چالش‌های ایمنی معادن در ایران
۱. نقش فناوری‌های نوین در ارتقای ایمنی معادن

کد موضوعی: ۳۱۰
شماره مسلسل: ۱۷۱۱۹
تیرماه ۱۳۹۹

معاونت پژوهش‌های تولیدی و زیربنایی
دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن

به نام خدا

فهرست مطالب

چکیده ۱
مقدمه ۲
۱. ایمنی محیط کار و آینده آن ۴
۲. کاربرد فناوری‌های نوین در ایمنی معادن ۸
۲-۱. فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی ۸
ـ کارکردها و مصادیق واقعیت افزوده و مجازی برای ارتقای ایمنی در معادن ۱۱
۲-۲. فناوری هوش مصنوعی ۱۲
ـ کارکردها و مصادیق فناوری هوش مصنوعی برای ارتقای ایمنی در معادن ۱۴
۲-۳. فناوری اینترنت اشیا ۱۶
ـ کارکردها و مصادیق فناوری اینترنت اشیا برای ارتقای ایمنی در معادن ۱۶
۲-۴. فناوری رُباتیک ۲۰
ـ کارکردها و مصادیق فناوری رُباتیک برای ارتقای ایمنی در معادن ۲۱
۲-۵. فناوری وسایل نقلیه خودران ۲۲
ـ کارکردها و مصادیق وسایل نقلیه خودران برای ارتقای ایمنی در معادن ۲۳
۲-۶. فناوری پهپادی ۲۷
ـ کارکردها و مصادیق پهپادها برای ارتقای ایمنی در معادن ۲۷
۲-۷. فناوری زنجیره بلوکی ۳۰
ـ کارکردها و مصادیق فناوری زنجیره بلوکی برای ارتقای ایمنی در معادن ۳۱
۳. ایمنی در معادن ایران؛ الزامات اطلاعاتی و فرصت‌های بهبود ۳۲
جمع‌بندی و پیشنهادها ۳۶
پی‌نوشت‌ها ۴۰

چالش‌های ایمنی معادن در ایران
۱. نقش فناوری‌های نوین در ارتقای ایمنی معادن

چکیده

بررسی تاریخی معدنکاری نشان می‌دهد که این شغل بسیار پُرمخاطره بوده و آثار سوئی بر سلامت انسان و محیط زیست دارد. حساسیت نهادهای مدنی و الزام دولت‌ها به نظارت و قانونگذاری نیز حاکی از سطح بالایِ آسیبِ فعالیت‌های معدنی بر سلامت معدنکاران است. از دیدگاه جهانی، مواردی چون «خطرات مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیک»، «خطرات ناشی از منابع انرژی»، «فشار فیزیکی بر کارکنان»، «مخاطرات ناشی از سقوط از ارتفاع» و «مخاطرات روانی» تهدیدهای عمده در فعالیت‌های معدنی هستند. با توجه به تصویب قوانین متعدد و نظارت‌های فراگیر در دنیا، حوادث معدنی با گذشت زمان تا حد زیادی کاهش پیدا کرده‌اند و امروزه شرکت‌های معدنیِ پیشرو در دنیا در تلاش هستند تا میزان این حوادث را به «صفر» برسانند. بنگاه‌های صنعتی و معدنی برای دستیابی به این هدف، استفاده از ظرفیت فناوری‌های نوین را در دستور کار خود قرار داده‌اند تا به نتایجی فراتر از بهبود در تجهیزات، سیستم‌های مدیریت ایمنی، اصلاح فرهنگ و رفتار و تمرکز بر قوانین دست یابند.

یافته‌های این گزارش نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های نوین منجر به کاهش جدی مخاطرات و ارتقای ایمنی در معادن خواهد شد. هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و پهپادها می‌توانند با جمع‌آوری اطلاعات و پردازش هوشمند آنها در هشداردهی خطرات به کارکنان و انجام اقدامات پیشگیرانه تأثیرگذار باشند. همچنین فناوری‌هایی چون رُباتیک، پهپادها و وسایل نقلیه خودران می‌توانند جایگزین انسان در مناطق پُرخطر شده و صدمات و تلفات انسانی را کاهش دهند. فناوری زنجیره بلوکی، پهپادها و اینترنت اشیا نیز می‌توانند از معدنکاری در محیط‌های ناایمن یا معدنکاری به صرف استخراج دارایی (فلزات و سنگ‌های گرانبها) جلوگیری کنند.

براساس مطالعات میدانی انجام شده در سال ۱۳۹۸، تنها در معادن زغال‌سنگ ایران در اثر حوادث ناشی از معدنکاری مانند سقوط، گاز گرفتگی، انفجار، ریزش آوار، برق‌گرفتگی و ضربه، ۲۰ نفر جان خود را از دست داده و ۱۰ نفر مصدوم شده‌اند. این در حالی است که آمار دقیقی از حوادث رخ داده در سایر معادن منتشر نشده است و مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اطلاعات جامع، تفکیک شده و بررسی‌های دقیق و ریشه‌ای از ابعاد حوادث معدنی در ایران در دسترس نیست. لذا فناوری‌های نوین

به‌عنوان یک ابزار توانمندساز می‌توانند برای ثبت اطلاعات، افزایش شفافیت، تحلیل و نظارت حوادث معدنی نیز مورد استفاده قرار گیرند. لازم است تا به‌عنوان اولین اقدام، مطالعه جامعی برای شناسایی موشکافانه و دقیق حوادث معدنی در ۱۰ سال اخیر انجام شود و منشأ، علل، پراکندگی، آثار و تبعات این حوادث بررسی و تحلیل شود. این مطالعه می‌تواند با محوریت سازمان نظام مهندسی معدن و همکاری وزارت صنعت، معدن و تجارت و وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی انجام شود. نتیجه این مطالعه تصویری روشن از حوادث معدنی به‌دست می‌دهد و نقش دستگاه‌های اجرایی و نظارتی، نهادها، سازمان‌ها و بنگاه‌های اقتصادی را در وقوع این حوادث مشخص می‌کند. همچنین ایجاد سامانه‌ای برای ثبت تفصیلی، به‌روز و نظام‌مند حوادث احتمالی معدنی با همکاری دستگاه‌های دولتی، سازمان نظام مهندسی معدن، تشکل‌ها و انجمن‌های تخصصی ضروری است. اقدام دوم، ایجاد بسترهای فناورانه به‌منظور شفافیت اطلاعات، کاهش سریع مخاطرات معدنی و رفع عقب‌ماندگی‌ها در این حوزه است که می‌تواند شامل «توجه به برنامه‌های آموزشی و ترویجی در حوزه فناوری‌های نوین»، «حمایت از استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های فناور برای ورود به حوزه ایمنی معادن»، «حمایت‌های مالی و کمک به پایلوت فناوری‌های نوین در حوزه‌های کاربردی ایمنی معادن»، «رصد مستمر و دوره‌ای ابتکارات کشورها، شرکت‌های معدنی تراز جهانی و تحولات فناورانه و نوآورانه در حوزه ایمنی صنعتی» و «نیازسنجی دوره‌ای از معدنکاران در حوزه ایمنی به‌منظور برآورد مسائل کلان و اولویت‌دار ملی» باشد که به‌صورت مشترک توسط سازمان نظام مهندسی معدن، ایمیدرو و بنگاه‌های معدن و صنایع معدنی عملیاتی شود.

مقدمه

فعالیت‌های معدنی یکی از پُرمخاطره‌ترین نوع فعالیت‌های بشری است که بیشترین آثار سوء را بر سلامت و ایمنی کارکنان و محیط زیست دارد. تاریخ کار در معادن نشان می‌دهد که فعالیت‌های پُرمخاطره معمولاً توسط اقشار ضعیف جامعه انجام می‌شده است. برای نمونه در سده ۱۷۰۰ میلادی، بیشتر کارکنانِ معادن زغال‌سنگ و آهن را در آمریکا بردگان سیاه‌پوست تشکیل می‌دادند.(۱) امروزه در قوانین کشورهای مختلف، به‌دلیل مخاطرات ذکر شده، معدنکاری در دسته کارهای سخت و طاقت‌فرسا قرار می‌گیرد و شامل حمایت‌های قانونی، مالی و معافیت‌ها در بازنشستگی است. ازجمله این مخاطرات می‌توان به مواردی چون «خطرات مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیک»، «خطرات ناشی از منابع انرژی»،[۱] «فشار فیزیکی بر کارکنان»، «مخاطرات ناشی از سقوط از ارتفاع» و «مخاطرات روانی» اشاره کرد. خطرات و آسیب‌های ذکر شده، حتی در معدنکاری تجاری امروز نیز مشهود است و درنتیجه، خسارات مالی و جانی زیادی به صنایع وارد می‌کند. به‌عنوان مثال، سالیانه بیش از ۲/۷۸ میلیون نفر در جهان بر اثر حوادث رخ داده در

۱. خطراتی که وجود منابع انرژی در محیط کار می‌تواند ایجاد کند.

محل کار جان خود را از دست می‌دهند و طبق تخمین وزارت کار ایالات متحده آمریکا، هزینه ناشی از این قبیل حوادث سالیانه ۱۷۰ میلیارد دلار است.(۲)

ابعاد انسانی و مالی این حوادث برای جهان کنونی اهمیت بسزایی دارد. گرفتاری و نجات معدنکاران شیلیایی در معدن مس و طلای صحرای آتاکاما[1] در سال ۲۰۱۰ و فاجعه معدنی در معدن سومای[2] ترکیه در سال ۲۰۱۴ که منجر به جان باختن ۳۰۱ نفر شد، ازجمله حوادث معدنی مهم سال‌های اخیر هستند. در ایران نیز حوادث مشابهی رخ داده است که یکی از بزرگ‌ترین آنها حادثه معدن زغال‌سنگ یورت استان گلستان در سال ۱۳۹۶ و جان باختن ۴۳ معدنچی در آن بود.

حوادث معدنی با گذشت زمان تا حد زیادی کاهش پیدا کرده‌اند و شرکت‌های معدنی بزرگ هدفگذاری کرده‌اند که این حوادث را به صفر برسانند. طبق آمار «دپارتمان ایمنی و سلامت کارکنان معدن»[3] تعداد تلفات بخش معدن در آمریکا در سال ۱۹۳۱ برابر با ۱۶۸۸ نفر بوده که این رقم در سال ۲۰۱۸ به ۲۷ نفر رسیده است.(۳) همچنین آمار کشورهایی مثل سوئد و اتحادیه اروپا نشان می‌دهد که سطح ایمنی در معادن بالاتر رفته، اما کماکان معدنکاری در مقایسه با بسیاری از فعالیت‌های اقتصادی، پُرمخاطره‌تر محسوب می‌شود.(۴) طبق گزارش شرکت تحقیقاتی «مارکت اند مارکتز»[4] انتظار می‌رود اندازه بازار جهانی ایمنی و سلامت محیط کار از ۴/۶۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۷ به ۷/۳۸ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۲ افزایش یابد که این افزایش معادل نرخ رشد مرکب سالیانه ۱۱/۱ درصد بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ است.(۵)

به‌طور کلی، در حوزه ایمنی تلاش شده است تا با توجه به جنبه‌های اقتصادی، موضوعات سیاستگذاری و حاکمیتی، دستورالعمل‌ها و قوانینی برای به حداقل رساندن آسیب‌ها ارائه شود. به‌عنوان مثال اتحادیه اروپا از سال ۱۹۸۰ تلاش در جهت بهبود ایمنی از طریق قانونگذاری را آغاز کرده است. در اولین ویرایش «معاهده رم»[5] که در سال ۱۹۸۶ تنظیم شد،[6] ایمنی و سلامت محیط کار به توافقنامه وارد شد. پس از آن و در سال‌های بعد، ملاحظات دیگری در زمینه ایمنی به معاهده اضافه شد.(۴) در ایالات متحده آمریکا نیز «قانون ایمنی و سلامت معدن ۱۹۷۷»[7] با ادغام قوانین مربوط به معادن زغال‌سنگ و معادن فلزی و غیرفلزی، جایگزین «قانون ایمنی و سلامت معدن زغال‌سنگ ۱۹۶۹»[8] شد. به‌موجب این قانون بازرسی ایمنی از معادن زیرزمینی باید سالیانه چهار بار و از تمام معادن روباز سالیانه دو بار انجام شود. اجبار به آموزش ایمنی کارکنان و حضور دائمی تیم نجات برای معادن زیرزمینی از

1. Atacama Desert
2. Soma
3. The Department of Labor’s Mine Safety and Health Administration
4. Markets and Markets
5. Treaty of Rome
٦. اولین ویرایش معاهده رُم تحت عنوان «قانون اروپایی واحد» ارائه شده است.
7. The Federal Mine Safety and Health Act of 1977
8. Coal Mine Safety and Health Act of 1969

دیگر تغییرات این قانون بود. مواد (۸۵) و (۸۶) قانون کار ایران نیز به ایمنی و بهداشت محیط پرداخته است. آیین‌نامه ایمنی در معادن در سال ۱۳۹۱، به استناد این دو ماده و به‌منظور پیشگیری از حوادث منجر به صدمات جانی، خسارات مالی و ایمن‌سازی محیط کار تدوین و تصویب شده است و در کلیه معادن کشور اعم از زیرزمینی و روباز لازم‌الاجراست.[۱] مسئله ایمنی در معادن ایران نیز از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد تلاش‌هایی برای قانونگذاری و صدور دستورالعمل‌های مختلف انجام شده است، اما همچنان اخبار حوادث و تلفات در معادن ایران در رسانه‌های رسمی و شبکه‌های مجازی پُرشمار است و نشان از عدم توجه کافی و مبتنی‌بر دانش به این مقوله مهم دارد. همچنین گزارش‌های در دسترس و موجود، آنچنان که باید اطلاعات جامع، تفکیک شده و بررسی‌های دقیق و ریشه‌ای از ابعاد حوادث در معادن ایران به‌دست نمی‌دهد.

در این گزارش ضمن بررسی شرایط ایمنی محیط کار در دنیا و چشم‌انداز کشورهای مختلف برای کاهش آسیب‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی و معدنی، کاربرد فناوری‌های نوین برای ارتقای ایمنی معادن مورد توجه قرار گرفته است. درنهایت ضمن ارائه تصویری کلی از وضعیت ایمنی معادن در ایران، راهکارهایی برای ارتقای ایمنی معادن با تأکید بر بهره‌گیری از فناوری‌های نوین ارائه شده است.

۱. ایمنی محیط کار و آینده آن

موضوع ایمنی در محیط کار (به‌طور عام) و ایمنی در معادن (به‌طور خاص) از منظر فناوری و نوآوری مدنظر کنشگران و نقش‌آفرینان حوزه فناوری و نوآوری قرار داشته است. به‌طور ویژه و برای به صفر رساندن تلفات و حوادث انسانی، فعالان حوزه توسعه نوآوری و فناوری با شرکت‌های بزرگ معدنی شروع به همکاری کرده‌اند و در این میان نقش استارت‌آپ‌ها و توسعه فناوری‌های نوین، قابل توجه است. به‌عنوان مثال «مرکز نوآوریِ پرثِ اکسنچر»[۲] که با حمایت شرکت‌های بزرگ معدنی و شرکت مشاوره مدیریت و نوآوری اکسنچر، در سال ۲۰۱۹ پایه‌گذاری شده، یکی از اهداف خود را متمرکز بر «تلفات و خسارات انسانی صفر» قرار داده است. این مرکز نوآوری به‌منظور کمک به شرکت‌های معدنی برای رویارویی با چالش‌ها و فرصت‌های دیجیتالی شدن طراحی شده و هدفی تحت عنوان «صفرهای سه‌گانه» را تبیین کرده است؛ که منظور به صفر رساندن «ضرر»، «سوانح» و «ضایعات» است. در این مرکز مشتریان می‌توانند برای تبدیل سریع ایده به راهکار با متخصصان و طراحان اکسنچر، شرکت‌های فناور و استارت‌آپ‌ها همکاری کنند. این موارد شامل بهبود پایداری، امنیت سایبری، سلامت، ایمنی و بهره‌وری کارکنان و همچنین عملکرد ماشین‌آلات است. برای این منظور، مجموعه‌هایی مانند طراحی خدمات،

---

۱. آیین‌نامه ایمني در معادن، تهیه شده در شوراي عالي حفاظت فني، مصوب ۱۳۹۱/۱۱/۰۳ وزیر تعاون کار و رفاه اجتماعي.
2. Accenture's Perth Innovation Hub

فناوری‌های دیجیتالی پیشرفته، علمِ داده و دانش صنعتی را گردِ هم آورده است. مشتریان (به‌طور خاص شرکت‌های معدنی) می‌توانند از نوآوری‌های فناورانه در حوزه‌هایی مانند واقعیت افزوده و مجازی،[۱] هوش مصنوعی،[۲] اینترنت اشیا،[۳] محاسبات کوانتومی[۴] و زنجیره بلوکی[۵] استفاده کنند.(۶) از منظر ایمنی، فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم، فرصت‌های متعددی برای بهبود و ارتقای ایمنی محیط کار پدید آورده‌اند. فناوری‌هایی مانند «واقعیت افزوده و مجازی»، «هوش مصنوعی»، «اینترنت اشیا»، «رُباتیک»،[۶] «وسایل نقلیه خودران»،[۷] «پهپادها»[۸] و حتی فناوری «زنجیره بلوکی» ازجمله این موارد هستند که هرکدام به‌نحوی می‌توانند امکان بهبود شاخص‌های ایمنی را در بخش‌های مختلف صنعتی و معدنی فراهم کنند. از فناوری‌های نوین می‌توان برای «ایجاد شفافیت، نظارت، گزارش‌گیری و عارضه‌یابی دقیق چالش‌های ایمنی در معادن» استفاده کرد. همچنین به‌صورت هم‌زمان می‌توان از قابلیت‌های این فناوری‌ها برای «کاهش و به صفر رساندن آسیب‌ها و تلفات انسانی» بهره برد.

اگرچه توسعه فناوری و نوآوری از یک جهت ایمنی محیط کار را افزایش می‌دهد، اما از جهت دیگر، امنیت شغلی (حداقل در شغل‌های مرسوم) با توسعه فناوری‌های نوین تهدید می‌شود. به‌عنوان مثال با ادامه مکانیزه شدن فعالیت‌ها در محیط‌های کاری، برخی از کارشناسان نگرانی‌های خود را پیرامون پیامدهای منفی آن مطرح کرده‌اند. طبق برآورد مؤسسه مکنزی[۹] در سال ۲۰۱۷، تعداد ۷۳ میلیون شغل تا سال ۲۰۳۰ از بین خواهد رفت.(۱۰) در مقابل دسته‌ای دیگر از کارشناسان نسبت به سرنوشت اقتصاد جهانی خوش‌بین هستند، چراکه پیشرفت‌های فناوری می‌تواند تولید ناخالص داخلی را در سراسر جهان طی ۱۰ الی ۱۵ سال آینده بیش از ۱/۱ تریلیون دلار افزایش دهد و آثاری بر رفاه اجتماعی داشته باشد.(۱۱) ضمن آنکه با رشد فناوری‌های نوظهور تقریباً مشخص است چه شغل‌هایی دچار مخاطره خواهند شد، ولی مجموعه جدیدی از مشاغل ظهور خواهند کرد که در حال حاضر از کمیت و کیفیت آن اطلاعات چندانی وجود ندارد. به غیر از موضوع تهدید امنیت شغلی، توسعه فناوری‌های نوین ممکن است باعث تهدیدات ایمنی جدیدی نیز بشود. به‌عنوان نمونه، حملات سایبری، تهدید حریم خصوصی و شرکتی، تأثیر دستکاری‌های ژنتیک و مواردی از این دست، ممکن است مخاطراتی برای ایمنی صنعتی در پی داشته باشد که تا پیش از این صنعت با آن مواجه نبوده است.

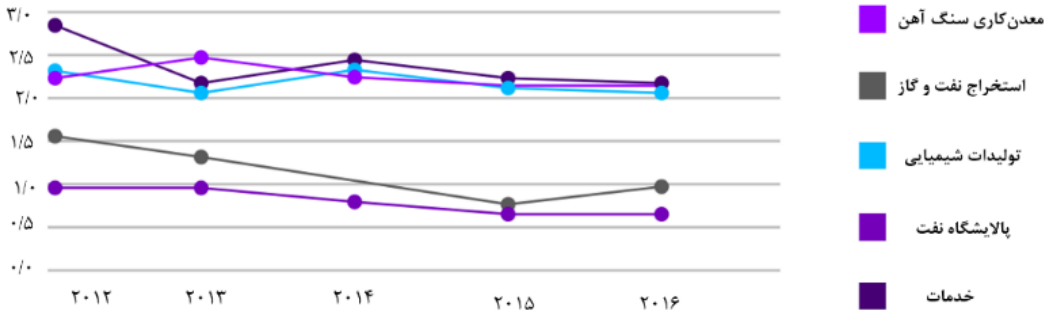
1. Augmented and Virtual Reality
2. Artificial Intelligence
3. Internet of Things
4. Quantum Computing
5. Blockchain
6. Robotics
7. Autonomous Vehicles
8. Drones Technology

۹. McKinsey & Company، شرکت آمریکایی فعال در زمینه مشاوره مدیریت و راهبرد.

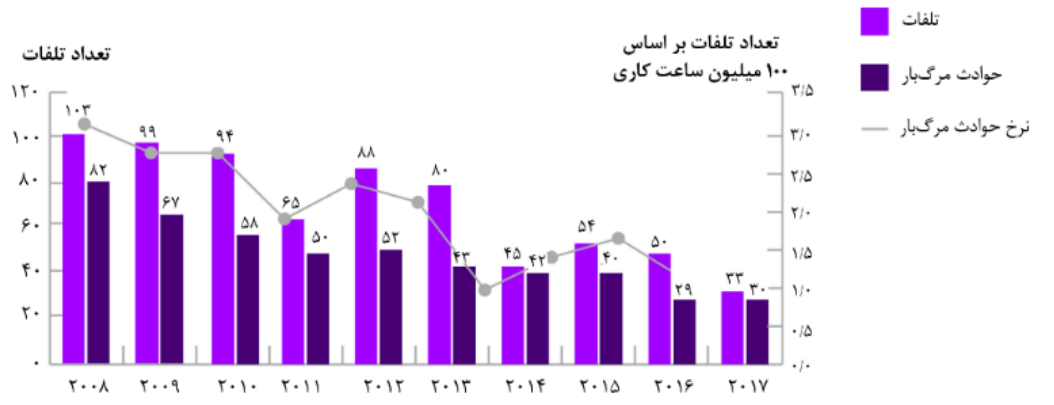
در هر حال هیچ تردیدی وجود ندارد که پیشرفت‌های فناوری، آینده اقتصادی ملت‌ها و جهان را شکل خواهد داد. تغییرات حاصله از منظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت هستند و بر حوزه ایمنی صنعتی نیز بسیار تأثیرگذار خواهند بود. به‌عنوان مثال آثار خودکارسازی و فناوری رُباتیک در موضوع ایمنی صنعتی گسترده است. همه‌روزه، میلیون‌ها کارمند تنها با رفتن به محل‌های کار خطرناک، خود را در معرض خطر آسیب‌دیدگی و یا حتی مرگ قرار می‌دهند. خودکارسازی و کاربست فناوری‌های پیشرفته و نوین می‌تواند جان هزاران نفر را در سال‌های آینده نجات دهد.(۱۲)

در سراسر دنیا مقوله ایمنی محیط کار به‌خصوص در صنایع سنگین بحثی حیاتی است و هدف نهایی، رساندن حوادث به صفر است؛ اما از طرفی داده‌های رسمی در مطالعات صنایع مختلف حکایت از این دارد که در سال‌های اخیر عملکرد ایمنی و سلامت محیط کار به روند ثابتی رسیده است. بدین معنا که شاخص‌های ایمنی در سال‌های اخیر به بهترین میزان ممکن رسیده و کاهش بیشتری مشاهده نشده است.

نمودار ۱. نرخ حوادث قابل ثبت در صنایع مبتنی‌بر داراییِ آمریکا و تلفات و حوادث مرگبار در صنعت نفت و گاز



الف. تعداد کل حوادث قابل ثبت در صنایع مبتنی بر دارایی ایالات متحده آمریکا، ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶



ب. تلفات و حوادث مرگبار در صنایع جهانی نفت و گاز، ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷

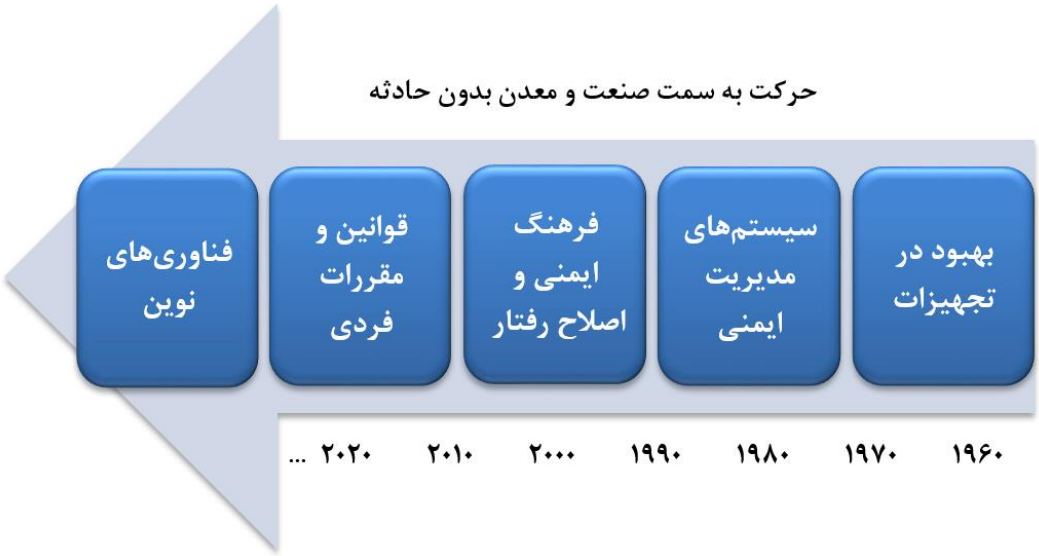
Source: "Adopting digital to break the EHS performance plateau", Accenture, (2018).

در همین راستا پیمایشی توسط مؤسسه اکسنچر در سال ۲۰۱۸ با عنوان «دیجیتالی شدن برای غلبه بر سکون عملکرد در ایمنی و سلامت کار»[۱] منتشر شده است که یافته‌های مهمی در مورد تأثیرات نوآوری و فناوری بر موضوع ایمنی صنعتی دارد. همان‌طور که در نمودار ۱ ملاحظه می‌شود وضعیت صنایع مختلف مثل معدنکاری خاکه‌های معدنی، نفت و گاز، شیمیایی و مواردی از این دست شباهت زیادی با یکدیگر دارند و ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که توان موج‌های قدیم نوآوری در حوزه ایمنی تمام شده است و پیشرفت‌های بیشتر با بهره‌گیری از رویه‌های کنونی به‌شدت دشوار به‌نظر می‌آید.

با توجه به اهمیت و جایگاه استارت‌آپ‌ها، ورود این مجموعه‌ها نیز به حوزه ایمنی صنعتی قابل توجه است. به‌عنوان یکی از ده‌ها مصداق، شرکت «آکرو»[۲] در سال ۲۰۱۹ یک گردهمایی با موضوع چالشی برای حل مشکلات ایمنی و سلامت در صنایع مختلف برگزار کرد. این گردهمایی، با هدف ارائه راهکار توسط استارت‌آپ‌های فعال در حوزه ایمنی برگزار شده بود.(۱۳) در اکوسیستم استارت‌آپی، مثال‌هایی از این دست بسیارند، زیرا استارت‌آپ‌ها مسئله‌محور و نوآوری‌محور هستند و حوزه ایمنی موضوع جذابی برای ارائه راهکار و جذب سرمایه است.

از دهه ۶۰ تا ۸۰ میلادی، بهبود در تجهیزات مهم‌ترین نقش را در افزایش ایمنی شرکت‌ها بازی کرد، سپس تا سال ۱۹۹۵ ورود سیستم‌های مدیریت ایمنی، بهبود بیشتری را ایجاد کرد. یک دهه بعد، دوره «فرهنگ ایمنی و برنامه‌های ایمنی مبتنی‌بر اصلاح رفتار» بود و بعد از این دوره، تمرکز بر قوانین و مقررات فردی افزایش یافت.

شکل ۱. رویکردهای مختلف برای ارتقای ایمنی صنعتی و معدنی با گذشت زمان



مأخذ: یافته‌های تحقیق.

۱. گزارش اکسنچر با عنوان «Adopting Digital to Break the EHS Performance Plateau»
۲. Arco، شرکت بریتانیایی فعال در حوزه خدمات و تجهیزات ایمنی.

رویکردها و طرح‌های مختلف موجب شد تا موجی از کاهش نرخ حوادث ثبت شده و حوادث منجر به فوت در صنایع مختلف در جهان پدید آید، اما امروزه شرکت‌ها در بخش‌های مختلف با موانع متعددی برای رسیدن به هدف «صنعت بدون حادثه» مواجه‌اند. همچنین تفاوت‌های اجتماعی و رفتاری نیروی کار کنونی با نیروی کار گذشته باعث شده تا معیارهای گذشته برای پیشبرد اهداف ایمنی کارساز نباشد.

حال سؤال اصلی این است که «با توجه به این شرایط، ادامه راه برای بهبود شرایط ایمنی کار چیست؟». ازجمله پاسخ‌های این سؤال می‌توان به دیجیتالی کردن حوزه ایمنی محیط کار با بهره‌گیری از تحلیل داده و اجرای آموزش کارکنان با استفاده از محیط‌های مجازی و استفاده از فناوری‌های نوین و پیشرفته اشاره کرد. بدین معنا که موج جدید نوآوری (که مبتنی‌بر فناوری‌های نوین است) می‌تواند ظرفیت‌های جدیدی برای ارتقای ایمنی در معادن و صنایع معدنی ایجاد کند. به‌عبارت دیگر تکیه بر راهکارهای نوآورانه متکی بر فناوری‌های نوینِ حاصل از انقلاب صنعتی چهارم می‌تواند حوزه ایمنی و سلامت محیط کار را وارد دوره جدیدی از پیشرفت نماید. برای این منظور لازم است تا شرکت‌ها با آغوش باز پذیرای ورود این فناوری‌ها برای بهبود ایمنی در کسب‌وکارشان باشند. به‌عنوان نمونه استفاده از ترکیب فناوری‌های هوش مصنوعی تا پلتفرم‌های اجتماعی، از حسگرهای اینترنت اشیا تا پهپادها و تحلیل داده، پتانسیل شکستن سقف انتظارات کنونی از ایمنی و رساندن این حوزه را به سطوح جدید دارد. استفاده از این ابزارها توانایی شرکت‌ها برای پیش‌بینی حوادث را بالا برده و درنتیجه به ادعای گزارش‌های معتبر جهانی امکان کاهش نرخ حوادث را تا ۲۰ درصد فراهم می‌کند.(۸)

۲. کاربرد فناوری‌های نوین در ایمنی معادن

۲-۱. فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی

به بیان ساده برای تعریف دو فناوری واقعیت افزوده و مجازی می‌توان گفت که واقعیت مجازی در واقعیت وجود ندارد و توسط رایانه تولید می‌شود و با دنیای واقعی اطراف کاربر ارتباطی ندارد. برخلاف آن، واقعیت افزوده به گسترده کردن دنیای واقعی با استفاده از ابزار مجازی اطلاق می‌شود و با اضافه کردن اطلاعات به دنیای واقعی با استفاده از عینک‌های مخصوص، تلفن‌های هوشمند و تبلت‌ها کاربردی می‌شود.

به کار بردن فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی در صنایع مختلف، ظرفیت‌های عملیاتی بسیاری را به‌ارمغان می‌آورد. به‌عنوان نمونه، در حوزه آموزش کارکنان و تعامل با دستگاه‌ها و تجهیزات، فناوری مذکور ظرفیت‌های بسیاری دارد. ظرفیت واقعیت مجازی از این جهت مهم است که «روش‌های سنتی اندازه‌گیری» محدود هستند و نسبت به «خطرات» آگاهی کامل وجود ندارد. لذا نمی‌توان به‌صورت کامل، اقدامات لازم را برای ایمنی محیط کار ایجاد کرد. بنابراین در محیط کار و عدم حضور واقعیت مجازی، ارزیابی قابلیت تعداد زیادی از کارکنان در زمان کوتاه غیرممکن است. جدای از مزیت‌های مطرح شده، با توجه به اینکه نیروی کار

آینده از جوانان و نوجوانانی تشکیل می‌شود که در فعالیت‌های آموزشی از بدو تولد با فناوری عجین شده‌اند، استفاده از ابزارهای به‌روز می‌تواند جذابیت بیشتری برای یادگیری ایجاد نماید.

بررسی آینده فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی از منظر اقتصادی، نشانگر رشد قابل توجه این فناوری تا سال ۲۰۲۵ است. براساس تخمین صورت گرفته توسط «گلدمن ساکس»؛[۱] شرکت خدمات مالی و بانکداری آمریکایی، انتظار می‌رود فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی تا سال ۲۰۲۵ به بازار ۹۵ میلیارد دلاری برسد.(۱۷)

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، فناوری واقعیت مجازی و افزوده، کاربردهای بسیاری در حوزه آموزش دارد که در هر کسب‌وکاری جزء مهم‌ترین فرایندهای سازمانی است. نیروی تازه‌کار به‌منظور آشنایی با محیط و روند کاری شغل، به آموزش‌های عملی نیاز دارد و همچنین نیروهای در حال کار نیز برای فراگیری رویه‌های جدید سازمانی، نیازمند آموزش‌های دوره‌ای هستند. در برخی صنایع این آموزش‌ها می‌تواند خطرآفرین باشد؛ خطری که هم متوجه فرد تحت آموزش است و هم تجهیزاتی که با آن سروکار دارد. به همین جهت آموزش ایمن کارکنان همیشه یکی از دغدغه‌های مهم صاحبان مشاغل و مدیران صنایع بوده است. محیط‌های مجازی، مزایای بسیاری برای آموزش ایمن کارکنان در پی دارد؛ ازجمله «قرار نگرفتن در معرض محیط‌های خطرناک»، «فرصت برای یادگیری تجربی» و «سطوح بالای کنترل بر آموزش». علاوه‌بر اینها، بهره بردن از فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی در حوزه آموزش، «مزایای زمانی و اقتصادی» نیز برای کسب‌وکارها در پی خواهد داشت. واقعیت افزوده و مجازی امکان کاهش هزینه‌های آموزش را در محیطی شبیه‌سازی شده و ایمن فراهم می‌کند و کارمندان را بدون خطر، در شرایط محیطی حاد قرار می‌دهد و بهبود بهره‌وری آموزشی را در محیط ایمن ممکن می‌کند.(۱۸) به‌عنوان مثال یک شرکت پتروشیمی توانست جلسات واقعیت مجازی خود را برای ۷۰۰ کارمند خود تنها طی سه روز اجرا و نتایج به‌دست آمده را با اعضای تیم طی دو هفته مرور کند.(۱۹) در نمونه‌ای دیگر شرکت گلنکور[۲] در سال ۲۰۱۶ به‌منظور شبیه‌سازی انفجار در معادن و برای ایمنی بیشتر کارکنان و انجام دقیق محاسبات مربوطه، از فناوری واقعیت مجازی توسعه داده شده توسط شرکت «اس‌تی‌اس‌تری‌دی»[۳] استفاده کرد.(۲۰) گزارش‌های مراجع متعدد جهانی نیز، بر اهمیت این فناوری در حوزه ایمنی تأکید دارند. به‌عنوان نمونه «مؤسسه بین‌المللی ایمنی و سلامت مشاغل»[۴] پژوهشی برای توسعه «محیط‌های مجازی چندحسی»[۵] انجام داده است. این محیط مجازی با درگیر کردن تمام حواس انسان، کیفیت تجربه آموزشِ مجازی را بالا می‌برد.(۲۱)

---

۱. Goldman Sachs، شرکت آمریکایی فعال در ارائه خدمات مالی و بانکداری.

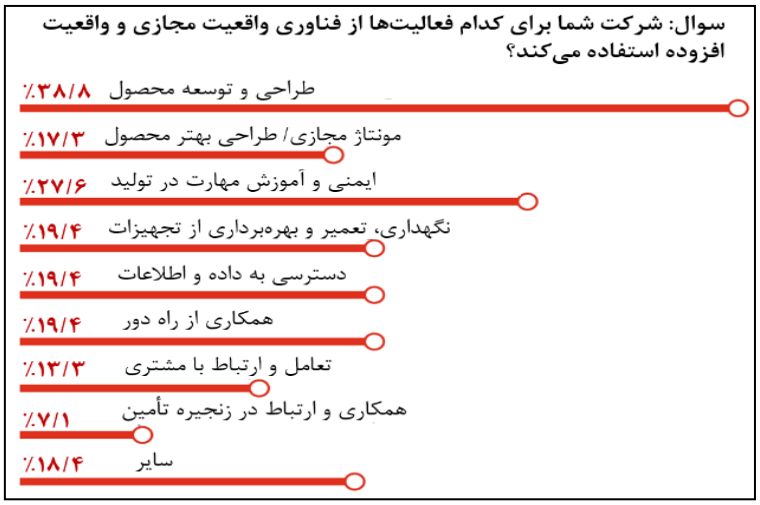
۲. Glencore، شرکت بریتانیایی مستقر در سوئیس و فعال در صنعت معدن و صنایع معدنی و همچنین تولیدکننده محصولات صنعت انرژی و کشاورزی.

۳. Simulated Training Solutions (STS3D)، شرکت ارائه‌دهنده راهکارهای آموزش مجازی.

4. Institution of Occupational Safety and Health

5. Multi-sensory virtual environments

نمودار ۲. نتیجه پایش نحوه استفاده از واقعیت افزوده و مجازی بین مدیران صنایع مختلف آمریکا



Source: "How virtual and augmented reality technologies are reimagining America's factory floors", PwC, (2016).

علاوه‌بر این و همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، طبق پیمایش صورت گرفته در سال ۲۰۱۶ توسط مؤسسه «پی‌دبلیوسی» بین ۹۸ مدیر در صنایع تولیدی مختلفِ کشور آمریکا، به‌کارگیری واقعیت افزوده و مجازی در بخش ایمنی و آموزش‌های مهارتی در تولید، بعد از استفاده از آن در طراحی و توسعه محصول به‌عنوان دومین کاربرد اصلی این فناوری برگزیده شده است.(۲۲)

از منظر استخراج منابع طبیعی و ارزشمند زیرزمینی، شرکت‌های پیشرو در صنعت نفت و گاز در توسعه روش‌های جدید آگاهی‌بخشیِ ایمنی، پیشگام بوده‌اند. این روش‌ها در سایر صنایع مشابه پُرخطر و دارای نیروی کار زیاد مانند معادن نیز قابل اجراست.

شکل ۲. ارزیابی لحظه‌ای مخاطرات با فناوری واقعیت مجازی

Source: "Seeing the unseen: Transforming safety by improving hazard sensitivity", McKinsey & Company, (2019).

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، در این رویکرد، از ابزار واقعیت مجازی استفاده می‌شود که در آن کاربر می‌تواند به‌طور مجازی در محیط کار پُرخطر قرار بگیرد و هنگام حرکت در این محیط مجازی، سیستم واقعیت مجازی تمام حرکات انجام شده را ثبت می‌کند و جایی که افراد به آن نگاه می‌کنند را ثبت کرده و همچنین مدت زمان آن و اینکه چه خطراتی را تشخیص داده‌اند و چه خطراتی را نادیده گرفته‌اند را نیز تشخیص می‌دهد. بدین ترتیب کارکنان هم آموزش‌های مربوط به کار در محیط‌های خطرناک را فرامی‌گیرند و هم با استفاده از داده‌های آموزش، ارزیابی می‌شوند.

ـ کارکردها و مصادیق واقعیت افزوده و مجازی برای ارتقای ایمنی در معادن

واقعیت افزوده و مجازی از طریق بهبود بهره‌وری معادن، کاهش هزینه‌های نگهداری، ایمنی و حفاظت از کارگران معدن، ارائه بازدیدهای مجازی از سایت‌های معدنی و آموزش در محیط‌های واقعی، به دنبال دگرگونی صنایع معدنی است.(۲۳) به بیان ساده، آموزش کارکنان در محیطی ایمن و به‌دور از محیط پُرخطر معدن و درعین‌حال محیطی نزدیک به واقعیت، مزیتی است که این فناوری به ارمغان می‌آورد. از لحاظ بررسی مصادیق و کاربردها، همکاری‌ها و اقدامات بسیاری در این زمینه توسط شرکت‌های معدنی انجام شده که می‌تواند شاهدی بر کاربردی بودن و اهمیت توسعه این فناوری باشد.

به‌عنوان یکی از نمونه‌های متأخر، شرکت فناور «نکس‌تک»[۱] در ژانویه سال ۲۰۲۰ با شرکت معدنی «رومیوس‌گلد»[۲] در حوزه واقعیت مجازی آغاز به همکاری کرده‌اند. این همکاری، بهبود بهره‌وری معادن و کاهش خطرات و افزایش ایمنی از طریق آموزش کارکنان در معادن، را هدف‌گیری کرده است. همچنین این شرکت معدنی تلاش دارد تا با بهره‌گیری از فناوری واقعیت مجازی، سطح آگاهی مشتریان و سرمایه‌گذاران را بهبود دهد و درواقع فرایند بازاریابی شرکت را بهینه کند.(۲۳) در اقدامی دیگر در ماه اوت سال ۲۰۱۸ شرکت «لامازو»[۳] و شرکت فناور معدنی «مپ‌تک»[۴] همکاری خود را آغاز کردند. شرکت لامازو یکی از ارائه‌دهندگان خدمات و تصاویر سه‌بُعدی است که در سال ۲۰۱۴ در ونکوور کانادا کار خود را شروع کرد. اولین محصول لامازو «ایزی‌آناتومی»[۵] بود که درواقع به‌عنوان ابزاری آموزشی برای دانشجویان دامپزشکی طراحی شده بود، اما این شرکت نام این محصول را به واقعیت مجازیِ «ماین‌لایف»[۶] تغییر داد و از این بستر برای جمع‌آوری حجم عظیمی از داده و نمایش تصویری از مکان‌های مختلف معدن استفاده کرد تا کاربر بتواند از طریق فناوری واقعیت مجازی درون معدن را مشاهده و از آن برای آموزش کارکنان و افزایش ایمنی استفاده کند.(۲۴)

---

۱. Nex Tech AR Solutions، شرکت کانادایی و پیشرو در ارائه خدمات فناوری واقعیت افزوده.
۲. Romios Gold Resources، شرکت اکتشاف معادن کانادایی، با تمرکز بر معادن طلا، نقره و مس.
۳. Llama ZOO، شرکت کانادایی فعال در مصورسازی سه‌بُعدی داده برای صنایع معدن، نفت و گاز و...
٤. Maptek، شرکت استرالیایی نوآور ارائه‌دهنده خدمات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری به صنعت معدن.

5. Easy Anatomy
6. Mine Life

فناوری واقعیت مجازی، کاربردهای دیگری نیز برای آموزش ایمن معدنکاران دارد. به‌عنوان نمونه شبیه‌سازی عملیات معدنی با کاربست فناوری‌های نوین می‌تواند سلامت کارکنان را تضمین کند. از آنجایی که در صورت عدم رعایت ایمنی برای استفاده کنترل نشده از مواد منفجره در معادن، امکان خطرات زیاد و تلفات وجود دارد، اگر معدنکاران محاسبات دقیقی برای انتخاب مکان مناسب قرارگیری مواد منفجره انجام ندهند، این اقدام می‌تواند باعث شکستن و پرتاب سنگ‌ها به مسیرهای پیش‌بینی نشده شود و موقعیت خطرناکی در زیر زمین و بالای آن ایجاد کند و ایمنی کارکنان را به‌خطر بیندازد. شبیه‌سازی امکان انجام دقیق محاسبات را فراهم می‌سازد. به‌منظور جلوگیری از این خطرات و ایمنی بیشتر کارکنان، اولین دیوار انفجار واقعیت مجازی توسط شرکت «اس‌تی‌اس‌تری‌دی» ایجاد و در سال ۲۰۱۶ در معادن مس موپانی در زامبیا متعلق به شرکت «گلنکور» نصب شد. آموزش در یک اتاق تاریک انجام می‌شود که در آن تصاویر سنگ‌ها بر روی یک پرده بزرگ انداخته شده و کارآموزان به‌وسیله یک قوطی اسپری الکترونیکی، سوراخ‌های اندازه‌گیری شده برای انفجار را علامتگذاری کرده، توالی انفجار مواد منفجره را محاسبه و نحوه شکستن سنگ‌ها را مشاهده می‌کنند و در آخر می‌توانند خطاهایشان را در محاسبات صورت گرفته بر روی اسپری مشاهده کنند.(۲۰)

استارت‌آپ‌ها نیز، در حوزه فناوری واقعیت مجازی در همکاری با شرکت‌های معدنی اقداماتی را انجام داده‌اند. ازجمله استارت‌آپ «اینان‌اِی‌بی»[۱] که در زمینه آموزش ایمنی فعالیت می‌کند، خدماتی مانند شبیه‌سازی واقعیت مجازی برای آموزش اطفای حریق، آموزش‌های مربوط به محفظه‌های نجات در معادن و همچنین کار با ایستگاه‌های برق فشارقوی را ارائه می‌دهد. شایان ذکر است همکاری استارت‌آپ اینان‌ای‌بی با شرکت‌های «آگونیش آلومینا»[۲] و «گروه روسال»[۳] راه را برای ورود این استارت‌آپ به دنیای معدن و مواد معدنی باز کرده است. (۲۵)

۲-۲. فناوری هوش مصنوعی

یکی از راه‌حل‌های کارآمد جهت بهبود شاخص‌های ایمنی در محیط کار استفاده از فناوری هوش مصنوعی است. به‌طور خلاصه فناوری هوش مصنوعی حوزه‌ای است که «توانایی دستگاه‌ها در یادگیری مانند انسان» و همچنین «توانایی پاسخگویی به رفتارهای مشخص» را در برمی‌گیرد.(۵)

قبل از شروع بحث پیرامون فناوری هوش مصنوعی باید مدنظر داشت که کاربرد این فناوری معمولاً همراه با فناوری اینترنت اشیا انجام می‌شود. استفاده از حسگرهای اینترنت اشیا برای جمع‌آوری داده و نظارت بر کارخانه و کارکنان یکی از اقدامات مهم برای بهبود ایمنی محیط کار و کاربرد فناوری هوش

---

۱. Innan AB، استارت‌آپ فعال در حوزه آموزش ایمنی.
۲. Aughinish Alumina، شرکت فعال در زمینه استخراج، تصفیه و تولید آلومینیم.
۳. RUSAL Group، شرکت فعال در زمینه استخراج، تصفیه و تولید آلومینیم.

مصنوعی است. البته هوش مصنوعی می‌تواند با داده‌های دیگری (به‌غیر از داده‌های جمع‌آوری شده توسط اینترنت اشیا) نیز کارکردهای زیادی داشته باشد، اما اضافه کردن اینترنت اشیا به این فناوری می‌تواند سطح ایمنی را در محیط کاری بالاتر ببرد. لذا با ترکیب داده‌های حاصل از حسگرهای اینترنت اشیا با تحلیل‌های پیشرفته، دیدگاه کامل‌تری به‌دست آمده و می‌توان از این اطلاعات به‌منظور پیش‌بینی‌های جامع‌تر برای جلوگیری از خطرات (قبل از وقوع آنها) استفاده کرد.(۲)

بررسی فناوری هوش مصنوعی از منظر اقتصادی نشان‌دهنده رشد چشمگیر در سال‌ها و حتی دهه‌های پیشِ رو است. اندازه بازار جهانی این فناوری طبق برآوردهای شرکت تحقیقاتی «گرند ویو ریسرچ»[1] در سال ۲۰۱۸ برابر ۲۴/۹ میلیارد دلار بوده و تخمین زده می‌شود که طی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵ با نرخ رشد مرکب سالیانه ۴۶/۲ درصد به ۲۴۳/۲ میلیارد دلار برسد.(۲۶)

هوش مصنوعی می‌تواند با «خودکارسازی»، «حذف خطای انسانی»، «نظارت بر آزار و اذیت در محیط کار»، «تحلیل داده‌های موقعیت مکانی کارکنان» و «انجام وظایف خطرناک» تأثیر قابل توجهی در ارتقای ایمنی و کاهش حوادث کاری داشته باشد.(۲۷)

از دلایل اصلی سرمایه‌گذاری مدیران بخش ایمنی و سلامت محیط کار بر روی هوش مصنوعی می‌توان به دو مورد «نظارت بهتر بر روی داده‌ها و تشخیص خطاها» و «نگهداری قابل پیش‌بینی و اثربخش» اشاره کرد. سیستم‌های هوش مصنوعی در صورت بروز هرگونه ناهنجاری، قابلیت هشداردهی دارند. همچنین هوش مصنوعی می‌تواند براساس داده‌های به‌دست آمده، خرابی یا مشکلات را پیش‌بینی کرده و برای رفع آنها راه‌حل ارائه دهد. از دیگر کاربردهای این فناوری می‌توان به نظارت بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود مدیریت کیفیت آب و پسماند و مدیریت حوادث اشاره کرد. هوش مصنوعی به‌طور مؤثری سبب کاهش هزینه‌ها و مدیریت زمان و منابع نیز خواهد شد.(۵)

از اقدامات عملی کسب‌وکارها جهت کاربست این فناوری‌ها می‌توان به اقدام «سیسکو»[2] اشاره کرد که به‌منظور اطمینان از ایمنی محیط کار، پروژه‌ای برای توسعه یک سیستم هوشمند راه‌اندازی کرده است که با نام «اِی‌آی سیف»[3] شناخته می‌شود. این پروژه توسط آژانس نوآوری انگلستان آغاز به‌کار کرده است و قصد خودکارسازی بررسی‌های ایمنی را در محیط کار دارد. این سیستم با استفاده از تحلیل تصاویر ویدئویی گرفته شده از محیط کار و فناوری یادگیری ماشین، بر روی ایمنی کارکنان خود نظارت می‌کند.(۵) به‌عنوان نمونه‌ای دیگر می‌توان به کارخانه هوشمند پوسکو[4] اشاره کرد؛ هدف نهایی این کارخانه انجام تمام فرایندهای تولید آهن و فولاد با کاربرد فناوری هوش مصنوعی است.(۲۸)

---

1. Grand View Research

۲. Cisco، شرکت پیشرو در ارائه راهکارهای فناوری اطلاعات، شبکه و امنیت سایبری.

3. AI-SAFE

٤. Posco، برزگ‌ترین تولیدکننده آهن و فولاد در کره جنوبی و پنجمین تولیدکننده بزرگ فولاد در جهان در سال ۲۰۱۸.

- کارکردها و مصادیق فناوری هوش مصنوعی برای ارتقای ایمنی در معادن

فناوری‌های هوش مصنوعی از طریق تحلیل هدفمند داده‌های عملیاتی گردآوری شده توسط حسگرها به کمک بهبود ایمنی در معادن آمده‌اند. جمع‌آوری اطلاعات با بهره‌گیری از حسگرهای هوشمند تعبیه شده در کارخانه‌ها و تجهیزات پوشیدنی کارکنان فراهم می‌شود و الگوریتم‌های هوش مصنوعی با تحلیل این داده‌ها امکان نظارت هوشمند بر فعالیت‌ها و هشداردهی نسبت به مخاطرات را ممکن می‌کنند. این فناوری علاوه‌بر مزیت‌هایی که در بخش ایمنی ایجاد می‌کند، موجب بهبود بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها نیز می‌شود.

شرکت‌های بزرگ معدنی نیز، برای اهدافی چون ارتقای ایمنی در محیط کار از هوش مصنوعی استفاده کرده‌اند. برای نمونه در سال ۲۰۱۶ شرکت معدنی واله[۱] با هدف صرفه‌جویی ۱۰۰ میلیون دلاری طی دو سال، شروع به اجرای تحول دیجیتالی در برنامه‌های خود کرد. این شرکت از هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، تحلیل پیشرفته و برنامه‌های کاربردی همراه و سایر نوآوری‌ها به‌منظور یکپارچگی کسب‌وکار، کاهش هزینه‌ها، ساده‌سازی فرایندها، افزایش بهره‌وری و رسیدن به بالاترین سطح سلامت و ایمنی در محل کار استفاده کرد.(۲۹) همچنین در سال ۲۰۱۸، تیم‌های مدیریت سلامت و مدیریت اطلاعات شرکت معدنیِ آنگلوامریکن،[۲] همکاری خود را در جهت بهبود «واحد هوش عملیاتی»[۳] آغاز کردند. واحد هوش عملیاتی یک پلتفرم تحلیل داده است که وظیفه کنترل داده‌ها و بارگذاری رویدادها را دارد. نتایج این داده‌ها به کاربران کمک می‌کند تا در مواقع اضطرار تصمیم‌های درستی بگیرند و در سایت‌های معدنی مشکلی از نظر سلامت و ایمنی برای کارکنان به‌وجود نیاید.(۳۰) این سیستم توانایی دریافت، ضبط و تحلیل داده‌هایی مانند جریان هوا و میزان گاز از چندین منبع را به یک پلتفرم داشته و همچنین قادر به تحلیل و ارائه گزارش اطلاعات نیز است. سیستم مذکور، در حال حاضر در معادن سنگ آهن کومبا[۴] و زغال‌سنگ آفریقای جنوبی استفاده شده و از آن برای ارزیابی محیط کاری و تأمین ایمنی بهره برده می‌شود.(۳۱)

در حوزه معدنکاری فلزات ارزشمند نیز، شرکت باریک‌گلد[۵] به‌عنوان بخشی از برنامه تحول دیجیتالی خود در سال ۲۰۱۷، در ایالت نوادا[۶] آغاز به ساخت «مرکز عملیات یکپارچه و تجزیه و تحلیل»[۷] نمود. این مرکز در نوع خود اولین است و توانایی تحلیل داده‌ها و توسعه بینش کارکنان را برای تصمیم‌گیری بهتر، سریع‌تر و ایمن‌تر خواهد داشت. مرکز عملیات یکپارچه، داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها، تجهیزات و

---

۱. Vale، این شرکت بزرگ‌ترین شرکت معدنی کشور برزیل و بزرگ‌ترین تولیدکننده خاکه آهن و نیکل در دنیاست.
۲. Anglo American، بزرگ‌ترین شرکت تولید پلاتین در دنیا. علاوه‌بر پلاتین فعال در استخراج الماس، مس، نیکل و...
3. Operational Intelligence Suite (OIS)
٤. Kumba، شرکت استخراج خاکه آهن در آفریقای جنوبی و از زیرمجموعه‌های شرکت معدنی آنگلوامریکن.
٥. Barrick Gold Corporation، دومین شرکت بزرگ در استخراج طلا که در کانادا مستقر است.
6. Nevada
7. Analytics and Unified Operations Center

ابزارآلات دیجیتال واقع در تمام بخش‌های معدن را پردازش کرده و آنها را در زمان مناسب به اطلاعات مرتبط و قابل استفاده تبدیل می‌کند. تحلیلگران همچنین مسائل بهداشتی، ایمنی و محیط زیستی را شناسایی، ردیابی و نظارت می‌کنند و در صورت شناسایی مشکلات در این زمینه سعی بر حل آنها خواهند داشت.(۳۲)

در همین راستا، اقدامات گسترده و ویژه‌ای نیز در حوزه دانشگاه‌ها صورت گرفته است. ازجمله «دانشگاه نوادا»[1] به‌منظور کمک به حل نگرانی‌های به‌وجود آمده در حوزه سلامت و ایمنی معدن، به آموزش در زمینه زیرساخت‌های فناوری‌های در حال ظهور مانند هوش مصنوعی پرداخته است. همچنین با کمک مالی ۱/۲۵ میلیون دلاریِ «انستیتو ملی ایمنی و سلامت شغلی آمریکا»،[2] تیمی از دانشجویان دانشگاه نوادا مسئولیت برطرف کردن چالش‌های مربوط به بخش ایمنی و سلامت معدن را به‌عهده گرفته‌اند.(۳۳) با کمک شرکای تجاری این پروژه، ۶ مأموریت برای آن انتخاب شده که با هدف توسعه ظرفیت‌های موجود در زمینه‌های مختلف فناوری‌های در حال ظهور شکل گرفته است. ۶ پروژه فرعی در نظرگرفته شده برای معادن با فناوری سیستم هوش مصنوعی بدین شرح است:

۱. سیستم هشدار خودکار سقوط سنگ در معادن روباز که با هدف تقویت سیستم هشدار خرابی دیوارهای این معادن به‌وجود آمده است و از فناوری‌های هوش مصنوعی، کلان‌داده[3] و پهپادی استفاده می‌کند. شرکت‌های معدنی «کینروس‌گلد»،[4] «نیومونت»[5] و «فری‌پورت»[6] شرکای صنعتی این پروژه هستند.

۲. سیستم هشدار بی‌ثباتی برای نظارت خودکار بر روی سدهای باطله معادن که برای آن از فناوری‌های هوش مصنوعی، کلان‌داده و پهپادها استفاده می‌شود. شرکای صنعتی این پروژه شرکت‌های «فری‌پورت»، «کینروس‌گلد»، «نیومونت» و «واله» است.

۳. سیستم بهینه‌سازی توزیع انرژی حاصل از انفجارها، که برای هر عملیات حفاری شارژ مناسب و مشخص ایجاد می‌کند و منجر به کاهش خطا در ایجاد سوراخ توسط انفجار می‌شود. فناوری‌های هوش مصنوعی و کلان‌داده در این بخش به‌کار گرفته می‌شوند. شرکای تجاری این بخش «فری‌پورت»، «کینروس‌گلد»، «نیومونت» و «اوریکا»[7] هستند.

۴. سیستم نظارت هوشمند جامع برای کم کردن نیاز به نظارت شخصی با استفاده از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا که با کمک شرکای تجاری «کلین‌ایر»،[8] «کینروس‌گلد»، «نیومونت» و «ری‌اووسپک»[9] انجام می‌شود.

---

1. University of Nevada
2. National Institute for Occupational Safety and Health
3. Big Data

٤. Kinross Gold Corp، شرکت کانادایی فعال در استخراج طلا و نقره.
٥. Newmont Mining، شرکت آمریکایی که بزرگ‌ترین در معدنکاری طلا در دنیاست.
٦. Freeport-McMoRan، شرکت آمریکاییِ استخراج مس، طلا و مولیبدن.
۷. Orica، شرکت چندملیتی مستقر در آمریکا و یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان مواد منفجره برای سیستم‌های انفجار در صنایع معدن و نفت و گاز.
۸. CleanAir، ارائه‌دهنده راهکارهای نوین اندازه‌گیری برای بهبود پایداری زیست‌محیطی و استفاده بهینه از منابع طبیعی.
۹. RESPEC، شرکت ارائه‌دهنده راهکارهای نوآورانه در مدیریت شرایط بحرانی.

۵. کنترل از راه دور همه‌جانبه ماشین‌آلات معدنی به‌منظور افزایش بهره‌وری و ایمنی به‌وسیله هوش مصنوعی، رُباتیک و واقعیت افزوده و مجازی که با کمک «کینروس‌گلد»، «کوماتسو»،[۱] «نیومونت» و «سندویک» انجام می‌شود.

۶. شبیه‌سازی تخلیه هوشمند معادن زیرزمینی که سبب بهبود پروتکل‌های تخلیه می‌شود. شرکای تجاری این بخش شامل شرکت‌های «هادن»،[۲] «کینروس‌گلد» و «نیومونت» می‌شود.(۳۳)

۳-۲. فناوری اینترنت اشیا

اینترنت اشیا به زبان ساده به ارتباط حسگرها و دستگاه‌ها با شبکه‌ای اطلاق می‌شود که از طریق آن می‌توانند با یکدیگر و با کاربرانشان تعامل کنند. اینترنت اشیای صنعتی[۳] در کارخانه‌ها از طریق دریافت داده‌ها از حسگرها و یا از طریق تجهیزات پوشیدنی و حسگرها و هشدارهای تعبیه شده در آن، به کمک بخش ایمنی می‌آیند. دستگاه‌های متصل به هم و مبتنی‌بر فناوری اینترنت اشیا در سراسر دنیا به‌وفور یافت می‌شوند و پیش‌بینی‌ها حکایت از رشد این رقم و به‌تبع آن بازار فناوری اینترنت اشیا دارد. همچنین پیش‌بینی می‌شود که پیشرفت و گسترش اینترنت پُرسرعت (مانند نسل ۴جی و ۵جی) باعث رشد تقاضای سازمان‌ها برای فناوری‌های اتصالی باشد.

از لحاظ اقتصادی و آینده فناوری اینترنت اشیا، طبق برآوردهای مؤسسه تحقیقات آماری «مارکتز اند مارکتز» اندازه بازار این فناوری در سال ۲۰۲۲ به رقم ۵۶۱ میلیارد دلار خواهد رسید. شایان ذکر است که اندازه بازار فناوری اینترنت اشیا برای سال ۲۰۱۷ معادل ۱۷۰/۶ میلیارد دلار ذکر شده که به‌معنای نرخ رشد مرکب سالیانه ۲۶/۹ درصد در دوره مذکور است.(۳۴) همچنین طبق برآورد پایگاه «ولیو ریپورتز»[۴] بازار فناوری اینترنت اشیا با نرخ رشد مرکب سالیانه ۳۸/۶۲ درصد تا سال ۲۰۲۵ به رقم ۱۶۱۲ میلیارد دلار خواهد رسید.(۳۵)

اینترنت اشیا از طریق حسگرهای متصل به تجهیزات کارخانه و جمع‌آوری داده از آنها می‌تواند به‌طور مؤثری به نظارت بر کارخانه و اشخاص و به‌تبع آن بهبود شاخص‌های ایمنی کمک کند. این امر، فناوری اینترنت اشیا را به ابزاری برای رصد محیط‌های خطرناک تبدیل کرده است، درحالی‌که این نظارت در صورت عدم وجود این فناوری به‌صورت دستی و پیوسته امکان‌پذیر نیست.(۲)

ـ کارکردها و مصادیق فناوری اینترنت اشیا برای ارتقای ایمنی در معادن

یکی از دستاوردها و نتایج ادغام فناوری‌های اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، توسعه تجهیزات پوشیدنی برای کارکنان در محیط‌های کار است و بهره‌گیری از این تجهیزات امکان ارتباط بین کارکنان را فراهم

---

۱. Komatsu Ltd.، شرکت ژاپنی که تولیدکننده تجهیزات معدنکاری و ساختمانی، ماشین‌آلات جنگل‌داری و صنعتی است.
۲. Howden، شرکت فعال در زمینه ارائه راهکارهای مرتبط مدیریت مخاطرات محیط زیستی در صنایع مختلف ازجمله معدن.
3. Industrial Internet of Things
4. Valuates Reports

می‌کند. علاوه‌بر این تجهیزات هشداردهنده در این پوشیدنی‌ها می‌تواند کارگر را به‌طور دقیق از مخاطرات محیطی محل کار، آگاه کند. همچنین تحلیل داده‌های گرفته شده از این تجهیزات می‌تواند اثر قابل توجهی بر سلامت و ایمنی کارکنان داشته باشد. برای نمونه شرکت «هگزاگون»[۱] به‌منظور کاهش خطرات اپراتورهای صنایع معدنی، در سال ۲۰۱۹ دستگاهی به‌منظور هشدار به اپراتور طراحی کرد. این سیستم توانایی تشخیص خستگی کارکنان و رانندگان وسایل نقلیه مربوط را به معادن دارد و با استفاده از هوش مصنوعی بصری خود، نظارت دقیق و هوشمندی بر روی آنها خواهد داشت. خستگی و حواس‌پرتی اپراتورها سبب بروز خطرات زیادی در صنایع معدنی شده و ادعا شده این محصول گام مهمی در تأمین ایمنی کارکنان معدن برداشته است.(۳۷) به‌عنوان نمونه‌ای دیگر در سال ۲۰۱۷ شرکت بی‌اچ‌پی[۲] در معدن مس «اسکوندیدا»[۳] در شیلی از کلاه‌های هوشمندی برای تحلیل امواج مغزی راننده و اندازه‌گیری میزان خستگی کارکنان استفاده کرد. قابل توجه آنکه، این اقدام بر روی بیش از ۱۵۰ کامیون به‌منظور بهبود بهره‌وری و افزایش ایمنی اجرا شد.(۳۸)

اقدامات دیگری نیز با استفاده از اینترنت اشیا در تجهیزات پوشیدنی انجام شده است. ازجمله شرکت آی‌بی‌ام[۴] در تلاش برای کمک‌رسانی به بهبود سلامت و ایمنی کارکنان معدن با کاربرد تجهیزات پوشیدنی است. این شرکت در تلاش برای توسعه دسترسی به اینترنت اشیاست و می‌خواهد سیستم‌های رایانه‌ای وابسته به هم، ماشین‌های مکانیکی و دیجیتالی، اشیا، اشخاص و حیوانات مجهز به حسگر و دستگاه‌های الکترونیک باشند. این ارتباطات گسترده به سیستم اجازه می‌دهد تا با ردوبدل کردن اطلاعات با سایر دستگاه‌های متصل، بدون نیاز به تعامل انسان با انسان یا انسان با رایانه، عملکرد بهتری داشته باشد.(۳۹)

در زنجیره صنعت آهن و فولاد نیز شرکت‌های پیشتازی چون پوسکو، اقداماتی را برای افزایش ایمنی کارکنان با کاربرد فناوری‌های نوین (به‌طور خاص اینترنت اشیا) صورت داده‌اند. از اقدامات این شرکت می‌توان به نصب حسگرهایی به‌منظور تشخیص گازها، صداها و دمای خطرناک و بحرانی به‌منظور مطلع کردن اپراتورها در صورت بروز خطر نام برد. این سیستم همچنین به‌منظور نظارت بر کارکنان و هشدار دادن به آنها در صورت نزدیک شدن به ابزارها و مکان‌های خطرناک به‌کار گرفته می‌شود. پوشیدنی‌های هوشمند نیز به کارکنان در دوری از محیط‌های خطرناک کمک خواهد کرد.(۴۸) در ژانویه ۲۰۱۹ پوسکو، کلاه ایمنی هوشمند خود را در راستای این مأموریت‌ها وارد کارخانه‌هایش کرد. این کلاه ایمنی جدید مجهز به حسگرهای هوشمند و دستگاه‌های ایمنی ازجمله چراغ ال‌ای‌دی، دوربینی برای ویدئوکنفرانس‌ها و ضبط، حسگرهای تشخیص دی‌اکسید کربن و اکسیژن، دکمه درخواست کمک مجهز شده‌اند.(۴۰) در نمونه‌ای دیگر شرکت آمریکایی

---

۱. Hexagon AB، شرکت بین‌المللیِ ارائه راهکارهای نرم‌افزاری، خودکارسازی و حسگرها، مستقر در سوئد.
۲. BHP، بزرگ‌ترین شرکت معدنی دنیا که در استخراج خاکه آهن، مس، نیکل، نفت و گاز و... فعالیت می‌کند.
3. Escondida
٤. IBM، این شرکت در زمینه سخت‌افزار و نرم‌افزار و خدمات فناورانه فعال است.

«وابتک»[۱] در سال ۲۰۱۹ همکاری خود را با شرکت مشاوره مهندسی «هیفی»[۲] به‌منظور ارائه راهکارهای نظارتی و استفاده از حسگرهای پیشرفته به معدنکاران آغاز کرد. همکاری این دو شرکت، فناوری‌های دیجیتالی که وظیفه نظارت بر سلامت تجهیزات دارند را بهبود داده تا خرابی‌های احتمالی در مناطق معدنی را پیش‌بینی کرده و در صورت امکان از وقوع آن جلوگیری کند. اپراتورهای صنایع معدنی با استفاده از فناوری هوش مصنوعی و تجزیه و تحلیل پیشرفته نظارت مؤثرتری بر حمل‌ونقل سنگ‌های معدنی در فواصل زیاد و در مناطق حساس محیط زیستی دارند و توانایی شناسایی خطرات و حفظ ایمنی در صورت بروز هرگونه مشکل را خواهند داشت.(۴۱)

به‌غیر از تجهیزات پوشیدنی، کاربرد شبکه ارتباطی بی‌سیم با قابلیت عملیات در زیرِ زمین، می‌تواند به بهبود ارتباط میان کارکنان در معادن کمک کند. نمونه‌ای از این امر، سرمایه‌گذاری ۱۰ میلیون راندی[۳] شرکت آنگلوامریکن در ماه می ۲۰۱۹ بر روی شبکه وای‌فای زیرزمینیِ معدن «امپومالانگا»[۴] در آفریقای جنوبی است. این سرمایه‌گذاری با هدف بهبود بهره‌وری و ایمنی بالاتر هزاران کارگر معدن در مناطق عملیات استخراج زغال‌سنگ در این استان واقع در آفریقای جنوبی صورت گرفته است. «زیبولو کالیری»[۵] اولین معدن زغال‌سنگ آفریقای جنوبی متعلق به آنگلوامریکن است که این فناوری را در سال ۲۰۱۶ مرسوم کرد. معرفی وای‌فای زیرزمینی از طریق ایجاد ارتباط دوطرفه بین کارکنان معدن در زیرزمین و دیگر پرسنل بر روی زمین، ردیابی دقیق تجهیزات و کارکنان معدن و ارتباطات اینترنت اشیا سبب افزایش کارایی و ایمنی خواهد شد.(۴۲)

علاوه‌بر موارد فوق‌الذکر، همکاری شرکت «اینمارست»؛[۶] از بزرگ‌ترین شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات در زمینه ارتباطات ماهواره‌ای با ایالت «میناس‌جرایس»[۷] در برزیل، پیرامون نظارت بر سدهای باطله معادن قابل توجه است. این همکاری در ماه می ۲۰۱۹ به‌منظور بررسی پتانسیل‌های راهکارهای اینترنت اشیا برای نظارت بر سدهای باطله معدن در منطقه شکل گرفت. اینمارست وظیفه دارد که راهکارهایی را به‌منظور نظارت یکپارچه هوشمند بر روی سدهای باطله فراهم کند و برای ارتقای ایمنی این سدهای باطله، داده‌های مهم عملیاتی را ارائه کند. به این منظور، اینمارست از راه دور و از طریق فناوری اینترنت اشیا و استفاده از ماهواره‌ها قابلیت مشاهده شرایط موجود بر روی سدهای باطله را در هر نقطه از جهان دارد. فناوری اینترنت اشیا به شرکت‌های معدنی این امکان را می‌دهد که نظارت کاملی بر روی ایمنی سدهای خود داشته باشند و در صورت بروز مشکل اقدامات لازم را جهت رفع آن به انجام رسانند.(۴۳)

---

۱. Wabtec Corporation، این شرکتِ نوآور در زمینه خدمات حمل‌ونقل ریلی فعال است.
۲. Hifi Engineering، در زمینه شناسایی نشتی با کاربست فناوری‌های نظارتی در حفر چاه و لوله‌ها فعالیت می‌کند.
۳. معادل ۵۳۰ هزار دلار آمریکا.
٤. Mpumalanga، استانی در کشور آفریقای جنوبی.
5. Zibulo Colliery
٦. Inmarsat، شرکت بریتانیایی ارائه‌دهنده خدمات ارتباطات ماهواره‌ای.
7. Minas Gerais

در اکوسیستم استارت‌آپی نیز فعالیت‌هایی برای ارتقای ایمنی در محیط کار صورت گرفته است و جذابیت‌های حوزه اینترنت اشیا و موضوع ایمنی سبب شده شتاب‌دهنده‌ها و استارت‌آپ‌های موفق در حوزه تجهیزات پوشیدنی فعال شوند. به‌عنوان نمونه می‌توان به استارت‌آپ‌های موفق «ریل‌ور»،[۱] «الکسن»،[۲] «رتنوا»[۳] و «برتک»[۴] اشاره کرد که در زمینه توسعه راهکارها و محصولات پوشیدنی جهت افزایش ایمنی کارکنان در صنایع مختلف فعال هستند.(۴۴) پایش راهکارها و حوزه خدمات این استارت‌آپ‌ها نشان می‌دهد، محصولات و تجربیات ایشان به معادن و صنایع معدنی نیز گسترش یافته است. علاوه‌بر استارت‌آپ‌ها، «آن‌ارثد»[۵] شتاب‌دهنده معروف استرالیایی که در بخش معدن و صنایع معدنی نیز فعالیت می‌کند، توجه خود را به تجهیزات پوشیدنی با راه‌اندازی یک چالش در سال ۲۰۱۷ نشان داد. این چالش بسیاری از فعالان بین‌المللیِ صنایع معدنی، تولیدکنندگان تجهیزات، دولت‌ها و نوآوران را گردهم آورده است. چالش مذکور به‌منظور طراحی راهکار برای توسعه دستگاهی با قابلیت توقف تجهیزات خطرناک خودکار به‌وسیله کارکنان نزدیک به این تجهیزات، ایجاد شده است. این دستگاه باید توانایی توقف اضطراری دستگاه‌های مجاورش را داشته باشد و به کاربر اجازه دهد در صورت احساس ناامنی، تجهیزات مجاورش را متوقف سازد. این چالش توسط شرکت‌های باریک‌گلد، بی‌اچ‌پی و «کاترپیلار»[۶] حمایت می‌شوند. یکی از دستگاه‌های ساخته شده در این زمینه با استفاده از امواج رادیویی و مادون قرمز می‌تواند کنترل دستگاه‌های خودکار را در مواقع اضطراری به‌دست گیرد. این طراحی درواقع قطعه کوچکی است که توانایی قرارگیری بر روی لباس را به‌عنوان بخشی از تجهیزات حفاظت شخصی دارد. شرکت «سوتر آنالیتیکز»[۷] نیز که توسعه‌دهنده فناوری‌ها و دستگاه‌های ارگونومی است، دستگاهی به‌منظور توقف خودکار در صورت بروز خطر طراحی کرده است. این دستگاه با کاربست فرکانس‌های ابربالا، می‌تواند کنترل تجهیزات را به‌عهده بگیرد.(۴۵)

---

۱. Real Wear، استارت‌آپ کانادایی فعال در توسعه تجهیزات پوشیدنی، محصول اصلی این استارت‌آپ تجهیز پوشیدنی به نام HMT-1 است که از یک کلاه و عینک تشکیل شده و تحت یک سیستم عامل اندروید به کارکنان در بهبود ایمنی و آگاهی در مناطق کاری پُرخطر کمک می‌کند.

۲. Eleksen، استارت‌آپ بریتانیایی ارائه‌دهنده راهکارهای نوآور در حوزه تجهیزات پوشیدنی در ایمنی محیط کار، مأموریت این مرکز ایجاد فناوری‌های پوشیدنی با قابلیت ارائه بینش‌های قابل اجرا برای کارکنان است تا بتوانند تصمیمات مبتنی‌بر داده بگیرند و ایمنی نیروی کار را بهبود بخشد و بهره‌وری را افزایش دهد.

۳. Retenua AB، متخصص در دید ماشینی، رُباتیک همراه و هوش مصنوعی، این شرکت سوئدی در تلاش است تا با توسعه محصولات و ارائه خدمات مشاوره‌ای در فناوری، حسگرهای هوشمندتری را به صنایع اضافه کند.

٤. Behr Tech، ارائه‌دهنده خدمات نسل جدید بی‌سیم به صنایع جهت کاربردی‌سازی اینترنت اشیای صنعتی، بخشی از راهکارهای این استارت‌آپ به ایمنی نیروی کار مربوط می‌شود.

٥. Unearthed Accelerator، شتاب‌دهنده استرالیایی که در بخش انرژی و منابع فعالیت می‌کند.

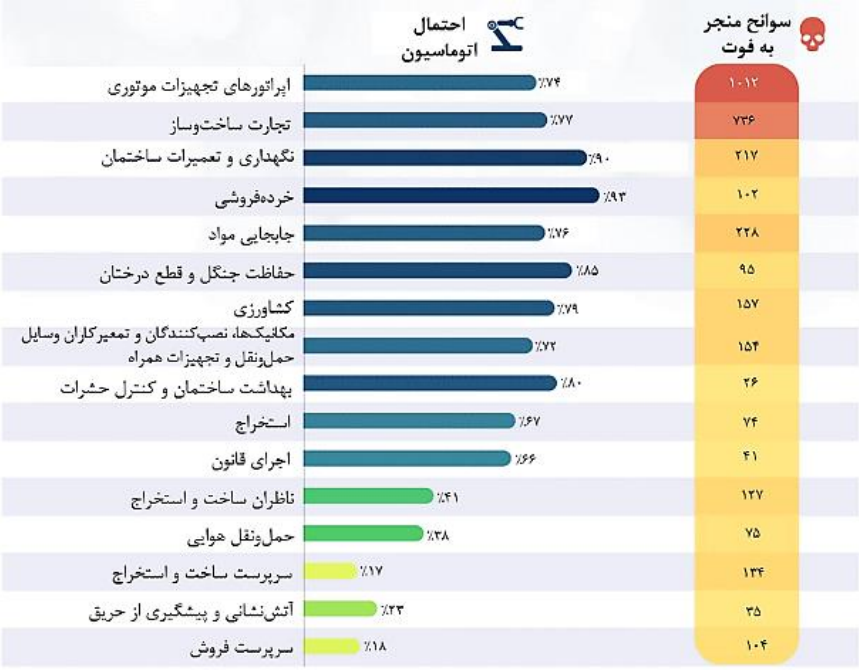
٦. Caterpillar، بزرگ‌ترین شرکت دنیا در تولید تجهیزات معدنکاری و ساختمانی است.

۷. Soter Analytics، در زمینه ارگونومی فعالیت می‌کند و توسعه‌دهنده یک تجهیز پوشیدنی به نام سوتراسپاین است.

۴-۲. فناوری رُباتیک

با توجه به گسترش استفاده از رُبات‌ها و خودکارسازی رایانه‌ای در بسیاری از مشاغل، علاوه‌بر مسائل مربوط به اشتغال، مسائل مربوط به ایمنی در محل کار نیز مطرح شده است. امروزه استفاده از رُبات‌ها در کارخانه‌ها به امری معمول بدل شده و بدون شک موجبات سلامت کارکنان و ایجاد فرصت‌های متعدد را برای بهبود ایمنی و بهداشت محیط کار فراهم کرده است. این امر در درجه اول به این دلیل است که رُبات‌ها می‌توانند جای کارمندان را در محیط‌های بالقوه خطرناک بگیرند.(۴۶) در درجه دوم، رُبات‌ها می‌توانند فعالیت‌های انسانی را با خطای کمتر (بعضاً صفر) به انجام برسانند.

نمودار ۳. احتمال خودکارسازی مشاغل مختلف و آمار تلفات جانی هر شغل در سال ۲۰۱۶ در آمریکا



Source: https://www.injuryclaimcoach.com/human-lives-saved-robotic-replacements.html

در حوزه توسعه فناوری رُباتیک، توجه به موضوع خودکارسازی فرایندها و تجهیزات و نقش آنها در ایمنی صنعتی اهمیت بسیاری دارد. از منظر کمّی، مطالعه‌ای آماری در «دانشکده مارتین در دانشگاه آکسفورد»[۱] با موضوع مصدومیت و سوانح کاری در سال ۲۰۱۶ انجام پذیرفت که در آن به بررسی احتمال خودکارسازی مشاغل مختلف در آمریکا و آمار تلفات جانی کارکنان هر شغل در سال ۲۰۱۶ پرداخته شده است. با توجه به نتایج گزارش یاد شده و همان‌طور که در نمودار ۳ ملاحظه می‌شود، «خُرده‌فروشی»، «نگهداری و تعمیرات ساختمان» و «حفاظت جنگل» بیشترین احتمال خودکارسازی را دارند. درحالی‌که

۱. Oxford Martin School، واحد تحقیق و سیاستگذاری، واقع در بخش علوم اجتماعیِ دانشگاه آکسفورد.

بیشترین تلفات جانی به «اپراتورهای تجهیزات موتوری و نقلیه» و «صنعت ساخت‌وساز» مربوط می‌شود. این مشاغل نیز در رده‌های بالای احتمال خودکارسازی قرار دارند. به‌نظر می‌رسد که بسیاری از صنایع تحت تأثیر خودکارسازی قرار گرفته و متحول خواهند شد و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و خودکارسازی فعالیت‌ها می‌تواند جان بسیاری از کارکنان بخش‌های مختلف را نجات دهد.

از منظر اقتصادی، طی دهه گذشته هزینه به کار بردن رُبات‌ها در صنعت بسیار بالا بوده، به‌طوری که بازگشت سرمایه چندین سال زمان می‌برد. اما درحال حاضر بازگشت سرمایه به‌کارگیری رُبات‌ها فقط طی چند ماه ممکن شده است. کاهش هزینه‌های استفاده از رُبات‌ها در صنایع باعث شده تا شرکت‌های بیشتری به استفاده از این فناوری روی آورند و به گزارش پایگاه «موردور اینتلیجنس»[۱] پیش‌بینی می‌شود که بازار فناوری رُباتیک تا سال ۲۰۲۵ با نرخ رشد مرکب سالیانه ۲۵ درصدی از رقم ۳۹/۷۲ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۹ به ۱۵۱/۵۲ میلیارد دلار برسد.

استفاده از رُبات‌ها مزایایی برای ارتقای ایمنی و کاهش حوادث در کسب‌وکارها به دنبال خواهد داشت، ازجمله:

- کاهش خطر سقوط از ارتفاع
- کاهش خطر ابتلا به بیماری «اماس‌دی»[۲]
- کاهش تعداد صدمات مرتبط با بلند کردن اجسام سنگین
- کاهش تعداد صدمات ناشی از خستگی کارگران

ـ کارکردها و مصادیق فناوری رُباتیک برای ارتقای ایمنی در معادن

با توجه به محدودیت‌ها و مشکلات معدنکاری، رُبات‌ها برای افزایش ایمنی گزینه‌های بسیار مطلوبی هستند. نکته مهم آنکه، «رُبات‌ها و خودکارسازی»، در مشکل‌ترین، پُرهزینه‌ترین و خطرناک‌ترین بخش فعالیت‌های معدنی، به ساخت شرایط کاری ایمن و پایدار برای تمام کارکنان زیرزمینی معادن کمک خواهد کرد. به‌عنوان نمونه مدت‌هاست که شرکت‌های معدنی از دستگاه‌های حفاری تونل استفاده می‌کنند، با این حال به‌منظور افزایش کارایی و بهبود ایمنی در استفاده از دستگاه‌های حفاری شرکت «ریوتینتو»[۳] در سال ۲۰۱۲ تصمیم به بررسی امکان استفاده از دستگاه حفاری خودکار به‌منظور ساخت سریع شفت و تونل‌ها گرفت. برای این منظور ریوتینتو با همکاری «مرکز تعالی در نوآوری‌های معدنی»[۴] که فعالیت‌های پژوهشی در معادن دارد، یک سیستم حفاری جدید در معدن «نورث‌پارکز»[۵] استرالیا ایجاد کرد.(۵۳) در نمونه‌ای دیگر شرکت بی‌اچ‌پی طی یک قرارداد همکاری با شرکت سوئدی تولیدکننده

---

۱. Mordor Intelligence، شرکت هندی ارائه‌دهنده خدمات مشاوره بازاری در بخش‌های مختلف.
۲. MSD- Musculo Skeletal Disorders، ناراحتی‌های اسکلتی عضلانی ناشی از فعالیت در کارهای اداری.
۳. Rio Tinto، دومین شرکت معدنی بزرگ دنیا که در تولید خاکه آهن، مس، الماس، طلا، زغال‌سنگ و... فعالیت می‌کند.
4. Centre of Excellence in Mining Innovation (CEMI)
۵. Northparkes، معدن مس و طلا واقع در ایالت نیو ساوت ولزِ استرالیا.

تجهیزات و ابزار صنعتی؛ «اتلس کاپکو»،[۱] ۱۸ عدد از مته‌های حفاری خود را خودکار کرد.(۵۴)

مشخصاً در حوزه رُبات‌ها، در سال ۲۰۱۳ توافقنامه همکاری بین این شرکت و «دانشگاه کارنگی ملون»[۲] با هدف ساخت رُبات جهت‌یاب در مناطق پُرخطر امضا شد. رُبات‌های ساخته شده به خطرناک‌ترین بخش‌های معدن فرستاده شدند و اپراتورها از این طریق توانستند از وجود خطر درون معدن مطلع شوند و خطرهای احتمالی آن را در صورت وارد شدن کارگران به معدن بسنجند. درنتیجه این پروژه، ادعا شده است که به کار بردن رُبات‌ها در معادن زیرزمینی خطرناک، سبب افزایش ایمنی محل کار خواهد شد.(۵۵) همچنین شرکت بی‌اچ‌پی در آوریل ۲۰۱۹ همکاری خود را با دولت استرالیا و مؤسسات تحقیقاتی جهت تأسیس مرکز رُباتیک وابسته به صنایع معدنی در ایالت «کوییزلند» آغاز کرد. این مرکز ادعا کرده است که استفاده از فناوری‌های رُباتیک و سایر مسیرهای نوآورانه به صنایع معدنی در جهت پیشروی هرچه بیشتر در پذیرش فناوری‌های جدید کمک خواهد کرد. همچنین با پذیرش هرچه بیشتر فناوری‌های جدید به‌خصوص رُباتیک، صنایع معدنی می‌تواند بهره‌وری بالاتری پیدا کند و سبب افزایش ایمنی محل کار و کارکنان بخش معدن شود. علاوه‌بر ارتقای ایمنی، این شرکت اعتقاد دارد با پذیرش فناوری‌های جدید چون رُباتیک، می‌تواند قدرت اقتصادی خود را قوی‌تر از قبل کند.(۵۶)

۵-۲. فناوری وسایل نقلیه خودران

وسایل نقلیه خودران در حالت نهایی به خودروهایی اطلاق می‌شود که بدون کمک راننده و به کمک فناوری‌های پیشرفته کار می‌کنند. ظهور و گسترش استفاده از این خودروها مزایای بسیاری را به دنبال خواهد داشت و مشخصاً به نجات جان انسان‌های بی‌شماری منجر خواهد شد. «کاهش تصادفات در سایت‌های صنعتی» و «مصرف سوخت کمتر و کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای» ازجمله مزایای این خودروها برای صنایع است. علاوه‌بر این و به‌طور کلی نیز خودران‌ها شرایط کاهش ترافیک و کاهش زمان و هزینه‌های جابه‌جایی را فراهم خواهند کرد. بدون شک ظهور وسایل نقلیه خودران، دوره‌ای جدید در صنعت حمل‌ونقل در پی خواهد داشت، اما صنایع باید به چالش‌ها و فرصت‌های این فناوری در حوزه ایمنی نیز توجه ویژه داشته باشند. اگرچه یکی از مهم‌ترین دستاوردهای خودران شدن ماشین‌ها بهبود ایمنی است، اما در مواردی می‌توان دید که ظهور فناوری موجبات افزایش صدمات را فراهم کرده است.(۵۷)

به‌طور کلی در مواجهه با خودران شدن وسایل نقلیه بایستی توجه کرد که پنج سطح خودرانی در وسایل نقلیه تعریف شده است: از کمک صرف به راننده تا رانندگی کاملاً خودران. مواردی مثل کمک به راننده در شتاب گرفتن، ترمز کردن، در بین خطوط بودن و کروز کنترل[۳] سرعت خودرو در سطح اول

---

۱. Atlas Copco، شرکت سوئدی تولیدکننده ابزار و تجهیزات صنعتی.

2. American Carnegie Mellon University

۳. Cruise Control، سامانه بازدارنده سرعت خودرو.

قرار می‌گیرد و سطح پنج خودرانی به رانندگی کاملاً بدون راننده اطلاق می‌شود.[۵۸] لذا ایمنی راننده یا افرادی که ممکن است با وسیله خودران تصادف کنند، در سطوح مختلف خودرانی می‌تواند متفاوت باشد. علاوه‌بر این خودرانی صرفاً به وسایل حمل‌ونقل مسافر محدود نمی‌شود و امروزه کشتی‌های خودران، دامپ‌تراک‌های خودران و قطارهای خودران نیز در صنایع مختلف توسعه یافته و به‌کار گرفته شده‌اند. در این بخش، وسایل نقلیه خودران در معادن مورد توجه قرار گرفته و با وجود اینکه بررسی وجوه مخاطره‌برانگیز این وسایل اهمیت دارد، وجوه مثبت این فناوری برای ایمنی صنعتی در ادامه بررسی شده و کاربردهای ویژه آن در معادن مورد توجه قرار گرفته است.

بررسی وسایل نقلیه خودران از منظر اقتصادی نشانگر رشد قابل توجه در این بخش است. طبق برآوردهای شرکت تحقیقات بازار «آلاید مارکت ریسرچ»[۱] اندازه بازار این خودروها با نرخ رشد مرکب سالیانه ۳۹/۴۷ درصد تا سال ۲۰۲۶ به ۵۵۶/۶۷ میلیارد دلار می‌رسد. همچنین اندازه بازار جهانی فعلی خودران‌ها در سال ۲۰۱۹ برابر ۵۴/۲۳ میلیارد دلار است.

مزیت اصلی خودران شدن وسایل، نه از منظر کاهش هزینه‌های نیروی انسانی (که در مقابل هزینه‌های توسعه فناوری، مقدار زیادی نیست) بلکه از جهت افزایش ایمنی در محیط صنعتی است.

ـ کارکردها و مصادیق وسایل نقلیه خودران برای ارتقای ایمنی در معادن

حمل‌ونقل، بارگیری و تخلیه مواد یکی از پُرمخاطره‌ترین بخش‌ها در معادن است و بیشترین تلفات زمانی رخ می‌دهد که انسان مسئول عملیات تجهیزات حمل‌ونقل است. با توجه به فرصت رو به رشد برای وسایل نقلیه بدون راننده، شرکت‌های تولیدکننده ماشین‌آلات سنگین برای خودکارسازی این تجهیزات خوش‌بین هستند. اما همچنان در مورد آمادگی معادن برای کاربرد وسایل حمل‌ونقل خودران تردیدها و سؤالاتی وجود دارد.[۶۱]

به‌طور کلی خودکارسازی به‌واسطه تجهیزات خودران می‌تواند به بهبود فرایندهای معدنکاری کمک کند. با توجه به اینکه انجام دقیق وظایف تکرارپذیر برای معدنکاران از اهمیت بالایی برخوردار است، خودران شدن تجهیزات و وسایل نقلیه با «کار مداوم و بدون توقف»، «حذف خطاهای انسانی» و «حذف آثار آب‌وهوایی» و «فاکتور خستگی کارکنان» ایمنی و بهره‌وری را در سایت‌های معدنی بالا می‌برد. برای مثال خودران شدن کامیون‌ها باعث می‌شود انجام این وظیفه پُرخطر و تا حد زیاد تکراری به توانایی راننده بستگی نداشته باشد. همچنین امکان اطلاع از موقعیت آنی وسیله نقلیه فراهم می‌شود و با توجه به خودرانی، خودروها همیشه با سرعت مناسب حرکت می‌کنند و به‌طور مداوم مواد را در مکان‌های مناسب بارگیری و تخلیه می‌کنند.[۶۰] توسعه‌دهندگان این فناوری در حوزه معادن اعتقاد دارند مهم‌ترین و بدیهی‌ترین مزیت وسایل نقلیه خودران در معادن، بهبود ایمنی است. اگر وسیله نقلیه نیمه‌خودران

۱. Allied Market Research، شرکت هندی ارائه‌دهنده خدمات مشاوره بازاری در بخش‌های مختلف.

باشد، راننده را قبل از وقوع حادثه از خطر آگاه می‌کند، اما هدف نهایی رسیدن به حمل‌ونقل بدون راننده و جلوگیری از حوادث است. تحقق این هدف موجب می‌شود تا نیاز به حضور راننده در مناطق کوهستانی و یا زیرزمینی معادن که کیفیت هوا به‌شدت بد است، از بین برود و حضور ایمن این دست از کارکنان را به اتاق‌های کنترل ایمن محدود کند.(۵۸)

علاوه‌بر دلایل فوق، تلفات مرتبط با وسایل نقلیه در معادن آمریکا، حیاتی بودن خودکارسازی تجهیزات و وسایل نقلیه را بیش از پیش برجسته کرده است. همان‌طور که در ابتدای این گزارش ذکر شد اگرچه ایمنی در معادن آمریکا به‌طور چشمگیری بهبود یافته است، اما در مقاله‌ای که توسط محققان «دانشگاه صنعتی میزوری»[1] آمریکا در سال ۲۰۱۶ به چاپ رسید، نشان داده شده است که تعامل بین کارکنان و وسایل نقلیه خطرات جدی را در پی داشته است.(۶۱) یافته‌های مقاله مذکور با عنوان «حوادث مربوط به کامیون‌ها در معادن آمریکا»[2] نشان می‌دهد که ۱۱ درصد حوادث منجر به فوت در معادن آمریکا بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ مربوط به کامیون‌ها می‌شود. همچنین نویسندگان مقاله دریافتند که ۵۷ درصد صدمات جدی در این بازه، زمانی رخ داده که یک انسان، کار با کامیون را برعهده داشته است و ۲۷ درصد دیگر نیز زمانی که یک نیروی انسانی در حال تعمیر کامیون بوده است.[3] (۶۲) این آمار نشان‌دهنده خطری است که وسایل نقلیه در معادن کارکنان را تهدید می‌کند. در این میان شرکت‌های خودروساز و معدنی به دنبال بهره بردن از فرصت‌های موجود در وسایل نقلیه خودران هستند. برای مثال شرکت خودروسازی «ولوو»[4] و شرکت فناور و فعال در ساخت تجهیزات معدنکاری؛ «سندویک»،[5] در سال‌های اخیر مدل‌هایی از وسایل نقلیه خودران را به معادن معرفی و آزمون کرده‌اند.(۶۱) شرکت ولوو کامیون خودران خود را در سال ۲۰۱۶ در معدن «کریستینبرگ»[6] متعلق به شرکت معدنی «بولیدن»[7] در سوئد آزمایش کرد. طبق ادعای شرکت ولوو، این اولین کامیون تمام‌خودران آزمایش شده در محیط معدنی است.(۶۳) در این آزمایش کامیون مذکور هفت کیلومتر روی زمین و ۱/۳ کیلومتر را زیر زمین و بدون راننده طی کرد. سندویک نیز در اوایل سال ۲۰۱۸ موفق به آزمایش لودر ۳۸ تُنی خودران خود با عبور آن از مسیری پُرپیچ‌وخم شد.(۶۴)

به‌عنوان نمونه‌ای دیگر از کاربرد وسایل نقلیه بدون راننده، می‌توان به همکاری‌های نوآورانه در معادن «پیلبرا»[8] در مناطق شمالی استرالیای غربی اشاره کرد. دو معدن این منطقه (هر دو متعلق به شرکت ریوتینتو)، اولین معادن در جهان هستند که توانستند در سال ۲۰۱۶ با استفاده از فناوری

1. Missouri University of Science and Technology
2. Off-road Truck-related Accidents in US Mines
۳. در مطالعه دیگری که در سال ۲۰۱۲ چاپ شده نیز، همین روند مورد تأیید است (۹۹).
٤. Volvo، شرکت معروف خودروسازی که تابعه جیلی؛ شرکت خودروسازی چینی است.
٥. Sandvik Group، شرکت مهندسی که در معدنکاری و استخراج، برش فلز و فناوری‌های مرتبط با مواد فعالیت می‌کند.
6. Kristineberg Mine
۷. Boliden، شرکت سوئدی که در استخراج و فراوری فلزاتی مثل روی، مس، نیکل، سرب، طلا، نقره و پلاتین فعالیت می‌کند.
۸. Pilbara، بیشتر خاکه آهن استرالیا در این منطقه استخراج می‌شود.

خودروهای بدون راننده و خودران، سنگ آهن خود را جابه‌جا کنند. یکی از مزیت‌های اصلی استفاده از دامپ‌تراک‌های بدون راننده، قابلیت استفاده مداوم از آنهاست و اپراتور می‌تواند در هر نقطه از جهان کنترل کامیون‌ها را به‌دست بگیرد. همچنین از دیگر مزایای این فناوری کاهش ریسک جانی برای کارکنان در محل عملیات [۶۵] و بهبود بهره‌وری عملیاتی است.[۶۶]

شایان ذکر است، طی دهه اخیر معدنکاری در معادن پیلبرا به‌تدریج با فناوری متحول شده و با اینکه کارکنان زیادی برای شرکت‌های معدنی کار می‌کنند، اما نقش آنها متفاوت شده است. بیشتر وظایف جدید این کارکنان، مربوط به اتاق‌های کنترلی می‌شود که بیش از هزار کیلومتر از سایت‌های اصلی استخراج فاصله دارند.[۵۸] شرکت‌های بزرگ معدنی مانند «بی‌اچ‌پی»، «ریوتینتو» و «فورتسکیو متالز»[۱] که در این مناطق معدنی فعالیت می‌کنند، از دامپ‌تراک‌های خودران شرکت‌های کاترپیلار و کوماتسو برای انجام عملیات استفاده می‌کنند.[۵۴] شایان ذکر است درحال حاضر بی‌اچ‌پی از ۵۰ دامپ‌تراک خودران شرکت کاترپیلار در پیلبرا استفاده می‌کند و ریوتینتو نیز از ۷۵ دامپ‌تراک خودران شرکت کوماتسو بهره می‌گیرد.[۶۷] در نمونه‌ای دیگر و در سال ۲۰۱۹، همکاری شرکت «بی‌اچ‌پی میتزوبیشی الیانس (بی‌ام‌ای)»[۲] و «کوماتسو»، منجر به استفاده از ۸۶ دامپ‌تراک خودران در معدن زغال‌سنگ «گونیلا ریورساید»[۳] گردید. براساس این توافق، بی‌ام‌ای طی دو سال بعد این کامیون‌ها را دریافت خواهد کرد.[۶۸] همچنین کاترپیلار در سال ۲۰۱۸، با شرکت معدنی «نیومونت» وارد همکاری شد. تمرکز این همکاری بر فناوری‌های مرتبط به عملکرد نیمه‌خودکار و کنترل از راه دور لودرهای زیرزمینی قرار گرفت. لودرهای خودکار زیرزمینی را می‌توان در اتاق کنترل روی زمین هدایت کرد که این کار سبب افزایش ایمنی کار، کارایی بالاتر برای کارکنان و همچنین کاهش هزینه‌های عملیاتی می‌شود. علاوه‌بر افزایش ایمنی در محل کار، این سیستم بهره‌وری لودر را افزایش داده و به یک اپراتور امکان کنترل هم‌زمان دو یا تعداد بیشتری ماشین را می‌دهد.[۶۹]

با خودکارسازی یک دامپ‌تراک در معدن، امکان شناسایی موانع و پرهیز از آنها و درنتیجه ارتقای ایمنی و کاهش تلفات و خسارات فراهم می‌شود. در سال ۲۰۱۸ این اقدام در دستور کار شرکت «ای‌اس‌آی» (فعال در زمینه خودکارسازی وسایل نقلیه) و شرکت معدنی باریک‌گلد، به‌منظور خودکارسازی دامپ‌تراک‌های این شرکت و با هدف بهبود سطح ایمنی کارکنان شرکت باریک‌گلد قرار گرفت.[۷۰]

پیش‌تر ذکر شد که در حوزه معدنکاری، خودران کردن الزاماً محدود به دامپ‌تراک‌ها نمی‌شود. به‌عنوان نمونه شرکت معدنی ریوتینتو در حال اجرای اقدامات نوآورانه و خودکارسازی تمام بخش‌های خود در سراسر جهان است. لذا این شرکت در سال ۲۰۱۸ نخستین قطار باری خودکار خود را به بازار

---

۱. Fortescue Metals Group، شرکت استخراج خاکه آهنِ استرالیایی که چهارمین شرکت بزرگ معدنی در دنیاست.
۲. BHP Mitsubishi Alliance (BMA)، سرمایه‌گذاری مشترک بی‌اچ‌پی و میتزوبیشی در سال ۲۰۰۱ تأسیس شد.
۳. Goonyella Riverside، معدنی در کوئینزلند استرالیاست.

عرضه کرد و با این کار، هم موضوع بهره‌وری و هم ارتقای ایمنی را هدف گرفت.(۲۰) ریوتینتو اولین محموله سنگ آهن خود را توسط قطار خودکار در پیلبرا به مقصد رساند و کنترل از راه دور این قطار با طول ۲/۴ کیلومتر از شهر پرث صورت گرفته است. نکته مهم آنکه این قطار از زمان اولین سفرش تا ژوئن ۲۰۱۹ توانسته است بدون هیچ مشکلی و در سلامت و ایمنی کامل، بیش از ۴/۵ میلیون کیلومتر را به‌طور خودکار طی کند. موفقیت این پروژه با همکاری شرکت ریوتینتو با شرکای خود در ژاپن، آمریکا و استرالیا امکان‌پذیر شده است. شایان ذکر است با خودکارسازی قطار جهت انتقال مواد معدنی، سطح ایمنی، بازده عملیاتی و پایداری به بالاترین سطح خود خواهد رسید.(۷۱)

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، فناوری‌های نوین با یکدیگر هم‌افزایی و تعامل دارند. در زمینه وسایل نقلیه خودران، حسگرها و پردازش داده مهم هستند، لذا فناوری‌های هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در این وسایل، کاربردهای مهمی دارند. به‌عنوان نمونه، «شاونبورگ سیستم»؛[۱] تولیدکننده تجهیزات ایمنی معادن در آفریقای جنوبی در آپریل ۲۰۱۹ همکاری خود را با شرکت فناوری «دات‌نتیکس»[۲] آغاز کرد. شرکت دات‌نتیکس یکی از شرکت‌های پیشرو در ارائه راهکارهای فناوری هوش مصنوعی به‌منظور تأمین ایمنی صنایع است. این همکاری به‌منظور توسعه دوربین نصب شده بر روی وسایل نقلیه مربوط به معادن است تا ایمنی در این صنعت بهبود یابد. ادعا شده که این دوربین اولین سیستمی است که به‌طور خاص به‌منظور استفاده در وسایل نقلیه طراحی شده و توانایی ضبط ویدئو و ردیابی اتفاقات در زمان حرکت خودرو را داشته و در صورت نیاز می‌تواند به راننده هشدار کافی بدهد. همچنین این دستگاه توانایی شناسایی و پاسخ به موانع شناسایی نشده را در مسیر خواهد داشت و دوربین‌های سه‌بُعدی در این سیستم به‌منظور محاسبات دقیق فواصل طراحی شده‌اند.(۷۲)

به‌عنوان یک موضوع جانبی و با توجه به ظهور و توسعه خودروهای «برقیِ خودران» در حوزه حمل‌ونقل مسافر، بررسی تأثیرات برقی شدن وسایل نقلیه در حوزه ایمنی معادن، قابل توجه است. برقی شدن وسایل نقلیه می‌تواند با کاهش آلایندگی در محیط معدن، تأثیر بسزایی بر سلامت کارکنان داشته باشد. به‌خصوص در معادن زیرزمینی، آلایندگی به‌موجب حضور کامیون‌ها، شرایط کار را بیش از پیش دشوار می‌کند. برای توسعه دامپ‌تراک‌های برقی جهت فعالیت در معادن، تعدادی از شرکت‌های پیشرو معدنی با شرکت‌های خودروساز در حال همکاری هستند. برای مثال، همکاری دو شرکت نوآور و فناور استرالیایی «سیف‌اسکیپ»[۳] و «تری‌ام‌ای»[۴] با یک شرکت برزیلی «آگرال»[۵] (سازنده وسایل نقلیه) منجر به طراحی و ساخت مدلی پیشرفته از خودروهای برقی با نام «برتانا»[۶] برای معدنکاری شد. این پروژه که

---

۱. Schauenburg Systems، در حوزه ساخت تجهیزات ایمنی برای معادن در کشور آفریقای جنوبی فعالیت می‌کند.
۲. Dot Netix، با کاربست فناوری هوش مصنوعی، محصولاتی به‌منظور کاهش تصادف‌های وسایل نقلیه تولید می‌کند.
۳. Safescape، شرکت استرالیایی متخصص در ساخت سیستم‌های مسیر فرار در معادن زیرزمینی.
٤. 3ME Technology، شرکت توسعه‌دهنده سیستم‌های نوین باتری برای کاربردهای معدنی، نظامی و دریایی.
۵. Agrale، شرکت برزیلی که وسایل نقلیه نظامی و تجاری تولید می‌کند.
6. Bortana EV

با حمایت دولت استرالیا صورت گرفته است، آزمایش سه‌ماهه خود را در سال ۲۰۱۹ در یکی از معادن طلای شرکت «کرکلند لیک گلد»[۱] با موفقیت پشت سر گذاشت.(۷۳) علاوه‌بر این، معافیت‌های مالیاتی خودروهای برقی فعال در معادن نیز موجب تشویق معدنکاران برای رفتن به سمت این دست از خودروها شده است. برای نمونه دولت کانادا طرح تخفیف مالیاتی برای خودروهای بدون آلایندگی در معادن را تا سال ۲۰۲۰ تمدید کرد.(۷۴)

۶-۲. فناوری پهپادی

هواپیماهای هدایت‌پذیر از دور که بدون سرنشین بوده و به نام پهپاد نیز شناخته می‌شوند در سال‌های اخیر به ابزاری ضروری برای کسب‌وکارها تبدیل شده‌اند. در گذشته نه‌چندان دور بیشترین کاربرد این فناوری در صنایع نظامی بوده است، اما در سال‌های اخیر موارد استفاده از پهپادها تقریباً در تمام صنایع مورد آزمایش قرار گرفته است و در حال حاضر بسیاری از صنایع توانستند با ادغام این فناوری با مدل کسب‌وکار خود، هزینه‌های کاری خود را کاهش و کارایی و ایمنی خدمات خود را بهبود بخشند.

استفاده از پهپادها در پروژه‌های مختلف به‌طور چشمگیری سبب کاهش مرگ‌ومیر و آسیب‌های مرتبط با محیط کار شده است. پهپادها دسترسی به مناطق غیرایمن و خطرناک را آسان کرده و توانایی فراهم کردن داده‌های بصری کامل را از این مناطق دارند.(۷۵) پهپادها می‌توانند برای بررسی مناطق خطرناک مورد استفاده قرار گیرند تا کارکنان کمتری در معرض خطر باشند. همچنین پهپادهای مجهز به حسگر، توانایی تشخیص نشت گازهای خطرناک و گزارش آن را دارند.(۷۶) از این منظر، تعامل و هم‌افزایی فناوری پهپادی و فناوری اینترنت اشیا، قابل توجه است.

از دیدگاه اقتصادی و براساس مطالعات صورت گرفته توسط مؤسسه پی‌دبلیوسی، استفاده از فناوری پهپاد در بازار جهانی به‌طور بالقوه دارای ارزش ۱۲۷ میلیارد دلاری است و از این مقدار، ۴/۳ میلیارد دلار آن وابسته به صنایع معدنی است. طبق برآوردهای پی‌دبلیوسی، این ارقام نشان‌دهنده ارزش فعلی[۲] خدمات کسب‌وکار است که در آینده نزدیک، برای جایگزینی توسط راهکارهای پهپادی پتانسیل بالایی دارد.(۷۷) پیش‌بینی‌های مؤسسه «موردور اینتلیجنس» نیز نشان‌دهنده رشد بازار فناوری پهپادی با نرخ رشد مرکب سالیانه ۱۵ درصد بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ است.(۷۸)

ـ کارکردها و مصادیق پهپادها برای ارتقای ایمنی در معادن

رُبات‌ها، تجهیزات خودران و نیمه‌خودران، با خارج کردن کارکنان از معادن و مناطق کاری پُرریسک، کمک شایانی به معادن می‌کنند. فناوری پهپادی نیز در این امر به کمک معدنکاران آمده است و استفاده

---

۱. Kirkland Lake Gold، شرکت کانادایی استخراج طلا که در استرالیا و کانادا فعالیت دارد.
۲. سال ۲۰۱۸.

از این فناوری، مواجهه کارکنان با خطرات بالقوه را به‌خصوص در مقایسه با روش‌های نظارتی قدیمی کاهش داده است. همچنین استفاده از پهپادها جهت انجام بازرسی‌های لازم در عملیات مختلف معدنی، علاوه‌بر دور کردن کارکنان از مناطق و فعالیت‌های پُرخطر، به بهبود دقت نیز کمک می‌کند. مورد کاربرد دیگر پهپادها، اکتشاف و نقشه‌برداری از معادن (معادن روباز و زیرزمینی) است.

فناوری پهپادی دارای طیف وسیعی از کاربرد به‌خصوص در معادن است. اکتشاف، بازدید و نقشه‌برداری، حفظ ایمنی و افزایش امنیت ازجمله کاربردهای این فناوری است. محبوبیت پهپادها در صنایع معدنی سال‌های اخیر به‌طور چشمگیری افزایش یافته است.(۷۹) معادن اروپا و استرالیا تاکنون سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی در این زمینه داشته‌اند. به‌عنوان نمونه در اروپا و استرالیا، معدنکاران به سرمایه‌گذاری بر روی بیش از ۶۰ درصد از معادن خود برای استفاده از فناوری پهپادی روی آورده‌اند، زیرا فناوری پهپادی، توانایی جمع‌آوری داده‌های هوایی نامحدود را دارد. مهندسین اکنون می‌توانند در زمان کوتاه‌تری اطلاعات لازم را به‌دست آورده و تمرکز اصلی خود را بر روی تحلیل و تفسیر آن قرار دهند.

اقدامات اولیه و آزمایشی برای توسعه فناوری پهپادی در میان معدنکاران پیشرو، از سال‌های قبل صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه در نمودار ۴ میزان سرمایه‌گذاری شرکت‌های معدنی بر روی پهپادها که نتیجه بررسی ۲۰۰ سایت معدنی توسط مؤسسه تحقیقاتی گلوبال‌دیتا[۱] است، قابل مشاهده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود از سال ۲۰۱۶ بیش از ۷۰ درصد شرکت‌های معدنی بزرگ مانند «ریوتینتو»، «واله»، «بی‌اچ‌پی»، «آنگلوامریکن» و «باریک‌گلد» از پهپادها در عملیات‌های خود به‌طور آزمایشی استفاده کرده‌اند. با این حال تنها ۳۷ درصد شرکت‌های معدنی کوچک‌تر از این فناوری استفاده کرده‌اند و سرعت کمتری در پذیرش آن نسبت به شرکت‌های بزرگ‌تر دارند.(۸۰)

نمودار ۴. میزان سرمایه‌گذاری شرکت‌های معدنی بر روی پهپادها

Source: https://www.mining-technology.com/comment/mining-industry-investment-in-drones-exclusive-global-analysis/

۱. Global Data، شرکت بین‌المللی که در تحلیل داده و ارائه راهکارهای نوآورانه به سازمان‌ها فعالیت می‌کند.

در میان شرکت‌های تراز اول معدنی، شرکت آنگلوامریکن استفاده از پهپادها را به بخش مهمی از ابتکارات فنی خود بدل کرده است. این شرکت سرمایه‌گذاری ۵۰۰ میلیون راندی[۱] بر روی فناوری‌های جدیدی مانند پهپادها و مته‌های کنترل از راه دور انجام داده است. هر دو این فناوری‌ها با دور نگه‌داشتن کارکنان از مناطق پُرخطر پتانسیل افزایش ایمنی معدن را خواهند داشت.(۸۱) به‌عنوان یک نمونه دیگر، شرکت کومبا؛ یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان خاکه آهن که شرکت تابعه آنگلوامریکن محسوب می‌شود، در سال ۲۰۱۸ مجوز بهره‌برداری از پهپادهای کنترل از راه دور خود را دریافت کرده است. این پهپادها توانایی جمع‌آوری و پردازش داده را داشته و از این طریق نیاز به حضور کارکنان در محیط‌های خطرناک به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات را رفع خواهند کرد. این پهپادها دارای دوربین‌ها و اسکنرهای لیزری هستند که از آنها برای بررسی‌های هوایی و جمع‌آوری اطلاعات به‌وسیله نقشه‌های سه‌بُعدی از محیط اطراف استفاده می‌شود. همچنین این پهپادها توانایی محاسبه حجم (به‌منظور تأمین منابع معدنی موجود) را دارند. لذا نحوه کنترل پهپادها به کارکنان معدن آموزش داده شده تا بتوانند در مکانی ایمن و بدون نیاز به وارد شدن به معدن، توانایی ارزیابی منابع را داشته باشند.(۸۱)

علاوه‌بر موارد ذکر شده، شرکت آنگلوامریکن از پهپادها در اکتشاف، نقشه‌برداری از معدن و محاسبات حجم ذخایر نیز استفاده می‌کند. این فناوری به‌طور عمده در معادن پلاتین و معادن آهن آنگلوامریکن در آفریقای جنوبی و همچنین معادن الماس شرکت دبیرز[۲] در کانادا، نامبیا و آفریقای جنوبی به‌کار برده می‌شود. آنگلوامریکن از پهپادها برای بازرسی و نظارت بر محیط‌های پُرخطر مانند انباشتگاه‌ها، معادن دارای شیب، گذرگاه‌های سنگی، سدهای باطله و تجهیزات ذخیره‌سازی مواد شیمیایی استفاده می‌کند. همچنین کنترل حضور و یا عدم حضور کارکنان در مناطق انفجار و اندازه‌گیری میزان قطعات منفجرشده و جهت حرکت غبار بعد از انفجار از دیگر کاربردهای پهپاد در تأمین ایمنی بیشتر است و با به‌کارگیری آن در این زمینه‌ها می‌توان از خطر ورود کارکنان به مناطق خطرناک جلوگیری به‌عمل آورد.(۸۲)

شرکت بی‌اچ‌پی نیز در سال ۲۰۱۸ و در برخی از عملیات حمل‌ونقل دریایی (که سالیانه ۳۰۰ میلیون تُن بار جابه‌جا می‌کنند) به‌صورت آزمایشی از پهپادها استفاده کرد. استفاده از فناوری پهپادی برای بازرسی محفظه‌های کشتی و تجهیزات آن انجام شد و منجر به کاهش نیروی کار انسانی گردید. درنتیجه این کار، دقتِ کاری افزایش یافت و از قرارگیری کارکنان در محیط‌های خطرآفرین به‌منظور بازرسی جلوگیری شد. علاوه‌بر آن، این فناوری توانسته بهره‌وری نظارت را افزایش دهد و با به‌کارگیری دوربین‌های مادون قرمز، تشخیص ترک‌ها و موارد دیگری را که با چشم غیرمسلح قابل دیدن نیست، امکان‌پذیر سازد.(۸۳) علاوه‌بر این، شرکت بی‌اچ‌پی از پهپادها برای نظارت دائم بر پیشرفت معدنکاری و افزایش ایمنی استفاده کرده و با بهره‌گیری از نقشه‌های به‌دست آمده از پهپادها، نقاط دارای پتانسیل استخراج را شناسایی کرده است.

---

۱. معادل ۲۶ میلیون دلار آمریکا.

۲. De Beers Group، این شرکت بریتانیایی در اکتشاف، استخراج و تجارت الماس فعالیت می‌کند.

همچنین با بهره‌گیری از این فناوری، اطلاعات بیشتری از معادن قابل دسترس بوده و شرکت بی‌اچ‌پی قادر است برای تقویت ایمنی و بهبود کارایی، تغییرات لازم را انجام دهد.(۸۴)

همانند فعالیت‌های پهپادی شرکت بی‌اچ‌پی برای بازرسی و افزایش ایمنی، شرکت معدنی ریوتینتو نیز از فناوری مذکور، همین استفاده را می‌کند. علاوه‌بر این، ریوتینتو برای نظارتی ایمن و آسان بر زیرساخت‌ها و دارایی‌های خود، روی پهپادها تمرکز کرده است. به‌عبارتی، ریوتینتو جهت کاهش خطرات ایمنی برای کارکنان، وظایف نظارت و بازرسی را به پهپادها محول کرده است. شرکت ریوتینتو از این فناوری در معادن آلومینیم، آهن و الماس خود در غرب استرالیا، کوییننزلند و نیو ساوت ولز بهره‌برداری کرده است.(۸۵)

۷-۲. فناوری زنجیره بلوکی

نگاه به فناوری زنجیره بلوکی از منظر اقتصادی نشان می‌دهد که رشد اندازه بازار این فناوری در سال‌های پیشِ رو شگفت‌انگیز خواهد بود. طبق پیش‌بینی مؤسسه «مارکتزاندمارکتز» بازار این فناوری با نرخ رشد مرکب سالیانه ۸۰/۲ درصد از رقم ۱/۲ میلیارد دلار در سال ۲۰۱۸ به ۲۳/۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۳ خواهد رسید.(۸۶) شرکت تحقیقاتی «گرندویوریسرچ» نیز نرخ رشد مرکب سالیانه ۶۹/۴ درصد بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۵ پیش‌بینی کرده است. طبق تخمین این شرکت، اندازه بازار جهانی فناوری زنجیره بلوکی در سال ۲۰۲۵ به ۵۷/۳ میلیارد دلار می‌رسد.(۸۷)

در بخش ایمنی می‌توان از فناوری زنجیره بلوکی برای «شناسایی خطر»، «تشخیص زودهنگام برای جلوگیری از بروز حادثه» و «فرصت یادگیری اقدامات اصلاحی با تنظیم گزارش حوادث» بهره برد. برای این منظور استفاده از فرم‌های دیجیتالی تحت زنجیره بلوکی، شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا وظایف و اقدامات مورد نیاز را قبل و یا در حین وقوع حادثه با استفاده از نرم‌افزار یا تلفن همراه نظارت و پیگیری کنند. علاوه‌بر این، فناوری زنجیره بلوکی با فناوری اینترنت اشیا تعاملات و هم‌افزایی گسترده‌ای دارد. برای نمونه با استفاده از فناوری زنجیره بلوکی، می‌توان تلفن‌های همراه کارکنان را به کارت شناسایی و مکان‌یاب بدل کرد و بدین ترتیب می‌توان به‌صورت آنی از محل حضور کارکنان مطلع بود. همچنین تیم‌های حاضر در محل یا مناطق دورافتاده در صورت بروز حادثه یا مشاهده خطر، بدون نیاز به مراجعه به دفاتر کاری می‌توانند اتفاقات را گزارش کنند.

یکی از اصلی‌ترین مزیت‌های فناوری زنجیره بلوکی افزایش شفافیت در تمام عملیات کسب‌وکار است. معمولاً نظارت و پیگیری اقدامات در حین بروز حادثه اولین جایی است که سازمان و سرپرستان آن، کنترل آن را از دست می‌دهند و به‌دلیل کمبود اطلاعات از حادثه و تیم‌های دخیل در آن نمی‌توانند به‌موقع تصمیمات درستی اخذ کنند. با استفاده از فناوری زنجیره بلوکی می‌توان کنترل کارها را در دست گرفت، زیرا اطلاعات گزارش‌ها و اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه به‌صورت قابل اطمینان و شفاف، به

اشتراک گذاشته شده و با امنیت بیشتری ردیابی می‌شوند. استفاده از فناوری زنجیره بلوکی نه‌تنها سبب پیگیری مؤثرتر امور نیروی کار می‌شود، بلکه سلامت کارکنان را نیز در نظر می‌گیرد.(۸۸) علاوه‌بر این فناوری زنجیره بلوکی برای دو موضوع مهم ردگیری رد پای کربن (برای مسائل محیط زیستی) و جلوگیری از فعالیت‌های غیرانسانی در معادن و صنایع تولیدی کاربرد دارد. این فناوری مبدأ کالا و خدمات را به‌صورت شفاف و تقلب‌ناپذیر مشخص می‌کند و از موارد خلاف قانون یا نافی حقوق انسانی و محیط زیست جلوگیری می‌کند.

ـ کارکردها و مصادیق فناوری زنجیره بلوکی برای ارتقای ایمنی در معادن

به‌طور کلی، فناوری زنجیره بلوکی کاربردهای گسترده‌ای در حوزه زنجیره تأمین و عقد قراردادهای هوشمند دارد. این فناوری به شفافیت و تقلب‌ناپذیری فرایندهای زنجیره تأمین کمک می‌کند. در معادن نیز، فناوری زنجیره بلوکی برای ارتقای زنجیره تأمین استفاده شده است، لکن همان‌طور که پیشتر نیز ذکر شد در حوزه ایمنی کاربرد ویژه‌ای در شناسایی منشأ مواد دارد. به‌طور مشخص، برای جلوگیری از معدنکاری غیرقانونی یا فروش موادی که در مناطق پُرخطر و بدون رعایت مسائل انسانی یا زیست‌محیطی تولید شده‌اند، ردیابی منشأ بسیار مؤثر است. لذا شرکت‌های بازرگانی یا معدنکاران در مظان اتهام، باید ثابت کنند که در کل زنجیره ارزش خود (شامل موادی یا خدماتی که از تأمین‌کنندگان دیگر گرفته‌اند)، حقوق انسانی و ایمنی کارکنان را در نظر گرفته‌اند. فشار نهادهای کشوری و بین‌المللی، قوانین، استانداردها، افکار عمومی، رقبا و مواردی از این دست، حساسیت‌ها را نسبت به منشأ مواد بیشتر کرده و در میان فناوری‌های نوظهور، زنجیره بلوکی می‌تواند ابزار مناسبی برای کنترل فعالیت‌های ناایمن و غیرانسانی باشد.

در زمینه فوق‌الذکر و به‌عنوان نمونه می‌توان به اقدامات شرکت گلنکور اشاره کرد. شرکت مذکور اقدامات گسترده‌ای در زمینه استخراج و بازرگانی مواد معدنی مانند زغال‌سنگ و کبالت دارد. گلنکور در سال ۲۰۱۹ به یک شبکه زنجیره بلوکی پیوست که با استفاده از این فناوری و برای پیروی از قوانین ایالات متحده آمریکا و اروپا، موضوع رد پای کربن و منشأ مواد معدنی خود را شفاف کند.(۹۱) به‌عنوان نمونه‌ای دیگر و با توجه به حساسیت‌ها نسبت به فعالیت‌های معدنکاری کبالت در جمهوری کنگو، پروژه‌ای در سال ۲۰۱۹ با استفاده از فناوری زنجیره بلوکی و توسط گروه معدنکار یوراسیا[1] انجام شد و در آن برای جلوگیری از استخراج معادن غیرمجاز، بهره‌کشی از کودکان در معدنکاری و جلوگیری از فعالیت‌های آلاینده محیط زیست، از این فناوری برای شناسایی منشأ مواد استفاده شد.(۹۲)

1. Eurasianresources

شرکت‌های استخراج طلا مانند یامانا گلد،[1] نیومانت یا استخراج الماس مانند انگلوامریکن نیز برای جلوگیری از تولید و حرکت مواد معدنی با منشأ غیرقانونی یا در نواحی ناایمن، پُرخطر و پُرمناقشه، از فناوری زنجیره بلوکی برای شناسایی منشأ مواد استفاده کرده‌اند. شرکت‌های مذکور تحت فشارهای قانونی تا افکار عمومی، از فناوری زنجیره بلوکی استفاده می‌کنند تا ثابت کنند از فعالیت‌های آسیب‌رسان به انسان‌ها و محیط زیست اجتناب کرده‌اند.(۹۳)

علاوه‌بر موارد فوق‌الذکر، فناوری زنجیره بلوکی به حذف حضور کارکنان و جلوگیری از فعالیت‌های آسیب‌رسان و سخت معدنکاری کمک می‌کند، اما نوع کاربرد متمایزی دارد. این کاربرد مبتنی‌بر توکن کردن دارایی‌های ارزشمند است. به این معنا که معدنکاری سنگ‌های قیمتی مانند طلا و الماس که بعضاً فعالیت‌های آلاینده و ناایمن و ضدحقوق انسانی در آنها در جریان است، متوقف می‌شود. زنجیره بلوکی دارایی‌های اثبات شده مانند طلا و الماس را به‌صورت توکن‌های قابل معامله درآورده (دارایی‌های دیجیتال) و افراد و سازمان‌ها می‌توانند به استناد داراییِ پشت این توکن‌ها معامله کنند و عملاً از استخراج این معادن جلوگیری شود. به بیان ساده‌تر، بجای طلا یا الماس، یک دارایی دیجیتال خریداری می‌شود که معادل ذخیره انباشته شده در معدن است. در این زمینه، تلاش‌هایی برای توکن کردن منابعی چون نفت و گاز صورت گرفته، ولی همچنان این بخش از فناوری زنجیره بلوکی در مرحله توسعه است.

۳. ایمنی در معادن ایران؛ الزامات اطلاعاتی و فرصت‌های بهبود

صنایع منبع‌محور مانند معادن و صنایع معدنی، می‌توانند نقش مهمی در توسعه پایدار کشور داشته باشند. توجه جدی به این بخش و سرمایه‌گذاری در آن، می‌تواند هم منجر به اشتغال‌زایی و کاهش بیکاری شود و هم به ایجاد ارزش‌افزوده در اقتصاد کشور کمک کند. به‌ویژه اینکه گستره منابع معدنی ایران در کل سرزمین، می‌تواند زمینه‌ساز فرصت‌های اقتصادی برابر و تمرکززدایی باشد. لکن در این میان، آنچه بیش از هرچیز دیگر اهمیت دارد، ایمنی معادن و حفظ جان شاغلان این بخش است. از خلال بررسی رویدادها، گزارش‌ها، بازتاب رسانه و فعالیت کنشگران مدنی، چنین به‌نظر می‌آید که وضعیت ایمنی در معادن ایران همچنان بغرنج است. به‌عنوان نمونه یکی از تلخ‌ترین حوادث در سال ۱۳۹۶ و در معدن زغال‌سنگ زمستان یورت آزادشهر در استان گلستان به‌وقوع پیوست. موضوع ایمنی در معادن زغال‌سنگ در ایران پس از این حادثه ابعاد دیگری یافت و حساسیت‌های بیشتری را برانگیخت.[2] ازجمله تصمیم گرفته شد تا به فناوری‌های نوین ایمنی بیشتر توجه شود و برای ایمن‌سازی معادن، بازرسی

1. Yamana Gold

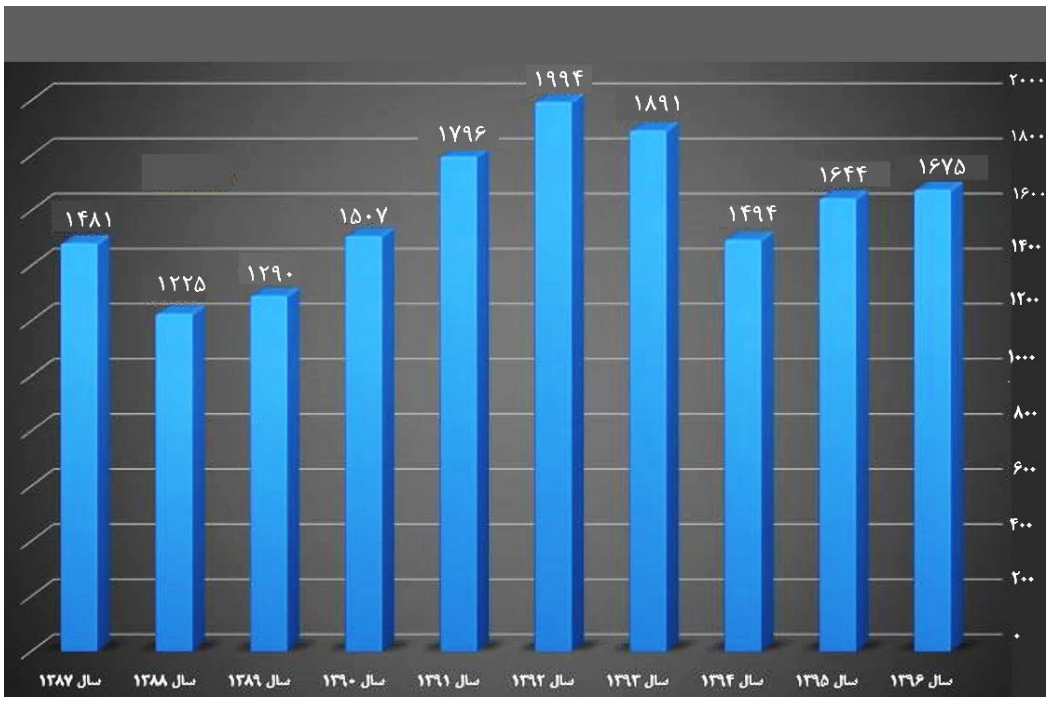
۲. معدن زغال‌سنگ آزادشهر در نزدیکی روستای زمستان یورت در شرق استان گلستان در تاریخ ۱۳ اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۶ منفجر شد و در این حادثه ۴۳ معدنکار جان باختند، همچنین بیش از ۷۰ تن مجروح و مصدوم شدند.

پیوسته از معادن (به‌خصوص معادن زغال‌سنگ) انجام شود. همچنین ایده ایجاد چهار پایگاه اورژانس در استان‌های معدنی کشور مطرح شد، اما تاکنون عملیاتی نشده است.

از منظر کلان ایمنی، آمارهای سازمان پزشکی قانونی کشور نشان می‌دهد بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶، حدود ۱۶ هزار نفر در حوادث ناشی از کار جان خود را از دست داده‌اند و عمده این تلفات ناشی از سقوط از بلندی (۴۱/۵ درصد)، سپس برخورد جسم سخت، برق‌گرفتگی، سوختگی، کمبود اکسیژن و مواردی از این دست بوده است. گزارش مذکور که دربرگیرنده آمار تا پایان سال ۱۳۹۶ است، مدعی شده که در چند سال اخیر «رشد تلفات» ناشی از حوادث کار، کاهش یافته است؛ به نحوی که کشور در سال ۱۳۹۵ با رشد ۱۰ درصدی و در سال ۱۳۹۶ با رشد ۱/۹ درصدی تلفات مواجه بوده است.[۹۴] لکن براساس گزارشی دیگر از اداره کل روابط عمومی سازمان پزشکی قانونی کشور در سال ۱۳۹۸، طی سه‌ماهه اول این سال، ۴۲۱ نفر در حوادث ناشی از کار جان خود را از دست دادند که نسبت به مدت مشابه سال قبل ۱۷/۹ درصد رشد نشان می‌دهد.[۹۵] شایان ذکر است، شاخص «فوت به تولید» در کشور آمریکا و در سال ۲۰۰۲ میلادی، یک نفر به‌ازای ۲۵ میلیون تُن تولید بوده درحالی‌که این شاخص در ایران در سال مشابه (۱۳۸۱) برابر با یک نفر به‌ازای ۳/۳ میلیون تُن بوده است. این شاخص در سال ۱۳۹۴ به یک نفر به‌ازای ۱۴ میلیون تُن رسیده است،[۹۶] که با وجود بهبود، همچنان نسبت به ۱۸ سال پیش کشور آمریکا بسیار عقب است.

از منظر آمارهای ایمنی معادن، پیمایش‌های دوره‌ای مرکز آمار از معادن در حال بهره‌برداری کشور نشان می‌دهد که سطح ایمنی و بهداشت در صنعت معدنکاری ایران با نقطه مطلوب بسیار فاصله دارد. به‌عنوان نمونه ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که از مجموع ۹۱۳/۴ معدن در حال بهره‌برداری کشور در سال ۱۳۹۵، تنها ۶۰۸ معدن (معادل ۱۲/۴ درصد از کل معادن) دارای واحد «بهداشت، ایمنی و محیط زیست» بوده‌اند.[۹۷]

نمودار ۵. آمار تلفات ناشی از کار بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶



مأخذ: آمار و اطلاعات سازمان پزشکی قانونی کشور.

آمار مربوط به سال ۱۳۹۶ نیز نشان می‌دهد که در میان ۵,۳۵۳ معدن در حال بهره‌برداری کشور، صرفاً ۷۶۱ معدن دارای واحد بهداشت، ایمنی و محیط زیست هستند و با وجود رشد سالیانه‌ای که در تشکیل این واحدها ملاحظه می‌شود، هنوز درصد قابل توجهی از معادن کشور فاقد این واحد هستند. نبود این واحدها علاوه‌بر اینکه می‌تواند منجر به مشکلات فزاینده ایمنی در محیط کار شود، جامع بودن و قابل اعتماد بودن آمارهای گزارش شده را با تشکیک مواجه می‌سازد.

جدول ۱. آمار ایمنی معادن ایران، سال ۱۳۹۶

کل معادن کشور	معادن دارای واحد «اچ‌اس‌ای»[1]	معادن حادثه‌دیده	تعداد وقوع حادثه	افراد حادثه‌دیده
۵۳۵۳	۷۶۱	۳۶۷	۱۸۷۶	۱۸۴۲
فوتی‌ها	ازکارافتاده کلی	ازکارافتاده جزئی	نقص عضو	بهبود کامل
۷۸	۶	۱۰۷	۲۸	۱۶۲۱

مأخذ: آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور، مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷.

به تفکیک حوزه معدنی، ارزیابی‌ها نشان می‌دهد معادن گروه «استخراج زغال‌سنگ خشک» و «استخراج سنگ آهن» با سرانه تعداد حادثه اتفاق افتاده در هر معدن حادثه‌دیده به‌ترتیب و ۲۰/۴ و ۷

1. Health, Safety and Environment

حادثه، جزء پُرخطرترین فعالیت‌های معدنی قرار گرفته‌اند. همچنین طی ۶ سال (۱۳۹۵ـ ۱۳۹۰) سرانه تعداد حادثه اتفاق افتاده در هر معدن دارای حادثه از ۳/۱ به ۵/۱ حادثه افزایش داشته که بیانگر متوسط نرخ رشد سالیانه ۱۰/۴ درصد است. در رابطه با علل اصلی حوادث در معادن (در سال ۱۳۹۵) «تماس با اشیای تیز و برنده»، «تصادف و برخورد» و «حوادث ماشین آلات معدنی» به‌ترتیب با سهم ۲۶ درصد، ۲۰/۴ درصد و ۱۸/۱ درصد، بیشترین سهم را در بین دیگر حوادث به‌خود اختصاص داده‌اند.[۹۷]

جدول ۲. سرانه و متوسط نرخ رشد سالیانه تعداد حادثه اتفاق افتاده در هر معدن دارای حادثه در هر دسته فعالیت‌های معدنی طی سال‌های ۱۳۹۵ – ۱۳۹۰

فعالیت معدنی	سرانه تعداد حادثه اتفاق افتاده در هر معدن حادثه‌دیده						متوسط نرخ رشد سالیانه (درصد)
	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۵-۱۳۹۰
کل معادن دارای حادثه	۳/۱	۳/۶	۳/۸	۴/۱	۴/۸	۵/۱	۱۰/۴
استخراج زغال‌سنگ خشک	۱۰/۶	۹/۳	۱۳/۸	۱۲/۱	۱۵/۲	۲۰/۴	۱۶/۷
استخراج سنگ آهن	۶/۷	۷/۷	۶/۲	۳/۸	۱۲/۱	۷/۰	۲۷/۰
استخراج سنگ‌های فلزی غیرآهنی	۶/۳	۱۱/۲	۷/۶	۹/۹	۹/۴	۶/۷	۸/۳
استخراج سنگ، شن، ماسه و...	۱/۸	۱/۸	۲/۰	۲/۷	۲/۵	۲/۵	۷/۵
استخراج مواد معدنی شیمیایی	۲/۰	۲/۳	۵/۱	۲/۶	۲/۶	۲/۷	۱۷/۳
استخراج نمک	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	–	۱/۷	–
استخراج سایر مواد معدنی	۱/۱	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۲/۱	۱/۴	۲۴/۲

مأخذ: نورینی، مرجان، ۱۳۹۷.

همان‌طور که از آمارهای فوق مشخص است، وضعیت ایمنی معادن در ایران (حداقل به روایت آمارهای رسمی و گزارش شده) مناسب نیست. علاوه‌بر این بررسی‌های میدانیِ ارقام مربوط به سال ۱۳۹۸ نیز نشان می‌دهد که طی این سال در حوادثِ معادن استخراج زغال‌سنگ ۲۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند که البته منشأ عمده این تلفات، خطای انسانی گزارش شده است. همچنین اقدامات متعدد قانونگذاری، تشکیل کمیته‌ها، عقد تفاهمنامه، ابلاغ دستورالعمل یا وضع استانداردها که توسط سازمان‌های متولی و طی سالیان مختلف انجام شده، نتوانسته به موفقیت شگرفی در کاهش حوادث معدنی منجر شود. لکن از منظر این پژوهش، بزرگ‌ترین معضل برای کاهش مخاطرات ایمنی در معادن ایران، «نبود اطلاعات شفاف، به‌روز، جامع و موشکافانه» است. به‌عبارتی زمانی که مسئله ایمنی در معادن و ابعاد آن ثبت و موشکافی شود، برنامه‌ریزی برای پیاده‌سازی راهکارها و استفاده از ابزارهای نوین فناورانه تسهیل می‌شود.

جمع‌بندی و پیشنهادها

الف) جمع‌بندی

انقلاب صنعتی چهارم و فناوری‌های نوین در تمامی حوزه‌های کسب‌وکار آثار قابل توجهی دارند. در موضوع ایمنی در محیط کار، به کار بردن این فناوری‌ها منجر به کاهش جدی مخاطرات و ارتقای ایمنی خواهد شد. از منظر کشورهای پیشرو، ظرفیت اقدامات پیشین برای بهبود روندهای ایمنی اشباع شده است و برای رسیدن به هدف «حوادث صفر» باید موج‌های جدید تحولی فعال شوند. به‌عبارت دیگر گزارش‌ها و اقدامات رصد شده در سطح جهانی نشان می‌دهد، فناوری‌های نوین قابلیت محقق کردن اهداف چالشی در حوزه ایمنی صنعتی و به‌ویژه معادن را دارند. لذا، ضمن اینکه دستورالعمل‌ها، نظارت‌های قانونی، استانداردها و اقدامات کنترلی، همچنان برای حفظ شاخص‌های ایمنی معادن لازم است، فناوری‌های نوین نیز می‌توانند هم به‌عنوان توانمندساز راهکارهای قدیمی عمل کنند و هم خود، قابلیت‌های جدیدی برای به «صفر رساندن حوادث» در محیط معادن ارائه نمایند. از فناوری‌های نوین به‌منظور ثبت، ردگیری، نظارت، تحلیل و جلوگیری از تغییر و تبدیل اطلاعات می‌توان بهره برد.

در این گزارش «فناوری‌های واقعیت افزوده و مجازی»، «هوش مصنوعی»، «اینترنت اشیا»، «رُباتیک»، «وسایل نقلیه خودران»، «پهپادها» و «زنجیره بلوکی»، در حوزه ایمنی صنعتی و معدنی مورد توجه قرار گرفت و به‌طور خاص چشم‌انداز اقتصادی این فناوری‌ها و کاربردهای هرکدام از آنها در حوزه ایمنی و مشخصاً ایمنی معادن بررسی شد. کاربردهای این فناوری‌ها در جدول ۳ جمع‌بندی شده است.

جدول ۳. جمع‌بندی فناوری‌های نوین و کاربردها و مصادیق آنها در ایمنی معادن

فناوری	حوزه کاربرد	دستاوردها در ایمنی معادن
واقعیت افزوده و مجازی	آموزش مهارتی کارکنان	ـ آموزشِ ایمن ـ اجتناب از آموزش در محیط‌های واقعی پُرخطر ـ کاهش هزینه‌های آموزش ایمنی ـ ایجاد پایگاه هوشمند از سوابق آموزشی ـ سه‌بُعدی‌سازی مکان‌های مختلف معدن و ارتقای کیفیت آموزش ـ شبیه‌سازی عملیات انفجار در معادن و آموزش ایمنی به کارکنان
	افزایش دقت و کنترل	ـ ایجاد نسخه واقعیت افزوده تجهیزات معدنکاری بر رایانه دستی و نمایشگر کلاه ایمنی کارکنان برای افزایش دقت و کنترل
هوش مصنوعی	تحلیل داده	ـ ارزیابی محیط کار و تأمین ایمنی با پلتفرم تحلیل داده ـ شناسایی، ردیابی و نظارت امور بهداشتی، ایمنی و محیط زیستی ـ تجهیز رانندگان وسایل نقلیه به کلاه‌های هوشمند برای تحلیل امواج مغزی راننده و اندازه‌گیری میزان خستگی به‌منظور بهبود بهره‌وری و افزایش ایمنی

فناوری	حوزه کاربرد	دستاوردها در ایمنی معادن
	کنترل از راه دور ماشین‌آلات و نظارت بر عملیات	ـ هشدار خودکار سقوط سنگ در معادن روباز ـ بهینه‌سازی توزیع انرژی حاصل از انفجارها ـ هشدار بی‌ثباتی برای نظارت خودکار بر سدهای باطله معادن ـ نظارت هوشمند جامع جهت کم کردن نیاز به نظارت شخصی
اینترنت اشیا	تجهیزات پوشیدنی و حسگرهای هوشمند	ـ استفاده از حسگرها با هشدار خودکار خستگی و بی‌توجه و بی‌احتیاطی حین کار در معدن ـ کلاه‌های هوشمند با حسگرهای تشخیص گاز، صدا و دمای خطرناک ـ نظارت بر کارکنان و هشدار دادن به آنها در صورت نزدیک شدن به ابزارها و مکان‌های خطرناک ـ توقف خودکار تجهیزات خطرناک معدن در شرایط اضطراری ـ کنترل دستگاه‌های خودکار در مواقع اضطراری با استفاده از امواج رادیویی و مادون قرمز ـ قابلیت ضبط ویدئو و ردیابی اتفاقات در زمان حرکت خودرو و هشدار به راننده در مواقع اضطراری
	توسعه ارتباط بی‌سیم	ـ بهبود ارتباط میان کارکنان معادن و افزایش ایمنی آنها در محیط‌های زیرزمینی
	نظارت بر سلامت تجهیزات و عملیات	ـ نظارت بر تجهیزات با حسگرهای پیشرفته برای بهبود ایمنی و کاهش مخاطرات محیط زیستی ـ نظارت ایمن و دقیق بر سدهای باطله و دور نگه‌داشتن کارکنان از شرایط سخت کاری
رُباتیک	دور نگه‌داشتن کارکنان از مناطق پُرخطر	ـ توسعه رُبات به‌منظور حضور در معادن پیش از کارکنان ـ کم کردن احتمال مواجهه با خطرات پیش‌بینی نشده در معادن با ورود رُبات‌ها به خطرناک‌ترین بخش‌های معدن ـ استفاده از رُبات‌ها برای فعالیت‌های اکتشافی در مناطق پُرخطر
	تجهیزات خودکار	ـ جلوگیری از خطا، بی‌احتیاطی یا آسیب‌رساندن تجهیزات به کارکنان ـ کاهش حضور معدنکاران در مناطق پُرخطر ـ حفر دقیق و ایمن تونل‌ها در معادن و عدم نیاز به حضور معدنکاران در بخش‌های پُرخطر
وسایل نقلیه خودران	خودکارسازی وسایل نقلیه و حذف راننده	ـ بهبود شاخص‌های ایمنی با حذف راننده شامل جلوگیری از تصادفات و صدمات ناشی از بی‌احتیاطی ـ کنترل از راه دور لودرهای زیرزمینی و جلوگیری از حضور اپراتور در محیط پُرخطر و افزایش دقت و حرکت لودر و جلوگیری از تصادف با افراد ـ خودران کردن قطارها و افزایش سطح ایمنی معدنکاران با دور کردن آنها از محیط خطر و خطاهای انسانی
پهپادها	جایگزینی با کارکنان در مناطق پُرخطر	ـ اکتشاف، نقشه‌برداری از معدن و محاسبات حجم ذخایر در معادن بجای نیروی کار در مناطق پُرخطر ـ جمع‌آوری و پردازش اطلاعات در معادن بدون نیاز به حضور اپراتور در مناطق خطرآفرین ـ جایگزین کردن انسان در وظایف نظارت و بازرسی

فناوری	حوزه کاربرد	دستاوردها در ایمنی معادن
	بازرسی و هشداردهی	ـ بازرسی محفظه‌ها و تجهیزات کشتی در انتقال بار (جایگزین نیروی کار) ـ کنترل حضور یا عدم حضور کارکنان در مناطق انفجار ـ اندازه‌گیری میزان قطعات منفجر شده، جهت حرکت غبار بعد از انفجار و جلوگیری از خطر ورود کارکنان به مناطق خطرناک ـ ایجاد نقشه سه‌بُعدی از معادن برای بهبود ایمنی معدنکاران
زنجیره بلوکی	یافتن منشأ مواد	ـ شناسایی منشأ مواد و جلوگیری از معدنکاری ناایمن، پُرخطر و خلاف شأن انسانی
	توکن کردن دارایی‌ها	ـتوکن کردن دارایی‌های ارزشمند مانند طلا و الماس و جلوگیری از معدنکاری ناایمن و مخرب برای محیط زیست

همان‌طور که در جدول فوق ملاحظه می‌شود، فناوری‌های مختلف با جمع‌آوری اطلاعات و پردازش هوشمند آنها می‌توانند در هشداردهی خطرات به کارکنان تأثیرگذار باشند. در این زمینه هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و پهپادها بسیار کاربردی هستند. همچنین این فناوری‌ها می‌توانند جایگزین انسان در مناطق پُرخطر شوند و به‌شدت صدمات و تلفات انسانی را کاهش دهند. فناوری‌هایی چون رُباتیک، پهپادها و وسایل نقلیه خودران، می‌توانند در زمینه حذف نیروی انسانی از محیط خطر، کاربردهای برجسته‌ای داشته باشند. این فناوری‌ها می‌توانند از معدنکاری در محیط‌های ناایمن یا معدنکاری به‌صرف استخراج دارایی (فلزات و سنگ‌های گرانبها) جلوگیری کنند. فناوری زنجیره بلوکی، پهپادها و اینترنت اشیا می‌تواند در شناسایی و نظارت منشأ مواد (در محیط ناایمن) و جلوگیری از تولید و توزیع آنها و ارتقای ایمنی مؤثر باشند. لذا فناوری‌های نوین، یا به‌عنوان یک ابزار کمکی و تکمیلی در فرایند کاری معدنکاران وارد می‌شوند و ایمنی آنها را افزایش می‌دهند، یا جایگزین نیروی انسانی در محیط پُرخطر می‌شوند، یا فرایندهای نظارتی و کنترلی را ارتقا می‌دهند و در آخر ممکن است این فناوری‌ها از فرایند معدنکاری ناایمن جلوگیری کنند.

طبق بررسی‌های انجام شده، انتظار می‌رود کارکرد فناوری‌های نوین در حوزه ایمنی معادن به ۶ دسته اصلی «آموزش مهارتی کارکنان»، «خودکارسازی تجهیزات و وسایل نقلیه»، «جمع‌آوری و تحلیل داده و نظارت هوشمند بر عملیات»، «تجهیزات پوشیدنی هوشمند» و «حذف حضور یا ایمن‌سازی حضور کارکنان در مناطق پُرخطر معادن» و «جلوگیری از معدنکاری ناایمن» تقسیم شود. در صورتی که از منظر ایمنی، کاربردها و مصادیق به کار بردن فناوری‌های نوین در شرکت‌های معدنی جهانی با اقدامات معدنکاران داخلی مقایسه شود، شکاف شگرفی بین اقدامات و همچنین چشم‌اندازها وجود دارد. همان‌طور که در بخش اول ذکر شد، رویکرد جهانی به فناوری‌های نوین و انقلاب صنعتی چهارم، برای این بوده است که ظرفیت اقدامات قبلی (مانند کنترل‌ها و استانداردها) برای کاهش حوادث معدنی و ایمنی محیط کار، تکمیل شود و در ادامه با استفاده از این فناوری‌ها، ظرفیت‌های جدیدی ایجاد کرد که برای به صفر

رساندن حوادث بتوان از آنها کمک گرفت. لکن وضعیت داخلی کشور، همچنان حاکی از نبود پژوهش یا بستر اطلاعاتی فراگیر، قابل اتکا، موشکافانه و تفصیلی برای ثبت و تحلیل حوادث معدنی است. البته، پتانسیل‌های فناوری‌های نوین نشان می‌دهد که می‌توان به‌طور هم‌زمان از آنها هم برای شکل‌دهی به این اطلاعات و هم کاهش پُرسرعت مخاطرات معدنی کشور (با الگوی موج‌های جدید جهانی) استفاده کرد.

ب) پیشنهادها و راهکارها

محوری‌ترین پیشنهاد این گزارش، استفاده و اقدام تمامی ذی‌نفعان از «ظرفیت فناوری‌های نوین، برای ایجاد شفافیت و کاهش سریع مخاطرات ایمنی در معادن از یک‌سو و رفع عقب‌ماندگی فناورانه ازسوی دیگر است». لکن باید توجه داشت که برای اولویت‌بندی این فناوری‌ها الزامی است که پایش موشکافانه‌ای از عوامل بروز حوادث ایمنی در معادن ایران انجام شود. برمبنای بررسی‌های انجام شده در این گزارش، پیشنهادهای تکمیلی به شرح ذیل ارائه شده است:

ـ انجام مطالعه‌ای جامع برای شناسایی موشکافانه و دقیق حوادث معدنی ایران در ۱۰ سال گذشته و اولویت‌بندی فناوری‌های مورد نیاز برای ارتقای ایمنی معادن با محوریت سازمان نظام مهندسی معدن و همکاری وزارت صنعت، معدن و تجارت، وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی و سازمان‌ها و شرکت‌های تابعه،

ـ ایجاد سامانه‌ای با همکاری سازمان نظام مهندسی معدن، ایمیدرو و تشکل‌های بخش خصوصی به‌منظور ثبت تفصیلی، به‌روز و نظام‌مند حوادث معدنی توسط معدنکاران و نهادهای نظارتی،

ـ برگزاری برنامه‌های ترویجی و آموزشی مستمر برای مدیران معدنی با همکاری وزارت صمت، ایمیدرو و سازمان نظام مهندسی معدن،

ـ تأسیس انستیتو تخصصی ایمنی معادن با همکاری سازمان نظام مهندسی معدن، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، معاونت علمی ریاست‌جمهوری و وزارت صنعت، معدن و تجارت در مناطق معدنی کشور مانند استان‌های کرمان، یزد، خراسان رضوی و...،

ـ حمایت مالی حداکثری ایمیدرو از پروژه‌های مشترک استارت‌آپ‌ها، دانشگاه‌ها، شرکت‌های فناور و بنگاه‌های معدنی برای توسعه فناوری‌های نوین در راستای ارتقای ایمنی معادن،

ـ استفاده از ظرفیت‌های قانونی (قانون معادن مصوب ۱۳۷۷، اصلاحات و الحاقات بعدی آن) به‌منظور استفاده بهره‌برداران معادن از انواع معافیت‌های حقوق دولتی مشروط به بسترسازی، حمایت و کاربست فناوری‌های نوین برای ارتقای ایمنی معادن با تصویب شورای عالی معادن،

ـ بسترسازی برای استفاده فراگیر از ظرفیت‌های واقعیت افزوده و مجازی برای آموزش‌های فنی و پُرخطر،

ـ الزام پیمانکاران به استفاده از فناوری‌های پهپادی و رُباتیک (به‌ویژه محصولات تولید شده توسط شرکت‌های فناور و دانش‌بنیان داخلی) در فعالیت‌های اکتشافی با اصلاح ضوابط و معیارهای اکتشاف منابع معدنی توسط سازمان برنامه و بودجه، سازمان نظام مهندسی معدن، وزارت صمت و ایمیدرو،

ـ ایجاد پایلوت برای استفاده از فناوری‌های بلاکچین و اینترنت اشیا برای شناسایی منشأ مواد و جلوگیری از معدنکاری در مناطق پُرخطر توسط ایمیدرو و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی،

ـ همکاری بنگاه‌های بزرگ معدنی کشور (با پایلوت معادن سنگ آهن و مس) برای استفاده از فناوری اینترنت اشیا برای کنترل ماشین‌آلات سنگین و تجهیزات پُرخطر با نظارت وزارت صمت، ایمیدرو و سازمان نظام مهندسی معدن کشور،

ـ پیشبرد و حمایت مالی از پروژه‌های پایلوت فناوری هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های متعدد و پیچیده و هشداردهی به معدنکاران در محیط‌های پُرخطر، به‌ویژه در معادن زیرزمینی توسط ایمیدرو (شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران)،

ـ رصد مستمر و دوره‌ای ابتکارات کشورها، شرکت‌های معدنی تراز جهانی و تحولات فناورانه و نوآورانه در حوزه ایمنی صنعتی و معدنی و بهره‌گیری از آنها در سیاستگذاری‌ها، برنامه‌های نظارتی، مشوق‌ها و سرمایه‌گذاری‌های آتی توسط وزارت صمت و ایمیدرو،

ـ همکاری ایمیدرو و بنگاه‌های بزرگ معدنی با واسطه‌های فناوری برای انجام پیمایش‌های نیازسنجی دوره‌ای از معدنکاران در حوزه ایمنی به‌منظور برآورد مسائل کلان و اولویت‌دار ملی،

ـ استفاده از از ظرفیت اکوسیستم استارت‌آپی و حمایت و جهت‌دهی آنها به سمت حل مسائل ایمنی معادن کشور (برگزاری رویدادها، معرفی نیازها و خرید تضمینی راهکار) توسط ایمیدرو و سازمان نظام مهندسی معدن کشور.

پی‌نوشت‌ها

1. Brief History of the African American Coal Mining Experience. African American coal mine Information Center. [Online] 2004. http://freepages.rootsweb.com/~blackcoalminers/genealogy/briefhist.html.
2. Worker safety: what, why and how IoT and AI can help. ibm. [Online] October 2018. https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/iot-worker-insights-worker-safety-and-ai/.
3. Casey, J. P. US mining industry accidents and fatalities in 2018 analysed. Mining Technology. [Online] June 2019. https://www.mining-technology.com/mining-safety/us-mining-accidents-fatalities-2018.
4. Shooks, Malin , et al. Safety and Health in European Mining. s.l. : Skandinaviens nordligaste tekniska universitet, 2014.

5. AI Solutions For EHS: Safety First. Softengi. [Online] https://softengi.com/blog/ai-solutions-for-ehssafety-first/.
6. Accenture opens new mining and innovation hub in Peth. Amsj. [Online] December 2019. https://www.amsj.com.au/accenture-opens-new-mining-and-innovation-hub-in-peth/.
7. Waslo, René and Lewis, Tyler. Industry 4.0 and cybersecurity. Deloitte. [Online] March 2017. https://www2.deloitte.com/uk/en/insights/focus/industry-4-0/cybersecurity-managing-risk-in-age-of-connected-production.html.
8. Sullivan, Pete, van Keulen, Florian and Chee, Evelyn. Adopting digital to break the EHS performance plateau. s.l. : Accenture, 2018.
9. Top 3 reasons to invest in safety innovation. International Road Transport Union. [Online] January 2020. https://www.iru.org/resources/newsroom/top-3-reasons-invest-safety-innovation.
10. Davidson, Paul. Automation could kill 73 million U.S. jobs by 2030. USA Today. [Online] November 2017. https://eu.usatoday.com/story/money/2017/11/29/automation-could-kill-73-million-u-s-jobs-2030/899878001/.
11. Martin, Will. Automation could add more than $1.1 trillion to the global economy in the next 10 years. Business Insider. [Online] November 2017. https://www.businessinsider.com/automation-one-trillion-dollars-global-economy-jpmam-report-2017-11?r=US&IR=T.
12. Human lives saved robotic replacements. Injury Claim Coach. [Online] April 2018. https://www.injuryclaimcoach.com/human-lives-saved-robotic-replacements.html.
13. Hart, Ian. Safety expert launches Arco Innovation Award 2019. SHP Safety & Health Practitioner. [Online] October 2019. https://www.shponline.co.uk/technology-2/arco-innovation-award/.
14. Manyika, James, et al. Disruptive Technologies: Advances That Will Transform Life, Business, and The Global Economy. s.l. : McKinsey & Company, 2013.
15. Likens, Scott. The Essential Eight technologies: how to prepare for their impact. s.l. : PwC, 2016.
16. Daugherty, Paul and Carrel-Billiard, Marc. Accenture Technology Vision 2019. s.l. : Accenture, 2019.
17. Hall, Stefan. Augmented and virtual reality: The promise and peril of immersive technologies. McKinsey & Company. [Online] January 2020. https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/augmented-and-virtual-reality-the-promise-and-peril-of-immersive-technologies.
18. Moore, Mariahna . Tech Trends 2016. s.l. : Deloitte, 2016.
19. Abramowicz, Lukasz. Seeing the unseen: Transforming safety by improving hazard sensitivity. s.l. : McKinsey & Company, 2019.
20. Pioneering virtual reality for safer operations in Zambia. glencore. [Online] April 2019. https://www.glencore.com/media-and-insights/insights/pioneering-virtual-reality-for-safer-operations-in-zambia.
21. Lawson, Glyn , Shaw, Emily and Roper, Tessa . Immersive virtual worlds: Multi-sensory virtual environments for health and safety training. s.l. : IOSH: Institution of Occupational Safety and Health, 2019.

22. McCutcheon, Robert. How virtual and augmented reality technologies are reimagining America’s factory floors. s.l. : PwC, 2016.
23. How Augmented Reality is Disrupting the Mining Industry in 2020 . Prnewswire. [Online] january 2020. https://www.prnewswire.com/news-releases/how-augmented-reality-is-disrupting-the-mining-industry-in-2020-300986253.html.
24. A new dimension: bringing mine sites to life in 3D. Mining Technology. [Online] November 2018. https://www.mining-technology.com/features/mine-visualisation-3d/.
25. Successful development of a virtual reality safety training for the mining industry. eit Raw Materials. [Online] August 2019. https://eitrawmaterials.eu/successful-development-of-a-virtual-reality-safety-training-for-the-mining-industry/.
26. Artificial Intelligence Market Size, Share & Trends Analysis Report By Solution, By Technology (Deep Learning, Machine Learning), By End Use (Advertising & Media, Law, Healthcare), And Segment Forecasts, 2019 - 2025. s.l. : Grand View Research, 2019.
27. Brooks, Michael. The State of Workplace Safety in the Age of Artificial Intelligence. Medium. [Online] May 2019. https://medium.com/@mgbrooks311/the-state-of-workplace-safety-in-the-age-of-artificial-intelligence-d9cf14ff821b.
28. POSCO’s Smart Factory: A Thinking Steel Mill. Posco. [Online] November 2016. https://newsroom.posco.com/en/poscos-smart-factory-thinking-steel-mill/.
29. Artificial Intelligence is expected to save US$26 million for Vale in 2018. Vale. [Online] March 2018. http://saladeimprensa.vale.com/en/Paginas/Articles.aspx?r=Artificial_Intelligence_is_expected_to_save_US26_million_for_Vale_in_2018&s=Innovation__Technology&rID=1063&sID=4.
30. Using data analytics to build a safer workplace: the OiS. Anglo American. [Online] September 2018. https://www.angloamerican.com/futuresmart/our-world/safety-and-our-people/using-data-analytics-to-build-a-safer-workplace-the-ois.
31. Anglo's data analytics system boosts health, safety. Mining Magazine. [Online] October 2018. https://www.miningmagazine.com/simulation-optimisation/news/1347938/anglo%E2%80%99s-data-analytics-system-boosts-health-safety.
32. Barrick using analytics to enhance decision-making in mining . Elko Daily. [Online] June 2017. https://elkodaily.com/mining/barrick-using-analytics-to-enhance-decision-making-in-mining/article_e1bb2d96-6ac7-56c0-8e91-f46f6e34bf1e.html.
33. $1.25 million grant will advance technology and automation in mines . Elko Daily. [Online] October 2019. https://elkodaily.com/mining/million-grant-will-advance-technology-and-automation-in-mines/article_10682053-2ae5-5f8f-b7c8-d38e4d6255c8.html.
34. Internet of Things (IoT) Market by Software Solution (Real-Time Streaming Analytics, Security Solution, Data Management, Remote Monitoring, and Network Bandwidth Management), Service, Platform, Application Area, and Region - Global Forecast to 2022. s.l. : Markets and Markets, 2017.

35. Global Internet of Things (IoT) Market Size was Valued at USD 164 Billion in 2018 and is Expected to Grow at a CAGR of 38.62% by 2025. s.l. : Valuates Reports, 2020.
36. Blum, Brent R. Putting Wearable Displays to Work in the Enterprise. s.l. : Accenture, 2016.
37. Hexagon's operator alertness system combats fatigue and distraction . Mining Magazine. [Online] January 2020. https://www.miningmagazine.com/partners/partner-content/1379865/hexagons-operator-alertness-system-combats-fatigue-and-distraction.
38. How AI is Used in the Mining Industry. Dare Energy. [Online] October 2018. https://www.dare-energy.com/news/how-ai-is-used-in-the-mining-industry/43007/.
39. Jamasmie, Cecilia. IBM steps up efforts to help miners improve health and safety records. Mining. [Online] February 2019. https://www.mining.com/ibm-steps-efforts-help-miners-improve-health-safety-records/.
40. POSCO Introduces Smart Safety Helmets with Video Recording and Distress Call Functions. Korea Bizwire. [Online] January 2019. http://koreabizwire.com/posco-introduces-smart-safety-helmets-with-video-recording-and-distress-call-functions/130086.
41. Wabtec and Hifi Engineering to enhance digital monitoring for miners. Mining Technology. [Online] July 2019. https://www.mining-technology.com/news/wabtec-hifi-enhance-digital-monitoring/.
42. Malinga, Sibahle. Underground WiFi 'a game-changer' for Anglo American. It Web. [Online] May 2019. https://www.itweb.co.za/content/lLn14MmywgbMJ6Aa.
43. Satellite data role in mining operations safety explored. Inmarsat. [Online] May 2019. https://www.inmarsat.com/news/satellite-data-role-in-mining-operations-safety-explored/.
44. 5 Top Wearables Startups Impacting Industrial Worker Safety. Startups Insights. [Online] October 2019. https://www.startus-insights.com/innovators-guide/5-top-wearables-startups-impacting-industrial-worker-safety/.
45. Talent without borders: global hardware hack delivers impressive mine safety prototypes. Unearthed. [Online] May 2017. https://unearthed.solutions/news/talent-without-borders-global-hardware-hack-delivers-impressive-mine-safety-prototypes.
46. Gould, Gina. The Impact of Robotics on Safety and Health. enablon. [Online] NOVEMBER 05, 2019. https://enablon.com/blog/the-impact-of-robotics-on-safety-and-health/.
47. Robotics Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025). s.l. : Mordor Intelligence, 2019.
48. Klare, Michael. https://www.armscontrol.org/act/2019-04/news/pentagon-asks-more-autonomous-weapons. Arms Control Association. [Online] April 2019. https://www.armscontrol.org/act/2019-04/news/pentagon-asks-more-autonomous-weapons.
49. Foster Innovation with Enterprise Robotics. s.l. : Accenture, 2018.

50. Could robots reduce the risk of workplace injuries? Small Business. [Online] June 2018. https://smallbusiness.co.uk/could-robots-reduce-the-risk-of-workplace-injuries-2544067/.
51. Owen-Hill, Alex. Robots Can Help Reduce 35% of Work Days Lost to Injury. Robotiq. [Online] May 26, 2016. https://blog.robotiq.com/robots-can-help-reduce-35-of-work-days-lost-to-injury.
52. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. de Looze, Michiel P., et al. 2015, Ergonomics.
53. Mahundla, Nyiko. Automated tunnel boring trial underway. African Mining Brief. [Online] May 2017. https://africanminingbrief.com/automated-tunnel-boring-trial-underway/.
54. Dyson, Noel. BHP to double autonomous trucks at Jimblebar. Mining Magazine. [Online] July 2017. https://www.miningmagazine.com/innovation/news/1331400/bhp-to-double-autonomous-trucks-at-jimblebar.
55. New robot fleets could explore CQ mine site passages safely. The Morning Bulletin. [Online] January 2013. https://www.themorningbulletin.com.au/news/mining-robots-anglo-coal-safety/1727576/.
56. Caruana, Lou. BHP committed to robots in mining . Mining Monthly. [Online] April 2019. https://www.miningmonthly.com/sustainability/international-coal-news/1360241/bhp-committed-to-robots-in-mining.
57. Heineke, Kersten, Kampshoff, Philipp and Mkrtch, Armen. Self-driving car technology: When will the robots hit the road? McKinsey & Company. [Online] March 2017. https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/self-driving-car-technology-when-will-the-robots-hit-the-road.
58. Robinson, Dan. How autonomous technology could make mining safer, cheaper and more valuable. NS Energy. [Online] October 2019. https://www.nsenergybusiness.com/features/autonomous-mining-technology-zyfra/.
59. Jadhav, Akshay. Autonomous Vehicle Market by Level of Automation and Application - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019-2026. s.l. : Allied Market Research, 2018.
60. Autonomous Vehicle Technology in Mining. Brown, Chris. 2012, Engineering and Mining Journal, Vol. 213, pp. 30-32.
61. Autonomous mining: the challenges of independently minded vehicles. Mining Technology. [Online] November 2018. https://www.mining-technology.com/features/autonomous-mining-the-challenges-of-independently-minded-vehicles/.
62. Off-road truck-related accidents in U.S. mines. Dindarloo, Saeid R., Pollard, Jonisha P. and Siami-Irdemoosa, Elnaz. 2016, Safety Research, Vol. 58, pp. 79-87.
63. Volvo first in the world with self-driving truck in underground mine. Volvo. [Online] July 2016. https://www.volvogroup.com/content/volvo/volvo-group/markets/global/en-en/home/news/2016/sep/news-2297091.html.

64. Sandvik's automated loader is so precise it can make it through a glass maze. WIRED. [Online] September 2018. https://www.wired.co.uk/article/sandvik-autonomous-loader.
65. Rio Tinto: rolling out the world's first fully driverless mines. Mining Technology. [Online] March 2016. https://www.mining-technology.com/features/featurerio-tinto-rolling-out-the-worlds-first-fully-driverless-mines-4831021/.
66. Behind the mining productivity upswing: Technology-enabled transformation. McKinsey & Company. [Online] September 2018. https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/behind-the-mining-productivity-upswing-technology-enabled-transformation.
67. Hessing, Dale. Mining Industry Examines the Safety of Autonomous Future. PRECO Electronics. [Online] May 2016. https://blog.preco.com/mining-industry-examines-the-safety-of-autonomous-future.
68. Caruana, Lou. Autonomous vehicles for Goonyella Riverside. Mining Magazine. [Online] November 2019. https://www.miningmagazine.com/technology-innovation/news/1375910/autonomous-vehicles-for-goonyella-riverside.
69. Caterpillar, Newmont to Work Toward Autonomous Underground. Construction Equipment. [Online] July 2018. https://www.constructionequipment.com/caterpillar-newmont-work-toward-autonomous-underground.
70. Autonomous Solutions, Inc. (ASI) Begins Work with Barrick Gold on First Major Autonomous Haulage Project in the United States. ASI Robots. [Online] June 2018. https://www.asirobots.com/barrick-autonomous-haulage/.
71. Rio Tinto rolls out AutoHaul. Mining Magazine. [Online] June 2019. https://www.miningmagazine.com/transport/news/1365574/rio-tinto-rolls-out-autohaul.
72. Casey, JP. Schauenburg and dotNetix partner on AI-powered camera to improve safety. Mining Technology. [Online] April 2019. https://www.mining-technology.com/mining-safety/schauenburg-and-dotnetix-partner-on-ai-powered-camera-to-improve-safety.
73. Gleeson , Daniel. Safescape, 3ME and Agrale's Bortana electric vehicle ready for mine site trial. IM-Mining. [Online] May 2019. https://im-mining.com/2019/05/28/safescape-3me-agrales-bortana-electric-vehicle-ready-mine-site-trial/.
74. Canada tax write-off for mining EVs welcomed by MAC. Mining.com. [Online] March 2020. https://www.mining.com/canada-tax-write-off-for-mining-evs-welcomed-by-mac/.
75. Wiśniewski, Adam. Drone powered future is here. PWC. [Online] https://www.pwc.ch/en/insights/risk/all-eyes-on-trust/drone-powered-future-is-here.html.
76. Dujmovic, Jackie. Drones and Your Workplace. NSW Safety Conference. [Online] January 2020. https://nswsafetyconference.com.au/drones-and-your-workplace/.
77. Allen, Andrew. Drone market worth $127bn . CIPS. [Online] May 2018. https://www.cips.org/en-ME/supply-management/news/2018/may/drone-market-worth-127bn/.

78. Drones Market - Growth, Trends, and Forecast (2020 - 2025). Mordor Intelligence. [Online] 2019. https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/drones-market.
79. Drones in mining: Key industry trends revealed. Mining Technology. [Online] November 2019. https://www.mining-technology.com/comment/drones-in-mining-key-industry-trends-revealed/.
80. Mining industry investment in drones: Exclusive global analysis. Mining Technology. [Online] April 2019. https://www.mining-technology.com/comment/mining-industry-investment-in-drones-exclusive-global-analysis/.
81. Casey, JP. Kumba wins licence to operate survey drones to improve miner safety. Mining Technology. [Online] July 2018. https://www.mining-technology.com/mining-safety/kumba-wins-licence-operate-survey-drones-improve-miner-safety.
82. Gleeson, Daniel. Drones continue to make mining activities safer, Anglo American says. International mining. [Online] March 2019. https://im-mining.com/2019/03/05/drones-continue-to-make-mining-activities-safer-anglo-american-says/.
83. Casey, JP. BHP to trial drones to improve freight safety. Mining Technology. [Online] October 2018. https://www.mining-technology.com/mining-safety/bhp-trial-drones-improve-freight-safety.
84. How drones are changing the art of mineral surveying. Mining Technology. [Online] April 2018. https://www.mining-technology.com/features/drones-changing-art-mineral-surveying/.
85. Rio Tinto enlists drone technology in Western Australia to drive efficiency and safety. Mining Global. [Online] September 2015. https://www.miningglobal.com/technology/rio-tinto-enlists-drone-technology-western-australia-drive-efficiency-and-safety.
86. Blockchain Market by Provider, Application (Payments, Exchanges, Smart Contracts, Documentation, Digital Identity, Supply Chain Management, and GRC Management), Organization Size, Industry Vertical, and Region - Global Forecast to 2023. Markets and Markets. [Online] 2018. https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/blockchain-technology-market-90100890.html.
87. Blockchain Technology Market Worth $57,641.3 Million By 2025. Grand View Research. [Online] July 2019. https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-blockchain-technology-market.
88. Blockchain Workforce And The Digital Transformation Journey. Medium. [Online] May 23, 2019. https://medium.com/brightteq/blockchain-workforce-and-the-digital-transformation-journey-bc5a166fa599.
89. Blockchain-based survey will help monitor worker welfare. Harvard T.H. Chan. [Online] https://www.hsph.harvard.edu/news/hsph-in-the-news/blockchain-survey-worker-welfare/.
90. SANDLE, TIM. Improving working conditions with blockchain. Digital Journal. [Online] January 2019. http://www.digitaljournal.com/business/improving-working-conditions-with-blockchain/article/541669.

91. Glencore to join The Responsible Sourcing Blockchain Network. Glencore. [Online] December 2019. https://www.glencore.com/media-and-insights/news/glencore-joins-responsible-sourcing-blockchain-network.
92. ERG implements a blockchain solution on the IBM Blockchain Platform to support its Clean Cobalt Framework at Metalkol RTR. eurasianresources. [Online] 01 21, 2019. https://www.eurasianresources.lu/en/news.
۹۳. فرزامی، هومن؛ طیبه صالحی و میلاد سلیمانی. «فرصت‌های تحولی فناوری بلاکچین در صنعت معدن و چالش‌های عملیاتی و سیاستی توسعه آن در کشور»، تهران، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۹.
۹۴. «مرگ ۱۵ هزار و ۹۹۷ نفر در حوادث کار ۱۰ سال گذشته»، سازمان پزشکی قانونی کشور. [Online] مرداد ۱۳۹۷.https://www.lmo.ir/news/84611.htm.
۹۵. «مرگ ۴۲۱ نفر در حوادث کار سه‌ماهه اول سال»، سازمان پزشکی قانونی کشور. [Online] مرداد ۱۳۹۸ . https://lmo.ir/news/91395.htm.
۹۶. پورمیرزایی، راشد. «بررسی نقش صنعت معدنکاری و منابع معدنی در توسعه پایدار کشور»، نشریه مهندسی منابع معدنی، ۱۳۹۵.
۹۷. نورینی، مرجان. «بررسی روند وضعیت بهداشت و ایمنی معادن در حال بهره‌برداری کشور طی سال‌های ۱۳۹۰ - ۱۳۹۵»، ۱۳۹۷.
۹۸. «آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور»، مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷.
99. Patterns in Mining Haul Truck Accidents. Drury, Colin G., Porter, William L. and Dempsey, Patrick G. 2012, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 56th Annual Meeting.

مرکز پژوهش‌ها
مجلس شورای اسلامی

شناسنامه گزارش	شماره مسلسل: ۱۷۱۱۹

عنوان گزارش: چالش‌های ایمنی معادن در ایران ۱. نقش فناوری‌های نوین در ارتقای ایمنی معادن

نام دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه معدن و صنایع معدنی)

مدیر مطالعه: بابک بهادری

تهیه و تدوین: طیبه صالحی

ناظران علمی: محمدحسن معادی رودسری، علی‌اصغر اژدری

همکاران: هومن فرزامی، میلاد سلیمانی خلجی، فریبا واعظ قاسمی، شیما طاهر

اظهارنظرکننده: مسعود عسکری

ویراستار تخصصی: ـــــــ

ویراستار ادبی: ـــــــ

واژه‌های کلیدی:

۱. معدن

۲. ایمنی

۳. فناوری‌های نوین

تاریخ انتشار: ۱۳۹۹/۴/۱۴