

نقش هوش مصنوعی و فناوری‌های نوظهور در بهبود ایمنی و سلامت محیط‌های کاری

زهرا دلاور^{۱*}

۱- کارشناسی مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشگاه علوم پزشکی اراک (delavarzahra55@gmail.com)

چکیده:

در دهه‌های اخیر، توسعه فناوری‌های نوظهور به‌ویژه هوش مصنوعی (AI)، چشم‌انداز ایمنی و سلامت شغلی را دگرگون کرده است. محیط‌های کاری امروزی با چالش‌های متعددی از جمله بیماری‌های حرفه‌ای، حوادث شغلی، و فشارهای روانی-سازمانی روبرو هستند که پیامدهایی جدی برای نیروی کار و بهره‌وری سازمان‌ها در پی دارد. در این میان، فناوری‌های نوین به‌عنوان ابزاری کارآمد در پیشگیری، پایش، تحلیل و مدیریت این مخاطرات نقش فزاینده‌ای یافته‌اند. مقاله حاضر با رویکردی مروری به بررسی نقش هوش مصنوعی و فناوری‌های نوظهور در بهبود ایمنی و سلامت محیط‌های کاری پرداخته است. یافته‌ها نشان می‌دهند که فناوری‌هایی مانند یادگیری ماشین، بینایی ماشین، پردازش زبان طبیعی، اینترنت اشیا و فناوری‌های پوشیدنی، با قابلیت‌هایی نظیر پایش لحظه‌ای محیط، تحلیل کلان‌داده‌ها، شناسایی الگوهای خطر، و ارائه هشدارهای هوشمند، امکان ارتقای چشمگیر سطح ایمنی را فراهم کرده‌اند. همچنین، این فناوری‌ها می‌توانند با افزایش دقت در شناسایی بیماری‌های شغلی به ارتقای بهداشت حرفه‌ای کمک کنند. از سوی دیگر، خودکارسازی وظایف به‌وسیله سامانه‌های هوشمند می‌تواند بر ادراک کارکنان از خودمختاری، رضایت شغلی و تعامل انسان-ماشین تأثیرگذار باشد. با وجود مزایای گسترده، چالش‌هایی نظیر وابستگی به زیرساخت‌های فناورانه، ملاحظات اخلاقی و حریم خصوصی داده‌ها، و فقدان چارچوب‌های قانونی جامع، از موانع اصلی گسترش این فناوری‌ها در حوزه ایمنی شغلی هستند. با این حال، بهره‌گیری مسئولانه و سیاست‌گذاری دقیق در این زمینه، می‌تواند بستری برای گذار از رویکردهای واکنشی به سوی مدل‌های پیش‌بینانه، داده‌محور و پایدار در مدیریت سلامت و ایمنی محیط‌های کاری فراهم آورد.

کلمات کلیدی: ایمنی و سلامت شغلی، هوش مصنوعی، تعامل انسان و هوش مصنوعی، تحلیل پیش‌بینانه، فناوری‌های نوظهور

۱ مقدمه

با دیجیتالی شدن فرآیندها، مشاغل و وظایف کاری به طور مداوم در حال تغییر هستند. توسعه فناوری های نوینی مانند هوش مصنوعی (AI) و رباتیک پیشرفته، امکان های تازه ای را برای خودکارسازی وظایف فراهم کرده و بار دیگر بحث های مرتبط با جنبه های روانی-اجتماعی و سازمانی کار و همچنین ایمنی و سلامت کارکنان را به جریان انداخته است. یکی از جنبه های قابل توجه این فناوری های نوین، توانایی آن ها در تغییر اساسی سطح درک شده ی خودمختاری کارکنان است. دلیل اصلی این امر به ویژگی کلیدی هوش مصنوعی مدرن بازمی گردد: توانایی عملکرد و سازگاری بدون مداخله انسانی؛ به بیان دیگر، عملکرد خودکار در شرایطی که انسان صرفاً نقش ناظر یا پشتیبان را ایفا می کند. باید توجه داشت که خودکارسازی به معنای عملکرد خودمختار نیست. در بسیاری از موارد، هوش مصنوعی برای خودکارسازی عملکردها تا سطح مشخصی استفاده می شود و غالباً براساس قواعد از پیش برنامه ریزی شده عمل می کند؛ بنابراین، حضور یک اپراتور برای انجام برخی فعالیت ها پیش یا پس از عملیات، همچنان ضروری است. تنها زمانی می توان یک سامانه را «خودمختار» دانست که نیازی به ورودی یا راهنمایی انسانی نداشته باشد. در بیشتر موارد، سطح بالای خودکارسازی با کاهش آزادی عمل کارکنان در نحوه انجام وظایف یا انتخاب ابزار و روش همراه است، در حالی که سامانه های کاملاً خودمختار و قابل اعتماد می توانند فرصت هایی برای انجام وظایف کاری متنوع، تأثیرگذار و انعطاف پذیرتر فراهم کنند. بر همین اساس، سامانه های مبتنی بر هوش مصنوعی ظرفیت ایجاد یک دگرگونی کیفی در فرصت ها و چالش های مربوط به ایمنی و سلامت شغلی را دارا هستند. البته، چنین سامانه هایی کاملاً نوظهور نیستند، اما در سال های اخیر با افزایش قدرت محاسباتی، میزان پیچیدگی، عملکرد و دامنه قابلیت های آن ها به طرز چشمگیری افزایش یافته است. از همین رو، تعاریف هوش مصنوعی نیز به صورت مستمر در حال تغییرند تا با پیشرفت های فناورانه هماهنگ شوند. اگرچه تاکنون تعاریف متعددی از هوش مصنوعی ارائه شده، اما هنوز اجماع جهانی درباره تعریف واحدی از سامانه های مبتنی بر هوش مصنوعی وجود ندارد. ایمنی و بهداشت شغلی بر حفاظت از سلامت و رفاه افراد در محیط های کاری تمرکز دارد. اگرچه بیماری های شغلی متعددی با محیط های کاری مرتبط هستند، اما بیماری های ریوی ناشی از مواجهه با موادی مانند زغال سنگ، سیلیس، آزبست، آلومینیوم، پنبه، سرب، بریلیم و غیره همچنان از شایع ترین بیماری های مرتبط با شغل به شمار می روند. با وجود اقدامات انجام شده، بیماری ها و حوادث شغلی همچنان یک دغدغه جهانی در حوزه بهداشت عمومی محسوب می شوند و پیامدهای سنگین بهداشتی و اقتصادی به همراه دارند، چه در کشورهای با درآمد پایین تا متوسط مانند روسیه، چین و هند و چه در کشورهای توسعه یافته دیگر. شرایط نامطلوب بهداشت و ایمنی شغلی در سراسر جهان منجر به بروز ۶۰ تا ۱۵۰ میلیون مورد بیماری شغلی می شود که هزینه ای معادل حدود ۴ تا ۵ درصد از تولید ناخالص داخلی کشورها را دربر دارد. بر اساس گزارش بار جهانی بیماری ها (Global Burden of Disease)، تاکنون حدود ۱۲۵ هزار نفر به دلیل پنوموکونیوز ناشی از زغال سنگ، سیلیکوزیس و آزبستوز جان خود را از دست داده اند. اگرچه از سال ۲۰۱۵ به بعد، شیوع جهانی پنوموکونیوز روند کاهشی داشته است، اما همچنان جمعیت قابل توجهی از بیماران وجود دارد. نرخ مرگ و میر در میان مبتلایان به پنوموکونیوز در سال های اخیر بالا باقی مانده است، به طوری که از سال ۲۰۱۵ به بعد، سالانه بیش از ۲۱ هزار مورد فوت گزارش شده است. علاوه بر این، صنایعی نظیر تولید، ساخت و ساز، حمل و نقل و انبارداری با نرخ بالایی از حوادث کاری مواجه اند. سازمان بین المللی کار (ILO) برآورد کرده است که سالانه حدود ۲.۳ میلیون نفر در سراسر جهان بر اثر حوادث یا بیماری های مرتبط با کار جان خود را از دست می دهند؛ یعنی بیش از ۶۰۰۰ مرگ در روز. در سطح جهانی، سالانه حدود ۳۴۰ میلیون حادثه شغلی و ۱۶۰ میلیون مورد بیماری شغلی رخ می دهد.

در عصر حاضر، هم زمان با گسترش فناوری های دیجیتالی، محیط های کاری نیز دستخوش تحولات بنیادینی شده اند.

توسعه و بهره‌برداری از فناوری‌های نوظهور همچون هوش مصنوعی (AI)، اینترنت اشیا (IoT)، یادگیری ماشین، رباتیک پیشرفته و فناوری‌های پوشیدنی، چشم‌انداز جدیدی را برای ارتقای ایمنی و سلامت شغلی ترسیم کرده‌اند. این فناوری‌ها نه تنها توانایی پایش، تحلیل و پیش‌بینی خطرات محیط کار را با دقتی بی‌سابقه فراهم می‌کنند، بلکه می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های پیشگیرانه، واکنش سریع به حوادث و حتی آموزش مستمر کارکنان نقش‌آفرینی کنند. در گذشته، اقدامات ایمنی عمدتاً مبتنی بر مداخلات انسانی، پایش‌های دوره‌ای و روش‌های واکنشی بود؛ اما امروزه با ورود سامانه‌های هوشمند، رویکردها به سمت مدل‌های پیش‌بینانه و مبتنی بر داده در حال حرکت‌اند. هوش مصنوعی قادر است با تجزیه و تحلیل حجم انبوهی از داده‌های محیطی، رفتاری و فیزیولوژیکی، الگوهای خطر را شناسایی کرده و پیش از وقوع حادثه هشدارهای لازم را صادر کند. همچنین، فناوری‌های نوین از جمله سنسورهای هوشمند و تجهیزات پوشیدنی، امکان نظارت لحظه‌ای بر شرایط جسمانی کارگران و محیط پیرامون را فراهم آورده‌اند. در این میان، ادغام فناوری با اصول بهداشت حرفه‌ای، نه تنها کارایی اقدامات ایمنی را افزایش می‌دهد، بلکه به کاهش مخاطرات شغلی، پیشگیری از بیماری‌های حرفه‌ای، کاهش هزینه‌های ناشی از حوادث و ارتقای کیفیت زندگی کاری کارکنان منجر می‌شود. بدین ترتیب، نقش هوش مصنوعی و فناوری‌های نوظهور به عنوان ابزاری توانمند در تحقق محیط‌های کاری ایمن، سالم و پایدار بیش از پیش پررنگ شده است. این پژوهش بر آن است تا ابعاد گوناگون این نقش‌آفرینی فناورانه را واکاوی و تحلیل نماید.

۲. تعریف هوش مصنوعی و ارتباط آن با بهداشت و ایمنی شغلی

هوش مصنوعی (AI) به‌طور کلی به سامانه‌های رایانه‌ای اطلاق می‌شود که برای انجام وظایفی طراحی شده‌اند که معمولاً به هوش انسانی نیاز دارند؛ از جمله یادگیری از داده‌ها (یادگیری ماشین)، شناسایی الگوها (بینایی رایانه‌ای و خوشه‌بندی)، و تصمیم‌گیری منطقی (سامانه‌های خبره). الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، به‌عنوان مثال، می‌توانند از مجموعه داده‌های بزرگ، بینش‌هایی استخراج کرده و وظایف را خودکار نموده و تحلیل‌های پیش‌بینی‌محوری ارائه دهند که موجب ارتقاء بهره‌وری سازمانی در حوزه‌هایی چون بهداشت و ایمنی شغلی (OHS) می‌شود [۱]. سازمان بین‌المللی کار، بهداشت و ایمنی شغلی را به‌عنوان علمی تعریف می‌کند که به پیش‌بینی، شناسایی، ارزیابی و کنترل خطراتی می‌پردازد که در محیط کار به وجود می‌آیند یا از آن ناشی می‌شوند و می‌توانند سلامت و رفاه کارکنان را تهدید کنند؛ با در نظر گرفتن تأثیرات احتمالی بر جوامع اطراف و محیط‌زیست است [۲]. در حوزه بهداشت و ایمنی شغلی، تکنیک‌های هوش مصنوعی پیش‌تر برای تحلیل داده‌های مربوط به آسیب‌دیدگی، پیش‌بینی خطرات بالقوه، و بهینه‌سازی آموزش از طریق شبیه‌سازی‌های تعاملی به کار رفته‌اند. برای نمونه، حسگرها و دستگاه‌های پوشیدنی می‌توانند داده‌های فیزیولوژیکی و محیطی را به‌صورت لحظه‌ای جمع‌آوری کرده و مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، از این داده‌ها برای پیش‌بینی حوادث یا شناسایی علائم اولیه خستگی استفاده می‌کنند [۳]. اگرچه این فناوری‌های نوظهور مزایای روشنی مانند کاهش بار کاری دستی و شناسایی پیش‌گیرانه خطرات دارند، اما نگرانی‌هایی را نیز به همراه دارند؛ از جمله حریم خصوصی، سوگیری الگوریتمی و کاهش خودمختاری کارکنان [۴]. به‌علاوه، در کنار افزایش ایمنی و بهره‌وری، این فناوری‌ها می‌توانند چالش‌هایی چون کاهش کنترل شغلی، مسائل اخلاقی، خطرات مربوط به حریم خصوصی داده‌ها و حتی احتمال جابه‌جایی شغلی را نیز در پی داشته باشند [۵]. مطالعاتی مانند نظرسنجی DiWaBe در آلمان، اثرات دوگانه خودکارسازی بر پویایی محیط کار را نشان داده‌اند: در حالی که خودکارسازی می‌تواند عملکرد را بهبود داده و فشار فیزیکی را کاهش دهد، ممکن است حس خودمختاری را تضعیف کرده و خستگی ذهنی را افزایش دهد [۶]. سامانه‌های هوش مصنوعی که وظایف تکراری را انجام می‌دهند، معمولاً موجب افزایش رضایت شغلی می‌شوند، اما چنانچه در تصمیم‌گیری‌ها مداخله کنند، ممکن است کارکنان دچار حس کاهش

کنترل و افزایش استرس شوند [۷]. برای پرداختن به این مسائل، چارچوب‌هایی مانند سطوح خودکارسازی پاراسورامان و مدل‌های کیبر و اندزلی پیشنهاد می‌کنند که میان نظارت انسانی و پشتیبانی هوش مصنوعی تعادل برقرار شود؛ به گونه‌ای که فناوری نقش کمک‌کننده داشته باشد، نه غالب. چنین یکپارچگی مسئولانه‌ای می‌تواند ایمنی، بهره‌وری و رضایت شغلی را بهبود بخشد با این حال، برای بنگاه‌های کوچک و متوسط (SMEها)، هزینه‌های مربوط به سخت‌افزار و نرم‌افزار تخصصی و همچنین آموزش کارکنان می‌تواند قابل توجه باشد و پذیرش هوش مصنوعی را دشوار سازد [۴،۵]. برنامه‌ریزی دقیق، پیاده‌سازی تدریجی، و بهره‌مندی از سازوکارهای حمایتی مالی می‌تواند به این بنگاه‌ها کمک کند تا بر محدودیت‌های بودجه‌ای غلبه کرده و راه را برای راهکارهای انسان‌محور مبتنی بر هوش مصنوعی که بر خودمختاری، شفافیت و قابلیت اطمینان کارکنان تمرکز دارد، هموار نماید؛ و در نهایت عملیات ایمن‌تر و کارآمدتری را رقم بزند [۸].

۳. چارچوب‌های قانونی برای فناوری‌های هوش مصنوعی

نفوذ فزاینده هوش مصنوعی در محیط‌های کاری، اهمیت تدوین چارچوب‌های قانونی و مقرراتی را که استقرار ایمن و اخلاقی آن را تضمین کنند، برجسته می‌سازد. در اتحادیه اروپا، لایحه پیشنهادی «قانون هوش مصنوعی» (AI Act) با هدف تنظیم سامانه‌های هوش مصنوعی بر پایه سطح ریسک آن‌ها تدوین شده و کاربردهای پرخطر، از جمله نظارت بر رفتار کارکنان، باید به صورت مسئولانه طراحی و به کار گرفته شوند. سایر مقررات اتحادیه اروپا مانند مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها (GDPR) نیز استانداردهای سخت‌گیرانه‌ای در خصوص حریم خصوصی داده و رضایت‌گیری دارند. نهادهای ملی همچون اداره حفاظت از داده‌های شخصی لهستان (UODO) نیز مرزهای نظارت شغلی را مشخص کرده‌اند تا از اطلاعات شخصی کارکنان حفاظت شود. در خارج از اروپا نیز کشورهایی چون ایالات متحده، چین و دیگر کشورهای صنعتی در حال تدوین یا به‌روزرسانی سیاست‌های مختص هوش مصنوعی هستند، گرچه رویکردها تفاوت‌های چشمگیری دارند [۹]. در زمینه ایمنی شغلی، این اقدامات قانونی می‌کوشند میان نوآوری – مثلاً استفاده از هوش مصنوعی برای شناسایی آبی خطرات – و محافظت از کارکنان در برابر اقدامات مداخله‌گر یا تبعیض‌آمیز، توازن برقرار کنند. در حالی که چشم‌انداز حقوقی همچنان در حال تحول است، هم‌راستایی توانمندی‌های فناورانه با الزامات اخلاقی و قانونی همچنان یک چالش محوری برای راهکارهای بهداشت و ایمنی شغلی مبتنی بر هوش مصنوعی باقی مانده است [۱۰].

۴. کاربرد هوش مصنوعی در خوشه‌بندی داده‌های حوادث و تعیین پروفایل ریسک

فراتر از پایش لحظه‌ای، هوش مصنوعی در تحلیل پایگاه‌های داده حوادث گذشته نیز به کار گرفته شده است و امکان ایجاد گونه‌های جدیدی از پروفایل‌های ریسک را فراهم می‌آورد. تکنیک‌هایی مانند یادگیری ماشین بدون ناظر (نظیر الگوریتم‌های k-means و نقشه‌های خودسازمان‌ده) می‌توانند حجم بالایی از داده‌های مربوط به حوادث را خوشه‌بندی کرده و الگوها و علل ریشه‌ای را آشکار کنند که ممکن است روش‌های سنتی از آن غافل بمانند [۱۱]. در اروپا، مجموعه داده‌های عمومی مربوط به حوادث اغلب بر اساس الگوی آمار اروپایی حوادث شغلی (ESAW) ساختار بندی می‌شوند که متغیرهایی نظیر علت، محل وقوع و شدت جراحت را استاندارد می‌سازد [۱۲]. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که روش‌های خوشه‌بندی داده می‌توانند استراتژی‌های بهداشت و ایمنی شغلی را تقویت کنند. لومباردی و همکاران، الگوریتم‌های بدون ناظر را بر داده‌های مبتنی بر ESAW اعمال کرده و عملیات‌های پرریسک و عوامل محیطی خاصی را در سایت‌های ساختمانی و مراکز دفن زباله شناسایی کرده‌اند [۱۳]. یافته‌های آنان به کارشناسان ایمنی کمک می‌کند تا وظایف پرخطر را هدف‌گذاری کرده

و مداخلات پیشگیرانه متناسب با پروفایل ریسک تدوین کنند. کامبرتی و همکاران با ترکیب نقشه‌های خودسازمان‌ده (SOM) و خوشه‌بندی k-means به تحلیل حوادث شغلی در صنعت چوب پرداختند و موفق به شناسایی الگوهای تکرارشونده نقص‌های ایمنی شدند [۱۹]. همچنین، چوکور و همکاران با بهره‌گیری از یادگیری ماشین بدون ناظر، گزارش‌های آسیب OSHA در ایالت آریزونا را تحلیل کرده و الگوهای پنهان از خطرات هم‌زمان را آشکار نمودند که در تدوین راهبردهای ایمنی مؤثرتر راه‌گشا بود [۱۴]. این رویکردهای مبتنی بر داده، ارزیابی‌های استاندارد بهداشت و ایمنی شغلی را تکمیل کرده و روابط علی پیچیده‌ای را که در داده‌های بزرگ یا بدون ساختار پنهان می‌مانند، آشکار می‌سازند. ادغام این روش‌ها در سامانه‌های مدیریت ایمنی می‌تواند امکان پروفایل‌سازی پویا از ریسک‌ها را فراهم سازد، به کارفرمایان و نهادهای نظارتی در تخصیص مؤثر منابع یاری رسانده و مانع از بروز خطرات نوظهور پیش از وقوع حوادث جدی شود.

۵. وضعیت کنونی هوش مصنوعی در بهداشت و ایمنی شغلی

فناوری‌های پوشیدنی مبتنی بر هوش مصنوعی، مانند ساعت‌های هوشمند، مچ‌بندهای زیستی، و منسوجات الکترونیکی، با جمع‌آوری داده‌های فیزیولوژیک و محیطی در راستای پایش علائم حیاتی، تشخیص خستگی، تحلیل وضعیت بدنی و ردیابی موقعیت مکانی در مناطق پرخطر، موجب ارتقای ایمنی شغلی می‌شوند [۱۵]. صنایع مختلف از جمله ساخت‌وساز، تولید، لجستیک و سلامت از این فناوری‌ها برای بهبود ارگونومی، بهینه‌سازی گردش کار، و ارسال هشدارهای خطر به‌صورت لحظه‌ای بهره می‌برند و همچنین از آن‌ها در پایش استرس، تشخیص خستگی و مدیریت بیماری‌های مزمن استفاده می‌کنند [۱۶]. سیستم‌های پیشرفته هوش مصنوعی، از جمله حسگرهایی برای سنجش کیفیت هوا، صدا و حرکات کارکنان، با تحلیل داده‌های لحظه‌ای و تاریخی به پیش‌بینی خرابی‌ها، پیشگیری از خطرات و تضمین انطباق با مقررات کمک می‌کنند [۱۷]. با وجود این پیشرفت‌ها، چالش‌هایی مانند حفظ حریم خصوصی داده‌ها، ناسازگاری میان دستگاه‌ها و پذیرش کاربران باقی مانده است که نیازمند توسعه سیستم‌های امن و کاربرپسند هستند. در حالی که هوش مصنوعی با مدیریت پیش‌فعال خطر و اقدامات ایمنی دقیق، بهداشت و ایمنی شغلی را متحول می‌کند، متخصصان باید پیچیدگی‌های آن را مدیریت کنند تا مزایای آن به حداکثر و آثار ناخواسته به حداقل برسد [۱۸]. فناوری‌های نظارتی پوشیدنی، داده‌های لحظه‌ای درباره سلامت و ایمنی کارکنان از طریق دستگاه‌هایی مانند حسگرهای حرکتی (واحد‌های اندازه‌گیری اینرسی، شتاب‌سنج‌ها،ژیروسکوپ‌ها) و حسگرهای فیزیولوژیک (مانند پایش گرهای ضربان قلب، فعالیت الکترودرمال، دمای پوست، ردیاب‌های چشمی و حسگرهای امواج مغزی) فراهم می‌کنند [۱۸]. حسگرهای حرکتی، داده‌های سینماتیکی مانند الگوهای حرکتی، لغزش‌های نزدیک به زمین، وضعیت بدنی و نحوه راه‌رفتن را ثبت کرده و به پیشگیری از سقوط و کاهش اختلالات اسکلتی-عضلانی کمک می‌کنند [۱۹]. حسگرهای فیزیولوژیک نیز پارامترهایی مانند ضربان قلب، تغییرات آن، سطح استرس و خستگی را از طریق سیگنال‌هایی مانند ECG، PPG و EDA اندازه‌گیری می‌کنند، در حالی که ردیاب‌های چشمی تشخیص خطر را ارزیابی کرده و EEG وضعیت روانی مانند استرس و بار شناختی را نشان می‌دهد [۲۰].

۶. مزایای تعامل انسان و هوش مصنوعی در بهداشت و ایمنی شغلی

تعامل انسان-هوش مصنوعی در حوزه بهداشت و ایمنی شغلی مزایای متعددی به همراه دارد و بهبود قابل‌توجهی در سلامت، ایمنی و بهره‌وری محیط‌های کاری ایجاد کرده است. یکی از مزایای کلیدی، شناسایی پیشگیرانه خطرات است؛ جایی که ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی داده‌ها را تحلیل کرده و پیش از وقوع حوادث، خطرات بالقوه را شناسایی می‌کنند

[۲۱]. به عنوان مثال، نرم افزار EASE نسخه ۲۰ که در اوت ۱۹۹۷ توسط نهاد ایمنی و بهداشت حرفه ای بریتانیا توسعه یافته، با بهره گیری از هوش مصنوعی میزان مواجهه با مواد خطرناک را در محیط های کاری مختلف محاسبه می کند و مدیریت ریسک دقیق تری فراهم می آورد [۲۲]. مزیت دیگر، پایش ارتقایافته از طریق دستگاه های پوشیدنی است که شاخص های کلیدی سلامت مانند خستگی، استرس و قرارگیری در معرض شرایط خطرناک را رهگیری کرده و مداخلات لحظه ای برای کاهش خطرات ممکن می سازد. کارایی آموزش و رعایت مقررات نیز با استفاده از واقعیت مجازی و شبیه سازی های مبتنی بر هوش مصنوعی افزایش می یابد، چرا که تجربه های آموزشی مؤثر و تعاملی فراهم می سازد. ارزیابی های ارگونومیک با کمک هوش مصنوعی نیز با تحلیل چیدمان های کاری و حرکات کارکنان، از بروز اختلالات اسکلتی عضلانی جلوگیری می کند. برای نمونه، مطالعاتی توسط لیند و همکاران نشان داد که استفاده از سامانه بازخورد لمسی پوشیدنی برای آموزش تکنیک های حرکتی، می تواند به طور مؤثری وضعیت های نامطلوب بازوی فوقانی را کاهش داده و به عنوان ابزاری کارآمد و کاربرپسند ارزیابی شده است [۲۳]. علاوه بر این، اوچارو و همکاران یک سامانه یادگیری تقویتی عمیق مبتنی بر YOLO را معرفی کرده اند که روی بستر اینترنت اشیا (IoT) اجرا شده و از برچسب های BLE، ماژول های GPS، دستگاه های فیت بیت، دوربین ها و الگوریتم های تشخیص تصویر مبتنی بر CNN برای پایش مداوم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) در کارگاه های ساخت و ساز بهره می گیرد [۲۴]. همچنین، رومانسینی و همکاران نشان دادند که ادغام پایش مبتنی بر ارتعاش با روش های پردازش سیگنال مقاوم، برای نگهداری پیش بینانه ماشین آلات دوار بسیار حیاتی است و به کاهش زمان توقف و هزینه ها کمک می کند [۲۵]. تجهیزات حفاظت فردی هوشمند، مانند کلاه ایمنی هوشمند و پوشش های تطبیقی، نیز به شرایط محیطی واکنش نشان داده و محافظت پیوسته از کارکنان را تضمین می کنند [۲۶]. نهایتاً، پهبادهای مجهز به هوش مصنوعی در پروژه های ساختمانی، امکان شناسایی خودکار نقص ها، تحلیل های پیش بین و بهینه سازی مسیر پرواز در زمان واقعی را فراهم می کنند که به بهبود ایمنی و نتایج کلی پروژه منجر می شود [۲۷].

۷. چالش ها، ملاحظات اخلاقی به کارگیری هوش مصنوعی در بهداشت و ایمنی شغلی

کاربرد هوش مصنوعی در بهداشت و ایمنی شغلی با چالش های اخلاقی و عملی قابل توجهی همراه است که برای یکپارچه سازی مسئولانه آن باید مورد توجه قرار گیرد. یکی از نگرانی های اصلی، حریم خصوصی و امنیت داده ها است، چرا که پایش رفتار و اطلاعات سلامت کارکنان، مسائل مهمی در خصوص حفاظت از داده های حساس مطرح می کند. در اتحادیه اروپا، مقررات عمومی حفاظت از داده ها (GDPR) الزامات سخت گیرانه ای را برای پردازش داده های شخصی تعیین می کند؛ از جمله دریافت رضایت معتبر و اجرای تدابیر حفاظتی قوی [۲۸]. قوانین کار در لهستان نیز مقررات ویژه ای برای نظارت بر کارکنان وضع کرده اند که تحت نظارت نهادهایی مانند دفتر حفاظت از داده های شخصی (UODO) قرار دارد. همچنین، قوانین جدید در دست تدوین اتحادیه اروپا (مانند قانون پیشنهادی هوش مصنوعی) ممکن است چارچوب های نظارتی مربوط به کاربردهای هوش مصنوعی در محیط کار را دقیق تر کند. دولت واتیکان نیز دستورالعمل هایی در زمینه استفاده اخلاقی از هوش مصنوعی صادر کرده که بر اصولی چون شفافیت، پاسخگویی و احترام به کرامت انسانی تأکید دارند. این دستورالعمل ها بر اولویت دادن به رفاه انسان، تضمین انصاف، و جلوگیری از آسیب، به عنوان مسئولیت های اخلاقی توسعه دهندگان و کاربران فناوری های هوش مصنوعی تأکید دارند [۲۹]. در کنار این چارچوب های قانونی، سلامت روانی نیروی کار ممکن است به دلیل اضطراب ناشی از نظارت های هوش مصنوعی و ترس از دست دادن شغل تحت تأثیر قرار گیرد [۳۴]. سوگیری در سامانه های هوش مصنوعی نیز از نگرانی های اصلی است؛ جایی که الگوریتم های تبعیض آمیز می توانند به طور ناعادلانه ارزیابی عملکرد یا فرایندهای استخدام را تحت تأثیر قرار داده و نابرابری های محیط کار را تشدید کنند. هزینه های بالا و توزیع نابرابر

ابزارهای هوش مصنوعی، به ویژه در مورد کسب و کارهای کوچک و متوسط (SMEs)، نیز به موانعی در مسیر پذیرش گسترده این فناوری منجر می‌شوند [۱۱].

۸. الگوهای همکاری انسان-هوش مصنوعی

مدل "کنترل در دست انسان" (Human-in-Control) در همکاری انسان و هوش مصنوعی بر پایه چارچوب‌هایی مانند سطوح خودکارسازی پاراسورامان شکل گرفته است که میزان دخالت انسان در سیستم‌های خودکار را دسته‌بندی می‌کند، و نیز مدل‌های کیبر و اندزلی که بر آگاهی موقعیتی و تصمیم‌گیری انسانی در سامانه‌های پیچیده تأکید دارند [۲۵]. برای مثال، در زمینه بهداشت و ایمنی شغلی، هوش مصنوعی می‌تواند به صورت مستقل خستگی و استرس کارکنان را پایش کند (خودکارسازی پایین‌تر)، اما تصمیم‌نهایی برای مداخله همچنان بر عهده سرپرستان باقی می‌ماند تا بافت و شرایط کاری نیز مدنظر قرار گیرد. افزون بر این، نظریه‌هایی مانند دیدگاه مبتنی بر منابع اولریش و مدل تقاضا-کنترل شغلی (JDC) نشان می‌دهند که هوش مصنوعی می‌تواند بار کاری را کاهش دهد، در حالی که مسئولیت نظارت شناختی و اخلاقی همچنان با انسان‌ها باقی می‌ماند و این امر به حفظ عملکرد و سلامت روان کمک می‌کند. مطالعه پیمایشی DiWaBe در آلمان نشان می‌دهد که اگرچه دیجیتالی‌شدن و هوش مصنوعی می‌توانند بهره‌وری را افزایش داده و فشارهای فیزیکی را کاهش دهند، اما هم‌زمان ممکن است تقاضاهای شغلی، استرس محیط کار، و نیاز به مهارت‌آموزی مجدد را افزایش دهند و این امر بر اهمیت یکپارچه‌سازی متوازن فناوری تأکید دارد. ادبیات اخیر همچنین نقش خوشه‌بندی داده‌ها در پایگاه‌های بزرگ حوادث را برجسته کرده است؛ روشی که برای شناسایی پروفایل‌های خاص ریسک به کار می‌رود. الگوریتم‌های خوشه‌بندی با گروه‌بندی حوادث دارای ویژگی‌های مشابه، الگوهای پنهان و سناریوهای پرریسک را کشف کرده و مدل‌های پیش‌بینی را بهبود می‌بخشند. در زمینه بهداشت و ایمنی شغلی، چنین بینش‌های داده‌محور باید همواره با نظارت انسانی متخصص همراه باشند؛ کارشناسان می‌توانند خروجی‌های خوشه‌بندی را تفسیر کرده، آن‌ها را با شرایط واقعی تطبیق دهند و راهبردهای ایمنی را متناسب‌سازی کنند. این هم‌افزایی انسان-هوش مصنوعی تضمین می‌کند که اقدامات پیشگیرانه هم مبتنی بر شواهد باشند و هم با واقعیت‌های محیط کار همخوانی داشته باشند [۳۰].

۹. نمونه‌هایی از همکاری انسان و هوش مصنوعی

کلیه همکاری انسان و هوش مصنوعی در حوزه بهداشت و ایمنی شغلی در کشورهایی با بخش‌های صنعتی قوی و زیرساخت‌های پژوهشی توسعه‌یافته، مانند ایالات متحده، آلمان، ژاپن و برخی کشورهای عضو اتحادیه اروپا، به طور فزاینده‌ای در حال تبدیل شدن به یک رویه رایج است [۳۰]. در این کشورها، تحلیل‌های پیش‌بین مبتنی بر هوش مصنوعی با بهره‌گیری از داده‌های حسگرها و دستگاه‌های پوشیدنی، می‌توانند خطرات احتمالی (مانند خستگی کارکنان یا قرارگیری در معرض مواد مضر) را در زمان واقعی شناسایی کرده و به مدیران در تنظیم شیفت‌ها یا به‌روزرسانی پروتکل‌های ایمنی کمک کنند. در حوزه ارگونومی، هوش مصنوعی معمولاً طرح‌های محیط کار و وضعیت‌های بدنی افراد را تحلیل می‌کند، در حالی که سرپرستان آن بینش‌ها را اعتبارسنجی کرده و راه‌حل‌های متناسب با زمینه کاری را طراحی می‌کنند [۳۱]. ابزارهای نظارتی مجهز به هوش مصنوعی نیز ماشین‌آلات را پایش می‌کنند، نقص‌های احتمالی را زودهنگام شناسایی کرده و امکان واکنش پیشگیرانه تکنسین‌ها را فراهم می‌سازند [۳۲]. در شرایط اضطراری، شبیه‌سازی‌های هوش مصنوعی می‌توانند مسیرهای احتمالی گسترش آتش‌سوزی یا نشت مواد شیمیایی را پیش‌بینی کرده و به کارشناسان انسانی در هماهنگی تخلیه‌ها کمک

کنند [۳۳]. اگرچه سازمان‌های کوچک‌تر ممکن است همچنان با موانعی در پذیرش این فناوری روبه‌رو باشند، این نمونه‌ها نشان می‌دهند که هوش مصنوعی چگونه می‌تواند فرآیندهای تصمیم‌گیری روزمره و کاهش خطرات را تقویت کند، در حالی که تخصص انسانی تضمین‌کننده استقرار اخلاقی، درک زمینه‌ای و اعتماد کارکنان خواهد بود [۳۴].

۱۲. مسیرهای پیش روی کاربرد هوش مصنوعی در بهداشت و ایمنی شغلی

با نگاهی به آینده، پژوهش‌های حوزه بهداشت و ایمنی شغلی (OHS) نیازمند چارچوب‌هایی اخلاق‌محور و شفاف برای ادغام مسئولانه هوش مصنوعی خواهند بود؛ چارچوب‌هایی که چالش‌های قانونی را مرتفع ساخته و بر لزوم آموزش‌های جامع تأکید دارند. با گسترش به‌کارگیری ابزارهای هوش مصنوعی در جریان‌های روزمره کاری، سیاست‌گذاران باید قوانین موجود مانند مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها (GDPR) در اتحادیه اروپا و لایحه پیشنهادی قانون هوش مصنوعی این اتحادیه را به‌منظور پرداختن به سوگیری الگوریتمی، حفظ حریم خصوصی داده‌ها، و پاسخ‌گویی، مورد بازنگری قرار دهند. دولت‌ها و نهادهای حرفه‌ای باید استانداردهایی وضع کنند که استقرار ایمن هوش مصنوعی را بدون لطمه‌زدن به برابری و رفاه کارکنان تضمین کند. مطالعات بلندمدت نیز برای ارزیابی تأثیرات روان‌شناختی هوش مصنوعی بر کارکنان—از جمله اضطراب، نگرانی درباره امنیت شغلی و تبعات سلامت روانی گسترده‌تر ضروری‌اند تا سازمان‌ها بتوانند راهبردهای مقابله مؤثری طراحی کنند. پژوهشگران حوزه بهداشت و ایمنی شغلی همچنین باید ظرفیت‌های هوش مصنوعی را در تدابیر ایمنی پیش‌بینی‌گر، ارگونومی، و پایش سلامت روان بررسی کنند و بر رویکردهای پایدار، منصفانه، و انسان‌محور تأکید داشته باشند. فراتر از محیط کار، سواد هوش مصنوعی و مهارت‌های همکاری انسان و ماشین باید به بخش جدایی‌ناپذیری از برنامه‌های آموزشی تبدیل شوند. آموزش و پرورش با آشنا کردن دانش‌آموزان با سامانه‌های پیشرفته هوش مصنوعی، می‌تواند نیروی کاری را برای فناوری‌های آینده بهداشت و ایمنی شغلی آماده سازد و نوآوری مسئولانه را ترویج دهد. تحقق این اهداف مستلزم رویکردی متوازن است که قوانین، دستورالعمل‌های خاص صنعتی، و آموزش مستمر را در هم آمیزد. این تلاش جمعی—با مشارکت سیاست‌گذاران، مربیان، رهبران صنعتی، و متخصصان بهداشت و ایمنی شغلی موجب خواهد شد که پذیرش هوش مصنوعی موجب ارتقای ایمنی و خودمختاری کارکنان شود، بدون آنکه برابری یا سلامت آنان به خطر افتد. هوش مصنوعی می‌تواند در تحقق اهداف توسعه پایدار (SDGs) به‌ویژه هدف (سلامت و رفاه) و هدف (کار شایسته و رشد اقتصادی) مندرج در دستور کار ۲۰۳۰ نقش‌آفرینی کند [۳۵].

۱۱. نتیجه‌گیری

ادغام هوش مصنوعی در بهداشت و ایمنی شغلی می‌تواند به‌طور چشم‌گیری خطرات محیط کار را کاهش دهد، طراحی‌های ارگونومیک را بهبود بخشد و جریان‌های کاری را کارآمدتر کند. سامانه‌های تشخیص خطر در لحظه، ابزارهای پوشیدنی پایش سلامت و تحلیل‌های پیش‌بینی‌گر، نرخ آسیب را کاهش داده، محیط‌های سالم‌تری فراهم کرده و بهره‌وری را افزایش می‌دهند. یادگیری ماشین، شناسایی پیش‌دستانه خطرات و مداخلات به‌موقع را ممکن می‌سازد و متخصصان بهداشت و ایمنی شغلی را در بهینه‌سازی منابع و طراحی تدابیر ایمنی یاری می‌دهد. با این حال، چالش‌هایی مانند حفظ حریم خصوصی داده‌ها، کاهش سوگیری الگوریتمی، و جلوگیری از وابستگی بیش‌ازحد به هوش مصنوعی که ممکن است استقلال کارکنان را تهدید کرده و استرس ایجاد کند. همچنان باقی است. سازمان‌های کوچک‌تر نیز ممکن است در پیاده‌سازی این فناوری‌ها با دشواری روبه‌رو شوند و این موضوع به شکاف بین کسب‌وکارهای بزرگ و کوچک دامن بزند. رویکردی انسان‌محور

ضروری است؛ رویکردی که در آن هوش مصنوعی مکمل نظارت انسانی باشد، نه جایگزین آن. ارتباط شفاف، دستورالعمل‌های اخلاقی، و مشارکت ذی‌نفعان برای تضمین استفاده مسئولانه از سامانه‌های بهداشت و ایمنی شغلی مبتنی بر هوش مصنوعی حیاتی‌اند. با پرداختن به این نگرانی‌ها، می‌توان از هوش مصنوعی برای ایجاد محیط‌های کاری ایمن‌تر، سالم‌تر، و منصفانه‌تر بهره گرفت. با توجه به شواهد موجود، هوش مصنوعی و فناوری‌های نوظهور نظیر اینترنت اشیا، یادگیری ماشین، رباتیک پیشرفته و فناوری‌های پوشیدنی، نقش فزاینده‌ای در تحول نظام ایمنی و سلامت محیط‌های کاری ایفا می‌کنند. این فناوری‌ها با فراهم آوردن قابلیت‌هایی نظیر پایش لحظه‌ای شرایط محیطی و جسمانی، تحلیل پیش‌بینانه داده‌ها، شناسایی الگوهای خطر، و ارائه هشدارهای زودهنگام، امکان کاهش حوادث شغلی و بیماری‌های حرفه‌ای را تا حد زیادی افزایش داده‌اند. از سوی دیگر، استفاده هوشمندانه از این ابزارها به ارتقای کیفیت تصمیم‌گیری مدیریتی، بهینه‌سازی منابع، و افزایش بهره‌وری نیروی انسانی منجر می‌شود. با وجود این، چالش‌هایی مانند ملاحظات اخلاقی، حریم خصوصی، نیاز به زیرساخت‌های فنی مناسب، و توانمندسازی نیروی کار برای تعامل مؤثر با فناوری، از جمله مسائلی هستند که باید در مسیر پیاده‌سازی این نوآوری‌ها مورد توجه قرار گیرند. در مجموع، آینده ایمنی و سلامت شغلی در گرو بهره‌گیری هدفمند، مسئولانه و مبتنی بر سیاست‌گذاری هوشمندانه از ظرفیت‌های هوش مصنوعی و فناوری‌های نوین است؛ آینده‌ای که در آن پیشگیری، پیش‌بینی و پاسخ‌گویی سریع، به جای واکنش صرف، محور اصلی حفاظت از جان و سلامت کارکنان خواهد بود.

۱۲. مراجع

1. Benson, C., Obasi, I. C., Akinwande, D. V., & Ile, C. (2024). The impact of interventions on health, safety and environment in the process industry. *Heliyon*, 10(1).
2. International Labour Organization. Occupational Safety and Health. Available online: <https://www.ilo.org/resource/other/occupational-safety-and-health> (accessed on 6 December 2024).
3. Trivedi, P., & Alqahtani, F. M. (2024). The advancement of artificial intelligence (AI) in occupational health and safety (OHS) across high-risk industries. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(10).
4. Fisher, E., Flynn, M. A., Pratap, P., & Vietas, J. A. (2023). Occupational safety and health equity impacts of artificial intelligence: a scoping review. *International journal of environmental research and public health*, 20(13), 6221.
5. Felknor, S. A., Streit, J. M., McDaniel, M., Schulte, P. A., Chosewood, L. C., Delclos, G. L., & Workshop Presenters and Participants. (2021). How will the future of work shape OSH research and practice? A workshop summary. *International journal of environmental research and public health*, 18(11), 5696.
6. Müller, C., Ungerer, K., & Müller, J. (2023). DiWaBe employee survey (No. 202304 (en)). Institut für Arbeitsmarkt-und Berufsforschung (IAB), Nürnberg [Institute for Employment Research, Nuremberg, Germany].
7. Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002). Attention and automation: New perspectives on mental underload and performance. *Theoretical issues in ergonomics science*, 3(2), 178-194.
8. Niehaus, S., Hartwig, M., Rosen, P. H., & Wischniewski, S. (2022). An occupational safety and health perspective on human in control and AI. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 5, 868382.

9. European Parliament. EU AI Act: First Regulation on Artificial Intelligence; European Parliament: Strasbourg, France, 2023; Available online: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20230601STO93804/eu-ai-act-first-regulation-on-artificial-intelligence> (accessed on 20 December 2024).
10. Chen, Z. (2023). Ethics and discrimination in artificial intelligence-enabled recruitment practices. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 1-12.
11. Farahani, M., & Ghasemi, G. (2024). Artificial intelligence and inequality: Challenges and opportunities. *Int. J. Innov. Educ*, 9, 78-99.
12. Lombardi, M., Mauro, F., Fagnoli, M., Napoleoni, Q., Berardi, D., & Berardi, S. (2023). Occupational risk assessment in landfills: research outcomes from Italy. *Safety*, 9(1), 3.
13. Lombardi, M., Fagnoli, M., & Parise, G. (2019). Risk profiling from the European statistics on accidents at work (ESAW) accidents' databases: A case study in construction sites. *International journal of environmental research and public health*, 16(23), 4748.
14. Combetti, L., Demichela, M., Baldissoni, G., Fois, G., & Luzzi, R. (2018). Large occupational accidents data analysis with a coupled unsupervised algorithm: The SOM k-means method. An application to the wood industry. *Safety*, 4(4), 51.
15. Mitro, N., Argyri, K., Pavlopoulos, L., Kosyvas, D., Karagiannidis, L., Kostovasili, M., ... & Amditis, A. (2023). AI-enabled smart wristband providing real-time vital signs and stress monitoring. *Sensors*, 23(5), 2821.
16. Nahavandi, D., Alizadehsani, R., Khosravi, A., & Acharya, U. R. (2022). Application of artificial intelligence in wearable devices: Opportunities and challenges. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 213, 106541.
17. Awolusi, I., Marks, E., & Hallowell, M. (2018). Wearable technology for personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices. *Automation in construction*, 85, 96-106.
18. Khusainov, R., Azzi, D., Achumba, I. E., & Bersch, S. D. (2013). Real-time human ambulation, activity, and physiological monitoring: Taxonomy of issues, techniques, applications, challenges and limitations. *Sensors*, 13(10), 12852-12902.
19. Roos, L. G., & Slavich, G. M. (2023). Wearable technologies for health research: Opportunities, limitations, and practical and conceptual considerations. *Brain, behavior, and immunity*, 113, 444-452.
20. Shah, I. A., & Mishra, S. (2024). Artificial intelligence in advancing occupational health and safety: an encapsulation of developments. *Journal of Occupational Health*, 66(1), uiad017.
21. Jafleh, E. A., Alnaqbi, F. A., Almaeeni, H. A., Faeqeh, S., Alzaabi, M. A., Al Zaman, K., ... & Alzaabi, M. (2024). The role of wearable devices in chronic disease monitoring and patient care: a comprehensive review. *Cureus*, 16(9).
22. Gerke, S., Minssen, T., & Cohen, G. (2020). Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare. In *Artificial intelligence in healthcare* (pp. 295-336). Academic Press.
23. Smuts, D., Manga, A., & Smallwood, J. (2022, October). Leveraging virtual reality for improved construction health and safety training. In *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (pp. 257-268). Cham: Springer Nature Switzerland.

- 24.Ocharo, D., Nganga, H., & Kiambi, S. (2024). Automatic PPE monitoring system for construction workers using YOLO algorithm based on deep reinforcement learning. *Int. J. Comput. Appl*, 186, 10-15.
- 25.Romanssini, M., de Aguirre, P. C. C., Compassi-Severo, L., & Girardi, A. G. (2023). A review on vibration monitoring techniques for predictive maintenance of rotating machinery. *Eng*, 4(3), 1797-1817.
- 26.Baldassarre, A., & Padovan, M. (2024). Regulatory and ethical considerations on artificial intelligence for occupational medicine. *La Medicina del Lavoro*, 115(2), e2024013.
- 27.Choi, H. W., Kim, H. J., Kim, S. K., & Na, W. S. (2023). An overview of drone applications in the construction industry. *Drones*, 7(8), 515.
- 28.GDPR Info. Available online: <https://gdpr-info.eu/> (accessed on 5 January 2025).
- 29.Pontifical Academy for Life. The Principles Behind the Guidelines on Artificial Intelligence; Vatican State: Vatican City, Vatican City State, 2020; Available online: <https://www.vaticanstate.va/en/news/1372-the-principles-behind-the-guidelines-on-artificial-intelligence.html> (accessed on 26 January 2025).
- 30.Sun, K., Lan, T., Goh, Y. M., Safiena, S., Huang, Y. H., Lytle, B., & He, Y. (2024). An interpretable clustering approach to safety climate analysis: Examining driver group distinctions. *Accident Analysis & Prevention*, 196, 107420.
- 31.Tang, K. H. D. (2024). Artificial intelligence in occupational health and safety risk Management of Construction, mining, and oil and gas sectors: advances and prospects. *J. Eng. Res. Rep*, 26(6), 241-253.
- 32.Sen, S., Gonzalez, V., Husom, E. J., Tverdal, S., Tokas, S., & Tjøsvoll, S. O. (2024). ERG-AI: enhancing occupational ergonomics with uncertainty-aware ML and LLM feedback. *Applied Intelligence*, 54(23), 12128-12155.
- 33.Zhao, A. P., Li, S., Cao, Z., Hu, P. J. H., Wang, J., Xiang, Y., ... & Lu, X. (2024). AI for science: predicting infectious diseases. *Journal of safety science and resilience*.
- 34.Yazdi, M., Zarei, E., Adumene, S., & Beheshti, A. (2024). Navigating the power of artificial intelligence in risk management: a comparative analysis. *Safety*, 10(2), 42.
- 35.Kim, B. J., & Lee, J. (2024). The mental health implications of artificial intelligence adoption: the crucial role of self-efficacy. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1-15.