullanımına ilişkin makale sayıları bazı dönemlerde dalgalanmalar görülmesine rağmen giderek artmıştır. Bu dalgalanmalar, 1995 yılı ile 2013 yılları arasında gerçekleşmiştir. Özellikle 2013 yılından itibaren devamlı bir yükseliş trendine girmiştir. Günümüzde bu yükseliş trendi artarak devam etmektedir. Gelecekte de yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları önemini korudukça ve hayatımızı kolaylaştırmaya devam ettikçe trendlerde kalacağı düşünülmektedir.



Şekil 3. 1986-2019 Yılları Arasında İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Yapay Zekâ Kullanımını Gösteren Yayınların Sayısı (Pishgar vd., 2021).

4. YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİNİN VE UZMAN SİSTEM UYGULAMALARININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDEKİ KULLANIM ALANLARI

4.1 Büyük Dil Modellerinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay zekâda yaşanan hızlı gelişmelerle birlikte Büyük Dil Modelleri (LLM) alanında görülen son değişimler de dikkate alındığında, günümüzde yapay zekâ uygulamalarının uzmanlık seviyesindeki işlerde ve mühendisleri ilgilendiren proseslerde kullanımı ile ilgili araştırmaların arttığı gözlemlenmektedir. İşletmelerde ve diğer çalışma alanlarında tehlikelerin ve risklerin yok edilmesi amacıyla saha çalışmalarında ve İSG profesyonellerinin tespit etmekle yükümlü olduğu tehlikelerin ve risklerin analizlerinde büyük dil modellerinin yardımcı olduğu

görülebilmektedir (Diemert & Weber, 2023).

Birleşmiş Milletler UNESCO-UNEVOC' nun hazırladığı bir raporda yapay zekâ uygulamalarının, çalışan işçilerin eğitim süreçlerinde yeni metotların kabul edilmesinde ve uygulanmasında etkisinin olduğu belirtilmektedir. Raporda, yapay zekâ uygulamalarının çalışan işçilerin eğitimlerine entegre olmasının, çalışan kişilerin mesleki bilgi ve becerilerinin aktif olarak kalmasında rolü olduğu düşünülmektedir. Yapay zekâ ile çalışanlara yönelik özel eğitim içeriklerinin üretilmesi ve değerlendirilmesi yapılabilen ve çalışan kişilerin eğitimle ilgili eksiklikleri belirlenebilmektedir. Görüldüğü üzere, bu tür çalışmalar yapay zekâ uygulamalarının birçok alanda kullanıldığının göstergesidir. Ayrıca, aynı raporda işletmelerin istedikleri özelliklere sahip çalışanların seçiminde yapay zekâ araçlarının kullanıldığından da bahsedilmiştir. Özellikle eğitim düzeyine uygun çalışan seçiminde yapay zekâ uygulamaları birçok alanda yardımcı olarak kullanılabilmektedir (UNESCO-UNEVOC, 2021).

4.2 Uzman Sistemler ve Yapay Zekânın İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay zekâ teknolojileri ile robot teknolojileri, nesnelerin interneti, sanal gerçeklik vb. yeni teknolojiler birtakım fırsatlarla ve risklerle beraber hayatımıza girmektedir. Bu durum, çalışan kişilerin güvenilir bir ortamda çalışabilmelerini zorlaştırabilmektedir. Özellikle çalışma alanlarında risk çeşitliliğinin değişerek artışa geçmesiyle yapılan işlerin karmaşılaşması, İSG alanında önleyici yaklaşımın değerini artıran bir sebep olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yaklaşım ile birlikte bu alanda liyakatli ve donanımlı profesyonel çalışanlara gereksinim duyulmaktadır. Bu gereksinimi karşılamak için "Yapay Zekâ" ile "Uzman Sistemler" kullanılması işi kolaylaştıracaktır (EU-OSHA, 2019).

Uzman sistemler, belli başlı konularda uzmanlığa ve deneyime sahip olan bir kişinin özelliklerini ve davranışlarını kopyalayarak kısaca uzman gibi düşünerek problemleri çözmeye çalışan sistemdir. Bu sistemler, hasta teşhislerinde ve finansal tahminlerde de kullanılmaktadır (Gupta & Nagpal, 2020). Bu tür teknolojiler, İSG alanında yaşanan veya yaşanabilecek olan iş kazalarının önlenmesi, tehlikelerin ve risklerin tespit edilmesi ve iş sağlığı ile ilgili gelişmelerin görülebilmesi açısından gelecek dönemlerde daha çok kullanılacağı düşünülmektedir. Çalışan kişilerde kişisel hataların en az seviyede olması ve iş kazalarının risklerinin azaltılması çalışmaları, işletmeler için hem zaman faktörü açısından hem de üretimde maddi açıdan avantaj sağlayabilmektedir (Ayan vd., 2024).

4.3 Gerçek Zamanlı İşyeri İzleme Araçlarının İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay zekâ tabanlı teknolojiler, işletmelerde işçilerle ilgili süreklilik gösteren çok kapsamlı verilerin toplanması, çalışan işçilerin düşük maliyetli bir şekilde izlenmesi, gözetlenmesi ve yönetilmesinde kullanılabilmektedir. Bu tür amaçlar için kullanılan teknolojik araçların yapay zekâ uygulamaları kullanılarak işletmelerde iş yeri güvenliğini artırdığı görülmektedir. Yapay zekâ tabanlı izlemeler, işletmelerde risk değerlendirmesi çalışmalarında, kanıt göstererek önlem alınmasında, İSG alanındaki denetimlerin desteklenmesinde daha etkin bir çalışma yapılabilmesi için kullanılabilmektedir. Bu alanda yaşanan problemlerin çözümünde, psikososyal risklerin belirlenmesinde, iş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili müdahale gerektiren yerlerin belirlenmesinde de bu teknolojilerden faydalanılmaktadır (Policy Brief, 2021). Ayrıca, çalışma ortamlarında oluşabilecek olağandışı durumların tespitinde kullanılan yapay zekâ destekli izleme araçları, işletmelerin sahadaki gözetimlerinde ve denetimlerinde de kullanılmakta ve özellikle işyerlerinde oluşabilecek acil durum ve erken müdahale durumlarında da etkin bir görev almaktadır.

Yapay zekâ teknolojileri, güvenliğin sağlanması ile ilgili verilerin izlenmesinde ve analiz edilmesinde, iş kazalarının tespit edilmesi ve düzeltici eylemlerin önerilmesinde de kullanılmaktadır. Bu tür proaktif yaklaşımlar, şantiyelerdeki çalışmaların OSHA standartlarına uyum sağlanmasında ve maliyeti olan ihlallerin önlenmesinde yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Yapay zekâ algoritmalarının, projelerin planlarına, gerçek zamanlı sahalardaki görüntülere, geçmiş dönemlerde yaşanmış olan kazaların raporlarına vb. birçok konuda analiz edebileceği, olması muhtemel iş kazalarını ve ihlalleri önceden tahmin edebileceği belirtilmektedir. Bu yaklaşım sayesinde, düzeltici önlemlerle ilgili zamanında karar alınmasına imkân tanınacağı, kazalarla ve uyumsuzluklarla ilgili risklerin azaltılabileceği beklenmektedir (Longinos & Widlund, 2024). Yapay Zekâ uygulamasında, İSG Profesyonelleri tarafından gerçekleştirilecek Risk Değerlendirmelerinin diğer bir kullanım alanı, çalışanları izleme ve yönetme süreçlerinde uygulanabilmesidir. Yapay zekâ tabanlı teknolojilerde, çalışan işçilerle ilgili büyük miktarlarda gerçek zamanlı verilerin toplanmasına bağlı olan yenilikçi, yaygınlaşmış, devamlılık gösteren ve düşük maliyetli işçi izleme ve yönetim biçimlerinin uygulanabilmesine olanak sağlanmaktadır. İSG alanında kullanılacak, Yapay Zekaya dayalı teknolojik araçlar üzerinden gerçekleştirilecek izleme ve gözetlemede, bilgisayar görüşü, yapay zekâ uygulamaları vasıtasıyla işyerlerinin güvenliğinin artırılmasında fayda sağlayacağı düşünülmektedir (Oğur, 2024).

Yapay zekâ algoritmaları tarafından işyerlerindeki güvenlik kameralarından ve sensörlerden faydalanılarak edinilen görüntüler ve veriler analiz edilerek çalışanlara ve işverenlere birçok konuda yardımcı olmaktadır.

İşyerlerindeki çalışanların koruyucu ekipmanları kullanılmadıklarında bu durum saptanabilmekte, tehlikeli olan bir makineye yaklaşıldığında, güvenlik ekipmansız çalışmalarda ve işyerinde hız sınırları aşıldığında vb. durumlarda tehlikeli ve riskli olan hareketler bu tür teknolojilerle algılanabilmektedir (İsgbysuzaktanegitim, 2023). Ayrıca, yapay zekâ teknolojileri kullanılarak; kişisel koruyucu ekipmanların kontrolleri sağlanabilmekte, riskli makinelerin bulunduğu ortamlara çalışan girişleri olduğunda sistem otomatik kapatılabilmekte, tehlikeli işlerin olduğu yerlerde yalnız çalışan kişilerin durumları tespit edilebilmekte, mesafelerin kontrolleri sağlanabilmekte, iş makinalarının sistemden takipleri yapılabilen, iş makinalarının çalışan kişilere yaklaştığında Erken Uyarı Sistemi devreye girebilmekte ve hızı kesebilmekte, Kör Nokta (Blind Spots) geçişlerinde uyarı mekanizmaları sayesinde iş kazaları önlenabilmekte ve yangın algılama erken uyarı sistemleri geliştirilebilmektedir (Akar, 2021). Bu sayede saydığımız tehlikeli durumlar, yüksek riskli olabilmekte ve gerektiğinde tahliye süreçleri başlatılabilmektedir. Bu durumda kişilerdeki stres, endişeler veya duygusal problemler belirlenebilmektedir. Bu teknoloji sayesinde koruyucu ekipmanın kullanılmadığı durumlar belirlenebilir. Örneğin, bir işçinin yeterli güvenlik önlemlerini almadan belirlenmiş bir yükseklikte çalışması tespit edilebilir ve ilgili kişiler uyarılabilir. Aynı zamanda, tehlikeli bir makineye yaklaşma veya işyerinde hız sınırlamalarını aşma gibi davranışlar algılanabilir ve bu durumlarla ilgili kişilere bildirimler iletilir. Ayrıca, anormal olaylar olan makine parçalanması, yangın veya kimyasal sızıntı gibi durumlar da tespit edilebilir ve bu durumlar otomatik bildirimler aracılığıyla ilgili kişilere iletilir. Bu şekilde, çalışanlara hızlı bir şekilde müdahale edilebilir ve tahliye süreçleri başlatılabilir.

Ergonomik masa, sandalye veya çalışma düzeninde yapılacak değişikliklerle çalışanın sağlığı ve güvenliği desteklenebilir. Çalışanın belirli bir hareket veya pozisyonunun ergonomik açıdan riskli olduğu tespit edilirse, buna göre önlemler alınabilir. Hatta, IoT (Nesnelerin İnterneti) ile birleştirilmiş doğru makine öğrenimi modeli, çalışan yorgunluğunu da algılayabilir ve herhangi bir şey olmadan önce kişileri potansiyel tehlikeler konusunda uyarabilir. Son olarak, pandemi sırasında Dünya çapında ünlü olan bir firma tarafından oluşturulan ve çalışanların sosyal mesafeyi koruyup korumadığını kontrol eden, uymayanları uyan Mesafe Asistanı örneğinde olduğu gibi, çalışanlar arasında hastalık yayılmasını en aza indirmek için temas takibi amacıyla da kullanılabilir (İsgbysuzaktanegitim, 2023). İşyerlerinde güvenli çalışma ortamlarının hazırlanmasında, gerçek zamanlı ihlal bildirimleri önemli bir yerdendir. Yapay Zekâ Tabanlı Görüntü İşleme Teknolojileri, güvenlik ihlallerinin hemen tespit edilmesinde ve raporlanmasında, iş güvenliği kültürünün güçlendirilmesinde pozitif yönde destek bulunmaktadır. Şekil 4'te Yapay Zekâ tabanlı görüntü ve video işleme teknolojileri temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Yapay Zekâ tabanlı görüntü ve video işleme teknolojilerinin temsili gösterimi (Akman, 2024).

Şekil 4'te Çalışma ortamlarında Yapay Zekâ tabanlı görüntü ve video işleme teknolojilerinin kullanıldığı yerlerde çalışanların iş güvenliği ile ilgili yapabilecekleri hatalarda anında uyarı sistemlerinin devreye girmesi sonucunda bu tür hataların tekrar etmemesi sağlanabilmektedir. Bu tür sistemlerin yaygınlaşması ile iş kazaları engellenebilecek ve sayıları azaltılabilecektir.

Yapay zekâ destekli güvenlik sistemleri ile ilgili temel özellikler:

1. Gerçek Zamanlı İhlal Bildirimleri ve Analitik Raporlamalar: İşyerlerinde güvensiz durumların veya davranışların anlık tespit edilmeleri ve raporlanmalarıyla, oluşabilecek iş kazaları engellenebilmektedir. Bu tür sistemlerde yaşanan ihlaller raporlanmış olan verilerle birlikte İSG kültürünü geliştirmektedir.
2. Yaya-Ekipman ve Ekipman-Ekipman Etkileşimi Takibi: İşyerlerindeki iş makinelerinin diğer iş makineleri ile veya yayalar ile olan etkileşimlerini izleyebilen yapay zekâ sistemleri, sahadaki tehlikeli ve riskli durumların tahmin edilebilmesine yardımcı olmaktadır. Yüksek hızda veya düzensiz bir şekilde hareket edebilen ekipmanların tespitiyle hız limitleri belirlenebilmektedir. Bu şekilde yaşanabilecek iş kazalarının önlenmesi sağlanabilmektedir.

3. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) Kullanımı: İşyerlerinde çalışan kişilerin baretler gibi KKD'lerin devamlı ve doğru bir şekilde kullanmaları önem arz etmektedir. İş kazalarının önlenmesinde KKD'lerin yeri tartışılmaz bir seviyededir. İşin özünde iş kazaları ve meslek hastalıkları tamamen yok edilememektedir. Sadece oluşabilecek zararları veya hasarları en az seviyede tutabilmek İSG faaliyetleri için yeterli olacaktır. Bu konuda yapılmış kapsamlı literatür çalışmaları bulunmaktadır (Uşar vd., 2018).

Yapay zekâ tabanlı analiz sistemleri, KKD'lerin kullanımlarını izleyerek noksanlıkları anında tespit edebilmekte ve yetkili kişilere rapor hazırlayabilmektedir. Bu duruma ek olarak KKD'lerin zimmet formuyla baret gibi koruyucu donanımların tam olarak teminleri sağlanabilmektedir (Akman, 2024). Şekil 5' te işyerlerindeki depolarda yapay zekâ destekli intenseye teknolojisinin kullanımına bir örnek gösterilmiştir (Akman, 2024).



Şekil 5. Depolarda Yapay Zekâ destekli intenseye teknolojisinin kullanımı (Akman, 2024). a) Çalışanların KKD'leri doğru bir şekilde kullanıp kullanmadıklarının intenseye teknolojisi ile izlenme görüntüsü. b) Çalışanların günlük çalışma ortamlarından bir görüntü.

Şekil 5'te görüldüğü üzere, çalışanların KKD'leri kullanıp kullanmama durumlarında ne tür iş kazaları ile karşılaşacaklarının anlaşılabilmesi amacıyla farklı alanlarda verilen uyarı görselleri paylaşılmıştır. Bu görsellerden çalışma ortamlarında hangi alanlarda iş kazalarının meydana gelip gelmeyeceği ve ne kadar sıklıkla yaşanabileceği belirlenebilmektedir. Bu intenseye teknolojisi, yapay zekâ tarafından desteklenen bir İSG platformudur. İşyerlerindeki kameraları kullanarak görünmeyen tehlikelerin ve risklerin görünebilmesini sağlar ve böylelikle İSG ile ilgili ekiplere tehlikelerin ve risklerin tespit edilebilme olanakları sunularak çalışanların hayatlarını kurtarmalarına yardımcı olunmaktadır. Intenseye teknolojisinin tak çalıştır yapay zekâ modelleri, KKD'lerin tespitinde, alan kontrollerinde, düzenin sağlanmasında, davranışsal iş sağlığı ve güvenliğinde, araçların kontrollerinde, pandemi kontrollerinde ve ergonomik açıdan riskli olan durumların tanımlayabilmek amacıyla tasarlanmıştır (TİSK, 2023). Yapay zekâ tabanlı iş sağlığı ve güvenliği analiz sistemlerinden en üst seviyede verim alınması amacıyla birtakım kurallara uyulması gerekmektedir. Bu kurallar aşağıda sıralanmıştır:

1. Baretlerin Kullanımı ve Kontrolleri: İşyerlerinde çalışan kişilerin baret kullanımları, yapay zekâ sistemleriyle rahatlıkla izlenebilmektedir. Baretlerin eksik olması durumlarında KKD zimmet formuyla teslim edilen noksanlıklar tamamlanmakta ve iş güvenliği uzmanları tarafından baret kullanımının önemi tüm çalışanlara düzenli eğitimler verilerek anlatılmalıdır. Ek olarak depo görevlileri baret kullanımını sahada dikkatlice takip etmelidir. Şekil 6' da baret kullanımının yapay zekâ teknolojileri kullanılarak kontrolünün yapılması ile ilgili görüntüler paylaşılmıştır.



Şekil 6. Baret kullanımının yapay zekâ kullanılarak kontrolünün yapılması (Akman, 2024). a) Depo çalışanlarının baret kullanımlarını geniş alanda intenseye teknolojisi ile izlenme görüntüsü. b) Depo çalışanlarının baret kullanımlarını izleme görüntüsü.

kullanımlarını dar alanda intenseye teknolojisi ile izlenme görüntüsü.

2. İş Makinesi – İş Makinesi Etkileşimi: İşyerlerinde saha çalışmalarında düzenin ve tertibin sağlanabilmesinde güvenli iş makineleri kullanımı ile ilgili tüm çalışan kişilere gerekli olan eğitimlerin verilmesi gerekmektedir. Çalışma alanındaki malzemelerin çalışma sahasından kaldırılması ile, düzenin ve tertibin sağlanmasında iş makinelerinin birbirleriyle güvenli bir uzaklıkta çalışmaları uygun olabileceği düşünülmektedir. İşyerlerinde depoların sorumlusu olan kişiler de saha düzeninin sürekliliğini sağlamak zorundadır.

Şekil 7’ de işyerlerindeki dinamik sınırlı alanlara bir örnek gösterilmiştir (Akman, 2024). İşyerlerinde çalışan kişilerin dağınık ve düzensiz bir şekilde çalıştıklarında, sahadaki diğer çalışanların düzenli ve tertipli olmaları konusunda dağınık ve düzensiz çalışan kişileri uyarmaları, hatalı durumları gerekli yerlere ve kişilere bildirmeleri ve saha denetimlerinde bu tür çalışan kişilere yardımcı olmaları beklenmektedir. İşyerlerinde çalışanların birbirlerine yardımcı olmaları, işyerlerine olan bağlılığı artırmakta ve iş güvenliği kültürünün yaygınlaşmasını sağlamaktadır.



Şekil 7. Dinamik sınırlı alan gösterimi (Akman, 2024). (Dinamik Sınırlı Alan: Çalışma ortamlarında belirli bölgelerdeki hareketli bir yapıya sahip olan veya aktif olarak kullanılan sınırlandırılmış alanları belirtmektedir) a) İşyerinde intenseye teknolojisi ile dinamik sınırlı alan gösterimi. b) İşyerindeki dağınık ve düzensiz çalışma alanlarından bir görüntü.

3. Yaya – İş Makinesi Etkileşimi: İşyerlerinde yayalara ayrılan yollar, güvenlik açısından devamlı kontrol edilmelidir. Hatalı veya noksan olan yollar tespit edilerek yeni yollar planlanmalıdır. İşyerlerindeki depolarda çalışanlara yaya ve iş makineleri yollarıyla ilgili eğitimler verilmeli ve güvenli etkileşimler sağlanmalıdır. Bu yolların kontrolleri depodaki sorumlu kişiler tarafından devamlı olarak yapılmalıdır. Şekil 8’ de işyerlerindeki statik sınırlı alanlara bir örnek gösterilmiştir (Akman, 2024).



Şekil 8. İşyerinde intenseye teknolojisi ile statik sınırlı alan gösterimi (Akman, 2024). (Statik Sınırlı Alan: Çalışma ortamlarında belirli bölgelerdeki durgun bir yapıya sahip olan veya pasif olarak kullanılan sınırlandırılmış alanları belirtmektedir)

İşyerlerinde görüntü işleme ve yapay zekâ teknolojilerinin İSG proseslerine entegrasyon çalışmaları, çalışma ortamlarını daha güvenilir olması amacıyla yapılan çalışmalardan oluşmaktadır. Gerçek zamanlı ihlallerin bildirimleri, detay içeren analitik raporlamalar ve KKD’ lerin kullanımının kontrolleri gibi yenilikler neticesinde iş güvenliği kültürü yaygınlaştırılabilmekte ve devamlı olarak geliştirilebilmektedir. Yapay zekâ ile desteklenen İSG analizleri, işçi sağlığı ve güvenliğinin sağlanması süreçlerini kolaylaştırmakta, daha güvenilir ve verimli olabilecek çalışma alanlarının düzenlenmesinde değerli katkıların bulunduğu düşünülmektedir (Akman, 2024).

4.4 Yapay Zekâ ve Meslek Hastalıkları Teşhisinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Bir kişinin veya kişilerin ayrı ayrı veya birlikte yapmış oldukları işten kaynaklanan, çalışma ortamında veya bir çalışma sonucunda meydana gelen veya sonradan ortaya çıkabilen sağlık problemlerine meslek hastalıkları denilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte meslek hastalıkları ve diğer hastalıkların tespitinde, birçok hastalığın erken teşhisinde ve tedavisinde yapay zekâ kullanılır hale gelmiştir. Özellikle lezyonların tespit edilmesinde, ayırıcı tanıların koyulmasında ve otomatik olarak tıbbi raporların oluşturulmasında yapay zekadan faydalanılmaktadır (Tempus Corporation, 2024). Tıbbi açıdan yaşanan birçok problemde geliştirilmiş yapay zekâ analizleri sayesinde problemler çözülmekte ve kanser araştırmalarındaki tıbbi belgeler kategorize edilebilmektedir (Che vd., 2023). Çalışan kişilerin genleri incelenmekte ve gelecek dönemlerde kendileri ile ilgili oluşabilecek meslek hastalıklarının ve diğer hastalıkların değerlendirilmesi işlemleri yapay zekâ teknolojisinin kullanılabildiği bir örnektir (Flaherty, 2009; Jarota, 2023). Bilindiği üzere, 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununa göre meslek hastalıkları; “Sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal özrürlülük halleri” şeklinde adlandırılmaktadır. Çalışma Hayatında Meslek Hastalığına neden olabilecek sebepler, Yapay Zekaya yüklenerek, Yapay zekanın tıp alanında uygulanmasıyla, belirli bir hastalık ile ilgili bilgiler bireysel hastalara uygulayabileceği gibi, doktorlara da hasta yönetiminde tavsiyelerde bulunması amacıyla Yapay Zekadan yararlanılabilmektedir. Japonya da Meslek Hastalıkları ile ilgili bir yapay zekâ uygulamasında; Yapay Zekâ’ya Hasta tecrübeleri ve yaklaşık 600 kuraldan oluşan bilgi tabanına dayanarak, potansiyel bakteriyel patojenlerin listesinin yüklenmesi ve daha sonra hastaların vücut ağırlığına uygun şekilde ayarlanmış antibiyotik tedavi seçeneklerinin eklenmesiyle, yapay zekâ sistemleriyle tanı koyma ve tedavi sunma süreçlerinde tıp sistemi daha ileri boyuta taşınmıştır. 1988 Yılında yine DX PLAİN olarak adlandırılan bir yapay zekaya girilen semptomlara göre tanı oluşturan karar destek sistemine ilk etapta 500 hastalıkla ilgili bilgiler verebilirken bugün bu sayı 2024 Yılı itibarıyla 2600’e kadar çıkmıştır. Yapay zekanın tıpta katetmiş olduğu bu tür gelişmeler 2020 ’li yıllardan itibaren makine öğrenimine olan ilgiyi artırmış ve modern tıbbın ilerlemesine yardımcı olmuştur (Oğur, 2024).

4.5 Yapay Zekâ Tabanlı Çalışan Yönetiminin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

İşletmelerde veya organizasyonlarda yapay zekâ tabanlı işçi yönetimi, tehlikelerin ve risklerin en az seviyede tutulabilmesinde, çalışan kişilerin yapmış oldukları hataların izlenmesinde ve iş kazalarının önlenmesinde algoritmaların yardımcı olabileceği düşünülmektedir. İşletmelerde veya diğer işyerlerinde yapay zekâ algoritmalarının kullanımıyla hazırlanan uygulamalarda risklerle ilgili olan faktörlerin ihlali durumunda erken uyarı sistemleri devreye girmekte ve işyerlerinde hazırlanan risk analizlerine katkı sağlayabilmektedir. Şu an aktif olarak uygulanan bu tür çalışmalarda çalışan kişilerin verimliliği dikkate alınarak kurulu sistem üzerinden işlemler yapılmaktadır. Gelecek dönemlerde ise, yapay zekâ teknolojileri kullanılarak daha çok İSG üzerine bir sistemin hazırlanması beklenmektedir (EU-OSHA, 2022). EU-OSHA, Yapay zekâ tabanlı işçi yönetim uygulamasını “İşçileri yönetmek için kullanılan, yöneticilere yönetimde kolaylık sağlayan yapay zekâ araçlarına” verilen ad olarak tanımlamaktadır. Bu araçlar; çalışma alanlarından, çalışan kişilerden, çalışan kişilerin yapmış oldukları işlerden ve çalışan kişilerin işler için kullandıkları (dijital) araçlardan gerçek zamanlı veriler toplamakta, sonraki aşamada bu toplanan verileri otomatik veya yarı otomatik olarak işleyip karar vericilere, insan kaynakları yöneticilerine, işverenlere, bazı durumlarda işçi temsilcilerine ve denetim süreçlerindeki iş müfettişlerine çalışan yönetimiyle ilgili sorular hakkında bilgi sağlamaktadır. Yapay zekâ uygulamalarının karar verebilme yetkilerini ve görevlerini yürütebilme kapasitesi bugün hemen hemen, orta seviye yönetimde bulunan kişiler tarafından yürütülebilen çalışmaların yönetiminde, emir verme, uygulama, karar alma vb. proselerde katkı sağlamaktadır. İşyerlerindeki oluşabilecek tehlikelerin ve risklerin en aza indirilmesinde, çalışan kişilerin hataların izlenmesinde, mevcut veya oluşabilecek iş kazalarının önlenmesinde, Yapay Zekâ algoritmaları kullanılarak risk faktörleri ihlal edildiği zaman, bu uygulamalar erken uyarılar vererek ve işyerlerindeki İSG risk analizlerine fayda sağlayarak iş güvenliği uzmanlarına ve yöneticilerine faydalı olabilmektedir (Oğur, 2024).

4.6 Büyük Veri Analizi ile Risk Belirleme ve Tahmin Edebilme İşlemlerinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

İşyerlerindeki önemli olan veri kaynakları; yaşanmış iş kazalarının raporları, çalışma ortamlarındaki sensörlerin verileri, çalışan kişilerin iş sağlığı ile ilgili bilgileri vb. veriler olarak kabul edilmektedir. Yapay Zekâ, büyük veri analitikleri ve örüntü tanıma yetenekleri aracılığıyla iş yerlerindeki tehlikeli ve riskli konuları ve bu tür bölgeleri belirleyebilmektedir. Zaman içerisinde veri analizleriyle iş yerlerindeki tehlikelerin ve risklerin artış veya azalış trendleri ile ilgili bilgilere de ulaşılabilir. Bu şekilde potansiyel tehlikeleri ve riskleri tespit edebilmek ve önleyici tedbirleri alabilmek amacıyla yönetici kişilere veya iş güvenliği uzmanlarına gerekli bilgileri sağlayabilmektedir. Ayrıca iş yerlerinin düzenlenmesinde optimizasyonu sağlayarak tehlikeleri ve riskleri azaltabilecek çözümler sunulabilir. İş yerlerinden alınabilen hareketli verilerin kullanılması, tüm çalışanların

ergonomik açıdan karşılaşılabilecekleri tehlikelerin ve risklerin olasılığının hesaplanmasını da uygun hale getirebilmektedir. Makine öğrenimi ve nesnelerin interneti vasıtasıyla da çalışanların yorgunluk düzeyleri algılanabilmektedir. Çalışan kişiler ve işverenler, yorgunluktan kaynaklanan potansiyel tehlikeler ve riskler konusunda uyarılabilmektedir (Corpus Sigorta, 2023). Örnek olarak bir fabrika ortamında belirli bir bölgede sık sık yaşanan iş kazalarında, yapay zekâ uygulamaları bu bölgenin tehlikeli ve riskli olduğunu ve öncelikli olarak dikkat edilmesi gerektiğini tespit ederek bilgi verebilir (isgbysuzaktanegitim, 2023).

4.7 Yapay Zekâ Algoritmaları ve Ruh Sağlığı İzleme İşlemlerinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay Zekâ algoritmaları, çalışan kişilerin e-postalarının, raporlarının, notlarının veya diğer yazılı materyallerinin üzerinde bulunan yazma kalıplarını çok yönlü bir şekilde analiz edebilmektedir. Bu tür analizler doğrultusunda bu tür algoritmalar çalışan kişilerin streslerini, endişelerini veya duygusal sıkıntılarını, psikolojik sıkıntılarını ve stres düzeylerini, yazma ve konuşma kalıpları kullanarak analizlerle belirleyebilmektedir. Çalışanların konuşmaları, telefon görüşmeleri, toplantılar veya diğer konuşma ortamları kaydedilerek veya metinleri analiz edilerek mobbing olayları da yakalanabilmektedir. Ayrıca çalışan işçilerin aralarındaki konuşmalar veya e-posta bilgileri, Yapay Zekâ algoritmaları tarafından incelenebilmekte ve oluşabilecek ihlaller veya istenmeyen davranışlar belirlenebilmektedir. Örnek olarak, çalışanların kullanmış oldukları belirli ifadeler, saldırgan diller veya cinsiyetçi söylemler gibi nedenler, yapay zekâ sistemleri tarafından tespit edilerek ilgili olaylar engellenebilmektedir. Olumsuz veya stresli bir dilin kullanımı, tekrarlanmış kelimeler, negatif içerikli vurgular veya hızlıca değişebilen yazı tarzları gibi unsurlar, çalışan işçilerin stres seviyelerini gösterebilmektedir. Bu tür analizler, konuşma hızları, tonlama, duygusal vurgular ve belirli kelimelerin kullanımı gibi faktörlerin değerlendirebilmesinde kullanılmaktadır. Örnek verecek olursak, normal olmayan bir konuşma hızının veya yükselen bir stres seviyesinin, çalışan kişinin zor bir durumda olduğunu veya psikolojik problemler yaşadığını gösterebilmektedir. Bu tür tespitler, işverenlere veya insan kaynakları departmanlarına bilgi sağlayarak problemlerin çözülmesinde ve çalışma ortamlarının daha güvenli ve destekleyici hale getirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Buradaki önemli olan diğer bir nokta ise, bu tür durumlar için kişisel verilerin korunması konusunda kapsamlı bir düzenleme yapılması gerektiğidir (Corpus Sigorta, 2023; isgbysuzaktanegitim, 2023).

4.8 Sohbet Robotları, Çalışanların Eğitimi, Oyun Mekaniği İşlemlerinin İş Sağlığı ve Güvenliğinde Kullanım Alanları

Yapay Zekâ teknolojileri ve uygulamaları, interaktif eğitim platformları veya sanal gerçeklik simülasyonları gibi teknolojik araçlarla çalışan kişilere eğitimler verilmesi sağlanabilmektedir. Bu tür eğitimler, çalışan kişilerin İSG ile ilgili konularda farkındalıklarını artırılmasında, tehlikeli ve riskli durumların daha iyi tanınmasında tüm çalışan kişilere yardımcı olabilmektedir. Yapay Zekâ tarafından desteklenen sohbet robotları ve sanal asistanlar, çalışan kişilerin sorularını yanıtlayabilmekte, iş ile ilgili bilgilere erişimini sağlayabilmekte ve çalışan kişilerin memnuniyetlerini artırmaya yardımcı olabilmektedir. Bu şekilde, çalışan kişiler iş proseslerini daha verimli bir şekilde yönetebilmekte ve iş ile ilgili konularda daha hızlı çözümler elde edebilmektedir. Ayrıca oyun sistemleri vasıtasıyla çalışan kişiler motive de edilebilmektedir. Ödüllendiren bir oyunlaştırma teknolojileri de iş güvenliğine olan bağlılığı artırabilmektedir. Çalışanların oyunlardaki başarılarına göre kişilere puanlar, rozetler veya ödüller verilebilmektedir. Bu durum, çalışan kişilerin bu tür aktivitelere daha fazla katılım göstermelerini teşvik etmekte, çalışan kişilerin işlerine daha rahat odaklanmalarını, takım çalışmalarına gönüllü olarak katılmalarını sağlamakta ve sonuç olarak çalışanların iş verimliliğini artırabilmektedir. Bireyselden topluma ruhsal ve bedensel olarak çalışanların sağlıklarının korunması, ekonomik kalkınmanın sağlanmasında da etkili olmaktadır. İşyerlerindeki planlanan hedeflere ulaşabilmek amacı ile kullanılacak sağlıklı yöntemlerin ve teknolojilerin gerekliliği tartışılmaz bir konumdur. İşyerlerinde güvenli bir çalışma hayatı için yapay zekâ teknolojilerinin tüm çalışanlara yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Corpus Sigorta, 2023; isgbysuzaktanegitim, 2023). Birleşmiş Milletler UNESCO-UNEVOC tarafından hazırlanmış olan bir raporda; çalışan işçilerin eğitimlerinin, yenilikçi yöntemlerle benimsenen Yapay Zekâ uygulamaları kullanılarak verilmesi durumunda, eğitime katılan kişiler üzerinde fayda sağlayacağı belirtilmektedir. Bu raporda; Yapay Zeka uygulamalarının çalışan işçilerin eğitim programlarına entegrasyonunun çalışan kişilerin bilgilerini ve becerilerini güncel olarak tutmada önemli bir rol oynadığını ileri sürmekte ve içerik üretiminin yanı sıra; çalışan kişilerin eğitim ihtiyaçlarının tespitinde, çalışanlara yönelik özel eğitimlerin içeriklerinin hazırlanmasında, çalışma sektörlerine yönelik özel eğitim içeriklerinin hazırlanmasında, eğitim sonucundaki değerlendirmelerde Yapay Zekâ teknolojileri kullanıldığında, etkili eğitim sonuçlarının alındığını birçok örnek uygulama ile ortaya konulmaktadır. Bu tür veriler sayesinde, ortaya konulan bir tespit, özellikle Amerika, Japonya ve Avrupa Birliği ülkelerindeki Global faaliyet gösteren Yapay Zekâ uygulamalarının sektörel olarak istihdam edilebilecek olan çalışanların, aradıkları becerilere sahip olup olmadıklarının seçiminde ve tespitinde, yapay zekâ araçlarının kullanıldığına dair veriler de bu raporda belirtilmektedir. Bu durum ise, bu

uygulamaların iş kazalarının %98 'i içerisinde yer alan %88 İnsan Hatalarından kaynaklanan tehlikelere karşı istenilen, nitelik, beceri ve eğitim düzeyine sahip çalışanların seçiminde ne kadar önemli bir araç olarak kullanılabileceğini bize açık bir şekilde göstermektedir (Oğur, 2024).

5. SEKTÖREL İŞ KAZALARININ YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ VE UZMAN SİSTEM UYGULAMALARI YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

5.1 İnşaat Sektörü

Günümüzde inşaat sektörü, iş kazalarının görülebildiği en bilinen sektörlerden biridir (Güranlı, 2015). İnşaat sektöründe yaşanabilecek olan tehlikelerin ve risklerin kaynakları, ülkemizin genel teknoloji durumuna ve sosyoekonomik yapısına bağlı olarak inşaat sektörünün kendisiyle özdeşleşmiş koşullarında, süreç bazlı yapılar yerine proje bazlı yapıların olması da tehlikelerin ve risklerin artmasına neden olmaktadır (Güranlı, 2015; Ceylan, 2014). Bu nedenle; işlerin yapılma yöntemleri, makineler, malzemeler, çevre şartları gibi faktörler üretimin her aşamasında devamlı olarak değişmesinden dolayı tehlikelerin ve risklerin değerlendirilmelerinde de sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi zorlaşmıştır (Öztürk & Heperkan, 2021). İnşaat sektöründeki firmaların genellikle uluslararası standartlara uygun bir yapılarının olmaması ve üst seviyede yönetim anlayışlarına da sahip olmamaları, çalışma faaliyetlerinin çoğunluğunun açık havada yürütülmesi, standart çalışma koşullarının olmaması, çalışanların çalışma ortamlarının fiziki yapısının kolay kontrol edilememesi, istihdam edilen büyük bir kısmın eğitim seviyesinin düşük olması, sektördeki tehlikelerin, risklerin ve iş kazalarının fazla olması, yaşanan olumsuzlukların nedenleri arasında gösterilebilmektedir (Ceylan, 2014). Literatür çalışmalarında inşaat sektöründeki araştırma sonuçlarında iş kazalarının nedenleri ve yaralanma çeşitleri; göze yabancı cisimlerin kaçması, kesici ya da batacık aletler sebebiyle oluşabilecek kazalar, yüksekten düşmeler, bedenin ya da bir uzvun iki cisim arasında olması sebebiyle sıkışmalar veya ezilmeler, taşıma işleri sırasında taşınmakta olan cisimlerin düşürülmesi sebebiyle oluşabilecek yaralanmalar, hareket eden cisimlerin etraftaki malzemelere çarpması, hemzemin ortamlarda takılarak düşmeler olarak sınıflandırılabilir (Karadağ ve Kepekli, 2018). Şekil '9 da inşaat sektöründe yaşanan iş kazalarına bir örnek gösterim paylaşılmıştır (ÇSGB, 2025a).



Şekil 9. İnşaat sektöründe yaşanan iş kazalarına bir örnek gösterim (ÇSGB, 2025a).

Şekil 9'da inşaat sektöründe yüksekten düşmeden kaynaklanan iş kazalarına bir örnek paylaşılmıştır. Bu tür iş kazalarının yaşanmaması için yapılması gerekenler belirlenmeli, yaşanan iş kazalarının kök-neden analizleri hazırlanmalı ve bu tür iş kazalarından sonra risk değerlendirmeleri yenilenmelidir.

İnşaat sektöründeki Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak hazırlanan bilimsel çalışmalar değerlendirildiğinde: Türker & Kanit (2020) tarafından yapıların üretim proseslerindeki iş kazalarının şiddetinin Ön Bilgilendirilmiş Yapay Öğrenme Metoduyla tahmini kaza şiddetiyle kaza önlemleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışmada iş kazalarında ne tür önlemlerin alınabileceği ve önlemlerin alınmadığında sonuçların ne olabileceğine dair Bütünleşik Tahmin Modeli, AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve YSA (Yapay Sinir Ağları) ile bütünleşik olarak geliştirilerek tehlikeleri ve riskleri azaltan önlemlerle kaza şiddeti arasında %90 oranında bir ilişki olduğu kanısına varılmıştır. Tokdemir & Ayhan (2019) tarafından keskin bir cisimle teması sonucunda yaralanmalı kazaların Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Yapay Sinir Ağları ile analizleri yapılarak, %78 doğrulukla iş kazası tehlikelerini ve risklerini tahmin edebilen başarılı bir model oluşturulmuştur. Patel & Jha (2014) tarafından yapılan çalışmada inşaat projelerinde güvenli iş davranışlarının tahmininde Yapay Sinir Ağları modeli oluşturularak, güvenli çalışma davranışlarını ve çalışan kişilerin güvenliklerinin etkin bir şekilde yönetimi üzerine müteahhitlere ve müşterilere yardımcı olabilecek öneriler sunulmuştur. Jeelani vd., (2021), inşaatlar için gerçek zamanlı vizyon tabanlı işçilerin lokalizasyonu ve tehlikelerin ve risklerin tespitleri için Derin Öğrenme kullanılarak, dinamik tehlikelerin gerçek zamanlı tespitlerinde %93'ün üzerinde doğruluk elde edildiğini belirtmişlerdir. Khan vd., (2021) tarafından Derin Evrişim Sinir Ağlarından yararlanılarak mobil iskelelerin izlenebilmesi amacıyla Güvenlik Kuralı Korelasyonunu kullanmayla mobil iskeleler için önerilen Bilgisayarlı Görü Tabanlı Risk Tanıma Sistemi oluşturulmuş ve %86 genel

doğruluk oranıyla modülün uygulanabilirliği doğrulanmıştır. Lee & Han (2021); bir iskele yapısının hızlanma özelliklerini kullanarak düşme ile ilgili hareketlerin tanınması amacıyla Evrişimli Sinir Ağı Modellemesiyle iskelelerin hızlanmalarının, çalışanların hareketlerini tanıyabilmek için yeterli bilgileri içerebileceğini ve modelleme stratejilerinin önceden tanımlanmış öncülleriyle problemsiz bir şekilde sınıflandırılıp ayırt edebileceğini belirtmiştir. Wu vd., (2021) inşaatlarda yerinde güvenlik yönetimi amacıyla Bilgisayarlı Görü ile Anlamsal Akıl Yürütmeyi birleştirerek oluşturduğu modelle, önerilen çerçevenin emniyetteki yöneticilerinin düşünme modeline benzer şekilde çalıştığını ve görüntülerden tehlikeleri ve riskleri anlamsal olarak akıl yürüterek ve karşılık gelen azaltmaları listeleyerek yerinde tehlikeleri ve riskleri tanımlamayı ve önlemeyi kolaylaştırabileceklerini açıklamışlardır. Savadkoohi vd., (2021) çalışmasında, çalışanların düşme risklerinin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi amacıyla Kuvvet Plakası Zaman Serisi Sinyalini kullanmışlardır. Bu çalışmada Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN), Uzun Kısa Zamanlı Bellek (LSTM), Tek Boyutlu Evrişimli Sinir Ağı (1D-CNN) ile önerilen Bir-Bir-Bir Derin Sinir Ağı sonuçları karşılaştırılmıştır. Hazırlanan Bir-Bir-Bir Derin Sinir Ağı modelinin çalışanların düşme risklerini tahmin eden en verimli sinir ağı olduğunu tespit etmişlerdir.

Literatür çalışmalarının geneli incelendiğinde inşaat sektöründe Yapay Sinir Ağı ile sadece Sıklık Tahminine dayalı çalışmalara rastlanmamıştır (Caner Akın vd., 2021). İnşaat sektöründe görülen ölümlü iş kazalarının sınıflandırılması ve sektörel iş kazalarına dair farkındalığının artırılması amacıyla, 2013-2023 yılları arasında meydana gelen iş kazaları analiz edilmiştir. Sosyal Güvenlik Kurumu'na yapılan iş kazası bildirimleri üzerinden yapılan analizlerde, 4575 veriye (toplam verilerin yaklaşık %87'si) erişim sağlanabilmektedir. İlgili veriler doğrultusunda, inşaat sektöründe ölümlü iş kazası sebepleri sırasıyla; yüksekte düşme kaynaklı kazalar (%39,9), trafik ve iş makinası kazaları (%17,1), sağlık sorunları (%13,3), elektrik kazaları (%5,4), iş ekipmanı kaynaklı kazalar (%5,0), malzeme kaynaklı kazalar (%4,7), kazı ve toprak kayması kazaları (%3,1) ve diğer sebepler (%11,5) olarak paylaşılmıştır (ÇSGB, 2025b). Bu çalışmadaki amaç; İSG kapsamında inşaat sektöründe yaşanmış gerçek kaza verilerinin Yapay Sinir Ağı ile eğitilerek, risk değerlendirmesinde kullanılabileceği, alınabilecek kararları olumlu yönde destekleyebilecek ve kazaları minimize etmeye yardımcı olacak kaza sayılarını öngören bir model oluşturmaktır. Karar verici kişilerin İSG risk analizinin hazırlanması sırasında ihtiyaç duyduğu parametrelerinden biri olan kazaya ait Sıklık (Frekans) kavramı, oluşturulan modelle tahmin edilebileceğinden dolayı risk değerlendirmesiyle ilgili sonuçların daha gerçekçi yaklaşıma ulaşılacağı öngörülmektedir. İstanbul' da faaliyet gösteren bir Ortak Sağlık ve Güvenlik Biriminin 2016-2019 yıllarında ait inşaat projelerinde meydana gelen 644 adet iş kazası verileri alınarak yüksek doğruluk oranlı kaza sayısı tahmini elde edilebilmiştir (Caner Akın vd., 2021).

Yapay Zekâ uygulamaları, inşaat sektöründe hem prosesleri hızlandırmak hem de verimliliği artırmak amacıyla gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. McKinsey'in 2020'de yaptığı bir araştırmaya göre, Dünya genelinde inşaat projelerinin yalnızca %6'sında Yapay Zekâ aktif olarak kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Fakat sektörde dijitalleşmenin hız kazanması ile bu oran her yıl hızla artmaktadır. Boston Consulting Group (BCG) tarafından yayımlanan 2023 yılı raporunda, büyük ölçekli inşaat projelerinin %25'inde Yapay Zekâ çözümlerinin kullanıldığı ve bu oranın önümüzdeki 5 yıl içinde %45'e ulaşmasının beklendiği vurgulanmaktadır. Yapay Zekâ teknolojileri, özellikle proje ilerleme takibi, maliyet yönetimi, güvenlik, proje planlama ve risk analizlerinde büyük fırsatlar sunmaktadır (Mança, 2024). Şekil' 10 da inşaat sektöründeki Yapay Zekâ uygulamalarını belirten temsili bir görsel paylaşılmıştır.



Şekil 10. İnşaat sektöründeki Yapay Zekâ uygulamalarını belirten temsili bir görsel (Mança, 2024).

Şekil 10'da görüldüğü gibi, inşaat sektöründeki projelerin ilerleme aşamalarının takip edilmesinde, tehlikelerin ve risklerin belirlenip analizlerinin hazırlanmasında, inşaat maliyetlerinin azaltılmasında ve yönetilmesinde, proje planlamalarında, güvenlik esaslarının takibinde yapay zekâ teknolojileri kullanılmaktadır.

5.2 Metal Sektörü

Sanayi devriminden sonra birçok sektörde olduğu gibi ana metal sektöründe de önemli gelişmeler görülmüştür.

Sanayi devriminin sonucunda Dünya'nın tamamına yakınında daha fazla metal ürünlere ihtiyaç duyulmuş, yeni metal ürünlerinin üretilmesiyle fabrikaların artan metal ihtiyaçları ana metal sektörünün daha çok önem kazanmasına neden olmuştur. Metal sektöründeki ürünlere olan ihtiyaçlar ve kullanım çeşitlilikleri bakımından ana metal sektörü imalat sanayisinde önemli sektörlerden biri olarak görülmektedir. Ana metal sektöründe; diğer sektörler gibi ürün ihtiyaçlarını karşılayabilen bir sektör olmasından sebebiyle başta gemi inşaatlarında, inşaatlarda, otomotivde, demiryolu sanayiinde, savunma sanayiinde, makina imalat sektöründe vb. birçok sektörde diğer sektörlerle birlikte iş birliği yapılabilmektedir (Ateş, 2008; Şahinkaya, 2015).

Ülkemizde bulunan işyerlerinin %98'i, ana metal sektöründe ise, %93,3'ü çalışan sayısı ellinin altında olan küçük ve mikro ölçekli işyerlerinden oluşmaktadır. İlgili Bakanlık çalışanları olan iş müfettişleri tarafından yapılan İSG denetimlerinde işyerlerinde güvenlik kültürünün oluşturulabilmesi amacıyla önemli tespitlere ulaşılmıştır. Bu teftişlerin sonucunda işyerlerinde sağlık ve güvenlik şartlarındaki durumların tespit edilebilmesi, işverenlerin ve İSG alanlarındaki çalışanların işyerlerinin durumları ile ilgili bilgi sahibi olabilmesi, yapılan çalışmaların mevzuatlara uygun olup olmadığının görülebilmesi açısından pozitif yönde fayda sağladığı belirlenmiştir (Erin vd., 2023). Ayrıca, metal sektörü, rekabetçi bir ortamın yaşandığı ve esnek çalışma biçimlerinin yaygınlaştığı demir – çelik, döküm, ham çelik, ferro alaşımlar, demir dışı metaller-alüminyum ve bakır başta olmak üzere ana sanayi kollarını içinde barındırması nedeniyle ülkemizde motor sektörü olma özelliğine sahip olmaktadır. Bu sektör, yapısı nedeniyle bulundurduğu tehlikeler ve riskler sebebiyle bilgiler, deneyimler, uzmanlıklar ve devamlı denetimler gerektiren ağır ve tehlikeli sektörlerin başında geldiği belirtilmektedir (Demir, 2009).

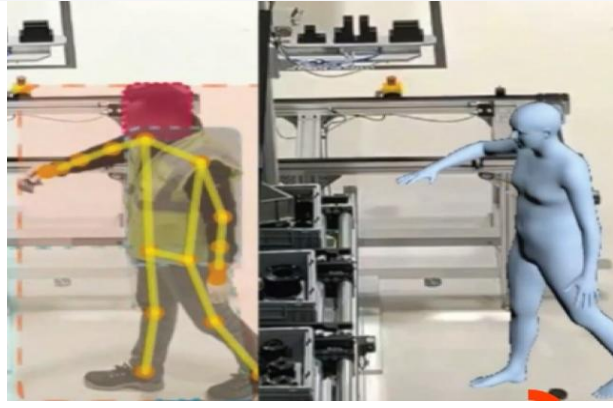
Sahip oldukları farklı özellikleri sebebiyle, teknolojik gelişmeler ışığında kullanım alanları hızla yaygınlaşan metaller, endüstride geniş bir uygulama alanına sahip olmaktadır. Bütün sanayi türlerinin lokomotif niteliğindeki metal sektörü, içerdiği iş gücü ve ekonomik büyüklük açısından ülkemizin en önemli sanayi kolu olarak kabul edilmektedir. Çağımızda yaşanan hızlı değişimlerle üretimler ve rekabetçi ortamlar artmakta, iş kazaları sonucunda çalışan kişilerin İSG'ye yönelik tehlikeler ve riskler giderek artmaktadır (Güllüoğlu & Güllüoğlu, 2019). Günümüzde metal sektörü, iş kazalarının en çok görüldüğü sektörlerden arasındadır. Şekil 11' de metal sektöründe yaşanan iş kazalarından bir görünüm paylaşılmıştır (Atabey, 2019).



Şekil 11. Metal sektöründe yaşanan iş kazalarından bir görünüm (Atabey, 2019).

Şekil 11'de görüldüğü üzere, metal sektöründe ölümcül iş kazaları yaşanabilmektedir. Bu tür ölümcül iş kazalarının yaşanmaması amacıyla işyerlerinde ve diğer çalışma ortamlarında çalışanların dikkatli bir şekilde takip edilmesi ve gerekli uyarıların zamanında yapılması gerekmektedir.

Bilgisayarlı Görü Teknolojisi, iş yerlerini gerçek zamanlı olarak analiz etmekte ve potansiyel İSG ile ilgili tehlikeler ve riskler konusunda çalışan kişileri veya süpervizörleri uarmaktadır. Yapay Zekâyla Bilgisayarlı Görü, çalışan kişileri gerçek zamanlı olarak bilgilendirip ekiplerin İSG prosedürlerini takip edebilmelerine ve gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olmaktadır. Potansiyel İSG tehlikelerini, risklerini ve güvensiz davranışlarını tespit edebilen Bilgisayarlı Görü Teknolojisi iş yerlerinde yaşanan iş kazalarının ve yaralanma risklerinin azaltılmasında önemli görevler üstlenmektedir. Çalışan kişiler kendilerini iş yerlerinde güvende hissettiklerinde daha verimli olduklarını ve işyerlerine olan bağlılıklarının arttığını belirtmektedirler (TİSK, 2023). Çalışan kişilerin gizlilik durumları ve etik açıdan kaygılarının azaltılabilmesi amacıyla 3D Anonimleştirme Yöntemiyle Yapay Zekâ uygulamaları kullanılabilmektedir. 3D Anonimleştirme Yöntemi ile Yapay Zekâ, işyeri ortamlarındaki kişileri tamamen tanınamayacak hale getirirken, güvensiz durum ve davranışları tespit edebilmek için genel şartları bozmadan hareket etmektedir. 3D Anonimleştirme Yöntemi, gerçekçi renderlanmış animasyonlar yerleştirerek anonimleştirmeyi sağlamaktadır (TİSK, 2023). Şekil 12'de 3D Anonimleştirme Yöntemiyle Yapay Zekânın, işyeri ortamlarında kullanıldığı bir görsel paylaşılmıştır (TİSK, 2023).



Şekil 12. 3D Anonimleştirme Yöntemiyle Yapay Zekâ, işyeri ortamlarındaki kişileri tamamen tanınmaz bir şekilde gösterebilmektedir (TİSK, 2023).

Şekil 12’de görüldüğü gibi, 3D Anonimleştirme Yöntemiyle Yapay Zekâ uygulamaları kullanılarak çalışanların özel görüntüleri tanınmayacak bir şekle getirilip çalışanların daha rahat bir şekilde çalışabilmeleri, gizlilik durumlarının korunabilmesi ve birtakım özel kaygıların azaltılabilmesi sağlanabilmektedir. Bu şekilde çalışanların güvenliği, hiçbir çalışanı rahatsız etmeden ve zaman kaybetmeden kontrol edilebilmektedir.

5.3 Lojistik Sektörü

Ülkemizde ve Dünya’da hızla gelişen lojistik sektöründe İSG uygulamalarının değeri gittikçe artmakta olduğu belirtilmiştir (Cengiz & Akşit, 2023). Bütün sektörlerin ihtiyacı olduğu ürünler, hammaddeler, teçhizatlar, malzemeler ve bilgilerin istenildiği yerlerde ve zamanlarda akışın sağlanabilmesiyle taşımada, depolamada, dağıtımda, teslimatta vb. faaliyetlerde çalışmaların etkinliği ve verimliliği amacıyla gerçekleştirilebilmesi süreçlerine “Lojistik” adı verilmektedir (Bakan & Şekkeli, 2017). Özellikle lojistik sektörde yaşanan istihdamdaki ve iş hacminde görülen hızlı artışlar sebebiyle güvenli çalışma ortamlarının oluşturulabilmesi ve lojistik işletmelerinde görülen güvenlik kültürü çalışmalarının öncelikli bir konu olarak değerlendirilebilmesinin gerekliliği net bir şekilde görülebilmektedir (Baylan & Karaçevirgen, 2019). Bu tür iş prosesleri esnasında yaşanabilecek olan iş kazaları tedarik zincirinin tamamında kesintinin yaşanma olasılığını taşımakta olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, iş kazalarının azaltılabilesinin en önemli parametreleri İSG uygulamalarının benimsenebilmesi ve işletmeler içerisinde bir İSG kültürünün oluşturulabilmesidir (Özaslan, 2011). Lojistik sektöründeki işletmelerde en iyi uygulamaların seçilebildiği bir güvenli işletme kültürü oluşturabilmek amacıyla devlet otoritesi, sektör paydaşları ve çalışan kişilerden oluşan bütün paydaşların birlikte hareket edebileceği etkili ve süreklilik gösteren bir eğitim konseptine sahip olunabilmesi gerekmektedir. İSG uygulamalarının lojistik işletmelerindeki birinci amacı iş proseslerinde yaşanabilecek kesintileri en aza indirebilecek proses etkinliğinin sağlanabilmesidir (Auyong vd., 2014). İSG politikalarının uygulanmasında ve diğer proseslerde önleyici proaktif yaklaşımın sergilenebilmesinde öncelikle işletmelerdeki yönetimlerin ve çalışan kişilerin güvenlik konularındaki farkındalıklarının artırılabilmesi için çalışmalar yapılmaktadır (Akan & Dalbay, 2015). Lojistik faaliyetleri içerisinde taşımacılık sistemleri, depolama faaliyetleri, stok yönetimleri, malzemelerin tedarik prosesleri, bilgilerin yönetimi, elleçleme ve paketleme işlemleri, satış sonrası işlemler vb. birçok iş prosesi için yoğun işgücü gerektiren, İSG bakımından belirli tehlikeler ve riskler taşıyabilen özellikleri nedeniyle çalışan kişilerin İSG konularında bilinçli olabilmelerini gerekli kılmaktadır (Özaslan, 2011). Şekil 13’ te lojistik sektörde yaşanmış olan bir iş kazasının görünümü paylaşılmıştır (Kürekçi, 2020).



Şekil 13. Lojistik sektöründe yaşanmış olan bir iş kazasının görünümü (Kürekçi, 2020).

Lojistik hizmetleri üretebilen işletmelerde İSG uygulamalarının etkili bir biçimde gerçekleştirilebilmesinde ve

güvenlik bilincinin oluşturulabilmesinde kararlı bir liderlik yapısına ihtiyaç vardır. İşletmelerdeki yönetim kadrosundaki kişilerin yapabileceği liderlikle birlikte çalışan kişilerin İSG konusundaki yetkinliklerinin arttırılabilmesi için devamlılık sağlayan eğitim mekanizmalarının oluşturulabilmesi gerekmektedir. İşletmelerin açık bir güvenlik politikasının olması çalışan kişiler için önemli bir avantaj olacaktır (Auyong vd., 2014). Yapay Zekâ uygulamaları; lojistik zincirinin talep tahminlerini, müşteri kaybı tahminlerini, sipariş toplamaları, ürün takiplerini, depolamaları, envanter yönetimlerini ve operasyon planlamaları gibi birçok aşamada kullanılmakta ve bu uygulamalardan olumlu sonuçlar alınabilmektedir. Yapay Sinir Ağları metoduyla stok maliyetlerinde azalmalar, bilgisayarla görme ile gerçek zamanlı envanter yönetimleri, robot teknolojileri ile sipariş toplama verimliliklerinde artışlar, otonom araçlarda ve drone teknolojisi destekli hızlı ve güvenli teslimatlar yapılabilmektedir (Aylak vd., 2021). İşyerlerinde depolarda çalışan kişiler, ağır yüklerin kaldırılması veya forkliftlerin kullanımı sırasında çeşitli tehlikelerle ve risklerle karşılaşabilmektedirler. Yapay Zekâ uygulamaları, bu tür problemlili durumları analiz ederek işyerlerinin güvenliğini artırabilmektedir. Lojistik sektöründeki yapay zekâ uygulamalarına bir Fransız firmasının hazırlamış olduğu uygulama örnek olarak verilebilir. Bu firma, işyerlerindeki rafların performanslarını ölçebilmek, ürünleri izleyebilmek amacıyla Bilgisayarla Görme Tabanlı Yapay Zekâ uygulamalarını kullanmaktadır. Derin Öğrenme ve Görüntü Tanıma özelliklerini kullanabilen bu firma markaların, etiketlerin, logoların, fiyat etiketlerinin ve raf durumlarının vb. bilgilerin özelliklerini çıkararak ve Bilgisayarla Görme teknolojisini kullanarak bireysel parçalar ve stok düzeylerinde Gerçek Zamanlı Envanter Yönetimine imkân sağlayabilmiştir. Şekil 14'te Bir firmanın Bilgisayarla Görme örneği paylaşılmıştır (Aylak vd., 2021).



Şekil 14. Bir firmanın Qopius bilgisayarla görme örneği (Aylak vd., 2021). a) Bir firmaya ait akıllı telefon ile çekilen perakende rafın görüntüsü. b) Qopius ile görselleştirilmiş raf görüntüsü.

Şekil 14'te görüldüğü üzere, lojistik sektöründe çalışan bir firmanın raf sistemindeki eksikliklerin veya hataların bilgisayar teknolojisi kullanılarak fark edilebilmesi, firmanın ürünlerini rahat bir şekilde kontrol edebilmesini ve ürün denetimlerinin hatasız bir şekilde yapılabilmesini sağlamaktadır. Bu durum ise, firmanın kontrollü bir şekilde büyüebilmesinde önemli bir etken olacaktır.

Lojistik sektöründe siparişlerin toplanmasında kullanılabilen yapay zekâ uygulamalarına bir örnekte Hollandalı teknoloji firmasının çalışmasıdır (Robinson, 2020). Firma, Derin Öğrenme algoritmaları ile Robot Teknolojisini birleştirerek ürünlerin tanımlanmasında, analiz edilmesinde ve toplanmasında kullanılan işlemleri otomatik bir şekilde yapabilmektedir. Bu sayede lojistik operasyonlar içerisinde kısa bir sürede ürünlerin tanımlanmaları ve istenilen yerlere taşınabilmeleri gerçekleştirilerek başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Şekil 15' te bir teknoloji firmasının sipariş toplama robotları görülmektedir (Fizyr, 2025).



Şekil 15. Bir teknoloji firmasının sipariş toplama robotlarından iki farklı görünüm (Fizyr, 2025).

Lojistik sektöründe kullanılan sipariş toplama robotları, teknolojinin doğru kullanıldığında insanlığa ne kadar faydalı olabileceğinin en güzel örneklerinden biridir. Gerek zamandan ve mekândan gerekse çalışanların iş

yükünün hafifletilebilmesi ve çalışanların ergonomik olarak rahat edebilmeleri açısından bu tür robotlar sektörde önemli bir yere sahiptir. Ürünlerin hızlı ve hatasız bir şekilde ulaşmaları gereken noktalara taşınabilmesinde ve teslimatında teknolojik sistemlerden faydalanılması gerektiği açıkça görülmektedir.

Lojistik sektöründe otonom araçlarla beraber drone teknolojileri de kullanılmaktadır. Dünya lojistik sektörüne yön verebilen büyük firmalar drone taşımacılığıyla kısa mesafeli teslimatlarla taşıma sürelerini önemli ölçüde azaltarak lojistik verimliliğinde başarılı sonuçlara ulaşmışlardır. Şekil 16'da Dünya çapında tanınan bir lojistik firmasının kullandığı drone aracı görülmektedir. Bu araç, Yapay Zekâ teknolojisi destekli olmasından dolayı drone teslimat rotasının belirlenmesi, hedeflere güvenli ve hızlı bir şekilde ulaşılması ve yüz tanıma teknolojisiyle kimlik doğrulaması işlemlerinin yapılabilmesi amacıyla Akıllı Navigasyon Sistemini kullanmaktadır (Hua & Zhang, 2019).



Şekil 16. Dünya çapında tanınan bir lojistik firması tarafından kullanılan teslimat aracı (Amazon, 2020).

Günümüz Drone teknolojisi, artık birçok sektörde kullanılmakta ve gelecek dönemler için kendi endüstrisini oluşturacağı düşünülmektedir. Lojistik sektöründeki rekabetçi piyasa koşulları drone teknolojisinden ve yapay zekâ teknolojilerden de faydalanılması gerektiğini bu sektördeki paydaşlara göstermektedir.

Lojistik firmalarının kendi aralarında rekabet edebilmeleri, genellikle insan-yapay zekâ iş birliğine bağlı olmaktadır. İnsan-yapay zekâ iş birliğindeki engellerden bir tanesi de yüksek nitelikli çalışan kişilerin sayısı olarak az olmasıdır. Bu nedenle profesyonel insan kaynağı yönetimlerine daha da ciddiye alınmalı ve bu konularda daha fazla yatırım yapılması sağlanmalıdır (Aylak vd., 2021).

5.4 Madencilik Sektörü

Madencilik sektöründeki çalışmalar genel olarak uzun süreli ve zor olan proseslerden oluşan bir yapıya sahiptir. Madencilik sektörünün temel problemleri; maden rezervlerinin bulundukları konuma, çalışan kişilerin sayısına, madenlerin büyüklüklerine, yapılan işlerin sürelerine, hava şartlarının uygunluğuna, İSG uygulamalarına verilen önem derecesine vb. faktörlere göre değişebilmektedir (Şengöz & Bozkurt, 2025b). Madencilik sektörünün yapısındaki zorluklar neticesinde çalışma sahalarında tehlikelerin ve risklerin sayısı tahmin edilenden daha fazla olmaktadır. Ülkemizde özellikle kömürlerin ve linyitlerin çıkarılma işlemlerinde alt sektörde yaşanan tehlikeleri ve riskleri incelediğimizde maden havzalarında yaşanabilecek süreklilik arz eden değişimler, jeolojik şartların ve ortam şartlarının değişken olması etkenleri ile birlikte üretimlerin yapılabilmesi, doğadaki zorlu şartlar ile devamlı olarak sürececek mücadelelere göğüs gerebilmek vb. durumlar madencilik sektörünü diğer sektörlerle oranla daha da tehlikeli ve riskli hale getiren faktörler olarak belirtilebilir. Bilhassa yeraltı kömür madenciliğinde yaşanan bu tür dinamizmler sebebiyle İSG uygulamaları daha da fazla öneme sahip olacaktır denilebilir. Dünya çapında özellikle de ABD'de 1940'lı yıllara kadar madenlerde yaşanan iş kazaları ve gerçekleşen kazalardaki ölüm sayıları zamanla giderek artmıştır. Bu olaylardan sonra, İSG ile ilgili yeni mevzuatların çıkartılması ve uygulanması, teknolojik yeniliklerin hayatımıza girmesi, hayatımızı değiştirmesi ve geliştirmesi, maden ocaklarında yaşanan problemler ve iş güvenliği çalışmalarını tehlikeye atabilecek şartlarla ilgili önlemlerin alınabilmesi sonucunda 1970'li yıllardan sonra iş kazası ve bu kazaların sonucunda yaşanan ölümlere bağlı oranların hızlı bir şekilde azaldığı görülmüştür (Atalay, 2015). Ülkemizde ise, 1940'ardan bu zaman kadar madencilik sektöründeki iş kazalarında 3 binden fazla çalışmamız hayatını kaybetmiştir. Bu tür kazalardaki en fazla can kaybımızın olduğu iş kazası 2014 yılında Manisa ilimizin Soma ilçesinde yaşanmış ve 301 madencimiz vefat etmiştir. Şekil 17' de Soma maden kazası sonrasında yürütülen kurtarma çalışmalarından bir görünüm paylaşılmıştır (Wikipedia, 2025). Bir diğer büyük iş kazası ise, 1992 yılında Zonguldak ilimizin Kozlu ilçesinde yaşanmış ve 263 çalışmamız hayatını kaybetmiştir. Bu tür yaşanan iş kazalarında en önemli problemlerin alınmayan ya da alınamayan veya noksan olarak alınabilen güvenlik önlemleri nedeniyle gerçekleştiği araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır (Sekmen & Zengin, 2023).



Şekil 17. Soma maden kazası sonrasında yürütülen kurtarma çalışmalarından bir görünüm (Wikipedia, 2025).

Ülkemizde yaşanan madenlerdeki bu tür iş kazalarına rağmen maden sektöründe görülen problemlerin çözümü beklenen seviyelere ulaşamamıştır. Maden sektörü, çok tehlikeli ve riskli bir sektör olması sebebiyle çoğunlukla iş kazaları görülebilmektedir. Madenlerdeki risk haritalarının tecrübeli uzmanların kontrolünde tam anlamıyla hatasız bir şekilde zamanında hazırlanmaması, çalışanların kapsamlı bir şekilde yeterli seviyede eğitim almamaları, madenlerdeki havalandırma problemlerinin kalıcı bir şekilde çözülmemesi, madenlerdeki acil çıkışların yeterli sayıda olmaması, uygulamalardaki ve denetimlerdeki eksiklikler, koruyucu faaliyetlerin ve denetimlerin zamanında yapılmaması ve önlemlerin zamanında alınmaması gibi faktörler bu tür iş kazalarının yaşanmasının en önemli sebepleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

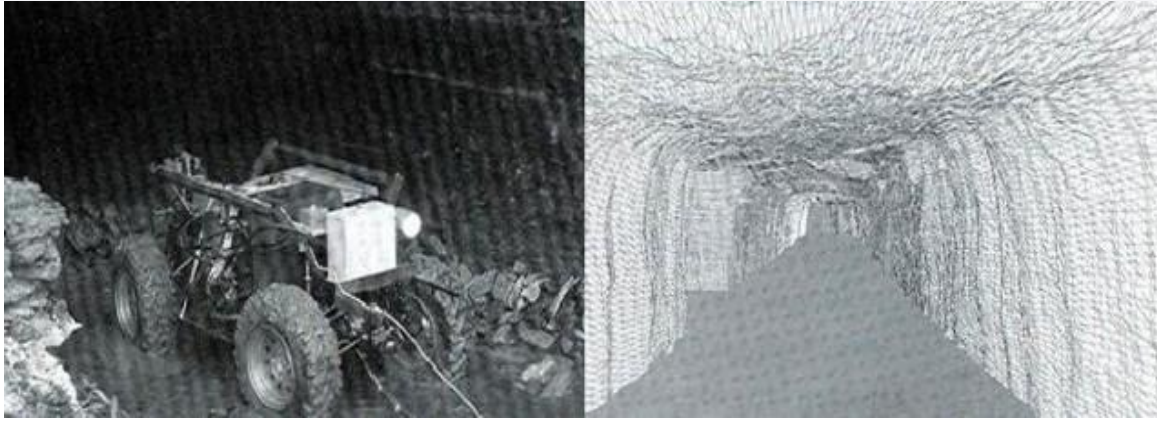
Günümüz teknolojisinde yaşanan veya yaşanabilecek iş kazalarının azaltılmasında yapay zekâ uygulamaları kullanılarak hazırlanan bazı teknolojik araçlar bulunmaktadır. Bu araçların zaman içerisinde birçok madencilik uygulamalarında geliştirilerek kullanılacağı düşünülmektedir. Maden arama çalışmalarında, madenlerin aranma sahalarındaki galerileri haritalama çalışmaları iş güvenliği bakımından önem arz etmektedir. Bu tür madencilik çalışmalarına bir örnek olarak ABD'deki Carnegie Mellon Üniversitesi'nde maden sahalarında bulunan galerileri haritalamada, Lidar sensör kullanan bir otonom robot geliştirildiği belirtilmektedir. Bu otonom robotu, ABD'de terkedilmiş bir maden sahasında kullanıldığı açıklanmıştır. Şekil 18' de maden sahalarını haritalama özelliğine sahip Groundhog adlı otonom araç paylaşılmıştır (Baker vd., 2004).



Şekil 18. Maden Sahalarını Haritalama Özelliğine Sahip Groundhog Adlı Otonom Araç (Baker vd., 2004)

Maden aramalarında bu tür otonom araçların kullanılması gerek mühendislik hizmetleri yönünden gerekse iş sağlığı ve güvenliği yönünden birçok noktada kolaylıklar sağlamaktadır. Özellikle zorlu hava şartlarında ve arazi çalışmalarında bu tür teknolojilerin kullanılması çalışan kişilerin işlerini pratik hale getirmektedir.

Maden arama çalışmalarında, aktif olarak kullanılmayan bölgelerde bulunan madenlerde gaz birikme problemlerinin yaşandığı teknolojik açıdan bilinmektedir. Bu tür madencilik çalışmaları yapılan bölgelerde, maden arama bölgelerine girişlerde veya çıkışlarda yaşanabilecek iş kazalarını engelleyebilmek için gerekli iş güvenliği ile ilgili tüm önlemler alınmalıdır. Bu tür tehlikeler ve riskler içeren bölgelerde çalışanların herhangi bir olumsuz durumda zarar görmemeleri ve haritalamanın hazırlanabilmesi amacıyla uzaktan kontrol edilen bir robot kullanılmaktadır. Bu robot ve bu robotun toplayabildiği veriler kullanılarak hazırlanan üç boyutlu maden haritası Şekil 19' da gösterilmektedir. Bu tür robotların benzerleri, uzayla ilgili olan çalışmalarda Mars yüzeyindeki bölgelerde araştırmaların yapılabilmesi amacıyla kullanılmıştır (Russell & Norvig, 2003).



Şekil 19. Solda maden aramalarında kullanılan robot ve sağda bu robotun toplayabildiği verilerle hazırlanan üç boyutlu maden haritası (Russell & Norvig, 2003)

Madencilik sektöründe faaliyet gösteren bazı firmalar ve madencilik çalışmalarında kullanılabilen makinaların üretimini yapan firmalar hem verimliliğin sürdürülebilmesi amacıyla hem de madenlerde iş güvenliğini uygulamalarını artırabilmek amacıyla yeraltında kullanılan bazı araçlarda değişiklikler yaparak veya yaptırarak bu araçların robotik olmasını sağlamakta ve bu araçları kullanılması gereken ortamlarda ve zamanlarda kullanabilmektedirler. Bu bilgiler ışığında, gelecekte madencilik sektöründe maden sahalarında bu tür otonom araçlar kullanılarak yapılan çalışmaların artacağı düşünülmektedir. Bu tür maden arama çalışmalarında bu tür otonom araçların tehlikeli ve riskli bölgelerde veya arazilerde nasıl bir şekilde çalışacağı ve ne kadar faydalı olabileceği şu an için araştırılması gereken bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür robotların gerekli ihtiyaçları karşılayabildikleri sürece bundan sonraki dönemlerde arazi çalışmalarında mühendisler ve iş güvenliği uzmanlarına faydalı olacakları düşünülmektedir (Şengöz & Bozkurt, 2025a). Maden arama çalışmalarında ve diğer sektörel çalışmalarda yaşanabilecek iş kazalarının çoğunlukla çalışan kişilerin kişisel hatalarından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu nedenle bu tür tehlikeli ve riskli olan çalışma ortamlarında bireysel hataları en aza indirebilecek veya tamamen önleyebilecek teknolojik gelişmelerden ve tedbirlerden olabildiğince faydalanılması ve madencilik çalışmalarına entegre edilebilmesi, yaşanabilecek iş kazalarının azaltılabilmesine veya yaşanmamasına önemli bir etkisi olacaktır (Sekmen & Zengin, 2023).

6. İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KAPSAMINDA SAHA UYGULAMALARINDA KULLANILABİLECEK TEKNOLOJİLERLE İLGİLİ ÖNERİLER

İş sağlığı ve güvenliğinde saha uygulamalarında kullanılabilir seviyedeki; Makine Öğrenmesi, Bulut Sistemi (Cloud), Radyo Frekanslı Tanıma (RFID), Nesnelerin İnterneti (IoT), 3D Modelleme, M2M (Machine to Machine) takip sistemleri, Gerçek Zamanlı Konum Belirleme (RTLS), Küresel Konumlama Sistemi (GPS), Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR), Entegre Edilmiş Yazılımlar, Akıllı Kişisel Koruyucu Ekipmanlar, Büyük Veri Analitiği ve Yapay Zeka (YZ) vb. gelişim göstermekte olan dijital teknolojilerin desteğiyle çalışma ortamları daha güvenli bir pozisyona taşınabilmektedir. Gerektiğinde önemli bilgileri toplayarak algılayabilen, uyarılar verip ikaz edebilen, otonom kontrol sağlayabilen teknolojiler ile sensörlerle desteklenen akıllı giysiler, İSG proseslerinin güvenli bir şekilde yürütülmesinde, tehlikeli ve riskli durumların belirlenmesinde ve bertaraf edilebilmesinde, iş kazalarının önlenmesinde, yüksek riskli çalışma ortamlarında güvenli çalışma şartlarının hazırlanabilmesinde önemli görevler üstlenmektedirler (Ekmekçi & Ekmekçi, 2020).

Saha uygulamalarında kullanılan giyilebilir akıllı cihazlar ise, İSG ile ilgili alanlara yenilikler getirmiştir. Bu teknolojik yenilikler ile kişisel sebeplerden kaynaklanabilen tehlikeli ve riskli hareketler önlenmekte ve bu tür hareketlerin tespitlerinde çalışan kişilere uyarılar verilebilmektedir. "Giyilebilir Teknoloji", "Giyilebilir Cihaz" ve "Giyilebilir Sensör" vb. terimler çalışanların vücutlarına kolaylıkla giyilebilen kıyafetler ve takılabilen aksesuarlar olarak dizayn edilmiş elektronik veya bilgisayar teknolojilerinin ürünleridir. Dijital özellikli saatler, gözlükler, lensler ve bileklikler, tekstil ürünleri, baretler, ayakkabılar, işitme cihazları gibi kişisel donanımlar giyilebilir cihazlardır (Sağbaş vd., 2016). Bu tür cihazların yardımlarıyla çalışan kişilerin kalp atışları, vücut ısıları, solunum hızları, kandaki insulin oranları, tansiyon değerleri gibi önemli parametrelerle ilgili eş zamanlı veriler toplanarak, bu verilerin İSG profesyonelleri tarafından kullanıldığı ve paylaşıldığı bilinmektedir. Ayrıca, çalışma ortamlarındaki hareket sensörlerinin veya hareketsizlik sensörlerinin kullanımıyla Kör Nokta (Blind Spots) kaynaklı iş kazalarının önlenmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Bu tür çalışmalara rağmen insan kaynaklı iş kazaları maalesef yaşanmaktadır. Bu tür iş kazaları, insan faktörünün karmaşık ve değişken olması sebebiyle tüm tehlikelerin ve risklerin tamamen ortadan kaldırılamayacağını göstermektedir.

7. ÜLKEMİZDEKİ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KAPSAMINDA BAŞARILI YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

ÇASGEM tarafından hayata geçirilen "İşyeri Gözetimi Çalışmalarında Türkiye'nin Yapay Zekâ İhtiyaç Haritası" Projesinde yapay zekâ teknolojileri İSG kapsamında değerlendirilmiştir. Bu projede araştırma yapılacak sektör imalat sektörü olarak belirlenmiştir. Proje ile sayısal araştırmalarla beyaz yakalı olarak çalışan kişilerin yapay zekâ ile ilgili eğitim ihtiyaçlarının ve farkındalık düzeylerinin belirlenmesi, sözel araştırmalarla ise, İSG faaliyetleri ile ilgili yapay zekâ kullanımı tespit edilmiştir. ÇASGEM tarafından çalışma hayatındaki verimliliğin artırılması, çalışan kişilerin teknoloji ile olan ilişkileri ve diğer çalışanlarla olan ilişkiler hakkında birçok farklı konuda eğitimler verilmiştir. Özellikle inşaat, maden, metal ve petro-kimya sektörlerinde geliştirilmiş olan 20 adet sanal gerçeklik senaryoları gibi yeni nesil yöntemler kullanılarak verilen eğitimler zenginleştirilmiştir. ÇASGEM' in 2023 yılında başlatmış olduğu bu projeye yapay zekâ teknolojilerinin iş kazalarını azaltmada, olağan iş proseslerini iyileştirmede ve çalışanların iş yüklerini hafifletebilmede yararlı olduğunu sonucuna varılmıştır. Ayrıca projede veri güvenliği ve etik sorunlar gibi konularda yaşanabilecek mağduriyetler de görülmüştür. Bu tür konularda başarılı örnekler olarak birkaç örnek vermek gerekirse, Arçelik A.Ş.'de fabrikalardaki yüksek riskli alanların belirlendiği, devamlı olarak izlenen alanlarda yaşanabilecek iş kazalarının önlenmesi için denetimlerin sürekli olarak yapıldığı, özellikle makinelerin arızalandıklarında ve çalışan kişilerin yapmış oldukları hatalardan dolayı yapay zekâ destekli kameralarla güvenlik önlemlerini artırmış oldukları belirtilmiştir. Kullanılan bu teknolojilerin Rusya, Tayland ve Güney Afrika'daki fabrikalarda başarılı bir şekilde uygulandığı belirtilmektedir. Ford Otosan'dan iş güvenliği ile ilgili önlemleri artırmaya yönelik yapay zekâ tabanlı çözüm olan "Gözcü" uygulamasını kullandıkları belirtilmiştir. "Gözcü" uygulamasının, fabrikadaki kamera görüntülerini istenilen verilere dönüştürerek oluşan uygunsuzlukların tespitinde kullanıldığı ve bu uygulamanın anında uyarılar verebildiği belirtilmiştir. Martur Fompak International' da iş güvenliği çalışmalarında özellikle yapay zekâ ve görüntü işleme teknolojilerinin kullanıldığı, güvenlik kültürünün sürdürülebilir bir seviyede ilerleyebilmesi için güvenlik açıklarının tespit edildiği ve bu açılara gerekli müdahalelerin yapılmasında yapay zekâ teknolojilerinden faydalandıkları belirtilmiştir. KARSAN Otomotiv'de iş sağlığı ve güvenliğinde kullanılan prosedürlerde Makine Öğrenmesi, Veri Analizi/Tahmin ve Görüntü İşleme gibi yapay zekâ uygulamalarını kullandıkları belirtilmiştir. "Robotik Süreç Otomasyonu (RPA) ile Güvensiz Davranış Yönetimi" Projesinde akıllı bileklik teknolojisi kullanılarak yalnız çalışan güvenliğinin sağlanması, makine öğrenimi metodu ile gün kayıplı kaza tahminlemelerinin yapılması başta olmak üzere Engelsiz Gelecek Projesi/VR ile bilinç artırma çalışmalarına kadar birçok uygulamayı kullandıkları belirtilmiştir (ÇASGEM, 2024).

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde yaşanan iş kazalarının ve bu kazalardan sonra yapılması gereken uygulamaların neler olduğu, farklı sektörlerdeki iş kazalarına karşı hangi önlemlerin alınması gerektiği çalışma içerisinde kısaca paylaşılmıştır. Bu tür iş kazalarının sayısını azaltılmasında veya önlenmesinde yapay zekâ teknolojilerinin ve uzman sistem uygulamalarının kullanılması gerektiği çalışmada açık bir şekilde belirtilmiştir. Teknolojinin ilerlemesi ve kullanılması ile birlikte iş kazalarının da önlenabilir bir seviyede tutulabileceği veya kontrol edilebilir bir seviyede olması gerektiği daha net görülebilmektedir.

Günümüzde ekonomik, sosyal ve yaşamsal açıdan global anlamda değiştiren ve farklılaştıran bir etkiye sahip olan yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları, gelecekte de etkisini artırarak devam ettirecektir. Bu değişim ve dönüşüm İSG alanında da etkisini gösterecektir. İSG' de yapay zekâ teknolojilerinin ve uzman sistem uygulamalarının kullanılmasının toplumumuza olan sosyoekonomik etkileri; işsizliğin artması, nitelikli çalışanların başka firmalara geçiş yapması, ülke içinde göçlerin görülmesi ve ekonomik anlamda ülkemizin gelir düzeyinde ve iş olanaklarında sektörel değişimlerin görülmesi şeklinde açıklanabilir. Bu tür olumsuz durumların yaşanabileceği, farklı mesleklerin ve alt kollarının kurumlar veya firmalar bazında üretim, maliyet, satış ve diğer birimlerine etki edebileceği beklenmektedir. Etik açıdan ise, yapay zekâ teknolojilerinin ve uzman sistem uygulamalarının çalışanlarda önyargıyı artırma, çevresel iklim değişikliklerine olumsuz yönde etki etme, insan haklarını doğrudan veya dolaylı olarak tehdit etme, çalışanlar arasında eşitsizliklerin artması, farklı gruplaşmaların oluşması, Kişisel Verilerin Korunma Kanunu'na (KVKK) uygun olup olmayacağı vb. birçok konuda soru işaretleri barındırdığı düşünülmektedir.

Şu an için meslekler açısından işyerlerinde uygulanan stratejik planlar, reaktif yapılardan proaktif yapılara geçişte bir basamak olarak görülmektedir. Gelecek için yapılan tüm planlamalar bu geçiş için bir hazırlık evresi konumundadır. Her değişim sürecinde yaşanan fırsatlarla birlikte yeni risklerin de ortaya çıkması görev süreçlerinde risklerin artmasına ve karmaşıklığa neden olmaktadır. Bu durum ise, önleyici yaklaşımların değerini belirtmektedir. Aynı zamanda günümüzde her sektörde aranan yetişmiş insan kaynağı bulmanın zorluğunu da ortaya koymaktadır. Bu nedenle, her sektörde olduğu gibi İSG' de de yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem

uygulamaları daha da ön plana çıkmaktadır. İşletmelerde yaşanması beklenen dijital değişimlerle ilgili çalışmalarda, sisteme bağlı altyapıların değişmesi, sistemin kontrol edilmesi, süreç iyileştirme çalışmalarında sürece dayalı risklerin belirlenmesi, gerekli kontrollerin yapılması ürün ve hizmet geliştirme çalışmalarının doğru zamanda yapılması ve işletmelerin tümüne yayılmasının sağlanması, iç denetimle ilgili profesyonel destek alınması, yeni ürünlerle veya hizmetlerle ilgili inovasyon çalışmalarının yapılması ve bu çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde işletme çalışanlarına ve paydaş olan firmalara gerekli desteklerin verilmesi gerektiği görülebilmektedir. İSG kapsamında iş kazalarından en az zararla kurtulabilmek için, işletmelerin güvenlik odaklı yaklaşım içerisinde olmaları, organizasyon içerisinde güvenlik şartlarını en üst düzeyde tutmaları gerekmektedir. İşletmelerde güvenlik çalışmalarında İSG'yi geliştirmek için çeşitli faaliyetler yürütülmelidir. Bu faaliyetler; iş proseslerinde yapılan değişiklikler için güvenlik değerlendirmelerinin yapılması, iş kazalarının ve olayların detaylı bir şekilde incelenmesi, kaza nedenlerinin daha iyi analiz edilerek kaza kök nedenlerinin doğru olarak tespit edilmesi, kurumlarda güvenlik kültürünün oluşturulması ve liderlik programlarının uygulanması, işletmelerde veya organizasyonlarda tehlikeleri ve riskleri azaltmak için engelleyici analizlerin yapılması beklenmektedir. Bu tür uygulamalar sonucunda çalışma ortamları genellikle güvenli ortamlara dönüşmekte ve hataları tolere edebilen bir çalışma ortamı oluşturmaktadır. Yapay zekâ teknolojileri ve uzman sistem uygulamaları sayesinde çalışanların kişisel hatalarının azaltılabileceği ve zaman tasarrufunun sağlanabileceği görülmektedir. Bu tür uygulamaların üretkenliği artırdığı, zaman, iş gücü ve maddi kayıpları en aza indirebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, ülkemizdeki İSG ile ilgili çalışmalarda Yapay Zekâ Teknolojilerinin ve Uzman Sistemlerin Uygulamalarının programlanabilir bir şekilde yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Teşekkür

11372 ID numaralı Yüksek Lisans projesi kapsamında sağladığı destekten dolayı Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAPKO) şükranlarımızı sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Yazar Katkısı Beyanı

Yazarlar makale hazırlanmasındaki tüm aşamalarda ortak katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

- Abbass, H.A. (2001). "MBO: Marriage in honey bees optimisation: A haplometrosis polygynous swarming approach", *In Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation—CEC*, 27–30 May, (pp. 207–214). Seoul, Korea.
- Abdechiri, M., Meybodi, M.R., & Bahrami, H. (2013). "Gases Brownian Motion Optimization: An Algorithm For Optimization (GBMO)." *Applied Software Computational*, Volume 13, Issue 5, May 2013, Pages 2932-2946. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.03.068> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494612001834>
- Adair, C., & Briggs, S. A. (1993). The concept and application of expert systems in the field of microbiological safety. *Journal of Industrial Microbiology*, 12, 263-267.
- Agarwal, M., & Goel, S. (2014). Expert system and it's requirement engineering process. IEEE International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE-2014), May 09-11, 2014, Jaipur, India. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6909306>
- Akan, E., & Dalbay, N. (2015). Lojistik Sektöründe Kalite ve İş Sağlığı-Güvenliği Yönetim Sistemleri: Bir Araştırma. *Beykoz Akademi Dergisi*, 3(1), 21-66. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/949559>
- Akar, Ö. (2021). İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Yapay Zekâ Uygulamaları. 1. *Uluslararası Yapay Zekâ ve Veri Bilimi Kongresi*, Online Congress, Proceeding Book, 244-249. İzmir Kâtip Çelebi University, İzmir, Türkiye. https://acikerisim.ikcu.edu.tr/yayinaea/yapay%20zeka_62c3e6a2b9dd5.pdf
- Akman, S. (2024). Yapay Zekâ Tabanlı İSG Analizleri ile İş Güvenliği Kültürünün Arttırılması, TMMOB Makine Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 411. Bülten, İzmir. <https://bulten.mmoizmir.org/bultenler/411/yapay-zeka-tabanlı-isg-analizleri-ile-is-guvenligi-kulturunun-arttirilmesi> (Çalışma içerisindeki intenseye teknolojisi ile ilgili alıntılanmış görüntüler, sadece eğitim amaçlı alıntılanmış intenseye firmasının görüntüleridir ve yukarıda paylaşılan internet sitesinden alıntılanmıştır. TİSK ve TİSK MCV, Intenseye iş birliğiyle hayata geçirilen İSG Teknolojilerini Yaygınlaştırma Projesi kapsamında 2022 yılında başlatılan "Türkiye'nin Sıfır Kazaya Yolculuğu" Projesi ile İSG Raporu olarak sunulan bilgiler ve görüntüler çalışmada kullanılmış ve alıntılanmıştır. Konuyla ilgili gerekli olabilecek tüm atıflar çalışma içerisinde paylaşılmıştır). Intenseye Inc. Intenseye GmbH, New York, USA, 2025.

- Alaeddinoğlu, M. F., Sincar, S., & Naralan, A. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Analizi ve Değerlendirmesi İçin Geliştirilmiş Bir Karar Destek Sistemi (Yapay Sinir Ağı)-Atatürk Üniversitesi Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 275–292. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/211151>
- Allahverdi, N. (2002). Uzman Sistemler Bir Yapay Zekâ Uygulaması, Atlas Yayın Dağıtım, Atlas Akademik Yayıncılık, Ankara. ISBN: 975-6574-10-0. <https://www.nobelyayin.com/uzman-sistemler-bir-yapay-zeka-uygulamasi-2127.html>
- Amazon, (2020). Amazon Tarafından Kullanılan Teslimat Aracı. <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>
- Amiri, M., Ardeshtir, A., & 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> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753516304970?via%3Dihub>
- ASBÜ, (2017). İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) Nedir. <https://isg.asbu.edu.tr/tr/isg-nedir>
- Atabey, (2019). İş Kazası Örnekleri. <https://volkanatabey.com.tr/is-kazasi-ornekleri/>
- Atalay, F. (2015). The History of the Coal Mining Industry and Mining Accidents in the World and Turkey. *Turkish Thoracic Journal*, 16(1): 5-8.
- Ateş, D. (2008). Industrial revolution: Impetus behind the globalization process. Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2008; 31-48. <https://doaj.org/article/05e60fd48d7546b4bdaee2029e8fd163>
- Auyong, H., Zailani, S., & Surienty, L. (2011). Safety and health management in logistics: literature review and future research. *Journal of System and Management Sciences*, 1(3), 9-20. ISSN 1816-6075 (Print), 1818-0523 (Online) https://www.aasmr.org/jsms/Vol1/No%203/JSMS_Vol1_No3_2.pdf
- Ayan, B., Taşçı, S., & Köksal, E. B. M. (2024). İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Kullanılan Yapay Zekâ Teknolojilerine İlişkin İnceleme. *Çalışma İlişkileri Dergisi*, 15(2), 20-33. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3984369>
- Ayanoğlu, C.C., & Kurt, M. (2019). Metal Sektöründe Veri Madenciliği Yöntemleri ile Bir İş Kazası Tahmin Modeli Önerisi. *Ergonomi*, 2(2), 78–87. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/763288>
- Ayhan, B. U., & Tokdemir, O. B. (2019). Safety assessment in megaprojects using artificial intelligence. *Safety Science*, 118, 273–287. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753519304941>
- Aylak, B. L., Oral, O., & Yazıcı, K., (2021). Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Lojistik Sektöründe Kullanımı. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 8, No: 1, 2021 (74-93), ISSN:2148-3736. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1224333> (Qopius bilgisayarla görme örneği-Qopius ile görselleştirilmiş raf görüntüsü. <https://www.qopius.com/technology>, <https://www.qopius.com/>).
- Azadeh, A., Fam, I. M., Khoshnoud, M., & Nikafrouz, M. (2008). Design and implementation of a fuzzy expert system for performance assessment of an integrated health, safety, environment (HSE) and ergonomics system: The case of a gas refinery. *Information Sciences*, 178(22), 4280–4300. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.06.026> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020025508002557>
- Azadeh, A., Rouzbahman, M., Saberi, M., & Valianpour, F. (2014). An adaptive algorithm for assessment of operators with job security and HSEE indicators. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 31, 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.jlpi.2014.05.004> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423014000783>
- Bakan, İ., & Şekkeli, Z. H. (2017). *Lojistik yönetimi*. Beta Yayıncılık, İstanbul. ISBN: 9786052420195.
- Baker, C., Morris, A., Ferguson, D., Thayer, S., Whittaker, W., Omohundro, Z., ... & Thrun, S. (2004). A campaign in autonomous mine mapping. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Vol. 2, sayfa. 2004-2009). https://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub4/baker_christopher_2004_1/baker_christopher_2004_1.pdf
- Baron, P., Brázda, P., Dobránsky, J., & Kočiško, M. (2012). Expert system approach to safety management. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 44, 77-88. <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-information-and-communication-technologies/44/23932>
- Başak, H., Şahin İ., & Gülen, M. (2008). İnsansız Hava Aracı Kazalarının Önlenmesi İçin Uzman Sisteme Dayalı Risk Yönetimi Modeli. *Teknoloji*, 11(3), 187–200. https://www.researchgate.net/publication/348976748_Insansiz_hava_araci_kazalarinin_onlenmesi_icin_uzman_sistemedayali_risk_yonetim_modeli

- Baylan, Ö. Ü. M. & Karaçevirgen, Ö. G. T. (2019). Lojistik Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği: Türkiye Örneği. *II. Uluslararası Kahramanmaraş Yönetim, Ekonomi ve Siyaset Kongresi*, s.184-202 Kahramanmaraş.
- Beriha, G. S., Patnaik, B., Mahapatra, S. S., & 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> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417411013273>
- Bozkurt, Y., & Naycı, G. (2021). Metal Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarında Cinsiyet Faktörü. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 12(1), 174-191. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1594326>
- Bulut, M., & Başoğlu, B. (2017). Kısa Dönem Elektrik Talep Tahminleri İçin Yapay Sinir Ağları ve Uzman Sistemler Tabanlı Hibrid Tahmin Sistemi Geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(2), 575-583. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/316487>
- Caner Akın, G., Duman, İ., & Alkan, Ü. (2021). İnşaat Sektöründe İş Kazalarının Yapay Sinir Ağı ile Değerlendirilmesi: İstanbul İlinde Bir Örnek Uygulama. *Ergonomi*, 4(3), 162-167, 2021. e-ISSN: 2651-4877 <https://doi.org/10.33439/ergonomi.989974> <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1953085>
- Cengiz, Ö., & Akşit, İ. (2023). Türkiye Lojistik Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğinin Önemi: İş Kazası ve İstihdam Verileri Üzerine Bir Değerlendirme. *Beykoz Akademi Dergisi*, 2023; 11(1), 198-215 DOI: 10.14514/beykozad.1235755 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2894803>
- Ceylan, H. (2014). Türkiye’de İnşaat Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 6(1), 1-6. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/353743>
- Che, C., Hu, H., Zhao, X., Li, S. & Lin, Q. (2023). Advancing cancer document classification with random forest. *Academic Journal of Science and Technology*, 8(1), 278-280. <https://doi.org/10.54097/ajst.v8i1.14333>
- Corpus Sigorta, (2023). İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Yapay Zekâ Etkisi. <https://corpussigorta.com.tr/blog/is-dunyasi/is-sagligi-ve-guvenligi-alaninda-yapay-zeka-etkisi-281>
- ÇASGEM, (2024). Geleceğin İş Sağlığı ve Güvenliği: Yapay Zekâ ile Yeni Yaklaşımlar Konferansı. <https://casgem.gov.tr/haberler/gelecegin-%C4%B1s-sagligi-ve-guvenligi-yapay-zeka-ile-yeni-yaklasimlar-konferansi-1/>
- ÇSGB, (2025a). İş Kazaları. <https://guvenliinsaat.csgb.gov.tr/sektor-hakkinda/is-kazalari/>
- ÇSGB, (2025b). İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği. <https://guvenliinsaat.csgb.gov.tr/>
- Demir, E. (2009). Metal iş kolunda meydana gelen iş kazaları ve iş kazalarının oluşturduğu, kayıpların ekonomik yönden analizi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=X00c4nPgd38QltmRupChOa&no=5_fNXxEnrtSkW2kd1t_hwFw
- Diemert, S. & Weber, J. H. (2023). Can Large Language Models assist in Hazard Analysis? Arxiv, s. 1-13. <https://arxiv.org/pdf/2303.15473>
- Ekmekçi, İ., & Ekmekçi, A.B. (2020). “Endüstri 4.0 ve İş Sağlığı ve Güvenliğinde Yeni Teknolojiler: İSG 4.0”. *Sektörlerin ve Mesleklerin Geleceği*. İstanbul: Hiperlink Eğt İlet. Yay. Gıda San. ve Paz. Tic. Ltd. Şti, (pp. 82-144).
- Erin, E., Caner Akın, G., & Alkan, Ü. (2023). Ana Metal Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Değerlendirmeler ve Çözüm Önerileri. *OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1): 749-775, 2023 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2543286>
- EU-OSHA, (2019). Digitalisation and Occupational Safety and Health (OSH), An EU-OSHA research programme, European Agency for Safety and Health at Work, EU-OSHA, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fbab9f56-3035-11ea-af81-01aa75ed71a1>
- EU-OSHA, (2022). Artificial intelligence for worker management: implications for occupational safety and health, Report, European Agency for Safety and Health at Work, EU-OSHA, <https://osha.europa.eu/en/publications/artificial-intelligence-worker-management-implications-occupational-safety-and-health>
- Fisher, E., Flynn, M. A., Pratap, P. & Vietas, J. A. (2023). Occupational Safety and Health Equity Impacts of Artificial Intelligence: A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health*, 20(6221), 28. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10340692/pdf/ijerph-20-06221.pdf>
- Fizyr, (2025). Sipariş Toplama Robotları, <https://fizyr.com/product/> <https://fizyr.com/blog/computer-vision-improving-worker-safety-eliminating-heavy-lifting/>
- Flaherty, J. E. (2009). Toxicogenomics and workers' compensation: A reworking of the "bargain"? *Journal of Health Care Law and Policy*, 12(2), 267-294.

- Fu, G., Xie, X., Jia, Q., Li, Z., Chen, S., & 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, 47–82. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020PSEP..134..47F/abstract> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019315125?via%3Dihub>
- Gupta, I., & Nagpal, G. (2020). *Artificial Intelligence and Expert Systems*. Mercury Learning & Information. Stylus Publishing, LLC. (pp. 1-412). ISBN: 978-1-68392-507-1 <https://www.amazon.com/Artificial-Intelligence-Expert-Systems-Gupta/dp/1683925076>
- Güllüoğlu, E. N., & Güllüoğlu, A. (2019). Türkiye’de Metal Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi. *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 2019, 1: 70-82 DOI: 10.7240/jeps.486478 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/693960>
- Gürcanlı, E. (2015). İnşaat Sektöründe Gerçekleşen Ölüm ve Yaralanmaların Analizi. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi (MSG)*, 13(48). 20-29. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/821798>
- Hadjimichael, M. (2009). A fuzzy expert system for aviation risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6512–6519. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417408005046>
- Howard, J. (2019). Artificial intelligence: Implications for the future of work. *American Journal of Industrial Medicine*, 62(11), 917–926. <https://doi.org/10.1002/ajim.23037> <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ajim.23037>
- Hua, H., & Zhang, Z. (2019). Application of Artificial Intelligence Technology in Short-range Logistics Drones. 1-4. 8th International Symposium on Next Generation Electronics (ISNE), Zhengzhou, China. DOI:10.1109/ISNE.2019.8896417 https://www.researchgate.net/publication/337504829_Application_of_Artificial_Intelligence_Technology_in_Short-range_Logistics_Drones
- İçen, D., & Günay, S. (2014). Uzman Sistemler ve İstatistik. *İstatistikçiler Dergisi: İstatistik&Aktüerya* 7 (2014) 37-45. Aktüerya Derneği. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/460646>
- İsgbysuzaktanegitim, (2023). İş Sağlığı ve Güvenliği'nde Yapay Zekâ Kullanımı. Ankara Üniversitesi, Teknokent, Gölbaşı, Ankara. <https://www.isgbysuzaktanegitim.com/blog/isg-yapay-zeka>
- Jarota, M. (2023). Artificial intelligence in the work process. A reflection on the proposed European Union regulations on artificial intelligence from an occupational health and safety perspective. *Computer Law ve Security Review*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2023.105825> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267364923000353>
- Jeelani, I., Asadi, K., Ramshankar, H., Han, K., & Albert, A. (2021). Real-Time Vision-Based Worker Localization & Hazard Detection For Construction. *Automation in Construction*, 121,103448. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103448> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520310281>
- Jilcha, K., & 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. ISSN 1800-6450. <http://ijqr.net/journal/v10-n2/4.pdf>
- Karadağ, T., & Kepekli, T. A. (2018). İnşaat Sektöründe Yaşanan İş Kazaları ve Kaza Nedenleri. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 8(2), 314-322. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/773249>
- Khan, N., Saleem, M. R., Lee, D., Park, M. W., & Park, C. (2021). Utilizing Safety Rule Correlation For Mobile Scaffolds Monitoring Leveraging Deep Convolution Neural Networks. *Computers in Industry*, 129, 103448. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103448> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361521000555?via%3Dihub>
- Koçar, O., & Dizdar, E. N. (2018). İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemlerinde Risklerin Yapay Sinir Ağlarıyla Değerlendirilmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6 (3), 73-83. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/535085>
- Kürekçi, M. (2020). Lojistik Deposunda Gerçekleşen Kimyasal Kaza ile İlgili Basın Açıklaması Gerçekleştirildi. Murat Kürekçi-TMMOB Kocaeli İl Koordinasyon Kurulu Sekreteri. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Makine Mühendisleri Odası (MMO) Kocaeli Şubesi. <https://mmo.org.tr/kocaeli/basin-aciklamasi/lojistik-deposunda-gerceklesen-kimyasal-kaza-ile-ilgili-basin-aciklamasi>
- Lee, K., & Han, S. (2021). Convolutional Neural Network Modeling Strategy For Fall-Related Motion Recognition Using Acceleration Features of A Scaffolding Structure. *Automation in Construction*, 130, 103857. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103857> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580521003083>

- Lilić, N., Obradović, I., & Cvjetić, A. (2010). An intelligent hybrid system for surface coal mine safety analysis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(4), 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2010.01.025> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197610000436>
- Longinos, M., & Widlund, J. (2024). *How AI can be used for OSHA regulations*. <https://civils.ai/blog/ai-for-osharegulations>
- Mança, S. (2024). İnşaat Sektöründe Yapay Zekâ Benimseme Oranları Artıyor. <https://tr.linkedin.com/pulse/in%C5%9Faat-sekt%C3%B6r%C3%BCnde-yapay-zeka-benimseme-oranlar%C4%B1-art%C4%B1yor-sedat-man%C3%A7a-gom4f>
- Maslej, N., Fattorini, L., Perrault, R., Parli, V., Reuel, A., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ligett, K., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J. C., Shoham, Y., Wald, R., & Clark, J. (2024). "The AI Index 2024 Annual Report", AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, USA, April 2024. https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2024/05/HAI_AI-Index-Report-2024.pdf
- Meciarova, J. (2011). Expert System for Assessing Health Hazards of Metalworking Fluids. In *Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium* (Vol. 22), 0461-0462. https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2011/229.pdf
- Motorcu, A. R., Kayır, Y., & Murat, B. (2021). *İş Sağlığı ve Güvenliği Faaliyetlerinde Yapay Zekâ ve Uzman Sistem Uygulamalarının Değerlendirilmesi*. 5.Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi (pp. 240-248). İstanbul, Turkey. <https://avesis.gazi.edu.tr/yayin/f6237995-e337-4eda-9c85-b6d066a1c7f8/is-sagligi-ve-guvenligi-faaliyetlerinde-yapay-zeka-ve-uzman-sistem-uygulamalarinin-degerlendirilmesi>
- Oğur, İ. (2024). İş Sağlığı ve Güvenliği Çalışmalarında Yapay Zekâ Uygulaması, <https://haberisg.com/isg-gundem/is-sagligi-ve-guvenligi-calismalarinda-yapay-zeka-uygulamasi/>
- Okudan, O., Budayan, C., & Dikmen, I. (2021). A knowledge-based risk management tool for construction projects using case-based reasoning. *Expert Systems with Applications*, 173, 114776, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114776> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417421002177>
- Oracle, (2021). Yapay Zekâ Nedir? Yapay Zekâ hakkında bilgi edinin. <https://www.oracle.com/tr/artificial-intelligence/what-is-ai/>
- Özaslan, B. Ö. (2011). *İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ve Lojistik Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerde Bir Araştırma*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü. Yayımlanmış Doktora Tezi, İstanbul. <https://nek.istanbul.edu.tr/ekos/TEZ/47858.pdf>
- Öztürk, T., & Heperkan, H. A. (2021). İnşaat İş Kazalarının Şiddetini Etkileyen Faktörlerin Mevsimsel Farklılıklara Gore Değerlendirilmesi. *Ergonomi*, 4(2), 72-87. e-ISSN : 2651 - 4877. DOI: 10.33439/ergonomi.934656 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1758370>
- Patel, D. A., & Jha, K. N. (2014). Neural Network Model for The Prediction of Safe Work Behavior in Construction Projects. *Journal Of Construction Engineering And Management*, 141(1), 04014066. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000922](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000922) <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0000922>
- Pavlovic-Veselinovic, S., Hedge, A., & 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> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016981411530055X>
- Pishgar, M., Issa, S. F., Sietsema, M., Pratap, P., & Darabi, H. (2021). REDECA: A Novel Framework to Review Artificial Intelligence and Its Applications in Occupational Safety and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6705), 42. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8296875/pdf/ijerph-18-06705.pdf>
- Policy Brief, (2021). Impact of Artificial Intelligence On Occupational Safety and Health, European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), https://osha.europa.eu/sites/default/files/Policy-brief-Impact-AI-OSH_EN.pdf
- Robinson, A. (2020). The Top 5 Changes That Occur with AI in Logistics. <https://cerasis.com/ai-in-logistics/>
- Russell, S., & Norvig, P. (2003). "Artificial Intelligence A Modern Approach", Pearson Education Inc, ISBN:0-13080302-2, second edition, 1081 p., USA.
- Quentic, (2023). *Artificial intelligence in risk and safety management*. <https://www.quentic.com/articles/ai-in-risk-and-safety-management/>
- Sağbaş, E. A., Ballı, S., & Yıldız, T. (2016). "Giyilebilir Akıllı Cihazlar: Dünyü, Bugünü ve Geleceği." *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı*, Konferans Bildiri Kitabı, 749-756, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye. <https://ab.org.tr/kitap/ab16.pdf>

- Sattari, F., Macciotta, R., Kurian, D., & Lefsrud, L. (2021). Application of Bayesian Network And Artificial Intelligence To Reduce Accident/Incident Rates In Oil & Gas Companies. *Safety Science*, 133, 104981, 1-11. https://www.aiche.org/sites/default/files/docs/events/sattari_macciotta_kurian_lefsrud_2020_application_of_bayesian_network_and_ai_in_reducing_accident_rates.pdf
- Savadkoobi, M., Oladunni, T., & Thompson, L. A. (2021). Deep Neural Networks for Human's Fallrisk Prediction using Force-Plate Time Series Signal. *Expert Systems with Applications*, 115220. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115220> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417421006539>
- Sekmen, M., & Zengin, M. A. (2023). Türkiye Madencilik Sektörü İş Kazalarının Analizi ve Gelecek Perspektifleri. *Int. J. Adv. Eng. Pure Sci.* 2023, 35(2): 246-258. DOI: 10.7240/jeps.1242698 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2918615>
- SGK, (2022). İş kazası. <https://sgk.gov.tr/Content/Post/7b0b48c6-ceba-472b-8011-c4a9b3125133/Is-Kazasi-2025-02-27-10-08-15>
- Şahinkaya, S. (2015). Ana Metal Sanayisi-Türkiye Kalkınma Bankası. <https://www.yumpu.com/tr/document/view/37107074/ana-metal-sanayisi-turkiye-kalknma-bankas>
- Şengöz, T. E., & Bozkurt, Y. (2025a). Günümüz Teknolojisinde Madencilik, Metal Endüstrisi ve Malzeme Tasarımında Yapay Zekâ Kullanımı. *Bilgi Teknolojileri ve İletişim Dergisi*, 2(2), 33-62. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4365233>
- Şengöz, T. E., & Bozkurt, Y. (2025b). Yerbilimleri Çalışmalarında Yapay Zekâ Kullanımı ve Mühendislik Projelerindeki Uygulama Örnekleri-The Use Of Artificial Intelligence In Geoscience Studies And Application Examples In Engineering Projects. *5. Uluslararası Topkapı Bilimsel Araştırmalarda Güncel Gelişmeler Kongresi*, 19-21 Mart, 2025. İstanbul. *International Topkapı Congress-V*, March 19-21, 2025. İstanbul. Kongre Bildiriler Kitabı-Proceedings Book, 704-718. ISBN: 979-8-89695-051-6 https://www.izdas.org/files/ugd/614b1f_50facb09fa7849848aa536a1a176c0ec.pdf https://www.researchgate.net/publication/390695505_Yerbilimleri_Calismalarinda_Yapay_Zeka_Kullanimi_ve_Muhendislik_Projelerindeki_Uygulama_OrnekleriThe_Use_Of_Artificial_Intelligence_In_Geoscience_Studies_And_Application_Examples_In_Engineering_Projec
- Taçgın, E., & Sağır, Z. (2020). Development of an intelligent knowledge base for identification of accident causes based on Fuzzy et al.'s model. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 1-18. DOI: 10.1080/10803548.2020.1831786 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33034272/>
- T. C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi (MBS, 2006). Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu. Kanun Numarası: 5510. Kabul Tarihi: 31.05.2006. Yayımlandığı Resmî Gazete Tarihi: 16.06.2006. Sayı: 26200. Yayımlandığı Düstur: Tertip:5 Cilt: 45. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5510.pdf>
- T. C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi (MBS, 2012). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Kanun Numarası: 6631. Kabul Tarihi: 20.06.2012. Yayımlandığı Resmî Gazete Tarihi: 30.06.2012. Sayı: 28339. Yayımlandığı Düstur: Tertip:5 Cilt: 52 <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>
- Tempus Corporation, (2024). Tempus Technology. Tempus: <https://www.tempus.com/about-us/tempus-tech/>
- TİSK, (2023). Türkiye'nin Sıfır Kazaya Yolculuğu, İSG Raporu. (TİSK, Mikrocerrahi ve Rekonstrüksiyon Vakfı, intenseye). <https://www.tisk.org.tr/dokuman/turkiyenin-sifir-kazaya-yolculugu.pdf>
- Tokdemir, O. B., & Ayhan, B. U. (2019). Keskin Bir Cisim ile Temas Sonucu Yaralanma Kazalarının Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Yapay Sinir Ağları ile Analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(1), 323-334. <https://doi.org/10.24012/dumf.466493>
- Turban, E. (1993). Decison support systems, Third edit. Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, USA.
- Türker, M., & Kanıt, R. (2020). Yapı Üretim Sürecindeki İş Kazaları Şiddetinin Ön Bilgilendirilmiş Yapay Öğrenme Metodu ile Tahmini. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(4), 943-956. ISSN: 2667-8055 (Elektronik). DOI: 10.36306/konjes.764952 <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1189739>
- UNESCO-UNEVOC, (2021). *Understanding the impact of artificial intelligence on skills development*. France-Germany: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; International Centre for Technical and Vocational Education and Training. https://unevoc.unesco.org/pub/understanding_the_impact_of_ai_on_skills_development.pdf
- Uşar, D., Uras, M., Ersoy, S., & Bozkurt, Y. (2018). Günümüzde Makineleşmenin İş Kazalarına Etkisi. *SETSCI-Conference Proceedings*, Vol. 2, pp. 361-365. Ist International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS 2018), Kemer-Antalya, Turkey. https://www.set-science.com/pdf_view.php?cacryn=ISAS%202018&cid=5&pid=249&fv=SETSCI_ISAS2018_005_00249

- Ünal, A. N. (2018). Bilgi Yönetim Sistemleri ve Siber Güvenlik. *International Journal of Social Inquiry*, 11(2), 375–394. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/607711>
- Wikipedia, (2025). Soma Faciası. https://tr.wikipedia.org/wiki/Soma_Facias%C4%B1 Fotoğraf: Mustafa Karaman (2014). https://tr.wikipedia.org/wiki/Soma_Facias%C4%B1#/media/Dosya:Soma_mine_disaster12.JPG
- Wu, H., Zhong, B., Li, H., Love, P., Pan, X., & Zhao, N. (2021). Combining Computer Vision With Semantic Reasoning For On-Site Safety Management in Construction. *Journal of Building Engineering*, 42, 103036. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103036> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221008949?via%3Dihub>
- Xie, X., Fu, G., Xue, Y., Zhao, Z., Chen, P., Lu, B., & Jiang, S. (2019). Risk prediction and factors risk analysis based on IFOA-GRNN and apriority algorithms: Application of artificial intelligence in accident prevention. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 169–184. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.11.019> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582018307985?via%3Dihub>