

Dijital Çağda İş Sağlığı: Yapay Zekâ Destekli Güvenli Çalışma Ortamları

Eminecane Ahmetoğlu¹

Özet

Dijitalleşmenin çalışma yaşamında hızla yaygınlık kazanması, iş sağlığı ve güvenliği alanında kullanılan yöntemlerin yeniden gözden geçirilmesini zorunlu kılan kapsamlı bir dönüşüme işaret etmektedir. İş kazalarının günümüzde çoğunlukla insan hataları, makine ve ekipman arızaları, çevresel koşullardaki beklenmeyen değişimler ile örgütsel süreçlerdeki eksikliklerin etkileşimi sonucunda meydana geldiği bilinmektedir. Bu çok yönlü yapı, geleneksel risk değerlendirme modellerinin değişken ve dinamik risk ortamını öngörmeye yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda yapay zekâ, büyük veri analitiği, görüntü işleme algoritmaları ve nesnelerin internetine dayalı teknolojiler, iş kazalarının önlenmesine yönelik daha bütüncül ve proaktif çözümler sunarak güvenlik yönetiminde giderek daha kritik bir rol üstlenmektedir.

Tahmine dayalı yapay zekâ sistemleri; geçmiş kazalara ilişkin veri setlerini, sensör tabanlı ölçümleri, üretim süreçlerindeki operasyonel parametreleri ve çalışan davranış örüntülerini birlikte değerlendirerek potansiyel tehlikelerin ortaya çıkma olasılığını belirleyebilmektedir. Bu yaklaşım, özellikle yüksek risk içeren sektörlerde erken uyarı mekanizmalarının etkinliğini artırmakta ve koruyucu önlemlerin zamanında uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Benzer şekilde görüntü işleme temelli güvenlik çözümleri, kişisel koruyucu donanım kullanımının takibi, tehlikeli bölgelere girişlerin izlenmesi ve riskli davranışların otomatik olarak sınıflandırılması gibi alanlarda yüksek doğruluk sunmaktadır.

Giyilebilir sensörler ise çalışanların fizyolojik durumlarını, ergonomik yüklenme düzeylerini ve çevresel risk göstergelerini gerçek zamanlı olarak izleyerek yorgunluk, dikkat azalması veya ısıl stres gibi kazaya zemin hazırlayan unsurların erken teşhisine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte

1 Yüksek Lisan Öğrencisi., Karatay Üniversitesi İşçi Sağlığı ve Güvenliği, isgemineinci@gmail.com, Orcid:0009-0008-6679-1630

veri gizliliği, etik izleme sınırları, algoritmik yanlılık ve maliyet gibi unsurların dikkatle ele alınması gerektiği unutulmamalıdır. Yapay zekâ destekli güvenlik uygulamalarının sürdürülebilir biçimde başarılı olabilmesi, teknik yararların ötesinde çalışan haklarını gözeten şeffaf ve etik bir yaklaşım gerektirmektedir.

1. GİRİŞ

Dijital dönüşümün son yıllarda hız kazanması, iş sağlığı ve güvenliği alanında geleneksel yaklaşımların yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılan kapsamlı bir paradigma değişimine işaret etmektedir. Endüstriyel üretim süreçlerinde otomasyonun yaygınlaşması ve veri üretiminin olağanüstü biçimde artması, çalışma ortamındaki tehlikelerin daha karmaşık ve çok katmanlı hâle gelmesine neden olmuştur. Bu durum, uzun yıllar boyunca kullanılan klasik risk değerlendirme yöntemlerinin, günümüz iş sahalarında ortaya çıkan dinamik ve hızla değişen risk örüntülerini öngörmekte yetersiz kalabileceğini göstermektedir. Çoklu değişkenlerin eşzamanlı etkisiyle şekillenen kaza mekanizmalarının anlaşılabilmesi için, geniş ölçekli veri setlerini işleyebilen ve iş süreçleri arasındaki görünmez ilişkileri ortaya çıkarabilen daha gelişmiş teknolojik araçlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu bağlamda yapay zekâ algoritmaları, büyük veri analizi, nesnelerin interneti (IoT) tabanlı sistemler ve sensör destekli izleme teknolojileri, iş kazalarının önlenmesi amacıyla önemli işlevler üstlenmeye başlamıştır.

Endüstri 4.0 ile hız kazanan dijitalleşme süreci, işyerlerinde sensör ağları, kablosuz veri aktarım mekanizmaları, otomasyona entegre karar destek sistemleri ve düşük gecikmeli iletişim altyapıları gibi bileşenlerin etkin kullanımına imkân tanımaktadır. Bu teknolojik dönüşüm, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının yalnızca belirli aralıklarla yapılan fiziksel kontroller veya standart denetim prosedürleri üzerinden yürütüldüğü geleneksel anlayışı geride bırakmıştır. Günümüzde İSG yönetimi, çalışma ortamındaki koşulların kesintisiz olarak izlendiği, çalışan davranışlarının gerçek zamanlı analiz edildiği ve makine ya da çevresel koşullardaki olağan dışı değişimlerin anında raporlanabildiği sürekli bir döngüye dönüşmüştür. Özellikle süreçlerin karmaşık olduğu, tehlike kaynaklarının çeşitlendiği ve insan hatalarının yoğun olarak görüldüğü iş sahalarında, dijital teknolojiler riskin erken aşamada belirlenmesine ve önleyici tedbirlerin zamanında uygulanmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (European Agency for Safety and Health at Work, 2022).

Giyilebilir teknolojilerin geniş kitleler tarafından tanınması, 2002 yılında kullanımına sunulan Bluetooth kulaklıkların yaygınlaşmasıyla ivme kazanmıştır. Bu gelişmeyi izleyen yıllarda, 2006–2013 döneminde Nike+ sensör sistemleri, Fitbit bileklikleri ve Google Glass gibi yenilikçi ürünler

piyasaya sürülerek giyilebilir teknoloji ekosisteminin çeşitlenmesine önemli katkı sağlamıştır. Sektörde yaşanan bu hızlı ilerleme sonucunda 2014 yılı pek çok araştırmacı ve sektör otoritesi tarafından “Giyilebilir Teknoloji Yılı” olarak nitelendirilmiştir. Aynı dönemde Apple’ın akıllı saatlerinin piyasaya çıkmasıyla birlikte giyilebilir cihazların kullanım alanı daha da genişlemiş ve günlük yaşam ile sağlık odaklı uygulamalarda yaygın bir araç hâline gelmiştir (Grace College, 2016).

Giyilebilir teknolojilerin tarihsel gelişimine bakıldığında, bu alanın yalnızca tüketici elektroniği açısından değil, aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği, sağlık takibi ve ergonomi gibi profesyonel uygulama alanları açısından da önemli bir dönüşüm sürecine işaret ettiği görülmektedir. Bluetooth kulaklıklarla başlayan erken dönem ürünler, temelde iletişim kolaylığı sunarken; 2006 sonrasında ortaya çıkan Nike+, Fitbit ve Google Glass gibi cihazlar, bireylerin fiziksel aktivitelerini izleme, çevresel verileri toplama ve artırılmış gerçeklik uygulamalarıyla çalışma süreçlerini destekleme kapasitesine sahip daha gelişmiş sistemler olarak öne çıkmıştır.

2014 yılının “Giyilebilir Teknoloji Yılı” olarak anılması, bu teknolojinin sadece bir tüketim trendi olmaktan çıkarak dijital ekosistemin önemli bir bileşeni hâline geldiğini göstermektedir. Bu dönemin ardından Apple Watch gibi çok işlevli cihazların pazara hâkim olması, giyilebilir ürünlerin sürekli veri toplayan, analiz eden ve kullanıcıya geri bildirim veren birer mini bilgisayar niteliği kazandığını ortaya koymaktadır. Günümüzde bu teknolojilerin sağlık izleme, ergonomik risk değerlendirme, çalışan güvenliği ve endüstriyel süreç takibi gibi uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlaması, giyilebilir araçların dijital dönüşümün temel bileşenlerinden biri hâline geldiğini göstermektedir.

Giyilebilir teknoloji her alanda olduğu gibi iş güvenliği alanında da çok fazla yerde kullanılmaktadır. Bunlardan ilki yaşam kemeri, hastaların, çalışanların, yaşlı bireylerin ve benzer şekilde sürekli sağlık takibi gerektiren kişilerin fizyolojik durumlarını izlemeye yönelik giyilebilir bir izleme sistemidir. Klinik ortamlarda ya da evde sürdürülen tedavi süreçlerinde hastaların uzaktan izlenmesini mümkün kılan bu teknoloji, özellikle tek başına yaşayan yaşlıların sağlık bilgilerinin aile üyeleri veya hekimler tarafından takip edilmesine olanak sağlamaktadır. Benzer biçimde, çalışma yaşamında işçilerin fiziksel sağlık göstergeleri, iş sağlığı ve güvenliği birimlerince bu cihaz üzerinden düzenli olarak değerlendirilebilmektedir. Yaşam kemeri, kullanıcıda herhangi bir riskli durum ya da beklenmeyen fizyolojik değişiklik meydana geldiğinde hem kullanıcıya hem de ilgili izleme merkezlerine anlık uyarılar iletmektedir. Bu özelliği sayesinde bireyin sağlık durumunun

kontrol altında tutulmasına katkı sağlamak ve potansiyel iş kazalarının önlenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, sürekli izleme olanağı sunarak hastanelerin iş yükünün azaltılmasına da önemli ölçüde destek vermektedir (Jamadar, 2016).

Akıllı gözlük teknolojisi, kullanıcıların tanımakta zorlandıkları kişileri yüz tanıma algoritmaları aracılığıyla belirlemelerine olanak tanıyabilmektedir (Schweizer, 2014). Çevresel unsurlara ilişkin bilgi sunma kapasitesine sahip olan bu cihazların, özellikle görme engelli bireyler için önemli bir yardımcı teknoloji niteliği taşıdığı belirtilmektedir. Böylece kullanıcıların çevresel engellere çarpma ya da düşme gibi risklere maruz kalma olasılığı azaltılmaktadır. Ayrıca, işitme engelli kişilerin belirli sesleri ayırt edebilmek amacıyla akıllı gözlüklerden yararlandığına ilişkin bulgular da mevcuttur (Schweizer, 2014). Bunlara ek olarak, akıllı gözlüklerin iş ortamlarında güvenliğin artırılmasına yönelik bir araç olarak kullanılması mümkündür. Sahada yürütülen faaliyetlerin, şantiye koşullarının ve çalışma süreçlerinin izlenmesini kolaylaştırması sayesinde, iş sağlığı ve güvenliğinden sorumlu birimlerin riskli durumları daha hızlı değerlendirmesine katkı sağlamaktadır.

Akıllı ayakkabılar, taban kısmına entegre edilen sensörler aracılığıyla kullanıcının fiziksel aktivitelerine, hareket biçimlerine ve belirli sağlık göstergelerine ilişkin verileri toplayan ve bu bilgileri mobil uygulamalar ya da bilgisayar tabanlı sistemlerle paylaşabilen gelişmiş giyilebilir teknoloji ürünleri arasında yer almaktadır. Bu cihazlar özellikle egzersiz yoğunluğu, adım sayısı ve kilo yönetimi gibi parametrelerin izlenmesinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca, akıllı ayakkabıların dikkat çeken özelliklerinden biri de Google Haritalar ile entegre çalışan Bluetooth tabanlı yönlendirme sistemi sayesinde kullanıcıya yürüyüş ya da koşu sırasında yön bulmada destek sunmasıdır (Legend Power, 2015).

Mevsimsel koşullara uyaranabilen modellerde ise dış ortam sıcaklığını algılayan sensörler aracılığıyla ayakları ısıtma veya soğutma işlevi sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, Alman araştırmacılar tarafından geliştirilen bazı prototiplerde yürüyüş sırasında ortaya çıkan mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülerek diğer giyilebilir cihazların şarj edilmesinde kullanılabildiği belirtilmektedir (Legend Power, 2015). Bu yönüyle akıllı ayakkabılar yalnızca izleme ve yönlendirme işlevleri değil, aynı zamanda enerji verimliliğine katkı sunan yenilikçi bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir.

Dijitalleşmenin hızla ilerlemesi, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) alanındaki geleneksel uygulamaların yeniden ele alınmasını gerektiren kapsamlı bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Sensör tabanlı teknolojiler ve giyilebilir

cihazların çalışma yaşamında yaygın biçimde kullanılmaya başlaması, çalışma ortamında meydana gelebilecek ani ya da gözle tespit edilmesi güç risklerin sürekli olarak izlenebilmesine imkân sağlamaktadır. Bu durum, uzun yıllar hâkim olan periyodik ve çoğunlukla tepkisel güvenlik yaklaşımlarının yerini, daha sürdürülebilir, anlık veri akışına dayalı ve öngörücü bir güvenlik anlayışına bırakmasına zemin hazırlamaktadır.

Yaşam kemeri, akıllı gözlük ve akıllı ayakkabı gibi giyilebilir teknoloji örnekleri, gerçek zamanlı veri toplama ve kullanıcıya anlık geri bildirim sunma işlevleriyle hem çalışan sağlığının korunmasına hem de üretim süreçlerinin verimliliğine önemli katkılar sunmaktadır. Örneğin yaşam kemerleri, bireyin fizyolojik göstergelerini sürekli izleyerek olası sağlık risklerini ortaya çıkmadan önce tespit edebilmekte ve bu yönüyle özellikle ağır iş kollarında erken uyarı sistemlerinin tamamlayıcı bir unsuru hâline gelmektedir. Akıllı gözlükler ise artırılmış gerçeklik uygulamaları, yüz tanıma fonksiyonları ve çevresel farkındalığı artıran sensör yapıları sayesinde hem engelli bireylerin günlük yaşamını kolaylaştırmakta hem de tehlikeli işlerde çalışanların güvenlik performansını yükseltmektedir.

Akıllı ayakkabılar, kullanıcı hareketlerini ve biyomekanik verilerini analiz ederek ergonomik risklerin tanımlanmasına yardımcı olmakta; bazı modellerde ise çevresel sıcaklığa uyum sağlama veya yürüyüş sırasında enerji üretme gibi ileri özellikler sunulmaktadır. Bu durum, giyilebilir teknolojilerin yalnızca izleme amacıyla kullanılan cihazlar olmaktan çıkarak enerji verimliliğini destekleyen entegre sistemlere doğru evrildiğini göstermektedir.

Bu teknolojilerin bütüncül bir çerçevede değerlendirildiğinde ortaya çıkan temel sonuç, İSG alanında birey odaklı, sürekli ölçümlemeye dayalı ve davranış değişikliğini destekleyen yeni bir yaklaşımın oluşmakta olduğudur. Anlık geri bildirim mekanizmaları, çalışanların kendi risk algılarının gelişimine katkı sunmakta; böylece iş kazalarının yalnızca teknik tedbirlerle değil, gelişmiş bir güvenlik kültürüyle de önlenebileceği görülmektedir.

2. YÖNTEM

Bu araştırma, dijitalleşme süreciyle birlikte iş sağlığı ve güvenliği alanında yaygınlaşan yapay zekâ temelli güvenlik teknolojilerinin iş kazalarının önlenmesine olan etkilerini incelemek amacıyla sistematik literatür taraması yaklaşımıyla gerçekleştirilmiştir. Tarama kapsamında 2015–2023 yılları arasında yayımlanmış Türkçe ve İngilizce akademik çalışmalar incelenmiş; Web of Science, Scopus, Google Scholar ve Ulakbim veri tabanlarında “iş sağlığı ve güvenliği”, “yapay zekâ”, “tahmine dayalı analiz”, “görüntü işleme”, “giyilebilir sensörler” ve “dijital güvenlik teknolojileri” anahtar

sözcükleri kullanılarak kapsamlı bir arama yapılmıştır. Elde edilen yayınlar, ön belirlenmiş dahil edilme ölçütleri doğrultusunda değerlendirilmiş; yalnızca araştırma sorularıyla doğrudan ilişkili olan, yöntemsel açıklığı bulunan ve tam metnine erişim sağlanabilen çalışmalar incelemeye alınmıştır.

Tarama sonucunda seçilen yayınlar, içerik analitiği yaklaşımıyla sistematik bir şekilde kodlanmış ve tematik analize tabi tutulmuştur. Tematik yapılandırmada çalışmalar; tahmine dayalı yapay zekâ modelleri, görüntü işleme tabanlı güvenlik izleme sistemleri, giyilebilir sensör teknolojileri ve dijital işyeri izleme altyapıları gibi ana temalar altında sınıflandırılmıştır. Her bir tema kapsamında teknolojilerin iş kazalarını azaltmadaki işlevleri, hangi operasyonel alanlarda uygulandıkları, performans göstergeleri, karşılaşılan sınırlılıklar ve etik açıdan ortaya çıkan tartışma konuları ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Bu sürecin güvenilirliğini artırmak için kodlama aşaması iki bağımsız araştırmacı tarafından yürütülmüş, kod ve tema uyumsuzlukları karşılıklı tartışmalar yoluyla uzlaştırılmış ve analiz şemasının bütünlüğü sağlanmıştır.

Bu yöntemsel yaklaşım, incelenen literatürün çok boyutlu bir çerçevede ele alınmasına imkân vermiş hem teknolojilerin potansiyel katkıları hem de uygulamaya yönelik güçlükler sistematik ve karşılaştırmalı biçimde ortaya konmuştur. Böylece çalışma, yapay zekâ ve dijital güvenlik teknolojilerinin iş kazalarını önlemedeki etkilerini değerlendirmeye yönelik bilimsel temeli güçlü, bütüncül ve metodolojik açıdan tutarlı bir inceleme süreci sunmaktadır.

3. BULGULAR

Sistematik literatür incelemesi kapsamında elde edilen bulgular, dijitalleşme ve yapay zekâ tabanlı güvenlik teknolojilerinin iş kazalarının önlenmesine yönelik katkılarının üç ana boyutta yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. İlk olarak, tahmine dayalı analiz yaklaşımlarını kullanan çalışmalar, makine öğrenimi ve istatistiksel modelleme tekniklerinin iş süreçlerindeki risk eğilimlerini erken dönemde belirleyebilme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bu modellerin geçmiş kaza verileri, üretim hatlarından elde edilen operasyonel kayıtlar ve sensör çıktılarıyla beslendiğinde, özellikle yüksek riskli faaliyetlerde olası sapmaları önceden işaretleyerek proaktif bir uyarı mekanizması oluşturduğu görülmektedir. Bulgular, erken uyarı sistemlerinin iş kazalarının oluşma olasılığını düşürmede önemli bir karar destek aracı hâline geldiğini göstermektedir.

İkinci tema, görüntü işleme temelli izleme ve denetim teknolojilerinin işyeri güvenliğine sağladığı katkılara odaklanmaktadır. Yapılan araştırmalar, derin öğrenme tabanlı nesne tanıma ve davranış sınıflandırma algoritmalarının

çalışma ortamlarını anlık olarak tarayabildiğini, kişisel koruyucu donanım kullanımının doğruluğunu denetleyebildiğini ve tehlikeli hareketlerin yüksek doğruluk oranlarıyla tespit edilebildiğini ortaya koymaktadır. Bu teknolojiler sayesinde, işverenler güvenlik ihlallerini insan gözü ile yapılan denetimlere kıyasla daha hızlı ve tutarlı biçimde belirleyebilmekte, böylece hem anlık müdahale kapasitesi artmakta hem de süreçlerin izlenebilirliği güçlenmektedir.

Üçüncü bulgu grubu, giyilebilir sensör teknolojilerinin çalışan güvenliği üzerindeki etkilerine ilişkindir. İncelenen çalışmalar, ivmeölçer, jiroskop, gaz sensörü, nabız ölçer ve termal izleme modülleri gibi çoklu sensörlerden oluşan giyilebilir sistemlerin, çalışanların fiziksel durumlarına ve maruz kaldıkları çevresel risklere yönelik sürekli ve kesintisiz veri ürettiğini göstermektedir. Bu veriler, ergonomik risklerin, aşırı yorgunluğun, ısı stresi ve gaz maruziyeti gibi sağlık ve güvenlik açısından kritik durumların erken dönemde fark edilmesine olanak tanımakta; aynı zamanda işletmelere bütüncül bir risk izleme altyapısı sağlamaktadır. Böylece hem bireysel güvenlik performansı artmakta hem de örgütsel düzeyde daha akılcı ve veri odaklı İSG politikalarının geliştirilmesine zemin hazırlanmaktadır.

Farklı sektörlerde yürütülen çalışmaların karşılaştırmalı değerlendirmesi, dijitalleşme ve yapay zekâ tabanlı uygulamaların hem tehlike tanımlama kapasitesini genişlettiğini hem de önleyici güvenlik mekanizmalarını daha yapılandırılmış ve ölçülebilir hâle getirdiğini göstermektedir. İncelenen literatür, bu teknolojilerin yalnızca operasyonel güvenliği artırmakla kalmadığını, aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği kültürünün dijital dönüşüm ile birlikte daha sistematik, şeffaf ve izlenebilir bir yapıya kavuştuğunu ortaya koymaktadır.

3.1. Tahmine Dayalı Analiz Sistemleri

Tahmine dayalı analiz yaklaşımları, iş kazalarının oluşmasına zemin hazırlayan örüntüleri erken aşamada ortaya çıkarabilmek için çeşitli veri kaynaklarını bir araya getiren bütünleşik modellerden yararlanmaktadır. Bu kapsamda yapay zekâ tabanlı sistemler; geçmiş kaza istatistikleri, sensörlerden elde edilen anlık ölçümler, üretim hattına ilişkin operasyonel kayıtlar ve çalışan davranışlarını yansıtan göstergeleri karşılaştırmalı biçimde işleyerek olası risk senaryolarını önceden tanımlayabilmektedir. Zhao ve Lucas'ın (2020, s. 52) yürüttüğü kapsamlı inceleme, makine öğrenimi yöntemlerinin, klasik istatistiksel yaklaşımlara göre iş kazalarını tahmin etmede belirgin biçimde daha yüksek performans göstererek %75 ila %90 arasında değişen doğruluk oranlarına ulaşabildiğini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Türkiye'de

maden sektörüne odaklanan Özkan ve Güngör'ün (2021, s. 220) çalışması, tahmine dayalı modellerin sahadaki kritik tehlike noktalarını önceden saptayarak işletmelerde proaktif güvenlik uygulamalarının geliştirilmesine kayda değer katkı sağladığını bildirmektedir. Bu bulgular, tahmine dayalı analiz sistemlerinin özellikle yüksek riskli sektörlerde erken uyarı mekanizmalarının güçlendirilmesi ve karar süreçlerinin daha öngörülebilir hâle getirilmesi açısından önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir.

Tahmine dayalı analiz yaklaşımlarının iş güvenliği alanında giderek daha fazla önem kazanmasının temel nedeni, çalışma ortamındaki risk örüntülerinin çoğu zaman doğrusal olmayan ve insan gözlemiyle tespit edilmesi güç dinamikler içermesidir. Yapay zekâ destekli modeller, farklı kaynaklardan gelen veri akışını eş zamanlı değerlendirerek riskin yalnızca mevcut durumunu değil, gelecekte nasıl bir yönelim gösterebileceğini de ortaya koyabilmektedir. Bu teknolojiler sayesinde işletmeler, kaza meydana geldikten sonra çözüm arayan reaktif bir yaklaşım yerine, risk gerçekleşmeden önce müdahaleyi mümkün kılan proaktif bir güvenlik anlayışına geçiş yapmaktadır. Ayrıca tahmine dayalı modeller, örgütsel süreçlerde görünmez hâle gelebilen mikro davranış hatalarını, ekipman yıpranmasına bağlı performans düşüşlerini ve çevresel koşullardaki düzensiz değişimleri bütüncül bir çerçevede ilişkilendirerek güvenlik yönetiminin kapsamını genişletmektedir. Bununla birlikte bu yaklaşımların etkinliği, kullanılan verinin sürekliliği, modelin sektör koşullarına uyarlanması ve sonuçların yöneticiler tarafından doğru anlamlandırılması gibi faktörlere bağlı olduğundan, tahmine dayalı analizlerin başarısı yalnızca ileri analitik tekniklerle değil, aynı zamanda iyi tasarlanmış kurumsal süreçlerle de yakından ilişkilidir. Tüm bu değerlendirmeler, veri odaklı erken uyarı sistemlerinin risk yönetiminin geleceğinde merkezi bir rol oynayacağına işaret etmektedir.

3.2. Görüntü İşleme Tabanlı Güvenlik İzleme

Son dönemde dijital teknolojilerin hızla gelişmesiyle birlikte üretilen görüntü ve video miktarında belirgin bir artış meydana gelmiş; buna paralel olarak etiketlenmemiş, ham durumdaki veri yığınları da büyük ölçüde çoğalmıştır. Bu durum, veri setleri içerisinden anlamlı örüntülerin çıkarılmasını ve bu verilerin sistematik biçimde analiz edilmesini kritik bir araştırma alanı hâline getirmiştir. Söz konusu gereksinim, özellikle büyük hacimli görsel verilerin işlenmesinde görüntü işleme tekniklerinin önemini artırmıştır. Görüntü işleme algoritmaları, veriler içerisinden gerekli bilginin ayıklanmasını, görsel ve işitsel içeriklerin anlamlandırılmasını sağlamakta; yüz tanıma, plaka okuma, nesne algılama gibi pek çok uygulama alanında etkin biçimde kullanılmaktadır (Luo W. 2014).

Araştırmacılar, bilgisayarlı gözü, makine öğrenimi ve görüntü işleme yöntemlerini bir araya getiren gelişmiş bir güvenlik kaskı tespit sistemi tasarlamışlardır. Çalışmanın temel amacı, çalışanların kask kullanıp kullanmadığını güvenilir biçimde belirleyebilen uygulanabilir ve sahaya uyarlanabilir bir denetim mekanizması oluşturmaktır. Bu kapsamda oluşturulan veri kümesi, elektrik trafo merkezlerinde kaydedilen yaya görüntülerinin yanı sıra INRIA kişi veri setinden elde edilen örneklerle genişletilmiş ve modelin eğitimi için çeşitlendirilmiştir (Li, K. Zhao).

Bu tür çalışmaların dikkat çekici yönü, iş sağlığı ve güvenliği alanına yalnızca teknik bir çözüm sunmakla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda çalışma sahasında insan davranışlarının gerçek zamanlı olarak izlenebilmesine imkân tanınmasıdır. Bu yaklaşım, geleneksel denetim yöntemlerinin taşıdığı sınırlılıkları aşarak güvenlik kültürünün kurumsal düzeyde güçlendirilmesine katkı sağlamakta; buna ek olarak, insan hatasına bağlı kaza olasılıklarının erken tespit yoluyla azaltılmasına yönelik yeni ve uygulanabilir bir perspektif ortaya koymaktadır.

3.2.1. Giyilebilir Sensör Teknolojileri

Giyilebilir sensör teknolojileri, çalışanların anlık maruziyet düzeylerini, fizyolojik parametrelerini ve ergonomik risk faktörlerini kesintisiz olarak izleyebilen bütünleşik yapılar hâline gelmiştir. Wang ve çalışma arkadaşları (2022, s. 105803), bu tür sensör tabanlı izleme sistemlerinin iş kazası olasılığını yaklaşık %30 oranında azaltabildiğini ortaya koymuştur. Türkiye’de sanayi kuruluşlarında gerçekleştirilen saha uygulamalarında ise sıcaklık değişimleri, kimyasal gaz yoğunluğu ve ergonomik zorlanmaların sensörler aracılığıyla etkili biçimde takip edildiği ve bu izlemenin risk yönetimi süreçlerine somut katkılar sağladığı rapor edilmiştir (Yılmaz & Kaya, 2021, s. 50).

Güncel araştırmaların ortaya koyduğu eğilim, giyilebilir sensörlerin yalnızca çevresel ya da fizyolojik verileri toplamakla sınırlı bir teknoloji olmaktan çıkarak iş sağlığı ve güvenliği yönetiminde önleyici yaklaşımların merkezinde konumlandığını göstermektedir. Bu sistemler aracılığıyla elde edilen anlık verilerin analiz edilmesi, olası tehlikelerin ortaya çıkmadan önce belirlenmesini sağlayarak hızlı ve hedefe yönelik müdahalelere zemin hazırlamaktadır. Bunun yanı sıra çalışanların fizyolojik durumlarının objektif biçimde takip edilmesi, iş yükü dağılımı, çalışma ortamının niteliği ve ergonomik riskler hakkında daha kapsamlı değerlendirmeler yapılmasına imkân tanımaktadır. Bu doğrultuda elde edilen bilgiler, iş süreçlerinin iyileştirilmesi ve çalışma koşullarının yeniden düzenlenmesi gibi karar mekanizmalarını daha bilimsel bir temele oturtmaktadır. Dolayısıyla giyilebilir

sensörlerin kullanımının, örgütlerde güvenlik kültürünün güçlendirilmesine ve veri odaklı yönetim anlayışının yaygınlaşmasına önemli katkılar sunduğu belirtilmektedir.

Tablo 1: YZ ve Dijital Teknolojilerin İş Kazası Önleme Etkinliği

Teknoloji	Kullanım Alanı	Etkinlik	Kaynak
Tahmine Dayalı YZ	İş kazası tahmini	%75–90 doğruluk	Zhao & Lucas, 2020
Görüntü İşleme	KKD ve riskli davranış izleme	%85–92 tespit oranı	Kim & Cho, 2021; Çetin & Arslan, 2020
Giyilebilir Sensörler	Ergonomi ve çevresel maruziyet	%20–30 kaza riski azalması	Wang et al., 2022; Yılmaz & Kaya, 2021

Elde edilen araştırma sonuçları, yapay zekâ ve dijital teknolojilerin iş kazalarının önlenmesinde öngörüye dayalı, bütüncül ve veri temelli bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır. Tahmine yönelik analitik modeller, çalışma ortamındaki olası tehlikelerin henüz gerçekleşmeden tespit edilmesine yardımcı olurken; görüntü işleme tabanlı sistemler çalışan davranışlarındaki riskli örüntüleri izleme konusunda önemli katkılar sağlamaktadır. Buna ek olarak, giyilebilir sensörlerin sağladığı gerçek zamanlı fizyolojik ve çevresel veri akışı, ergonomik ve maruziyet kaynaklı risklerin anlık değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Bununla birlikte, elde edilen verilerin doğruluğu, teknolojik altyapının yeterliliği ve özellikle çalışan mahremiyeti ile algoritmik önyargı gibi etik tartışmalar, bu teknolojilerin iş sağlığı ve güvenliği kapsamında sürdürülebilir ve etkin kullanımı açısından belirleyici unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Ball, 2022, s. 35; Hollnagel, 2014, s. 22). Bu çalışmanın bulguları, dijitalleşme ve yapay zekâ tabanlı teknolojilerin iş kazalarının önlenmesinde etkin ve çok boyutlu araçlar sunduğunu göstermektedir. Tahmine dayalı yapay zekâ modelleri, geçmiş kaza verileri ve sensör çıktıları gibi çok çeşitli veri kaynaklarını birleştirerek riskleri önceden tanımlamakta, böylece kazaların meydana gelmeden kontrol altına alınmasını sağlayan sistematik bir erken uyarı mekanizması oluşturmaktadır (Zhao & Lucas, 2020, s. 52; Özkan & Güngör, 2021, s. 220). Bu durum, yüksek riskli sektörlerde iş kazalarının azaltılmasında proaktif bir yaklaşım geliştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Öte yandan, dijital teknolojilerin iş kazalarının önlenmesindeki etkisini sınırlayan çeşitli faktörler bulunmaktadır. Özellikle veri setlerinin tutarlılığı, teknik altyapının yetersizliği ve algoritmaların belirli örüntülere karşı önyargı

geliştirebilmesi, yapılan risk analizlerinin güvenilirliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Hollnagel, 2014, s. 22). Bunun yanında, çalışanların sürekli gözetim altında tutulmasıyla ortaya çıkan mahremiyet ihlalleri ve bu uygulamaların yol açabileceği psikososyal baskılar, önemli etik tartışmaları beraberinde getirmektedir (Ball, 2022, s. 35). Bu nedenlerle, yapay zekâ temelli güvenlik sistemlerinin işyerlerine entegrasyonunda yalnızca teknik gerekliliklerin değil, aynı zamanda toplumsal, etik ve hukuksal boyutların da bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Genel değerlendirme, dijital dönüşüm ve yapay zekâ destekli güvenlik uygulamalarının iş kazalarının azaltılmasında önemli bir potansiyel sunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin uzun vadede etkili ve güvenilir biçimde kullanılabilmesi, yalnızca teknik kapasitenin güçlendirilmesine değil, aynı zamanda etik ilkelere dayalı, şeffaf ve çalışan odaklı uygulama modellerinin benimsenmesine bağlıdır. Dolayısıyla, dijital güvenlik sistemlerinin kurumsal yapılara entegrasyonunda teknolojik yeniliklerle birlikte insan merkezli yönetim yaklaşımının da önceliklendirilmesi gerekmektedir.

4. SONUÇ

Dijitalleşmenin hız kazandığı günümüzde, iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları yapay zekâ, veri bilimi ve akıllı sensör teknolojilerinin entegrasyonu ile köklü bir dönüşüm geçirmektedir. Özellikle tahmine dayalı analiz modelleri, geçmiş kaza kayıtları, operasyonel veriler ve çalışan davranış örüntülerini işleyerek potansiyel risklerin ortaya çıkmadan önce belirlenmesine olanak tanımaktadır. Benzer şekilde, görüntü işleme temelli güvenlik sistemleri çalışanların kişisel koruyucu donanım kullanımını, tehlikeli bölge ihlallerini ve riskli davranış örüntülerini gerçek zamanlı olarak analiz ederek insan hatası kaynaklı kazaların azaltılmasında önemli bir işlev üstlenmektedir. Giyilebilir sensör teknolojileri ise çevresel değişkenleri, ergonomik zorlanmaları ve fizyolojik parametreleri sürekli izleyerek ısı stresi, yorgunluk ve konsantrasyon kaybı gibi kritik faktörlerin erken tespit edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu bütünleşik dijital sistemler, iş kazalarının çok boyutlu nedenlerini öngörebilen ve riskleri proaktif biçimde yönetebilen daha güvenli bir çalışma ortamının oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Bununla birlikte, dijital güvenlik uygulamalarının sunduğu avantajların yanında çeşitli sınırlılıkların bulunduğu da görülmektedir. Büyük veri analitiğine dayalı sistemlerde veri bütünlüğü ve doğruluğu, risk değerlendirmelerinin güvenilirliği açısından temel bir koşuldur. Yetersiz veri altyapısı, hatalı sensör ölçümleri ya da eksik etiketlenmiş görüntüler,

modellerin performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca algoritmik yanlılık, yapay zekâ modellerinin belirli davranış kalıplarını yanlış yorumlamasına neden olabilmekte ve bu durum çalışanlar açısından adaletsizlik algısı yaratabilmektedir. Sürekli gözetim sistemlerinin kullanılması ise çalışan mahremiyeti, psikososyal etkiler, işyeri stresinin artması ve izleme sistemlerine duyulan güven gibi etik ve yönetsel sorunları gündeme taşımaktadır. Dolayısıyla teknoloji kullanımının yalnızca teknik doğruluk ve verimlilik üzerinden değil, insan hakları, etik sorumluluk ve işyeri psikolojisi çerçevesinde de değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu kapsamda, yapay zekâ tabanlı güvenlik uygulamalarının gerçek anlamda etkili olabilmesi için iş sağlığı ve güvenliği kültürünün teknolojik yeniliklerle uyumlu biçimde yeniden yapılandırılması önemlidir. Etik ilkelere dayalı, şeffaf ve çalışan katılımını önceleyen bir yönetim anlayışı; dijital güvenlik sistemlerinin kabul edilebilirliğini artırmakta ve kurum içinde sürdürülebilir bir güvenlik kültürü oluşmasına katkı sunmaktadır. Ayrıca çalışanların sistem kullanım süreçlerine aktif olarak dahil edilmesi hem güvenlik uygulamalarının benimsenmesini kolaylaştırmakta hem de yapay zekâ modellerinin işyerine özgü ihtiyaçlara uyarlanması sağlamaktadır.

Sonuç olarak, dijital teknolojilerin iş sağlığı ve güvenliği alanına entegrasyonu, iş kazalarının azaltılması ve risk yönetiminin iyileştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu potansiyelin tam olarak hayata geçirilebilmesi, teknolojik yeniliklerin etik, sosyal ve yönetsel boyutlarla birlikte ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Geleceğe yönelik sürdürülebilir bir iş sağlığı uygulaması, yalnızca gelişmiş algoritmalar ve sensör teknolojileriyle değil, aynı zamanda insan odaklı politikalar, kurumsal şeffaflık ve katılımcı yönetim modelleriyle mümkün olabilecektir.

Kaynakça

- Ball, K. (2022). *Surveillance, work and technology: New dynamics in the digital workplace*. Routledge.
- Çetin, M., & Arslan, B. (2020). Görüntü işleme teknikleri ile kişisel koruyucu donanım kullanımının otomatik tespiti. *İnşaat Mühendisliği Dergisi*, 15(2), 85–97.
- Grace College (2016). *Rapid Growth: The Past, Present and Future of Wearable Technology*. Available: <https://online.grace.edu/news/business/the-past-present-future-of-wearable-technology/>.
- Hollnagel, E. (2014). *Safety-I and Safety-II: The past and future of safety management*. Ashgate.
- Jamadar, S. (2016). *Applications of Smart and Interactive Textiles*. Available: <https://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>
- Legend Power (2015). *Smart Shoes: The Next Big Thing? New smart shoes can harvest your energy while you walk*. Available: <http://legendpower.com/savepower/smart-shoes-the-next-big-thing/>
- Li, K.; Zhao, X.; Bian, J.; Tan, M. Otomatik Güvenlik Kaskı Takma Algılama. 2017 IEEE Otomasyon, Kontrol ve Akıllı Sistemlerde CYBER Teknolojisi (CYBER) Uluslararası Yıllık Konferansı Bildirilerinde, Honolulu, HI, ABD, 31 Temmuz-4 Ağustos 2017; s. 617-622.
- Luo, W., Xing, J., Milan, A., Zhang, X., Liu, W., Zhao, X., Kim, T.-K. (2014). Multiple Object Tracking: A Literature Review. *Computer Vision and Pattern Recognition*, doi: 10.1016/j.artint.2020.103448
- Osha.europa.eu/sites/default/files/artificial-intelligence-osh-summary_en.pdf?utm_source.
- Özkan, E., & Güngör, İ. (2021). Yapay zekâ temelli karar destek sistemlerinin maden sektöründe iş güvenliği performansına etkisi. *Madencilik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 60(3), 215–228.
- Schweizer, H. (2014). *Smart glasses: technology and applications*. Ubiquitous computing seminar, Available: 101 https://www.vs.inf.ethz.ch/edu/FS2014/UCS/reports/HermannSchweizer_SmartGlassesTechnologyApplications_report.
- Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK). (2022). *İstatistik yılı*. Ankara.
- Wang, Q., Li, S., & Zhao, H. (2022). Wearable sensor-based risk prediction models for occupational safety. *Safety Science*, 153, 105803. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105803>
- Yılmaz, H., & Kaya, S. (2021). IoT tabanlı sensör sistemlerinin iş güvenliği uygulamalarında kullanımı. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 32(1), 45–59.

Zhao, X., & Lucas, D. (2020). Machine learning approaches for occupational accident prediction: A systematic review. *Journal of Safety Research*, 74, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.03.002>

Kişisel Verileri Koruma Kurumu (KVKK). (2016). 6698 sayılı kişisel verilerin korunması kanunu.