

کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه معدن



وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات
پژوهشگاه ارتباطات
و فناوری اطلاعات



مجموعه کتابچه‌های کاربردهای

هوش مصنوعی

در حوزه‌های مختلف

پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

کاربردهای هوش مصنوعی در

حوزه معدن

مرکز نوآوری و توسعه هوش مصنوعی

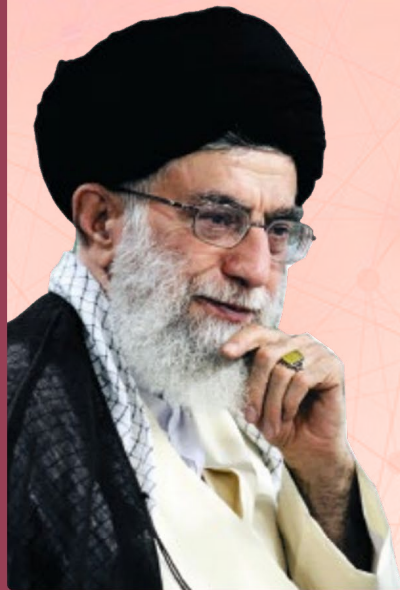
پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

مرکز نوآوری و توسعه هوش مصنوعی

بهار ۱۴۰۱

من پیشنهاد می‌کنم یکی از مسائلی که مورد تکیه و توجه و تعمیق واقع می‌شود، مسئله‌ی هوش مصنوعی باشد که در اداره‌ی آینده‌ی دنیا نقش خواهد داشت. حالا یا در معاونت علمی رئیس‌جمهور یا در دانشگاه باید کاری کنیم که ما در دنیا حداقل در ۱۰ کشور اول در مورد هوش مصنوعی قرار بگیریم که امروز نیستیم. امروز کشورهایی که درجه‌ی اول در مسئله‌ی هوش مصنوعی هستند، حالا غیر از آمریکا و چین و این‌ها که در رده‌های بالا هستند، بعضی از کشورهای آسیایی و بعضی کشورهای اروپایی هم هستند، اما ما نیستیم. البته کشورهای آسیایی ظاهراً بیشتر هم هستند. در ۱۰ تای اول، تعداد کشورهای آسیایی بیشتر است. باید کاری کنیم که حداقل به ۱۰ کشور اول دنیا در این مسئله برسیم.

بخشی از بیانات رهبر معظم انقلاب اسلامی
در خصوص هوش مصنوعی در دیدار با نخبگان
و استعدادهای برتر علمی در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۲۶





پیام وزیر محترم ارتباطات و فناوری اطلاعات

در فناوری هوش مصنوعی، هدف ساخت ماشین‌های هوشمندی است که بتوانند همانند انسان‌ها و حتی ورای آنها محیط اطراف را درک کرده و تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌های لازم را با استفاده از داده‌های کسب کرده انجام دهند و بر این اساس، نحوه عملکرد مؤثر و ایمن را محاسبه و انجام دهند.

در حال حاضر، هوش مصنوعی را می‌توان به‌عنوان بازیگر کلیدی تحول دیجیتال در بسیاری از صنایع در نظر گرفت. پیش‌بینی صورت گرفته توسط مؤسسه PWC نشان می‌دهد که توسعه کاربردهای هوش مصنوعی باعث رشد اقتصاد دنیا در سال ۲۰۳۰ تا حدود ۱۵/۷ تریلیون دلار خواهد شد. سهم هر یک از کشورها با توجه به میزان توسعه یافتگی آنها در این رشد متفاوت بوده، به طوری که برای کشورهای پیشرو چون چین و آمریکا بین ۱۸ تا ۲۱ درصد و برای کشورهای با اقتصاد ضعیف چون پاکستان و زامبیا بین ۴ تا ۸ درصد خواهد بود. در بخش سرمایه‌گذاری نیز آمریکا، چین و انگلستان و کانادا سالیانه به ترتیب با ۲۳، ۱۰ و ۱/۹ میلیارد دلار بیشترین سرمایه‌گذاری را در توسعه هوش مصنوعی داشته‌اند. کمیسیون اروپا نیز برای توسعه هوش مصنوعی طی سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۷ بودجه ۲/۱ میلیارد یورویی لحاظ کرده است. همه این موارد نشان‌دهنده رشد روزافزون و اهمیت بی‌بدیل هوش مصنوعی در دنیا است.

باتوجه به اهمیت هوش مصنوعی در توسعه اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی کشورها و برنامه‌ریزی گسترده اکثر آنها در به‌کارگیری هوش مصنوعی در حل مسائل و معضلات فعلی و آینده‌شان، وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات نیز به‌عنوان متولی ICT کشور از مزایای ناشی از به‌کارگیری هوش مصنوعی در حل چالش‌ها و مسائل کشور غافل نبوده و در همین راستا اقدام به تأسیس «مرکز ملی نوآوری و توسعه هوش مصنوعی» نموده است. یکی از نتایج راه‌اندازی این مرکز، تدوین برنامه توسعه ملی هوش مصنوعی در سال ۱۴۰۰، به‌منظور توانمندسازی کشور در حل مسائل حیاتی، تربیت نیروی انسانی متخصص در حوزه هوش مصنوعی، تسهیل توسعه کسب‌وکارهای حوزه هوش مصنوعی، تدوین قوانین، مقررات و استانداردهای مرتبط با هوش مصنوعی، ایجاد زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری موردنیاز و توسعه کاربردهای هوش مصنوعی در بخش‌های

مختلف اقتصادی، محیط‌زیست، اجتماعی، کشاورزی، سلامت، انرژی، آموزش و صنعت، بوده که البته لازم است تا با کمک سایر وزارتخانه‌ها و دستگاه‌های دولتی اجرایی شود.

با توجه به تاکید مقام معظم رهبری به لزوم قرار گرفتن ایران جزو ۱۰ کشور برتر حوزه هوش مصنوعی و استفاده از توان آن برای آینده‌سازی و حل مشکلات کشور و نیز با در نظر گرفتن نقش کلیدی وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات در توسعه دولت الکترونیک و هوشمندسازی امور، قطعاً یکی از وظایف مهم وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات ایفای نقش حداکثری در توسعه ملی هوش مصنوعی خواهد بود. این وزارتخانه در حوزه های رگولاتوری هوش مصنوعی، تأمین زیرساخت‌های پردازشی و ذخیره سازی برای بخش‌های پژوهشی و استارت‌آپ‌ها، ایجاد بسترهای به‌اشتراک گذاری داده، ایجاد دادگان پایه جهت توسعه مدل‌ها، ایجاد شبکه‌های همکاری بین دانشگاه، دولت و صنعت، کمک به دستگاه‌های اجرایی کشور در به‌کارگیری حداکثری هوش مصنوعی و تسهیل، پایش و راهبری برنامه ملی توسعه هوش مصنوعی به ایفای نقش خواهد پرداخت.

امید است با اتکا به پروردگار متعال و پیروی از رهنمودهای دایمانه مقام معظم رهبری و با تکیه بر متخصصان داخلی به‌خوبی نقش خود را در توسعه هوش مصنوعی در کشور ایفا نماییم تا مردم از مزایای آن در زندگی بهتر بهره ببرند.

عیسی زارع پور

عنوان پروژه: تدوین نقشه راه ملی هوش مصنوعی

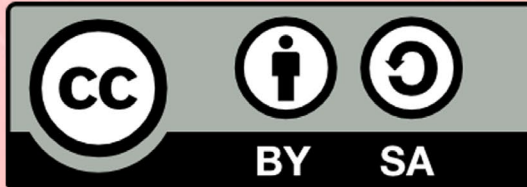
مجری پروژه: دکتر احرام صفری

رئیس مرکز نوآوری و توسعه هوش مصنوعی: دکتر محمدشهرام معین

تهیه‌کنندگان گزارش: خانم‌ها دکتر حمیرا شهرپرست و دکتر راضیه رضایی قره‌باغ و آقایان مهندس امیر فیاض حیدری و دکتر حسین افتخاری.

تقدیر و تشکر:

از کلیه همکاران بزرگوار در مرکز نوآوری و توسعه هوش مصنوعی پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات به‌خصوص آقایان دکتر علی‌اصغر انصاری (رئیس سابق مرکز نوآوری و توسعه هوش مصنوعی)، مهدی عزیزی مهماندوست، مصطفی سلیمان نژاد و خانم‌های مهندس الهام رافتی، مهشاد عظیمی و ملینا اختیاری که در تدوین کتب و کتابچه‌های کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه‌های مختلف مشارکت فعال داشتند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.



در راستای تحقق مأموریت پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات در فراهم سازی سکویی برای ارتقاء دانش، انتقال فناوری و بومی سازی محصولات و خدمات حوزه فاوا و با هدف جلب مشارکت علاقه‌مندان در توسعه و بهره مندی از دستاوردهای پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، آزاد رسانی این دستاوردها در زمره برنامه‌های اولویت دار پژوهشگاه به شمار می آید. به همین منظور مستند حاضر تحت مجوز بین المللی CC-BY-SA نسخه ۴، در دسترس عموم قرار گرفته است. شایان ذکر است تحت این مجوز، ضمن حفظ مالکیت فکری این مستند برای پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، باز انتشار و بکارگیری آن با ذکر نام پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات و تحت شرایط مجوز فوق بلامانع است.

سرفصل مطالب

۶	خلاصه مدیریتی
۸	۱- مقدمه
۹	۲- حوزه‌های اولویت‌دار جهت تمرکز دولت‌ها برای بکارگیری هوش مصنوعی
۱۱	۳- موارد کاربردی هوش مصنوعی در حوزه معدن
۱۲	۳-۱- موارد کاربردی هوش مصنوعی در اکتشاف
۱۴	۳-۲- موارد کاربردی هوش مصنوعی در استخراج
۱۸	۳-۳- موارد کاربردی هوش مصنوعی در بازسازی و احیای زمین
۲۰	۴- شرکت‌های داخلی ارائه‌دهنده خدمات هوش مصنوعی در حوزه معدن
	۵- علم‌سنجی و بررسی وضعیت اسناد علمی منتشر شده در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» در ایران و جهان
۲۱	
	۵-۱- بررسی وضعیت اسناد منتشر شده در جهان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن»
۲۲	
	۵-۲- بررسی وضعیت اسناد منتشر شده در ایران در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن»
۲۶	
۳۳	۶- جمع‌بندی
۳۵	منابع

خلاصه مدیریتی

با توسعه و رشد روزافزون فناوری اطلاعات، و به خصوص فناوری‌های تولید، انتقال، نگهداری و پردازش داده، استفاده از سیستم‌هایی که بتوانند این داده‌ها را درک و تفسیر و یا بر اساس آن‌ها به صورت خودکار عمل کنند، روندی طبیعی در دنیا شده است. این تنها بخشی از علم هوش مصنوعی است. ایجاد سیستم‌های تشخیص خودکار، ربات‌ها، دستیاران شخصی، پیش‌بینی کردن و ... همگی از کاربردهای هوش مصنوعی است. امروزه هوش مصنوعی زندگی بیشتر انسان‌ها را تحت تأثیر قرار داده و در آینده‌ای نه‌چندان دور، بسیاری از امور در کشورهای پیشرفته توسط سامانه‌های هوشمند خودکار و بدون دخالت انسان انجام می‌گیرند. شناخت هر چه بیشتر و بهتر علم هوش مصنوعی به بهبود شرایط زندگی و فضای کسب و کار کمک شایانی خواهد کرد.

در راستای توسعه هوش مصنوعی، پروژه‌ای تحت عنوان «تدوین برنامه توسعه ملی هوش مصنوعی» در پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات انجام شده است. یکی از خروجی‌های این پروژه، شناسایی کاربردهای هوش مصنوعی در زمینه‌های اصلی و اولویت‌دار کشور است. یکی از این اولویت‌ها حوزه معدن بوده که در این کتابچه به کارکردها و کاربردهای هوش مصنوعی در این حوزه پرداخته شده است.

در این کتابچه به بررسی موارد کاربردی هوش مصنوعی در حوزه معدن و نیز آخرین تحولات استفاده از هوش مصنوعی در این حوزه پرداخته شده است. برای فهم و درک بهتر موارد کاربردی هوش مصنوعی در این زمینه و همچنین دسته‌بندی درست کاربردها، درخت‌واره موارد کاربرد هوش مصنوعی بر مبنای زیر حوزه‌ها ترسیم و عناوین موارد کاربرد معرفی شده است. این زیر حوزه‌ها شامل (۱) اکتشاف، (۲) استخراج و (۳) بازسازی و احیای زمین می‌باشند.

تحلیل و ارزیابی شرکت‌های داخلی ارائه‌دهنده خدمات مرتبط با کاربرد های هوش مصنوعی در حوزه معدن، از دیگر مواردی است که در این کتابچه به آن پرداخته شده است. ۵ شرکت فعال ایرانی در این حوزه شناسایی شد که تمرکز آن‌ها عمدتاً بر روی کاربردهای هوش مصنوعی در زمینه‌های مدیریت زه‌کشی و فرونشست زمین است. همچنین در انتهای این کتابچه نیز



به بررسی وضعیت اسناد علمی منتشر شده در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» در ایران و جهان با استفاده از علم‌سنجی پرداخته شده است و مواردی از قبیل کشورهای برتر جهان، کشورهای برتر مطرح در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ جمهوری اسلامی ایران (رقبای منطقه‌ای)، روند انتشار تولیدات علمی در ایران و جهان، نهادهای تأمین مالی برتر در جهان و نویسندگان برتر مقالات در ایران و جهان در این حوزه مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

ظهور هوش مصنوعی می‌تواند راه را برای پیگیری اهداف توسعه پایدار در راستای پیشرفت در زمینه‌های اکتشاف، استخراج و بازسازی و احیای زمین هموار کند. فناوری‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای نظارت بر مدیریت زه‌کشی و درک بهتر از نحوه هوشمندسازی امنیت معدن در حال توسعه هستند. دولت‌ها در سراسر جهان، چه در سطح محلی و چه در سطح مرکزی، در برنامه و استراتژی نقشه راه خود برای پیشرفت در حوزه معدن، از هوش مصنوعی استقبال می‌کنند. امید است این کتابچه بتواند در جهت آگاهی‌رسانی در خصوص زمینه‌های بهره‌وری از هوش مصنوعی در حوزه معدن و نیز کمک به شناخت روند این جریان و آشنایی با روش‌های پرکاربرد در جهت تسریع پیشرفت در این حوزه، گام مهمی بردارد.

در این کتابچه، سعی شده است تا حوزه‌های اولویت‌دار توسعه هوش مصنوعی در کشور، برخی از موارد کاربردی مرسوم هوش مصنوعی در حوزه معدن، شرکت‌های داخلی فعال در استفاده از هوش مصنوعی در این حوزه و علم‌سنجی کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه معدن در ایران و جهان مورد بررسی قرار گیرد.



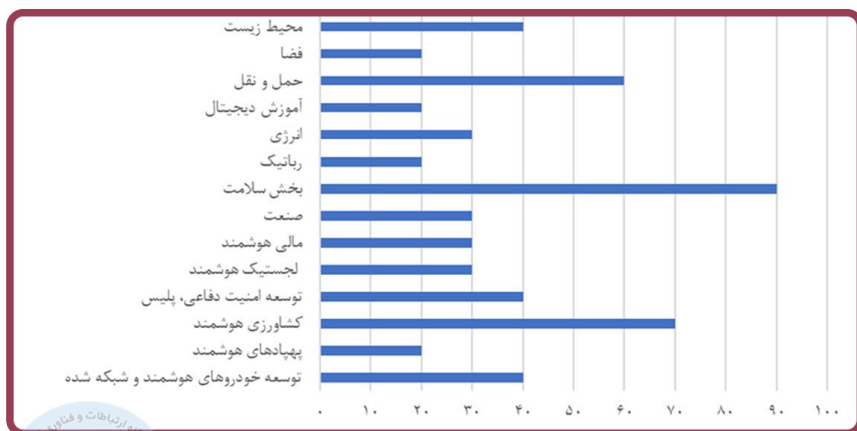
هوش مصنوعی شاخه‌ای از علوم و مهندسی کامپیوتر است که در آن به طراحی و ساخت سامانه‌های هوشمند پرداخته می‌شود. این سامانه‌ها با تقلید از توانایی‌های انسانی از قبیل درک و کشف محیط پیرامون و قدرت یادگیری، سعی در خودکارسازی هر چه بهتر رفتارهای هوشمندانه دارند. امروزه هوش مصنوعی زندگی بیشتر انسان‌ها را تحت تأثیر قرار داده و در آینده‌ای نه‌چندان دور، بسیاری از امور در کشورهای پیشرفته توسط سامانه‌های هوشمند خودکار و بدون دخالت انسان انجام می‌گیرند. شناخت هر چه بیشتر و بهتر علم هوش مصنوعی به بهبود شرایط زندگی و فضای کسب و کار کمک شایانی خواهد کرد. پیشرفت در هوش مصنوعی می‌تواند یکی از راه‌حل‌های بحران‌های بزرگ صنعت معدن - از امنیت معدن گرفته تا مدیریت زه‌کشی - در سطح جهان باشد.

با پیشرفت در یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، می‌توان از قدرت پیش‌بینی هوش مصنوعی برای ایجاد مدل‌های داده‌محور در پیش‌بینی فرایندها استفاده کرد و توانایی مطالعه روندهای فعلی و آینده را بهبود بخشید. هوش مصنوعی همچنین می‌تواند با افزایش رویکرد الگوریتمی در این زمینه، نقش کلیدی در افزایش تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در زمینه معدن را ایفا کند. تحولاتی که فناوری‌های نوین از جمله فناوری دیجیتال در صنعت معدن ایجاد می‌کنند، می‌تواند نحوه برنامه‌ریزی و بهره‌وری معادن، پیش‌بینی اضافه فشار و ارتعاش زمین را به طور چشمگیری تغییر دهد. با توجه به قابلیت‌های متعددی که هوش مصنوعی در پردازش داده ارائه می‌کند، چشم‌پوشی از این فناوری در دیجیتالی نمودن فرایندها غیرممکن شده است. در این کتابچه، پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های هوش مصنوعی و کاربردهای آن در حوزه معدن مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- حوزه‌های اولویت‌دار جهت تمرکز دولت‌ها برای به‌کارگیری هوش مصنوعی

یکی از بخش‌های مهم در سند راهبردی توسعه هوش مصنوعی در کشورهای مختلف، تعیین حوزه‌های قابل تمرکز است که معمولاً بر اساس چالش‌های فعلی و آتی کشورها تعیین می‌گردد. پس از بررسی حوزه‌های قابل تمرکز در راهبرد کشورهای چین، فرانسه، لیتوانی، مکزیک، قطر، سوئد، امارات، انگلستان، آمریکا، آلمان، کانادا، جمهوری چک، استونی، دانمارک، فنلاند، هند، ژاپن، لوکزامبورگ، هلند، نروژ، تایوان، کره جنوبی، سنگاپور و ترکیه، حوزه‌های قابل تمرکز شناسایی و فراوانی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت که در شکل ۱ درصد فراوانی بر اساس حوزه قابل مشاهده می‌باشد.

یکی از اقدامات مهم در سند راهبردی توسعه هوش مصنوعی در ایران، تعیین حوزه‌های اولویت‌دار برای به‌کارگیری هوش مصنوعی است. برای اولویت‌بندی حوزه‌ها، ابتدا ۹ حوزه شامل اقتصاد و خدمات مالی، مسائل زیست‌محیطی، مسائل اجتماعی، کشاورزی، سلامت، حمل‌ونقل و مدیریت شهری، آموزش، انرژی و صنعت، معدن، تجارت با کمک خبرگان شناسایی و سپس حوزه‌های مذکور با استفاده از ۴۹ شاخص (که در دو دسته جذابیت و توانمندی تقسیم شده بود) اولویت‌بندی شد که نتایج در جدول ۱ قابل مشاهده است.



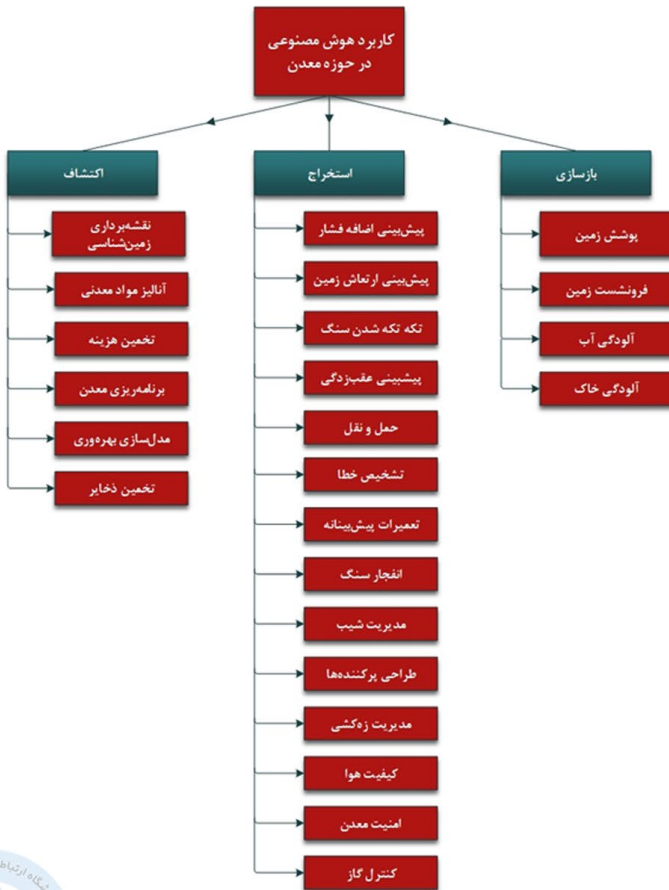
شکل ۱- درصد فراوانی حوزه تمرکز بر اساس کشورهای مورد بررسی

جدول ۱- حوزه‌های قابل تمرکز توسط ایران برای بکارگیری هوش مصنوعی

اولویت‌ها	حوزه کاربرد
اولویت ۱	اقتصاد و خدمات مالی
اولویت ۲	مسائل زیست‌محیطی
اولویت ۳	مسائل اجتماعی
اولویت ۴	کشاورزی
اولویت ۵	سلامت
اولویت ۶	حمل‌ونقل و مدیریت شهری
اولویت ۷	آموزش
اولویت ۸	انرژی
اولویت ۹	صنعت، معدن، تجارت

۳- موارد کاربردی هوش مصنوعی در حوزه معدن

یکی از حوزه‌های قابل تمرکز برای ایران بر اساس جدول ۱ حوزه معدن است. بر اساس شکل ۲، نقش کاربردهای هوش مصنوعی در حوزه معدن را می‌توان به زیرشاخه‌های اکتشاف، استخراج و بازسازی و احیای زمین تقسیم کرد. در خصوص تعداد مقالات، روش‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی استفاده شده در هر زمینه و نتایج و مزیت‌های استفاده شده از هوش مصنوعی در هر زمینه می‌توان به کتاب اصلی که اسناد و جزئیات بیشتری نسبت به این کتابچه در خود جای داده است، مراجعه کرد.



شکل ۲ - درخت‌واره موارد کاربردی هوش مصنوعی در حوزه معدن

۳-۱- موارد کاربردی هوش مصنوعی در اکتشاف

در مرحله اکتشاف، مجموعه بررسی‌های لازم جهت کشف مخازن مواد معدنی جدید، تخمین ذخایر موجود، ارزش سرمایه‌گذاری و امکان‌سنجی احداث معدن انجام می‌شود. در ادامه زیربخش‌های این قسمت با جزئیات بیشتری ارائه شده است.

۱) نقشه‌برداری زمین‌شناسی: یک جایگزین دقیق‌تر و مطمئن‌تر برای نقشه‌برداری زمین‌شناسی، استفاده از ابزار هوش مصنوعی از جمله روش‌های یادگیری ماشین برای خودکارسازی فرایند است. خروجی این برنامه باید مدلی سه‌بعدی از لایه‌های مختلف زمین باشد. نقاط موجود در مدل سه‌بعدی را می‌توان از طریق هوش مصنوعی با چندین مثال ارائه شده به رایانه به عنوان آموزش مجموعه داده انتخاب و طبقه‌بندی کرد.

۲) آنالیز مواد معدنی: فرایند مدرن اکتشاف معدن به طور چشم‌گیری به پردازش پایگاه‌های داده بزرگ و چندمتغیره وابسته است. این داده‌ها شامل داده‌های به‌دست‌آمده از منابع مختلف از جمله داده‌های حفاری و تجزیه و تحلیل هسته، بررسی‌های ژئوفیزیک، نقشه‌برداری زمین‌شناسی و ... بوده و نیازمند ارزیابی‌های مختلف کیفی و کمی بوده که این امر توسط الگوریتم‌های دقیق هوش مصنوعی و یادگیری ماشین صورت می‌پذیرد.

۳) تخمین هزینه: هزینه سرمایه‌گذاری موردنیاز برای راه‌اندازی معدن^۱ یکی از معیارهای اساسی برای ارزیابی امکان‌سنجی احداث یک معدن روباز زیرزمینی است. این مشخصه، ارزش خالص فعلی^۲ پروژه‌ها را در طول عمر معدن به‌شدت تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل در حوزه معادن، مسائل بهینه‌سازی در طراحی و برنامه‌ریزی معدن که توسط تکنیک‌های هوش مصنوعی انجام می‌شود، به‌طور جدی پیگیری و مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

¹ Mining Capital Cost (MCC)

² Net Present Value (NPV)



۴) برنامه‌ریزی معدن: فرایند طراحی معدن مجموعه‌ای از وظایف مهندسی و اقتصادی متقابل است که شامل مراحل انتخاب تجهیزات، تثبیت سطح تولید مناسب و همچنین کاهش هزینه‌های مربوط به خرید و نگهداری تجهیزات مکانیکی است. در این شرایط، تصمیم‌گیری بهینه در صورتی امکان‌پذیر است که نحوه حل هر کدام از مسائل مذکور در هر مرحله به صورت موفقیت‌آمیزی بهینه گردند. مدیریت میزان تولید معدن و برنامه ریزی برای آن نیاز به حل تعدادی از مشکلات استراتژیکی، مشکلات فنی و تکنولوژیکی و مشکلات مرتبط با عوامل انسانی دارد که با استفاده از الگوریتم های هوش مصنوعی به این مهم خواهد رسید.

۵) مدل‌سازی بهره‌وری: مدل‌سازی بهره‌وری اغلب در مقیاس بزرگ انجام می‌شود و شامل مناطقی در سطح ملی یا منطقه‌ای برای تعیین اهداف جدید اکتشافی می‌شود. به دلیل سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در هوش مصنوعی و تکنیک‌های تصویربرداری و پردازش تصویر، دستیابی به مجموعه داده‌های ژئوفیزیکی هوایی، ماهواره‌ای و ژئوشیمیایی با وضوح بالا در مناطق بزرگ مؤثرتر شده است. علاوه بر این، اقدام به بررسی‌های زمین‌شناسی در سطح ملی برای انجام بررسی‌های ژئوفیزیکی هوایی و مطالعات پایه ژئوشیمیایی برای اکتشافات معدنی و اهداف زیست‌محیطی باعث شده که مجموعه داده‌های با کیفیت بالا اغلب به صورت رایگان در دسترس باشند.

۶) تخمین ذخایر: در طول فرایند توسعه مواد معدنی، تعداد زیادی چاه برای اکتشاف مواد معدنی ساخته می‌شود. با تجزیه و تحلیل نمونه‌های جمع آوری شده از این چاه‌ها توسط تکنیک‌های هوش مصنوعی، می‌توان جنس و درجه خلوص سنگ معدن در عمق‌های مختلف هسته را به دست آورد. بر اساس این تحلیل‌ها و روش‌های آماری زمین‌شناسی^۱، درجه سنگ معدن، مرزبندی‌ها و الگوی توزیع سه‌بعدی سنگ معدن به دست خواهد آمد. محدودیت‌های عملیاتی و تجهیزاتی می‌تواند منجر به از دست رفتن بخشی از داده‌ها گردد. این موضوع کاهش دقت در محاسبات ذخایر را به همراه خواهد داشت. در این شرایط الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند به تخمین بهتر ذخایر در شرایط عدم قطعیت کمک کنند.

۳-۲- موارد کاربردی هوش مصنوعی در استخراج

در این بخش، مجموعه کاربردهای هوش مصنوعی در زمینه استخراج مواد معدنی از معادن احداث شده بررسی خواهد شد. در مرحله استخراج، مجموعه کارهایی که جهت حفر، انفجار، مدیریت تجهیزات، پیش‌بینی و تخمین عکس‌العمل‌های زمین و امنیت معدن انجام می‌شود، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه هر کدام از زیربخش‌ها، به تفصیل توضیح داده شده است.

(۱) پیش‌بینی اضافه فشار: فشار هوای اضافه ناشی از انفجار در معادن روباز، عوارض خطرناکی مشابه انفجارهای ناشی از سلاح و بمب را ایجاد می‌کند. این امر می‌تواند به شنوایی، ریه‌ها، مغز و سایر اعضای بدن انسان در اثر افزایش فشار هوا آسیب برساند. برای کنترل اثرات نامطلوب ناشی از فشار هوای اضافه پس از انفجار، می‌توان از روش‌های پیش‌بینی استفاده کرد. مرور ادبیات نشان می‌دهد که هوش تجربی و مصنوعی دو روش اصلی مورد استفاده برای این منظور هستند.

(۲) پیش‌بینی ارتعاش زمین: ارتعاش انفجار یکی از دغدغه‌های اصلی طراحان انفجار است. ارتعاش ناشی از انفجار را می‌توان از نظر شتاب، فرکانس و حداکثر سرعت ذرات^۱ از طریق الگوریتم‌های هوش مصنوعی ارزیابی کرد. در میان این پارامترها، حداکثر سرعت ذرات، مطلوب‌ترین و گسترده‌ترین مورد در پژوهش‌های انجام شده در این زمینه بوده است. از عوامل تأثیرگذار بر مقدار این پارامتر می‌توان به حداکثر شارژ در هر تأخیر، فاصله نقطه نظارت تا منبع انفجار، بار مجموع، عمق سوراخ، قطر سوراخ، ضریب پودر، تعداد سوراخ‌های منفجر شده، تعداد تأخیرها و پارامترهای جرم سنگ اشاره کرد.

(۳) تخمین تکه‌تکه شدن سنگ: تکه‌تکه شدن نامطلوب نیز یکی از نامطلوب‌ترین پیامدهای طراحی انفجار نامناسب است. در عملیات انفجار، تکه‌تکه شدن بهینه سنگ هدف اصلی است. اندازه قطعات ایجاد شده در اقتصاد معدن و فرآوری بسیار مهم است. عوامل تأثیرگذار بر نحوه تکه‌تکه شدن سنگ را می‌توان در دو دسته اصلی خواص توده‌های سنگ و عوامل طراحی انفجار گروه‌بندی کرد.

¹Peak Particle Velocity (PPV)

۴) پیش‌بینی عقب‌زدگی: عقب‌زدگی از پیامدهای نامطلوب طراحی انفجار نامناسب است. این مفهوم را می‌توان به‌عنوان شکستن سنگ‌ها فراتر از محدوده ردیف عقب سوراخ‌ها در الگوی انفجار تعریف کرد. این پدیده می‌تواند باعث ریزش سنگ، بی‌ثباتی دیواره معدن و در نهایت افزایش کل هزینه عملیاتی معدن گردد. برای جلوگیری از مشکل عقب‌زدگی، پارامترهای مختلفی مانند خواص فیزیکی و مکانیکی توده سنگ، مشخصات مواد منفجره و جنبه‌های هندسی الگوی انفجار باید در نظر گرفته شود که این امر با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و تکنیک‌های یادگیری ماشین امکان پذیر است.

۵) حمل و نقل: در معادن روباز، عملیات بارگیری و حمل مواد معدنی تقریباً ۵۰ درصد از کل هزینه بهره‌برداری از معدن را شامل می‌شود؛ بنابراین، طراحی یک سیستم حمل و نقل برای انتقال فرآورده‌ها ضروری است تا نه تنها بهره‌وری معادن و کارایی مدیریت تجهیزات به حداکثر برسد، بلکه هزینه حمل و نقل نیز به حداقل برسد.

۶) تشخیص خطا: در سال‌های اخیر، با اتوماسیون گسترده در معادن، تصادفات مربوط به تجهیزات معدن پیچیده‌تر شده تا جایی که در برخی از کشورها مانند چین، موارد مکرر تلفات معدنچیان و از دست‌دادن اموال ناشی از خرابی تجهیزات معدن رخ داده و گزارش شده است. خرابی‌ها و خطاهای گزارش شده در حوزه معدن عمدتاً ناشی از استفاده نادرست یا تعمیر و نگهداری نامناسب از تجهیزات از جمله تسمه یا عدم تشخیص به‌موقع خطا در سیستم بوده است. این امر نیز ناشی از مشکلات موجود در تشخیص خرابی تجهیزات در زمان واقعی و هنگام بروز خطا بوده است. هوش مصنوعی می‌تواند با استفاده از الگوریتم‌های مربوطه این خرابی‌ها را در زمان مناسب تشخیص دهد.

۷) تعمیرات پیش‌بینانه: در برخی از معادن، هزینه تعمیر و نگهداری ممکن است ۵۰ تا ۶۰ درصد از کل هزینه‌ها را نیز تشکیل دهد. امروزه رکود اقتصادی جهانی شرکت‌های معدنی را مجبور کرده تا با افزایش مکانیزاسیون و اتوماسیون، در جهت بهره‌برداری و تعمیرات بهینه قدم بردارند. برای این منظور، طراحی و استفاده از سیستم‌های تجهیزات معدن با قابلیت اطمینان و قابلیت تعمیرات و نگهداری بهتر برای مهندسان و مدیران معدن بسیار مطلوب و سودآور است و موجب افزایش امکان یکسان‌سازی با نوسانات بازار و ارضای انتظارات سهام‌داران خواهد شد. تعمیر و نگهداری سنتی به دو صورت از پیش برنامه‌ریزی شده و یا پیشگیرانه، توسط تکنیک‌های هوش

مصنوعی قابل پیاده‌سازی است.

۸ انفجار سنگ: در سازه‌های عمیق زیرزمینی، انفجار سنگ^۱ یک نوع رویداد مکرر است که در اثر فشار بیش از حد بر توده سنگ یا سنگ شکننده دست‌نخورده هنگامی که تنش‌ها از مقاومت فشاری موضعی مواد بیشتر می‌شوند، ایجاد می‌شود. این امر می‌تواند باعث شکستگی یا در بدترین موارد، شکست ناگهانی و شدید توده سنگ شود. این پدیده می‌تواند در سیستم‌های حمل و نقل، پروژه‌های برق آبی و عملیات معدنی رخ دهد. انفجارهای سنگی می‌تواند باعث صدمات جدی و اغلب کشنده شود؛ بنابراین ارزیابی خطر انفجار سنگ جهت درک بهتر الگوهای وقوع و اجتناب از این رویدادها و تلفات جانی و مالی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. پیش بینی و ارزیابی این رخدادها توسط تکنیک‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به راحتی انجام می‌شود.

۹ مدیریت شیب: با تنوع موجود در نظارت بر شیب گودال معادن و توسعه فناوری‌های جدید مانند نظارت بر جریان داده‌های چندمنظوره توسط علم هوش مصنوعی، سیستم عادی پردازش گزارش هشدار نمی‌تواند انتظار تجزیه و تحلیل حفره‌ها را در مقیاس داده‌های بزرگ برآورده کند.

۱۰ طراحی پرکننده: پرکننده‌ها و خاکریزهای زیرزمینی نقش مهمی در صنعت معدن بازی می‌کنند و یکی از عناصر کلیدی در عملکرد معمول بسیاری از معادن زیرزمینی می‌باشند. نقش اصلی این پرکننده‌ها بهبود پایداری زمین و کاهش نرخ رقیق شدن سنگ معدن است. از دیگر مزایای آن می‌توان به کاهش دفع زباله‌های معدنی سطحی اشاره کرد که به نوبه خود برخی از مشکلات مانند خرابی سد دبی یا تخلیه اسید معدن، مربوط به مدیریت ضایعات معدنی را کاهش داده و حتی از بین می‌برد. برای اطمینان از طراحی امن و مقرون به صرفه این پرکننده‌ها، لازم است که مقاومت مخزن به اندازه کافی بالا باشد تا بتواند حداقل در طول استخراج از حفره‌های مجاور پایدار بماند.

¹ Rockburst



(۱۱) مدیریت زه‌کشی: به‌منظور بهبود پایداری شیب، جلوگیری از اکسیداسیون سولفیدهای فلزی و کاهش خوردگی سایت و تجهیزات معدنی نیاز به زه‌کشی مناسب سایت‌های معدنی برای تخلیه مناسب آب وجود دارد. کیفیت زه‌کشی آب به مجموعه‌ای از عوامل زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی و معادن بستگی دارد که می‌تواند از یک معدن به دیگری به میزان قابل توجهی متفاوت باشد. در این راستا مطالعاتی برای به‌کارگیری و استفاده از تکنیک‌های متنوع هوش مصنوعی به‌ویژه یادگیری ماشین برای تسهیل این خواسته انجام شده است.

(۱۲) کیفیت هوا: در تعدادی از پژوهش‌ها به بررسی، پیش‌بینی و کنترل سطح آلاینده‌ها و کیفیت هوای معادن زیرزمینی با استفاده از قابلیت‌های حسگرها در ثبت داده‌ها، ارسال داده توسط فناوری اینترنت اشیا و پردازش داده توسط هوش مصنوعی پرداخته شده است.

(۱۳) امنیت معدن: بهبود سلامت و ایمنی کارگران در صنعت معدن ممکن است به آسانی و با روش‌هایی که در این زمینه شناخته شده و اعمال شده است، قابل دستیابی نباشد. در این راستا نیاز به تکنیک‌های بهبودیافته برای استفاده بهتر از داده‌های موجود برای توانمندسازی مدیران، قانون‌گذاران، مهندسان و کارگران خواهد بود تا روند ایمنی کارگران معدن سیری صعودی داشته باشد. تکنیک‌های هوش مصنوعی قابلیت این کار را دارند.

(۱۴) کنترل گاز: اندازه‌گیری میزان گاز متان به‌صورت سنتی توسط انسان بوده است. باین‌حال، این روش نه‌تنها وقت‌گیر و پرهزینه است بلکه برای این افراد در معادن زیرزمینی خطرناک است. استفاده از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی نقش انسان‌ها را در این فرایند حذف می‌کند.



۳-۳- موارد کاربردی هوش مصنوعی در بازسازی و احیای زمین

در این بخش زیربخش‌های مربوط به مرحله بازسازی و احیای زمین آورده شده است. در مرحله بازسازی و احیای زمین در صنعت معدن، ارزیابی‌ها و اقدامات لازم جهت بازگرداندن زمین حفاری شده به حالت سابق و یا کم کردن آثار منفی فرایند معدن‌کاری بر محیط‌زیست انجام خواهد شد. در ادامه به زیربخش‌های مرحله بازسازی و احیای زمین پرداخته خواهد شد.

(۱) پوشش زمین: پاک‌سازی زمین برای عملیات معدنی و زیرساخت‌های مربوطه و احیای معادن بسته می‌تواند منجر به تغییر وسیع در پوشش زمین گردد؛ بنابراین، نظارت دقیق و به‌موقع تغییرات پوشش زمین یکی از جنبه‌های مهم نظارت بر محیط‌زیست است. در همین راستا، شرکت‌های معدنی با یکپارچه‌سازی منابع مختلف اطلاعات و داده‌های موجود از جمله سوابق بهره‌برداری مانند (حفاری و دسترسی به جاده)، فعالیت‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، داده‌های پاک سازی و احیای زمین را در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ ثبت می‌کنند.

(۲) فرونشست زمین: فرونشست زمین می‌تواند به سازه‌های سطحی، از جمله خانه‌ها، ساختمان‌ها، راه‌آهن و جاده‌ها آسیب برساند و یا حتی خطرات و صدمات جانی را به همراه داشته باشد. از آنجاکه بازیابی زمین پس از وقوع فرونشست زمین یک چالش بزرگ و امری پرهزینه است، عملیات احتیاطی و استراتژی‌های مناسب برای جلوگیری از این پدیده بسیار مهم است که این امر با تکنولوژی‌های هوش مصنوعی قابل اجرا است.

(۳) آلودگی آب: هنگامی که AMD تولید می‌شود، آب می‌تواند این مواد سمی را به محیط منتقل کرده و مخازن آبی را آلوده نماید. پیش‌بینی شیمیایی زه‌کشی توسط الگوریتم‌های پیش‌بینی هوش مصنوعی در آینده برای ارزیابی خطرات احتمالی زیست‌محیطی AMD و اجرای اقدامات مناسب بسیار مهم است. باین‌حال، این پیش‌بینی می‌تواند بسیار چالش‌برانگیز باشد؛ زیرا شکل‌گیری آن بسیار متغیر است و بسته به ویژگی‌های کانی‌شناسی و سایر عوامل بهره‌برداری و محیطی از محلی به محل دیگر متفاوت است.

¹ Geographical Information System (GIS)



۴) آلودگی خاک: آگاهی از محیط زیست یک مفهوم نسبتاً مدرن است و قوانین مربوط به آن در دهه‌های انتهایی قرن بیستم وضع شده است؛ بنابراین مطالعاتی برای بررسی تأثیر معادن بر این مناطق حفاظت شده در سراسر جهان در سال‌های اخیر افزایش یافته است. در زمینه فوق‌الذکر، استخراج در معادن موجب آزادسازی مکرر عناصر بالقوه سمی^۱ است. این مواد شامل عناصر فلزی یا متالوئیدها که می‌توانند محیط را به‌طور جدی تهدید کرده و در صورت غلظت زیاد، تهدیدی برای سلامتی انسان باشند.

۴- شرکت‌های داخلی ارائه‌دهنده خدمات هوش مصنوعی در حوزه معدن

بر اساس اطلاعات موجود در سایت معاونت علمی و فناوری، از بین شرکت‌های ایرانی ارائه‌دهنده خدمات هوش مصنوعی، ۵ شرکت در حوزه معدن شناسایی شد که سطح پوشش کاربردها توسط آن‌ها در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲ - سطح پوشش کاربردهای حوزه خدمات هوش مصنوعی در حوزه معدن توسط شرکت‌های داخلی

عنوان مورد کاربرد	مؤسسه سنجش از دور بصیر	فناوری آوید نت	محاسبات نرم‌افزاری اطلاعات و ارتباطات آرتا	هوش آنچون صنعت البرز	مقاوم‌المان سازان
اکتشاف			✓		
استخراج	✓	✓		✓	✓
بازسازی و احیای زمین		✓		✓	

۵- علم‌سنجی و بررسی وضعیت اسناد علمی منتشر شده در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» در ایران و جهان

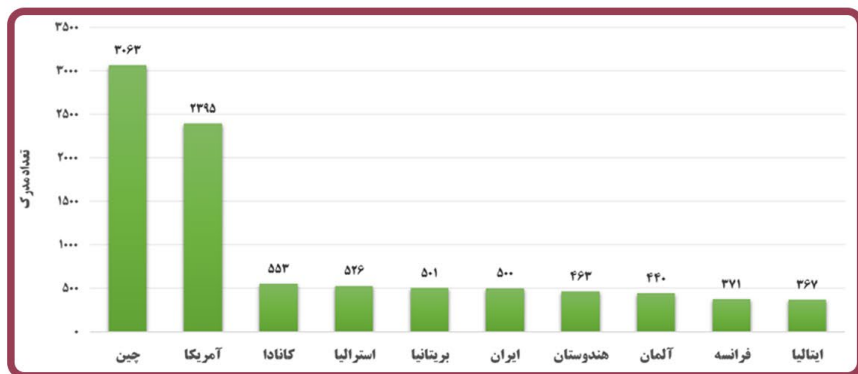
یافته‌های حاصل از مطالعات سنجش و ارزیابی علم، فناوری و نوآوری از مهم‌ترین ابزارهای سیاست‌گذاری در هر کشور به شمار می‌رود. بهره‌گیری از ابزارهای سنجش علم بر پایه استفاده از روش‌های آماری، امکان تعیین معیارهای رشد و توسعه علوم و تأثیر آن بر جوامع بشری برای ارائه آخرین دستاوردهای علمی محققان را فراهم نموده است. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های کمی ارزیابی علمی برای مقایسه کشورها، دانشگاه‌ها، مؤسسات علمی و نویسندگان، بسیار مورد توجه سیاست‌گذاری‌های علمی قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین روش‌های سنجش کمیت و کیفیت تولید علم در جهان، روش علم‌سنجی است که فنون مختلف آن، از نیمه دوم قرن بیستم ارائه شده و در سطح وسیعی به کار برده می‌شوند. هدف این بخش به کارگیری ابزار علم‌سنجی جهت بررسی وضعیت اسناد علمی منتشر شده در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» در ایران و جهان است. جامعه پژوهش شامل کلیه اسناد علمی است که در پایگاه «اسکوپوس» تا پایان سال ۲۰۲۰ نمایه شده‌اند. در ابتدا، کلیه اسناد مربوطه شامل (مقاله، کتاب، فصل کتاب، گزارش‌های علمی و ...) در این حوزه از پایگاه «اسکوپوس» استخراج شدند. در گام بعدی وضعیت اسناد بازیابی شده جهان در این حوزه بین سال‌های ۱۹۵۸ تا ۲۰۲۰ میلادی (۱۱۷۳۴ سند) و اسناد منتشر شده ایران در این حوزه بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ میلادی (۵۰۰ سند) در مواردی همچون کشورهای برتر جهان، کشورهای برتر مطرح در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ جمهوری اسلامی ایران (رقبای منطقه‌ای)، روند انتشار تولیدات علمی در ایران و جهان، نهادهای تأمین مالی برتر در جهان و نویسندگان برتر ایران و جهان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همچنین نقشه‌های دانشی (زیر حوزه‌های موضوعی) و نقشه همکاری‌های بین‌المللی کشور ایران نیز ترسیم شده است.



۵-۱- بررسی وضعیت اسناد منتشر شده در جهان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن»

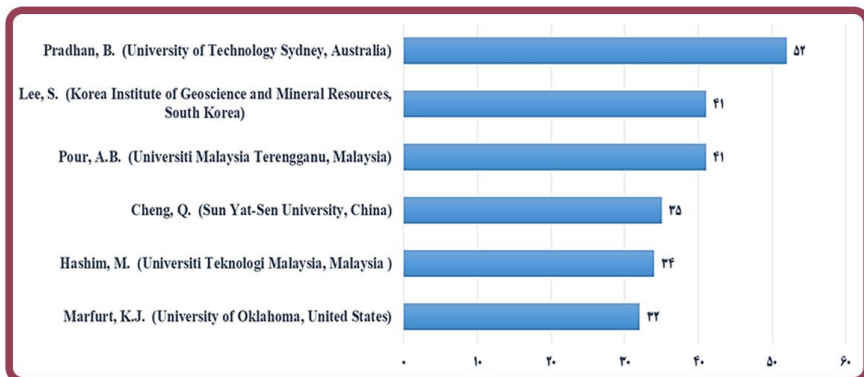
در این بخش، اسناد مرتبط با «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» در جهان استخراج شده‌اند. برای این منظور و با استفاده از نظرات خبرگان و همچنین مطالعه ادبیات موجود، مهم‌ترین واژگان در این حوزه شناسایی شده و با جستجو در پایگاه استنادی اسکوپوس، تعداد ۱۱۷۳۴ سند شامل (مقاله، کتاب و ...) بین سال‌های ۱۹۵۸ تا ۲۰۲۰ میلادی استخراج و بازیابی شده است که در ادامه به تحلیل نتایج به‌دست‌آمده پرداخته خواهد شد.

رتبه‌بندی کشورهای دارای بیشترین سند منتشر شده در جهان در شکل ۳ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است کشورهای چین، ایالات متحده آمریکا، کانادا، استرالیا و بریتانیا در صدر این رتبه‌بندی قرار دارند و از قاره آسیا نیز کشورهای چین، ایران و هندوستان در بین ۱۰ کشور برتر قرار دارند.



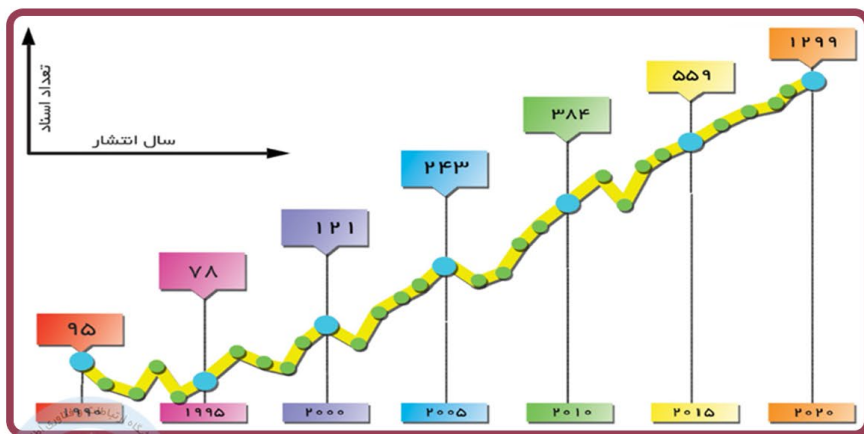
شکل ۳- کشورهای دارای بیشترین سند منتشر شده در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۵۸)

نویسندگان این حوزه در جهان، با بیشترین تعداد سند منتشر شده (۶ نویسنده برتر) نیز در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- نویسندگان برتر جهان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال های ۱۹۵۸-۲۰۲۰)

روند و تعداد اسناد منتشر شده در جهان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» در شکل ۵ نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل مشخص است، روند انتشار اسناد در این حوزه صعودی است که نشان دهنده جذابیت این حوزه و توجه ویژه پژوهشگران به آن است.



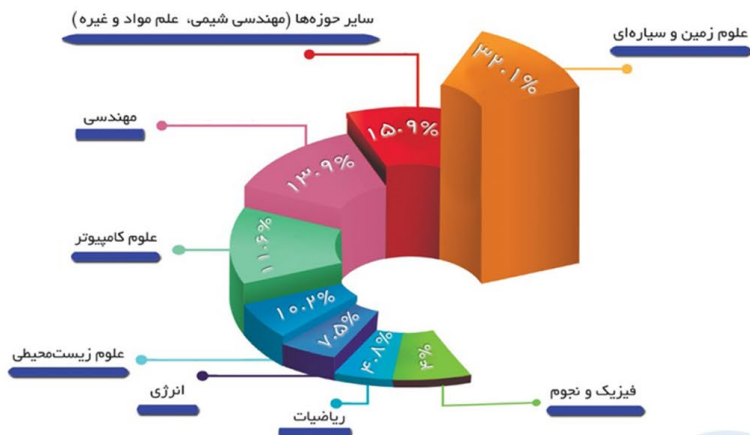
شکل ۵- روند اسناد منتشر شده جهان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن»

همچنین ۱۰ دانشگاه، مؤسسه و مرکز تحقیقاتی در جهان که بیشترین تعداد سند را در این زمینه منتشر نموده‌اند در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- ده دانشگاه، مؤسسه و مرکز تحقیقاتی برتر جهان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۵۸)

ردیف	نام دانشگاه، مؤسسه و مرکز تحقیقاتی	تعداد سند منتشر شده
۱	آکادمی علوم چین	۳۴۳
۲	دانشگاه علوم زمین چین	۳۰۵
۳	وزارت آموزش چین	۱۹۳
۴	سازمان زمین‌شناسی آمریکا	۱۵۹
۵	دانشگاه جیلین چین	۱۲۸
۶	شرکت شلومبرگر	۱۲۲
۷	دانشگاه ووهان	۱۱۳
۸	دانشگاه نفت چین	۱۰۹
۹	دانشگاه استفورد	۱۰۷
۱۰	دانشگاه معدن و فناوری چین	۱۰۵

وضعیت و میزان اسناد منتشر شده جهان در حوزه‌های موضوعی مختلف مرتبط با «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» نیز در شکل ۶ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشخص است، حوزه‌های علوم زمین و سیاره‌ای، مهندسی و علوم کامپیوتر دارای بیشترین میزان سند منتشر شده در این حوزه در جهان هستند.



شکل ۶- درصد اسناد منتشر شده جهان در حوزه‌های موضوعی مختلف مرتبط با «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۵۸)

در نهایت وضعیت نهادهای تأمین‌کننده مالی برتر جهان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» نیز در جدول ۴ نشان داده شده است. مطابق با اطلاعات جدول ۴، اغلب نهادهای تأمین‌کننده مالی مربوط به ۲ کشور آمریکا و چین هستند.

جدول ۴- نهادهای تأمین‌کننده مالی برتر جهان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۵۸)

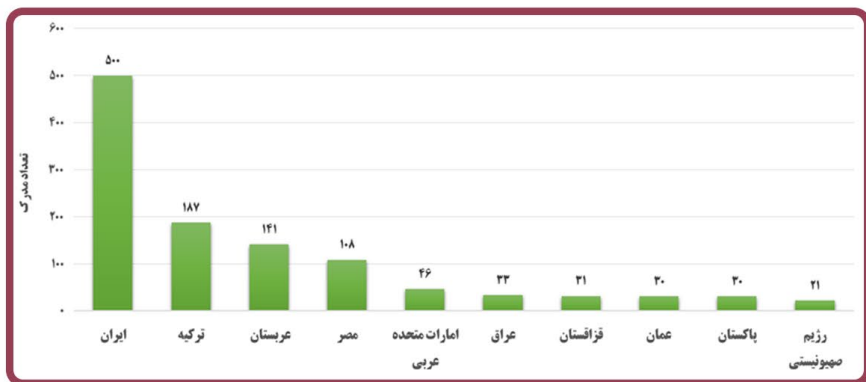
ردیف	نهاد	تعداد سند منتشر شده
۱	بنیاد ملی علوم طبیعی چین	۷۸۹
۲	وزارت علم و فناوری چین	۱۸۱
۳	برنامه ملی تحقیق و توسعه چین	۱۵۹
۴	بنیاد ملی علوم	۱۳۸
۵	بودجه تحقیقات بنیادی برای دانشگاه‌های مرکزی	۱۳۱
۶	وزارت آموزش چین	۱۱۶
۷	وزارت انرژی آمریکا	۹۸
۸	شورای تحقیقات علوم طبیعی و مهندسی کانادا	۹۷
۹	اداره کل ملی هوانوردی و فضا	۹۲
۱۰	سازمان زمین‌شناسی آمریکا	۸۲



۵-۲- بررسی وضعیت اسناد منتشر شده در ایران در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن»

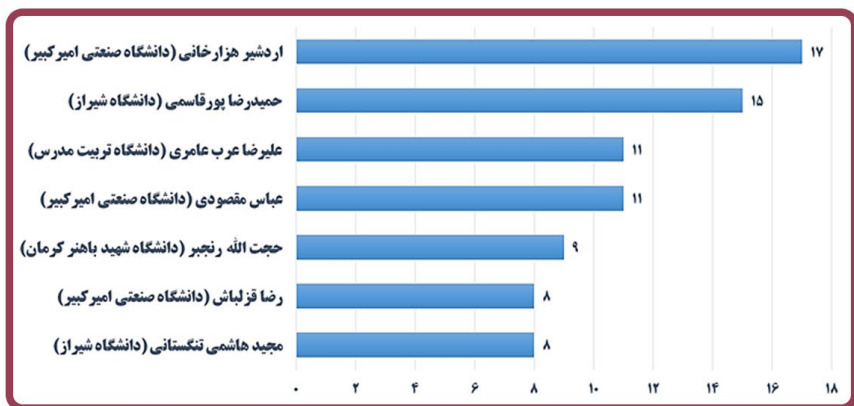
همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، ۱۱۷۳۴ سند در جهان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» از پایگاه اسکوپوس بازیابی شدند. پس از محدود نمودن این نتایج به کشور ایران، مشخص شد که تعداد نتایج حاصله برابر با ۵۰۰ سند شامل (مقاله، کتاب و...) بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۲۰ میلادی می‌باشند که از این پایگاه بازیابی شده و در ادامه به تحلیل نتایج به‌دست‌آمده خواهیم پرداخت.

وضعیت و جایگاه ایران در میان رقبای مطرح در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ جمهوری اسلامی ایران در شکل ۷ نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشخص است، کشورهای ایران، ترکیه و عربستان کشورهای برتر منطقه در این حوزه به شمار می‌آیند.



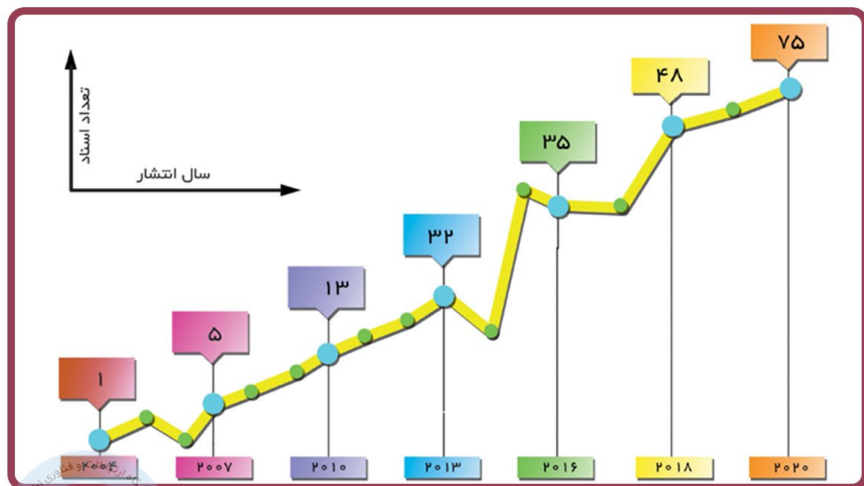
شکل ۷- جایگاه ایران در میان رقبای مطرح در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۲۰)

نویسندگان این حوزه در ایران، با بیشترین تعداد سند منتشر شده (۷ نویسنده برتر) در شکل ۸ نشان داده شده است. مطابق با این شکل، اردشیر هزارخانی و حمیدرضا پورقاسمی نویسندگان برتر در کشور ایران هستند.



شکل ۸- نویسندگان برتر ایران در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال های ۲۰۲۰-۱۹۹۷)

تعداد اسناد منتشر شده در ایران در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» و روند آن در شکل ۹ نشان داده شده است. مطابق با این شکل، انتشار اسناد این حوزه در ایران، روندی صعودی دارد که نشان دهنده اهمیت بالای این حوزه است.



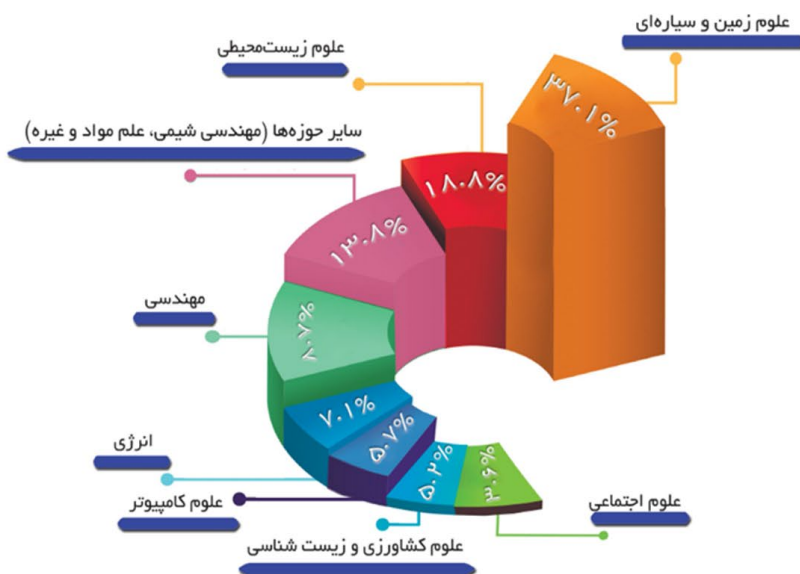
شکل ۹- روند اسناد منتشر شده ایران در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن»

همچنین ۱۰ مؤسسه، دانشگاه و مرکز تحقیقاتی در ایران که بیشترین تعداد اسناد را در این زمینه منتشر نموده‌اند، در جدول ۵ نشان داده شده است. مطابق با جدول مذکور، دانشگاه تهران، دانشگاه آزاد اسلامی (کلیه واحدها) و دانشگاه صنعتی امیرکبیر رتبه‌های اول تا سوم را در میان دانشگاه‌های ایران به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۵- ده دانشگاه، مؤسسه و مرکز تحقیقاتی برتر ایران در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۷)

ردیف	نام دانشگاه، مؤسسه و مرکز تحقیقاتی	تعداد سند منتشر شده
۱	دانشگاه تهران	۹۱
۲	دانشگاه آزاد اسلامی (کلیه واحدها)	۸۷
۳	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	۶۴
۴	دانشگاه تربیت مدرس	۴۷
۵	دانشگاه شیراز	۴۵
۶	دانشگاه شهید باهنر کرمان	۳۱
۷	دانشگاه صنعتی شاهرود	۳۱
۸	دانشگاه تبریز	۲۷
۹	دانشگاه صنعت نفت	۱۸
۱۰	دانشگاه صنعتی اصفهان	۱۷

وضعیت و میزان اسناد منتشر شده در حوزه‌های موضوعی مختلف مرتبط با «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» در ایران نیز در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، پژوهشگران ایرانی در حوزه‌های گوناگون و متنوعی همچون (علوم زمین و سیاره‌ای، علوم زیست‌محیطی، مهندسی و ...) در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» فعالیت می‌کنند.



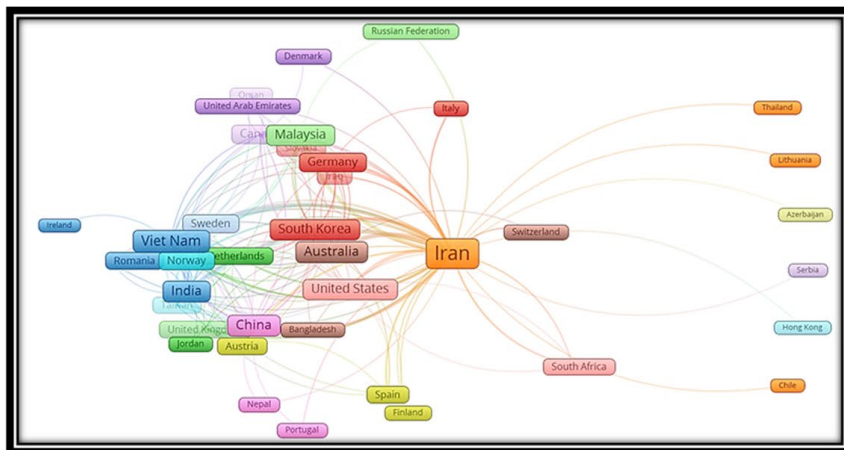
شکل ۱۰ - درصد اسناد منتشر شده ایران در حوزه‌های موضوعی مختلف مرتبط با «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۷)

مطابق با نتایج به دست آمده و همان طور که در جدول ۶ مشخص است، محققان کشور ایران با محققان کشورهای همچون استرالیا، آمریکا، مالزی، ویتنام و هند بیشترین میزان همکاری در این حوزه را داشته‌اند.

جدول ۶ - میزان مشارکت پژوهشگران کشورمان در زمینه تدوین مقالات «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» با پژوهشگران سایر کشورها (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۷)

ردیف	نام کشور	تعداد همکاری مشترک با ایران
۱	استرالیا	۳۵
۲	آمریکا	۳۳
۳	مالزی	۳۱
۴	ویتنام	۳۰
۵	هند	۲۴
۶	چین	۲۱
۷	کانادا	۲۰
۸	کره جنوبی	۲۰
۹	آلمان	۱۳
۱۰	بریتانیا	۱۱

وضعیت ارتباطات و همکاری‌های میان ایران و سایر کشورها در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱ - نقشه ارتباطات بین‌المللی کشور ایران در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۷)

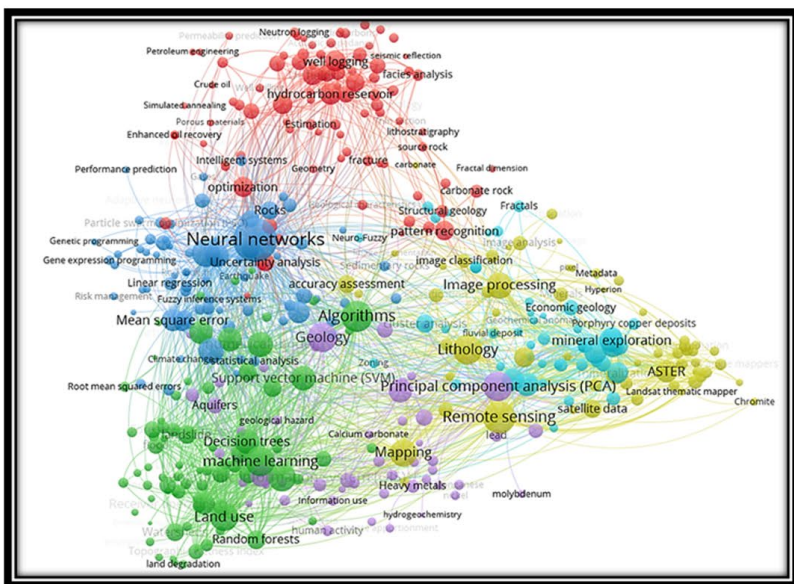


در ادامه و به منظور ترسیم ساختار حوزه دانشی «کاربرد هوش مصنوعی در زمینه معدن» در ایران، در ابتدا با استفاده از خروجی‌های حاصل از پایگاه «اسکوپوس» و با بهره‌گیری از نرم‌افزار Bibexcel، تحلیل واژگان مربوطه در ۵۰۰ سند انجام شده است. در این قسمت لغات با بیشترین تکرار، از لغات موجود در اسناد استخراج شده است. این کار باعث می‌شود که لغاتی که تکرار کمتری در این اسناد دارند، حذف شده و شبکه نیز فقط بر روی نمایش لغات مهم در این حوزه متمرکز شود. در جدول ۷ برخی از واژه‌های با تکرار بالا در اسناد ایران نشان داده شده است.

جدول ۷ - پرتکرارترین واژگان در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (مستخرج از اسناد کشور ایران) (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۷)

تعداد تکرار	واژه
۱۶۱	Neural networks
۷۰	remote sensing
۶۴	Principal component analysis (PCA)
۶۲	Algorithms
۵۸	Geology
۵۶	machine learning
۵۳	Image processing
۵۲	Forecasting
۵۱	Geographic information system (GIS)
۴۹	lithology

در ادامه، شبکه هم واژگانی برای تمامی کلمات کلیدی مطرح، و در اسناد علمی ایران ترسیم شده است. شکل ۱۲ میزان ارتباط و تکرار هر واژه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲ - شبکه هم واژگانی کشور ایران در زمینه «کاربرد هوش مصنوعی در حوزه معدن» (سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۷)

کوچک یا بزرگ بودن دایره‌ها در این شکل نشان‌دهنده میزان تکرار هر واژه در این حوزه است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، واژگانی همچون "شبکه‌های عصبی"، "سنجش‌ازدور" و "زمین‌شناسی" چون دایره‌های بزرگ‌تری دارند، در واقع بیشترین تکرار در میان اسناد منتشر شده در این حوزه در ایران را به خود اختصاص داده‌اند.

این کتابچه به بررسی موارد کاربردی هوش مصنوعی در حوزه معدن و نیز آخرین تحولات استفاده از هوش مصنوعی در این حوزه پرداخته است. در این کتابچه برای درک بهتر موارد کاربردی هوش مصنوعی در این زمینه و همچنین دسته‌بندی درست کاربردها، درختواره موارد کاربرد هوش مصنوعی بر مبنای زیر حوزه‌ها ترسیم و عناوین آنها معرفی شده است. زیر حوزه‌ها شامل (۱) اکتشاف، (۲) استخراج و (۳) بازسازی و احیای زمین می‌باشند که این دسته‌بندی باتوجه‌به مطالعات انجام شده و عناوین مطرح شده در مقالات علمی به‌دست‌آمده است.

تحلیل و ارزیابی شرکت‌های داخلی ارائه‌دهنده خدمات مرتبط با کاربرد های هوش مصنوعی در حوزه معدن، از دیگر مواردی است که در این کتابچه به آن پرداخته شده است. ۵ شرکت فعال ایرانی در این حوزه شناسایی شد که تمرکز آنها عمدتاً بر روی کاربردهای هوش مصنوعی در زمینه‌های مدیریت زه‌کشی و فرونشست زمین است. تعداد محدود این شرکت‌ها نشان دهنده عدم توجه کسب‌وکارها و شرکت‌های فعال هوش مصنوعی به حوزه معدن است. قطعاً هوش مصنوعی می‌تواند در زمینه معدن و بخش‌ها مختلف آن مفید واقع شود و حجم قابل‌توجهی از منابع و هزینه‌ها را مدیریت و یا بسیاری از خطرات و مشکلات را پیش‌بینی نماید.

با توجه به مطالب بیان شده در این کتابچه، هوش مصنوعی می‌تواند در زمینه‌های اکتشاف، استخراج و بازسازی و احیای زمین در حوزه معدن به فعالان این حوزه کمک نماید. فناوری‌ها و الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای نظارت بر مدیریت زه‌کشی و درک بهتر از نحوه هوشمندسازی امنیت معدن، در حال توسعه هستند.

نتایج به‌دست‌آمده در بخش علم‌سنجی نیز نشان می‌دهد که کشورهای چین، آمریکا و کانادا دارای بیشترین سند منتشر شده در جهان در این حوزه هستند. از طرفی ایران در میان کشورهای منطقه در این حوزه، جایگاه نخست را در تولید علم کسب کرده است.

تحقیقات نشان می‌دهد، بیشترین روش‌هایی که در این حوزه به کار گرفته شده است شامل شبکه‌های عصبی، پردازش سیگنال و سنسور، پیش‌بینی، یادگیری ماشین و پردازش تصویر بوده است و بیشترین محققان فعال در این حوزه شامل اساتید و دانشجویان حوزه علوم زمین و سیاره‌ای و

و مهندسی هستند. با وجود اینکه سالانه میزان تحقیق و توسعه در حوزه معدن پیشرفت قابل توجهی دارد اما این تحقیقات در زمینه کاربرد هوش مصنوعی کافی نیست؛ بنابراین می‌توان گفت که هنوز هوش مصنوعی در ایران بر اساس نیاز این حوزه فعالیت مورد انتظار را نداشته است.

۱. فهرست شرکتهای دانش‌بنیان <https://daneshbonyan.isti.ir>
۲. صفری، احرام و همکاران، تدوین برنامه توسعه ملی هوش مصنوعی، ۱۴۰۰، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات.
۳. پرتال مرکز نوآوری و توسعه هوش مصنوعی <https://ai-center.ir>





www.ai-center.ir
[@aicenter.itrc.ir](https://twitter.com/aicenter.itrc.ir)
ai-center@itrc.ac.ir
www.itrc.ac.ir

آدرس: تهران، انتهای خیابان کارگر شمالی، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات

اطلاعات تماس: ۸۸۰۰۵۰۲۰

نمابر: ۸۸۶۳۵۵۸۸