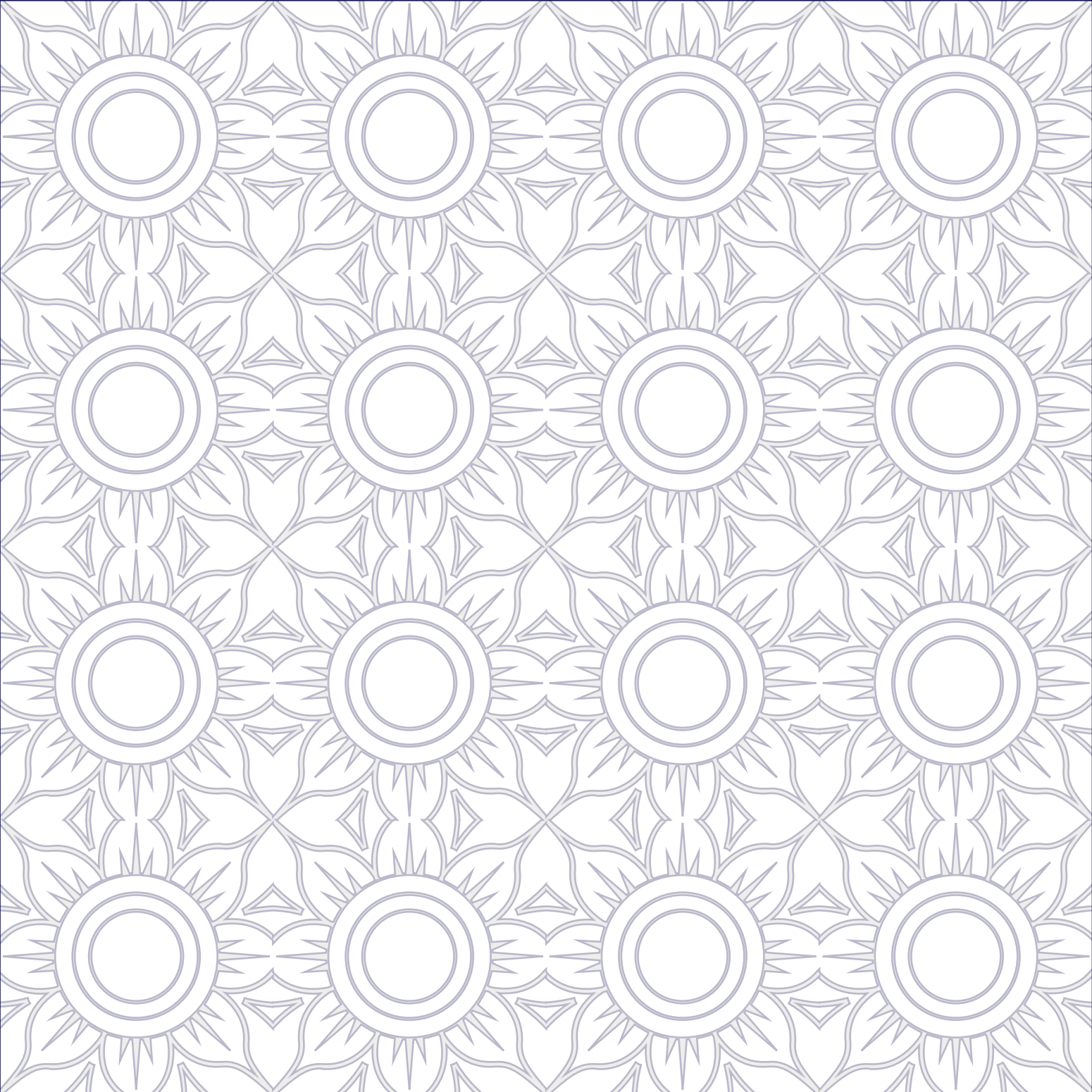


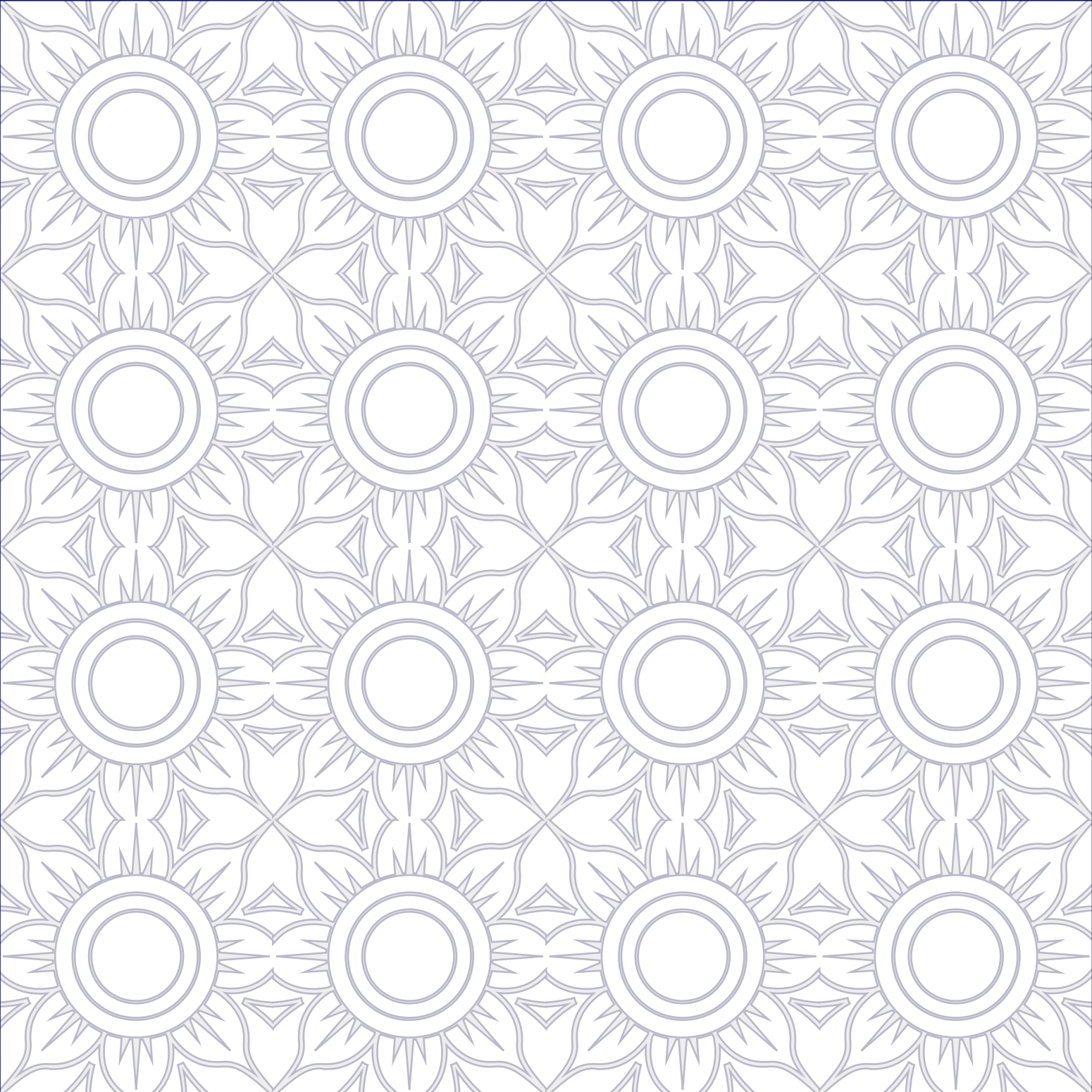


**نظام نوآوری شرکتی؛  
مدلی برای توسعه هوش مصنوعی در صنایع معدنی**





حَدَّثَنَا  
الْحَمْدُ لِلَّهِ  
الْحَمْدُ لِلَّهِ





گزارش سیاستی

# نظام نوآوری شرکتی؛ مدلی برای توسعه هوش مصنوعی در صنایع معدنی





وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات  
پژوهشگاه ارتباطات  
و فناوری اطلاعات



## شناسنامه گزارش

### مشخصات پروژه

#### عنوان گزارش:

نظام نوآوری شرکتی؛ مدلی برای توسعه هوش مصنوعی در صنایع معدنی

#### کارفرما:

دفتر توسعه فناوری های نوین و تحول دیجیتال وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات

#### تهیه کنندگان گزارش:

محمد جواد جاویدی، احمد رضا سازگارنژاد، محمد صادق سلحشور، سجاد شیعه و امیررضا سالاری

#### طراح جلد و صفحه آرا:

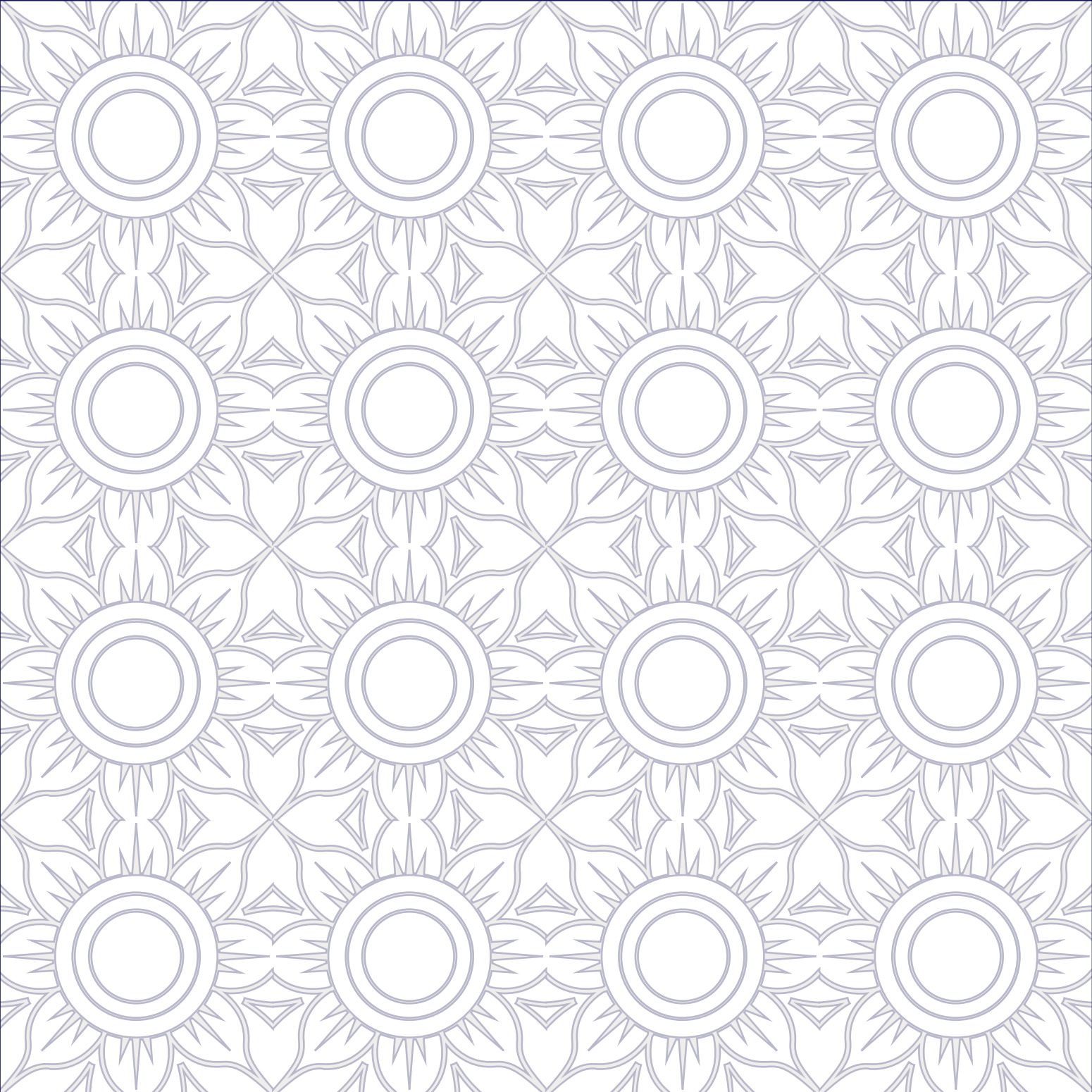
علی قربی

#### تاریخ تدوین:

اردیبهشت ۱۴۰۳

## فهرست

۱. خلاصه مدیریتی.....
۳. مقدمه.....
۴. آشنایی با زنجیره ارزش بخش معدن و صنایع معدنی و فلزی.....
- ۴-۱. ۱- اکتشاف معادن.....
- ۶-۱. ۲- استخراج و بهره‌برداری.....
- ۸-۱. ۳- فرآوری.....
- ۹-۱. ۴- صنایع فلزی.....
- ۱۰-۱. ۵- فعالیت‌های پشتیبان.....
- ۱۰-۲. تحول دیجیتال در حوزه معدن.....
- ۱۲-۳. هوش مصنوعی در صنایع معدنی.....
- ۱۵-۳-۱. هوش مصنوعی در اکتشاف معادن.....
- ۲۵-۳-۲. هوش مصنوعی در فرایند استخراج معادن.....
- ۳۶-۳-۳. هوش مصنوعی در فرآوری.....
- ۴۰-۳-۴. مروری بر چالش‌ها و موانع تحول دیجیتال و هوشمندسازی بخش معدن.....
- ۴۴-۳-۵. نقطه شروع برای استفاده از هوش مصنوعی در بخش معدن.....
- ۴۸-۳-۶. جمع‌بندی.....
- ۵۰-۴. توسعه هوش مصنوعی در صنایع معدنی بر اساس نظام نوآوری شرکتی.....
- ۶۶-۵. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی.....
- ۶۷-۶. پیشنهادهای سیاستی.....





## خلاصه مدیریتی

صنایع معدنی در سال‌های اخیر به دنبال به‌کارگیری فناوری‌های جدید برای خلق ارزش بیشتر هستند. شرکت‌های متعددی در جهان از نزدیک به یک دهه پیش، به سمت تحول دیجیتال حرکت کرده‌اند. هوش مصنوعی یکی از کلیدی‌ترین فناوری‌ها در این زمینه است. این فناوری در بخش‌های مختلف صنایع معدنی از مرحله اکتشاف تا فرآوری و بازسازی معادن به شکل‌های مختلف کاربرد دارد و می‌تواند اثرات مهمی از خود به جا بگذارد. انتخاب راهبرد مناسب برای توسعه فناوری هوش مصنوعی در صنایع معدنی اهمیت بالایی دارد. الگوی نظام نوآوری شرکتی با هدف گرفتن شرکت‌های بزرگ و حمایت از این شرکت‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم، می‌تواند منجر به شکل‌گیری یک زیست‌بوم توانمند از فناوران و نوآوران، سرمایه‌گذاران، شرکت‌های بزرگ، نهادها و... گردد. توسعه این زیست‌بوم می‌تواند نفوذ فناوری در کل صنعت را تقویت کند. در بخش معدن، وجود شرکت‌های بزرگ و مجموعه‌ای از بازیگران در زیست‌بوم اطراف این شرکت‌ها عاملی است که به‌کارگیری الگوی نظام نوآوری شرکتی را برای توسعه هوش مصنوعی در بخش معدن کارگشا می‌سازد. در این گزارش ابتدا برخی از مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در صنایع معدنی معرفی می‌شود. با در نظر گرفتن وضعیت فعلی صنعت و چالش‌های آن، حوزه اکتشاف معادن به عنوان نقطه آغاز در

نظر گرفته شده است؛ سپس با شناسایی برخی از بازیگران حوزه هوش مصنوعی در بخش معدن، یک زیست بوم اولیه بر اساس الگوی نظام نوآوری شرکتی ترسیم شده است. برای توسعه هوش مصنوعی در بخش معدن پنج پیشنهاد مطرح شده است: نخست، انتخاب الگوی نظام نوآوری شرکتی که همخوانی مناسبی با بخش معدن دارد. دوم، در اولویت قرار دادن بخش اکتشاف؛ سوم، توجه به چالش‌های فعلی معدنکاران از جمله وضعیت ماشین‌آلات معدنی؛ چهارم، توجه به مسئله زیرساخت اینترنت؛ و پنجم، توجه به مسئله امنیت سایبری. این پیشنهادها می‌تواند به توسعه فناوری هوش مصنوعی در بخش معدن کمک کند.



# نظام نوآوری شرکتی؛ مدلی برای توسعه هوش مصنوعی در صنایع معدنی

## مقدمه

در دنیای امروز، تحول دیجیتال عامل اصلی خلق ارزش‌های جدید، حفظ توان رقابت، حفاظت از محیط زیست و رشد اقتصادی است. تحول دیجیتال لازمه ادامه حرکت شرکت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی در عصر دیجیتال است. فناوری‌های نوین، زیربنای این تحول هستند. امروزه فناوری هوش مصنوعی انقلابی در زندگی بشر و صنایع به وجود آورده است. اهمیت هوش مصنوعی بر کسی پوشیده نیست و بدون شک در آینده‌ای نزدیک، ابزاری استراتژیک و قدرتمند برای شرکت‌ها و کشورها خواهد بود، از همین رو توسعه اصولی این فناوری، می‌تواند در توسعه اقتصادی کشور نقش مهمی داشته باشد.

کشور ایران به لطف پروردگار سرزمینی غنی از منابع معدنی است و در میان برترین کشورهای جهان قرار دارد. امروزه بخش معدن پشته‌توانه تولید و اقتصاد کشور است و اهمیت بالایی در آینده اقتصادی کشور دارد. بهره‌بردن از این نعمت خدادادی نیازمند به‌کارگیری ابزارآلات به‌روز و نوین است تا ضمن تولید هرچه بهتر و بیشتر و با بهره‌وری بالاتر، از سلامت نیروی کار و حفظ بیشتر محیط زیست اطمینان حاصل



شود. هوش مصنوعی یکی از فناوری‌های کلیدی در این زمینه است. هوش مصنوعی کاربردهای متنوعی در زنجیره ارزش صنایع معدنی دارد و می‌تواند بخش معدن را به خوبی متحول کند. به‌کارگیری هوش مصنوعی یک ضرورت است و غفلت از آن به معنای کاهش توان تولید، افزایش هزینه‌ها و از دست دادن مزیت رقابتی برای صنایع معدنی است و از همین رو نیازمند توجه ویژه است. انتخاب مسیر و رویکرد مناسب در این راستا اهمیت بالایی دارد. نظام نوآوری شرکتی همخوانی بالایی با تجربه چندین دهه شرکت‌های معدنی در ایران دارد و امید است که بار دیگر با همت بازیگران مختلف این صنعت، بخش معدن در ایران با کمک فناوری هوش مصنوعی، بتواند جایگاه مناسب خود را بازیابد.

## ۱. آشنایی با زنجیره ارزش بخش معدن و صنایع معدنی و فلزی

حوزه معدن و صنایع معدنی متشکل از بازیگران بزرگ و کوچک متعددی است که در امتداد یک زنجیره فعالیت می‌کنند. این زنجیره ارزش از بخش اکتشاف معادن شروع می‌شود و تا صنایع تولید فلزات و آلیاژها ادامه می‌یابد. همچنین در کنار این زنجیره، مجموعه‌ای از بازیگران و فعالیت‌های جانبی و پشتیبان دیده می‌شود. در این بخش به صورت خلاصه به بررسی حوزه معدن پرداخته می‌شود.

### ۱-۱. اکتشاف معادن

اکتشاف معادن اولین گام از زنجیره فعالیت‌های معدنی است. اکتشاف شامل مجموعه فعالیت‌هایی است که مناطق معدنی را شناسایی می‌کند. بر اساس طبقه‌بندی چارچوب سازمان ملل برای منابع<sup>۱</sup>،

1. United Nations Framework Classification for Resources

فرآیند اکتشاف را می‌توان به چهار مرحله شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف عمومی و اکتشاف تفصیلی طبقه‌بندی نمود. قانون معادن ایران اکتشاف را مجموعه عملیات و تجسس ارادی که به منظور یافتن کانسار انجام می‌گیرد تعریف می‌کند و آن را شامل عملیات‌های نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های کمی و کیفی، بررسی‌های زمین‌شناسی، سنجش از راه دور، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و امثال آن، حفاری روباز و زیرزمینی، حفر گمانه و چاه‌پیمایی، تعیین شکل، کیفیت و کمیت ذخیره معدنی و تعیین نقشه‌های مربوط در نظر می‌گیرد.



به صورت خلاصه، شروع اکتشاف با حوزه زمین‌شناسی آغاز می‌گردد. پس از آن شناسایی مناطق مستعد که احتمال کشف ذخایر در آن‌ها بیشتر است انجام می‌شود. در این مرحله



نقشه‌ها، داده‌های زمین‌شناسی، تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، ژئوفیزیک هوایی و... به کار گرفته می‌شوند.

پس از شناسایی مناطق مستعد، فعالیت‌های پی‌جویی در این مناطق به امید کشف شواهدی از ذخایر معدنی دنبال می‌شود. نمونه‌برداری، انجام آزمایش‌های ژئوفیزیک و ژئوشیمی از مهم‌ترین فعالیت‌ها در این مرحله است. پس از کشف شواهدی مبتنی بر وجود ماده معدنی در منطقه، تلاش‌های بیشتر در راستای ارزیابی دقیق‌تر ذخیره معدنی با نمونه‌برداری‌های بیشتر، حفر ترانشه‌ها و چاهک‌ها و آزمایش‌های ژئوشیمی و ژئوفیزیکی بیشتر ادامه پیدا می‌کند تا منطقه معدنی هدف مشخص گردد. در ادامه اکتشافات تفصیلی با هدف ارزیابی دقیق کانسار شامل ابعاد، شکل، عیار و... با حفر گمانه‌های اکتشافی و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها، آزمایش‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی بیشتر ادامه می‌یابد. فرآیند مذکور زمان و هزینه بسیار زیادی را به همراه خواهد داشت. فرآیند اکتشاف یک معدن جدید می‌تواند سال‌ها زمان و میلیون‌ها دلار هزینه به همراه داشته باشد. همچنین با کاهش پیوسته ذخایر معدنی، این هزینه‌ها بیشتر و بیشتر می‌شود و نیاز به استفاده از ابزارها و روش‌های جدید ضروری به نظر می‌رسد.

## ۱-۲. استخراج و بهره‌برداری

پس از کشف معادن، استخراج ماده معدنی شروع می‌شود. استخراج معدن در واقع تصویر اصلی حوزه معدن می‌باشد. در این روش با بهره‌گیری از ماشین‌آلات و نیروی انسانی، سنگ معدن از دل زمین

بیرون کشیده می شود. معادن به صورت کلی به دو دسته معادن روباز و معادن زیرزمینی دسته بندی می شوند. نحوه استخراج در معادن زیرزمینی و معادن روباز متفاوت است.



حفاری و تعبیه مواد منفجره، انفجار، بارگیری و حمل مواد از مهم ترین و شناخته شده ترین فعالیت ها در استخراج است. به صورت خلاصه، بر اساس وضعیت کانسار در زمین، برنامه ریزی برای استخراج انجام می شود. حفاری اولین گام در این مرحله است، با استفاده از ماشین آلات حفاری، چالزنی انجام می شود. سپس با قرار دادن مواد منفجره و چاشنی و... عملیات آتشباری انجام می گیرد. هدف از آتشباری، جدا کردن و خرد کردن توده های سنگ است. مرحله بعد بارگیری است. در این مرحله با استفاده از ماشین آلاتی نظیر شاول های غول پیکر، سنگ معدن در

تراک های معدنی بارگیری و آماده حمل می شود. در ادامه تراک های معدنی سنگ ها را به محل مورد نظر (سنگ شکن یا دامپ باطله و...) منتقل می کنند.  
 ورود سنگ معدن به سنگ شکن را می توان پایان مرحله استخراج و آغاز مرحله فرآوری در نظر گرفت.

### ۳-۱. فرآوری

مواد معدنی پس از استخراج فرآوری می شوند. بر اساس قانون اصلاح قانون معادن فرآوری عبارت است از عملیاتی که بر روی مواد خام معدنی یا مواد کانه آرایشی شده، انجام و موجب تولید مواد اولیه صنعتی می شود.





در فرآیند فرآوری، محصولات تولید می‌شود که بتوان از آن‌ها در مراحل بعدی برای تولید فلزات استفاده کرد. از همین رو این عملیات برای مواد معدنی مختلف متفاوت است اما موارد مشترک بسیاری دارد.

به صورت خلاصه این مرحله با خردایش توسط سنگ شکن آغاز می‌شود تا سنگ معدن به ابعاد کوچک‌تر تبدیل گردد. در ادامه مواد خردشده وارد آسیاب‌های سگ میل و بالمیل ... می‌شوند تا نرم شوند. پس از آن با روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی مواد معدنی با ارزش از مواد باطله جداسازی می‌شود. خروجی این بخش کنسانتره مواد معدنی است. بسته به صنعت مورد نظیر ادامه مسیر متفاوت است. به عنوان مثال در حوزه آهن و فولاد، کنسانتره به گندله تبدیل می‌شود و یا در صنعت مس فرآیندهای مختلف هیدرومتالورژی و پیرومتالورژی برای استحصال مس انجام خواهد گرفت.

#### ۴-۱. صنایع فلزی

به صورت ساده صنایع فلزی، ادامه زنجیره معدنی می‌باشند، آن‌ها مواد اولیه فرآوری شده را تبدیل به شکل‌های مختلف فلزات نظیر شمش و بیلت و... می‌کنند. امروزه در زنجیره معدن و صنایع فلزی مرز کاملاً دقیقی مشخص نمی‌شود، به گونه‌ای که بسیاری از صنایع فلزی به توسعه خود به سمت صنایع بالادستی و معدنکاری حرکت کرده و بسیاری از صنایع معدنی با حرکت به سمت صنایع پایین‌دستی به تولید فلزات می‌پردازند. در زنجیره صنایع فلزی نیز واحدهای صنعتی مختلف فعالیت‌های



گوناگونی انجام می‌دهند، به عنوان نمونه در صنعت فولاد، برخی واحدها به تولید آهن اسفنجی و برخی به تولید فولاد و... می‌پردازند. روش‌های پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی در صنایع مختلف، اصول استحصال فلزات از مواد فرآوری شده می‌باشد. در این گزارش، تمرکز اصلی بر بخش‌های قبل از «صنایع فلزی» می‌باشد.

### ۵-۱. فعالیت‌های پشتیبان

موارد ذکر شده در بالا تنها فعالیت‌های تولیدی در بخش معدن می‌باشد. تداوم این فعالیت نیازمند انجام فعالیت‌های پشتیبان و جانبی می‌باشد. این فعالیت‌ها نظیر زیرساخت، منابع انسانی و ایمنی، تدارکات و... می‌باشد. حوزه معدن و صنایع معدنی به سبب گستردگی خود، حجم وسیعی از فعالیت‌های پشتیبان را دارا می‌باشد که پشتیبان تولید هستند. برخی از این فعالیت‌ها به صورت داخلی و برخی دیگر نیز با برون‌سپاری انجام می‌شوند.

### ۲. تحول دیجیتال در حوزه معدن

تحول دیجیتال در صنایع معدنی با یک تأخیر نسبت به سایر صنایع در حال به وقوع پیوستن است. در صنعت معدن، تحول دیجیتال شامل استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای بهینه‌سازی عملیات‌های مختلف در مراحل مختلف، کاهش هزینه‌ها، بهبود ایمنی و... است که شامل استفاده از اتوماسیون صنعتی، تجزیه و تحلیل داده‌ها، به‌کارگیری اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی (AI)، واقعیت مجازی

و افزوده و سایر فناوری‌های نوین می‌باشد. گزارش مجمع جهانی اقتصاد پیش‌بینی می‌کند که تحول دیجیتال طی ۱۰ سال ۴۲۵ میلیارد دلار ارزش برای بخش معدن ایجاد خواهد کرد<sup>۱</sup>. انقلاب صنعتی چهارم بالقوه می‌تواند عملیات معدنکاری را دگرگون کند. نه تنها به‌کارگیری جزیره‌ای فناوری‌های دیجیتال در بخش‌های معدنی، بلکه دیجیتالی و مکانیزه شدن یکپارچه تمام فعالیت‌های معدنی یک هدف قابل دسترسی است که می‌تواند صنایع معدنی را از یک صنعت سنتی و متکی به نیروی انسانی و با چالش‌های متعدد، به صنعتی مدرن و پیشرفته بدل کند. بدون شک صنایعی که از حرکت به این سمت خودداری کنند، با کاهش پیوسته حاشیه سود، از دست دادن مزیت رقابتی بین‌المللی و بازار مواجه شده و به تدریج و در گذر زمان افول خواهند کرد<sup>۲</sup>.

شرکت‌های بزرگ معدنی جهانی نظیر آنگلو امریکن<sup>۳</sup>، ریوتینتو<sup>۴</sup>، بی‌اچ‌پی<sup>۵</sup> و... سفر تحول دیجیتال خود را از چندین سال پیش آغاز کرده‌اند و با اجرای پروژه‌هایی نظیر کامیون‌های خودران، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه ماشین‌آلات و دارایی‌ها، بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی با استفاده از هوش مصنوعی و... دستاوردهای قابل توجهی از این تحول کسب کرده‌اند. معدنکاری هوشمند، معدنکاری دیجیتال، نسل چهارم معدنکاری و... عناوینی است که این روزها بسیار مورد توجه قرار گرفته است که

---

1. <https://www.weforum.org/publications/digital-transformation-of-industries>

۲. دکتر شکوری، همایش معدنکاری دیجیتال، شهریور ۱۴۰۲

3. Anglo American

4. Rio Tinto

5. BHP



شاید بتوان هدف غایی همه آن‌ها را رسیدن به صنعتی با فناوری‌های پیشرفته و یکپارچه دانست که با استفاده از راهکارهای نوین به اکتشاف، استخراج، فرآوری و استحصال فلزات می‌پردازد. فناوری‌های متعددی مانند اینترنت اشیا، رباتیک، پردازش ابری، هوش مصنوعی، چاپ سه بعدی و... در این راستا مورد استفاده قرار می‌گیرند. فناوری هوش مصنوعی یکی از کلیدی‌ترین فناوری‌ها می‌باشد که در سال‌های اخیر بسیاری از صنایع را دستخوش تغییر کرده است. هوش مصنوعی، استفاده از الگوریتم‌ها و داده‌ها برای توانمند ساختن ماشین‌ها برای انجام وظایفی است که به طور سنتی به هوش انسانی نیاز دارد. هوش مصنوعی می‌تواند توانمندی‌های نیروی انسانی را ارتقا و خطاهای انسانی را کاهش دهد. این فناوری در ترکیب با فناوری‌های دیگر می‌تواند قابلیت‌ها و ارزش‌های بسیار زیادی برای صنایع معدنی خلق کند. هدف این گزارش در بخش اول بررسی نقش و توانمندی‌های فناوری هوش مصنوعی در صنایع معدنی می‌باشد. در همین راستا، در ادامه برخی از مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در این حوزه معرفی و چند تجربه خارجی و داخلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس در بخش بعدی، یک مدل پیشنهادی برای توسعه این فناوری در بخش معدن معرفی خواهد شد.

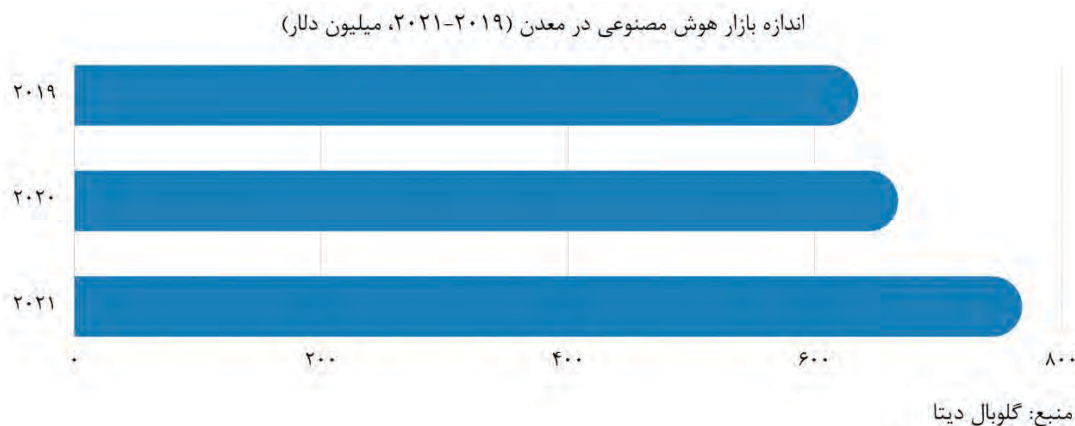
## ۲. هوش مصنوعی در صنایع معدنی

توانمندی‌های هوش مصنوعی می‌تواند در بخش‌های مختلفی و در طیف گسترده‌ای از صنایع به کار گرفته شود. به طور خلاصه، در هر بخش از سازمان که نیروی انسانی در حال فعالیت است، هوش

مصنوعی می‌تواند آن را توان‌تر کند. به گزارش IBM در سال ۲۰۲۲، بیش از یک سوم شرکت‌های جهان (۳۵٪) به طریقی از فناوری هوش مصنوعی در کسب‌وکار و تجارت خود استفاده می‌کنند<sup>۱</sup>. در پژوهشی دیگر با بررسی نظرات ۱۶۰ تصمیم‌گیرنده کلیدی شرکت‌های معدنی و فلزی در جهان، این نتیجه حاصل شد که ۶۶٪ از شرکت‌های معدنی در جهان از فناوری هوش مصنوعی استفاده می‌کنند<sup>۲</sup> در گزارشی دیگر ۳۱٪ از شرکت‌های معدنی، پروژه‌های هوش مصنوعی را در مرحله پایلوت پیاده‌سازی می‌کنند<sup>۳</sup>. حوزه معدن می‌تواند جایگاه پیاده‌سازی طیف وسیعی از راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی باشد. در سال‌های اخیر هوش مصنوعی ظرفیت‌های قابل توجهی را برای ارتقا بهره‌وری و خلق محصولات و خدمات جدید در بخش‌های اکتشاف، استخراج، فرآوری و فعالیت‌های پشتیبان نشان داده است. همچنین در صنایع فلزی نیز فناوری هوش مصنوعی بسیار موفقیت‌آمیز عمل کرده است. بر اساس گزارش‌ها شرکت‌های معدنی با به‌کارگیری هوش مصنوعی توان عملیاتی استخراج خود را ۱۰-۲۰٪ افزایش و انتشار گازهای گلخانه‌ای را در حدود ۱۵-۳۰٪ کاهش داده‌اند<sup>۴</sup>. شرکت‌های بزرگ معدنی جهان، نظیر ریوتینتو، وله<sup>۵</sup>، بی‌اچ‌پی و... همگی به سمت هوشمندسازی و دیجیتالی‌سازی با تکیه بر فناوری‌های نوین حرکت کرده‌اند که فناوری هوش مصنوعی یکی از اصلی‌ترین فناوری‌ها در این بخش می‌باشد.

1. <https://www.ibm.com/downloads/cas/GVAGA3JP>
2. <https://theoregongroup.com/energy-transition/technology/the-artificial-intelligence-revolution-in-mining-opportunities-and-risks/>
3. <https://worldmetrics.org/ai-in-the-mining-industry-statistics/>
4. <https://theoregongroup.com>
5. Vale

بر اساس آمار گلوبال دیتا<sup>۱</sup>، اندازه بازار هوش مصنوعی در معدن رو به رشد بوده و انتظار می رود در آینده نیز به رشد خود ادامه دهد (اندازه بازار جهانی هوش مصنوعی در معدن با نرخ رشد مرکب سالانه ۱۰ درصدی از ۶۳۴.۹ میلیون دلار در سال ۲۰۱۹ به ۷۶۷.۹ میلیون دلار در سال ۲۰۲۱ افزایش یافته است).<sup>۲</sup>



شکل ۱. اندازه بازار هوش مصنوعی در بخش معدن، گلوبال دیتا

امروزه شرکت های معدنی هوشمندسازی را در رأس برنامه های خود قرار داده و از همین رو افزایش هرچه بیشتر این بازار و فعالیت ها در این حوزه قابل پیش بینی است. همچنین نوظهور بودن این فعالیت ها تا به امروز و برنامه های در دست اجرای بسیاری از شرکت ها، نوید رشد شتابان این بازار را می دهد.

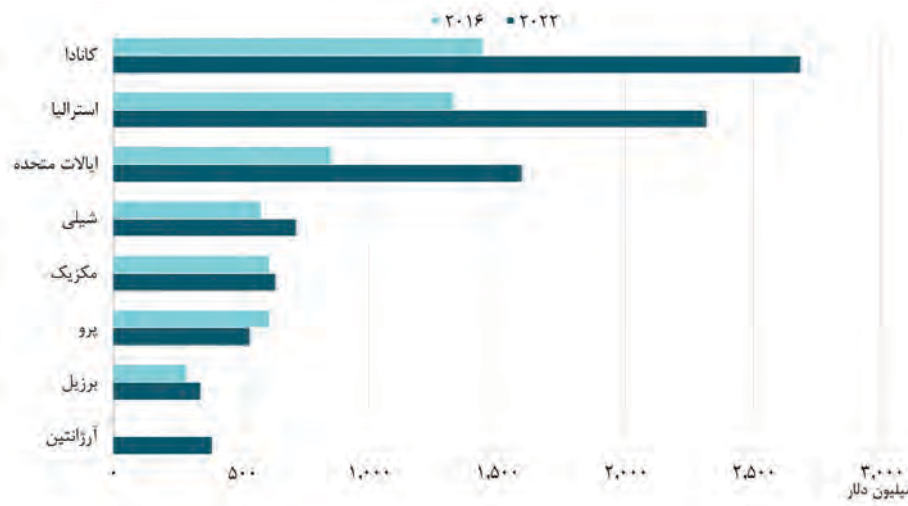
1. Global Data

2. [www.globaldata.com/data-insights/mining/market-size-of-artificial-intelligence-in-mining](http://www.globaldata.com/data-insights/mining/market-size-of-artificial-intelligence-in-mining)

هوش مصنوعی در بخش‌های متنوعی از زنجیره ارزش معدن و به روش‌های مختلفی می‌تواند ارزش‌آفرینی کند. در ادامه برخی از مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در بخش و صنایع معدنی بررسی خواهد شد.

### ۱-۳. هوش مصنوعی در اکتشاف معادن

اکتشاف معادن یکی از مهم‌ترین بخش‌ها و فعالیت‌ها در حوزه معدن می‌باشد. اکتشاف نه تنها در سطح بنگاه و شرکت، بلکه در سطح ملی و استراتژیک نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. کشورهای معدنی هر ساله با انجام فعالیت‌های اکتشافی جدید، ذخایر جدیدی را کشف می‌کنند. بر اساس آمار منتشر شده، رشد چشمگیری در بودجه اکتشافی کشورهای پیشرو در حوزه معدن مشاهده می‌شود.



شکل ۲. بودجه فعالیت‌های اکتشافی در کشورهای پیشرو در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲، منبع: Statista.com



بر اساس گزارش «آسیب شناسی بخش معدن کشور و ارائه راهکارهای ارتقای عملکردی آن»، کشورهای معدنی (در رده ایران) سالانه ۳ تا ۵ میلیون متر حفاری اکتشافی دارند که در ایران این عدد در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ هزار متر است و یکی از چالش‌های اصلی ایران در بخش معدن می‌باشد.<sup>۱</sup> ویژگی فعالیت اکتشاف این است ریسک به نتیجه نرسیدن این فعالیت‌ها بالاست، به این معنا که تنها تعداد محدودی از مناطق بررسی شده به عنوان منطقه مستعد شناخته می‌شوند که می‌توانند به یک معدن تبدیل شود و تلاش‌های بسیاری برای کشف معادن بی‌نتیجه باقی می‌ماند. اکتشاف معادن یک فعالیت زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد و با گذشت زمان، هزینه اکتشافات افزایش یافته است. هزینه اکتشافات در سطح جهانی با ۳۵٪ افزایش نسبت به سال ۲۰۲۰، در سال ۲۰۲۱ به بیش از ۱۱.۲۴ میلیارد دلار رسیده است.<sup>۲</sup> در ایران نیز در ۷ ماهه نخست سال ۱۴۰۰، ۲۱۰ میلیارد تومان هزینه فعالیت‌های اکتشافی شده است که نسبت به سال قبل ۱۶۹٪ افزایش داشته است.<sup>۳</sup> از همین رو توجه به ابزارها و فناوری‌های جدید ضروری به نظر می‌رسد.

فرآیند اکتشاف معادن مجموعه‌ای از روش‌های کتابخانه‌ای (بررسی نقشه‌ها و تصاویر هوایی و گزارش‌ها و...) و آزمایش‌های میدانی (تست‌های ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و...) و انجام حفاری‌ها و نمونه‌برداری‌ها می‌باشد. به صورت ساده، آغاز یک فرآیند اکتشاف با بررسی نقشه‌ها و گزارش‌های قبلی و... می‌باشد، در این مرحله مناطق احتمالی انتخاب می‌شوند و سپس با انجام آزمایش‌های

۱. آسیب شناسی بخش معدن کشور و ارائه راهکارهای ارتقای عملکردی آن (۱۴۰۰). موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی  
2. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/blog/world-exploration-trends-2022>  
3. Isna.ir



میدانی در منطقه، داده‌های بیشتری در مورد این منطقه به دست می‌آید. سپس با استفاده از ماشین‌آلات حفاری و نمونه‌برداری از اعماق زمین، این مراحل تکمیل می‌شود. ویژگی بسیار منحصر به فرد مرحله اکتشاف، **داده‌مبنا** بودن آن است. به گونه‌ای که مراحل مختلف آن، بر اساس داده‌های جغرافیایی، زمین‌شناسی، آزمایش‌ها و... به پیش می‌رود.

هوش مصنوعی در حوزه اکتشاف معادن توانمندی‌های قابل توجهی از خود نشان می‌دهد. بسیاری از روش‌ها و تکنیک‌هایی که در حوزه اکتشاف مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند با هوش مصنوعی ترکیب شده و توانمندی، سرعت و دقت را افزایش دهند. تلاش‌های بسیاری در این زمینه در سطح جهانی و هم در ایران انجام شده است. در ادامه به معرفی مختصر برخی از فعالیت‌های انجام شده در این زمینه در جهان و ایران می‌پردازیم.

### **نمونه‌های جهانی به‌کارگیری هوش مصنوعی در بخش اکتشاف معادن**

در بخش اکتشاف بازیگران مختلفی نقش ایفا می‌کنند. شرکت‌های بزرگ معدنی همیشه فعالیت‌های اکتشافی را در برنامه‌های خود دارند. از سویی دیگر بسیاری از شرکت‌های کوچک و متوسط و استارت‌آپ‌ها نیز در بخش اکتشاف مشغول به فعالیت هستند. دولت‌ها نیز با طرح‌های اکتشاف ملی، یکی از مهم‌ترین نقش‌ها را در این زمینه دارند. برخی از این شرکت‌ها و استارت‌آپ‌ها به خوبی توانسته‌اند از فناوری هوش مصنوعی در بخش‌ها و مراحل مختلف اکتشاف معادن بهره‌گیرند. در ادامه تعدادی از این تلاش‌ها بررسی خواهد شد.



## Earth AI

شرکت Earth AI از هوش مصنوعی برای یافتن ذخایر خاکی و معدنی کمیاب استفاده می‌کند. تمرکز اصلی این شرکت بر کشف ذخایر فلزی مورد نیاز برای توسعه زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر است. پلتفرم مبتنی بر هوش مصنوعی این شرکت می‌تواند در زمان بسیار کمتری و با هزینه کمتری مناطق مستعد را شناسایی کند. این پلتفرم با استفاده از یادگیری ماشین و بر اساس میلیون‌ها مورد زمین‌شناسی در قاره استرالیا، می‌تواند مناطق کانی‌سازی را شناسایی کند. داده‌های ژئوشیمی، ژئوفیزیک و سنجش از دور از مهم‌ترین این داده‌ها هستند.<sup>۱</sup>

این شرکت نرخ موفقیت ۲۶٪ در شناسایی چشم‌اندازهای معدنی در مناطقی که هرگز کاوش نشده است را به دست آورده است.<sup>۲</sup> این شرکت مدعی داشتن دقیق‌ترین پلتفرم هدف‌گذاری است. پلتفرم هدف‌گذاری مبتنی بر هوش مصنوعی این شرکت که با بیش از ۴۰۰ میلیون داده زمین‌شناسی آموزش داده شده است، توانسته نرخ موفقیت تشخیص معادن فلزی در میدان را از ۱ به ۲۰۰ به ۱ به ۸ برساند.<sup>۳</sup> در این روش هزینه‌های اکتشاف ۵۰ درصد کاهش و زمان اکتشاف بسیار کوتاه می‌شود.<sup>۴</sup> این شرکت علاوه بر توسعه الگوریتم هوش مصنوعی برای اکتشاف مناطق مستعد معدنی، در حوزه حفاری خودکار و ژئوفیزیک هوابرد با استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین نیز فعالیت می‌کند.

1. [Earth-ai.com/technology](http://Earth-ai.com/technology)

2. <https://endive-magenta-4z2g.squarespace.com/>

3. <https://www.mining.com/machine-learning-helps-earth-ai-find-high-grade-molybdenum-in-unexpected-place/>

4. [Earth-ai.com](http://Earth-ai.com)

در مارس ۲۰۲۳ شرکت معدنی تیوان<sup>۱</sup> در راستای کشف ذخایر لیتیوم در پروژه سندوور<sup>۲</sup> در استرالیا همکاری خود با این شرکت را آغاز کرده است.<sup>۳</sup> در حوزه اکتشاف معادن مس نیز یک ائتلاف میان شرکت کینکورا کوپر<sup>۴</sup> و این شرکت در راستای انجام عملیات های اکتشافی با بهره‌گیری از هوش مصنوعی در پروژه Cundumbul در استرالیا شکل گرفته است. فناوری این شرکت به خوبی نیاز شرکت های معدنی در حوزه اکتشاف را پاسخ می‌دهد و با عمر کم، توانسته است همکاری های بسیار خوبی را با شرکت های معدنی در استرالیا داشته باشد.

## Mineral Forecast

مینرال فورکست یک استارت‌آپ شیلیایی است که با استفاده از داده‌های اکتشافی، به بهبود و تسریع فرآیندهای حفاری اکتشافی معادن کمک می‌کند. این شرکت ادعا می‌کند که الگوریتم آن‌ها تا ۲۵ درصد معادن را سریع‌تر کشف می‌کند و تا ۲۹ درصد هزینه‌های حفاری را کاهش می‌دهد و نرخ موفقیت حفاری اکتشافی را سه برابر می‌کند.<sup>۵</sup> از مهم‌ترین مشتریان این استارت‌آپ می‌توان به کودلکو<sup>۶</sup> اشاره کرد. این استارت‌آپ همچنین در حال ورود به کشور مکزیک برای انجام فعالیت‌های اکتشافی با استفاده از هوش مصنوعی می‌باشد.<sup>۷</sup>

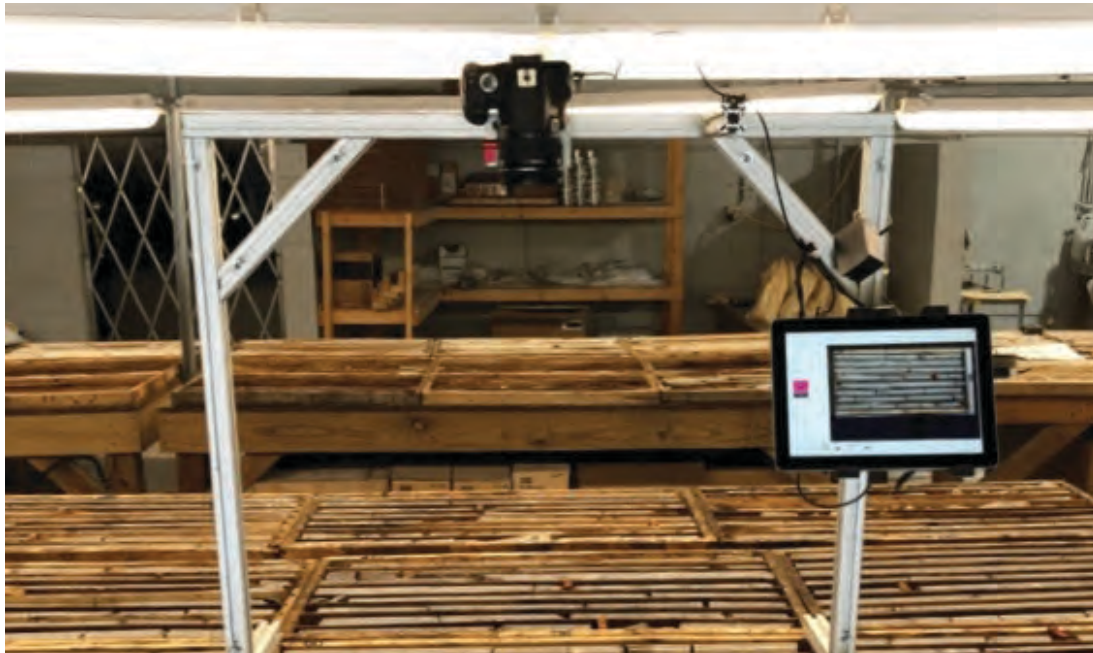


1. Tivan
2. Sandover
3. <https://tivan.com.au/resources/sandover/>
4. Kincora copper
5. <https://www.mineralforecast.com/en>

۶. شرکت ملی مس شیلی، بزرگ‌ترین تولیدکننده مس در جهان

7. <https://latamlist.com/mineral-forecast-enters-the-mexican-market/>

## Imago



ایمگوی یکی از نرم افزارهای ارائه شده توسط شرکت سیکوئنت است. این نرم افزار به معدنکاران اجازه می دهد تصاویر مغره های حفاری خود را در این سیستم وارد کرده و با استفاده از هوش مصنوعی بینش و اطلاعات مورد نیاز را از تصاویر مغره ها دریافت کنند. در این پلتفرم معدنکاران می توانند با عکاسی از مغره ها، تصاویر را در فضای ابری بارگذاری نمایند تا به صورت منظم و قابل دسترس از آن ها استفاده کنند. مدیریت تصاویر در این پلتفرم بسیار کارآمد است. شرکت IGO بیش از ۵۰ هزار



تصویر زمین‌شناسی را با استفاده از این سیستم ثبت و ذخیره‌سازی کرده است تا برای استفاده مجدد یا تحلیل‌های بعدی از آن‌ها استفاده کند.<sup>۱</sup> این پلتفرم استفاده از روش‌های یادگیری ماشین را بسیار ساده می‌کند و یک ابزار بسیار کاربردی برای معدنکاران به حساب می‌آید.

## GoldCorp

علاوه بر شرکت‌های کوچک، شرکت‌های بزرگ نیز در بخش اکتشافات از هوش مصنوعی استفاده می‌کنند. به عنوان مثال شرکت گلدکورپ (اکنون توسط شرکت نیومانت<sup>۲</sup> خریداری شده است) که از بزرگ‌ترین شرکت‌ها در زمینه طلا می‌باشد، با استفاده از هوش مصنوعی واتسون متعلق به شرکت IBM فعالیت‌های اکتشافی خود را توسعه داده است. آن‌ها برای اولین بار از داده‌های معدن طلای ردلیک<sup>۳</sup> در شمال آنتاریو، برای این هدف استفاده کردند. هوش مصنوعی به گلدکورپ این اجازه را می‌دهد که پتانسیل‌های کانی‌سازی طلا را پیش‌بینی کنند و از این روش برای تسریع اکتشاف معادن بعدی طلا استفاده کنند.<sup>۴</sup>

## Orefox

این استارت‌آپ استرالیایی از یادگیری ماشین و سیستم‌های یادگیری عمیق برای یافتن تحلیل‌های پنهان در داده‌های زمین‌شناسی، برای افزایش کارایی و موفقیت در یافتن ذخایر معدنی جدید استفاده می‌کند. این سیستم قادر است داده‌های هزاران ذخیره از قبل کشف شده را با داده‌های مناطق جدید مقایسه

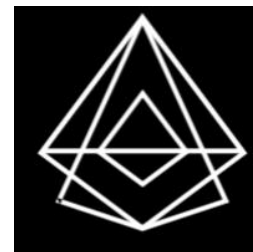


1. <https://www.seequent.com/how-igo-captured-over-50000-geological-images-with-imago/>
2. Newmont
3. Red lake
4. <https://im-mining.com/2018/11/26/goldcorp-hopes-ai-technology-can-improve-gold-exploration/>

کند و همبستگی های پنهان را کشف کند، چیزی که زمین شناسان به تنهایی نمی توانند آن ها را ببینند. این محصولات می توانند سرعت و هزینه اکتشاف را کاهش دهند. موتور هوش مصنوعی OreFox به دانشمندان زمین شناسی اجازه می دهد تا از پتانسیل کامل داده های خود بدون نیاز به کدنویسی عمیق یا تخصص هوش مصنوعی استفاده کنند. کاربران می توانند به طور مؤثر مدل های یادگیری ماشین را آموزش دهند، معیارهای عملکرد را ارزیابی کنند و روند اکتشاف را بهبود بخشند.

### Stratum AI

این استارتاپ کانادایی از هوش مصنوعی برای ارزیابی و مدل سازی و ترسیم نقشه سه بعدی دقیق ذخیره معدنی استفاده می کند. در استخراج معادن، هرچه مرز دقیق تر میان ماده معدنی ارزشمند و باطله بهتر مشخص شود، هزینه و ضایعات کاهش می یابد. این استارتاپ از یادگیری عمیق و استفاده از داده های اکتشافی برای حل این مسئله استفاده می کند.



موارد بالا تنها بخشی از شرکت ها و فعالیت ها در حوزه اکتشاف معادن به کمک هوش مصنوعی می باشد. شرکت هایی نظیر ALS Goldspot، Cavroc، KoBold، FMNC، Data rock و... نیز در این زمینه مشغول به فعالیت هستند.

### نمونه های ایرانی به کارگیری هوش مصنوعی در بخش اکتشاف معادن

در سال های اخیر، متخصصان ایرانی نیز از فناوری هوش مصنوعی در حوزه اکتشاف معادن در کشور استفاده کردند. شرکت سماکاوش هوشمند پارس، استارتاپ زمین هوش، استارتاپ پیگرو و همچنین



پژوهشگران و دانشگامیان و... تجربیات قابل توجهی در این زمینه کسب کرده اند. به عنوان نمونه محققین دانشگاه امیرکبیر با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نقشه های زمین شناسی، با استفاده از هوش مصنوعی، ۸۰٪ هزینه اکتشاف معادن فلزی را کاهش داده اند. در ادامه سه شرکت ایرانی در این زمینه معرفی می شوند.

### شرکت سما کاوش هوشمند پارس

شرکت سما کاوش هوشمند پارس، تیمی متشکل از دانشجویان دانشگاه های برتر ایران، با همراهی مجموعه ای از مشاوران داخلی و خارجی با استفاده از هوش مصنوعی، در زمینه اکتشاف معادن فعالیت می کنند. مدل سازی سه بعدی ژئومتالورژیکی هوشمند با استفاده از یادگیری ماشین در معدن طلای ساری گونی، مدل سازی هوشمند واریوگرام با استفاده از یادگیری عمیق، شناسایی هوشمند کانی ها و لیتولوژی با استفاده از تصاویر جعبه مغره های حفاری های اکتشافی، ترکیب یادگیری عمیق و زمین آمار برای خودکار سازی فرآیند تخمین در کانسارهای سنگ آهن و... از تجربیات این شرکت در ایران می باشد. این شرکت دانش بنیان سابقه همکاری با برخی شرکت های معدنی نظیر گل گهر و سنگ آهن سنگان را در کارنامه دارد.

### زمین هوش

استارتاپ زمین هوش با استفاده از فناوری هوش مصنوعی و تصاویر ماهواره ای به اکتشاف معادن می پردازد. این استارتاپ پروژه های متعدد اکتشافی را در مناطق مختلف معدنی انجام داده است و به شرکت ها و سرمایه گذاران



کمک می‌کند که با روش‌های علمی مبتنی بر هوش مصنوعی، نرخ موفقیت عملیات‌های اکتشافی را افزایش دهند.

### زمین پژوهان هوشمند پارس (پیگر)

شرکت زمین پژوهان هوشمند پارس (پیگر) در سال ۱۳۹۹ توسط جمعی از اساتید و محققین دانشگاه زنجان و دانشگاه صنعتی امیرکبیر بنا نهاده شد. این شرکت با بهره‌گیری از فناوری هوش مصنوعی در حوزه‌های زمین‌شناسی، زلزله‌شناسی، اکتشاف و استخراج منابع معدنی، هیدروکربنی و ژئوترمال و نیز فرآوری مواد معدنی، متالورژی و ژئومتالورژی فعالیت می‌کند.



### جمع‌بندی بخش اکتشاف

حوزه اکتشاف یکی از بخش‌های مهم در صنعت معدن می‌باشد. این حوزه هم در سطح ملی و هم در سطح بنگاهی حائز اهمیت می‌باشد. وجود یک عقب‌افتادگی تاریخی در حوزه اکتشاف سبب شده است که امروزه اهمیت این موضوع برای صنعت معدنی در ایران بسیار حیاتی باشد.

تأثیرگذاری هوش مصنوعی در بخش اکتشاف از طریق **افزایش سرعت و دقت و کاهش هزینه‌ها** می‌باشد و می‌توان گفت تقریباً همه فعالیت‌ها در این حوزه با همین هدف دنبال شده است. هرچند که از روش‌های مختلف برای رسیدن به این هدف استفاده کرده‌اند. در این حوزه استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های بسیار متعددی در داخل و خارج از کشور فعالیت





می‌کنند که به‌کارگیری توانمندی آن‌ها می‌تواند در توسعه بخش اکتشاف معادن کشور بسیار تأثیرگذار باشد.

فرآیند اکتشاف یک فرآیند داده‌محور می‌باشد و متخصصین این حوزه به خوبی از نقش و اهمیت داده آگاه هستند. همچنین تلاش‌های نظیر راه‌اندازی پایگاه ملی داده‌های علوم زمین<sup>۱</sup> نشان می‌دهد که مسئولین و مدیران در این بخش به اهمیت مفهوم داده و اهمیت وجود یک پایگاه داده ملی آگاه هستند.

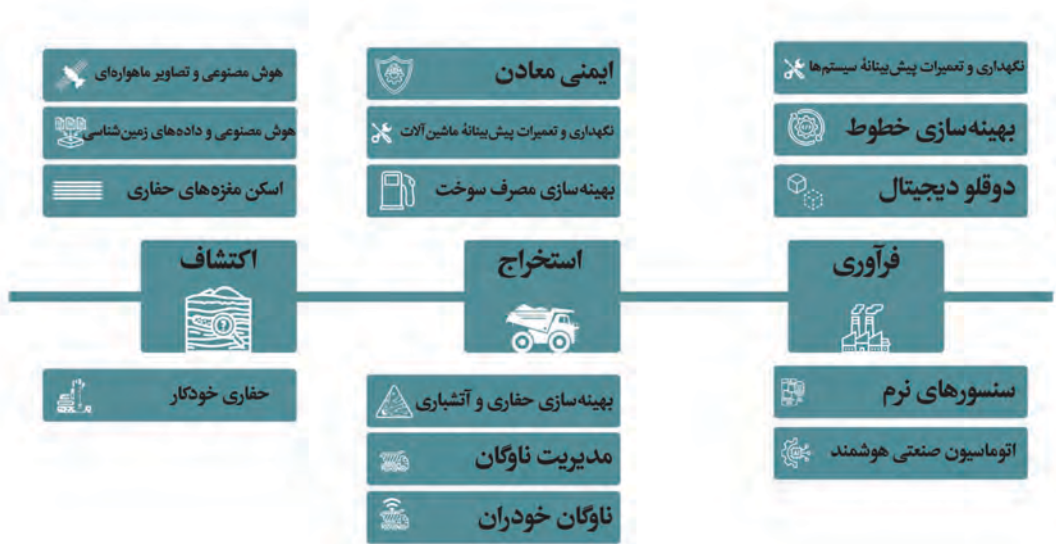
بازیگران متعدد این بخش همگی می‌توانند در بخش‌ها و مراحل مختلف عملیات‌های اکتشافی از فناوری هوش مصنوعی بهره‌گیرند و توانمندی‌های خود برای کشف معادن و منابع جدید و خلق ثروت ملی افزایش دهند.

### ۲-۳. هوش مصنوعی در فرایند استخراج معادن

پس از تجهیز معادن، بهره‌برداری از معادن آغاز می‌گردد. همان‌طور که در ابتدا گفته شد، فرآیند استخراج شامل مراحل حفاری، انفجار، بارگیری و حمل می‌باشد. همراه این فرآیند، فعالیت‌های جانبی نظیر نگهداری و تعمیرات، نظارت، ایمنی و... باید به صورت پیوسته دنبال شوند تا تداوم فعالیت معدنی امکان‌پذیر باشد.

فناوری‌های نسل چهارم و هوش مصنوعی می‌توانند نقش قابل توجهی در مراحل مختلف بهره‌برداری معادن داشته باشند. در ادامه برخی از مهم‌ترین این کاربردها معرفی می‌گردد.

1. <https://www.ngdir.ir/>



### بهینه‌سازی حفاری و آتشیاری

در فرآیند استخراج معادن، حفاری در راستای تعبیه مواد منفجره و سپس انفجار برای خرد شدن و جدا شدن سنگ معدن را می‌توان اولین مرحله در نظر گرفت. طراحی مناسب و بهینه این فرآیندها می‌تواند ابعاد سنگ معدن را کنترل کند تا هم قابلیت حمل پیدا کند و هم خوراک ورودی به سیستم خردایش در اندازه مناسب باشد. برای یک انفجار صحیح، نیاز است تا پارامترهای متعددی بهینه‌سازی شوند. هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی در این زمینه می‌توانند بسیار مفید باشند، پلتفرم Strayos با استفاده از هوش مصنوعی به تیم آتشیاری در این زمینه کمک می‌کند



تا هم یک انفجار کنترل شده و با خردایش مناسب را انجام دهند و هم در زمان و هزینه فرآیند صرفه جویی کنند!



پژوهش‌های دانشگاهی مبتنی بر به‌کارگیری شبکه‌های عصبی در معادن ایران نظیر مس سرچشمه، سونگون و انگوران نیز استفاده از شبکه‌های عصبی را در این زمینه اثرگذار ارزیابی کرده‌اند. همچنین معدن مس میدوک نیز به دنبال اجرای روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در این راستا می‌باشد.<sup>۲</sup>

1. [www.strayos.com](http://www.strayos.com)

۲. اعلام نیاز در رویداد مسینو



استفاده از ربات‌ها و ماشین‌آلات حفاری که با هوش مصنوعی عمل می‌کنند، می‌توانند فرآیند حفاری و تعبیه مواد منفجره را نیز به صورت خودکار و بدون نیاز به نیروی انسانی انجام دهند که باعث دور کردن نیروی انسانی از محیط پرخطر و مواد منفجره می‌شود و ایمنی معادن افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه ربات شرکت ABB با استفاده از بینایی ماشین، محل حفاری‌ها را تشخیص داده و مواد منفجره را درون آن‌ها قرار می‌دهد.

### مدیریت ناوگان

فرآیند استخراج بدون حضور ماشین‌آلات معدنی ممکن نیست. ماشین‌آلات حفاری، بارگیری و حمل نقل مواد معدنی و... همیشه در معادن مشغول فعالیت‌اند. عملکرد این ناوگان به صورت مستقیم بر سرعت و هزینه‌های استخراج اثر می‌گذارد، از همین رو مدیریت این ناوگان بسیار حائز اهمیت است. نظارت بر عملکرد این ماشین‌آلات بدون استفاده از فناوری‌های پیشرفته کار بسیار دشواری است. امروزه بسیاری از شرکت‌های معدنی از سامانه‌های نظارت و مدیریت ناوگان مبتنی بر هوش مصنوعی استفاده می‌کنند. به عنوان نمونه شرکت GroundHog ارائه‌دهنده خدمات مدیریت ناوگان مبتنی بر هوش مصنوعی است. این شرکت مدعی است که سیستم‌های مدیریت ناوگان می‌تواند ۴۰٪ تناژ استخراج را افزایش دهد.<sup>۱</sup> نمونه‌ای دیگر شرکت زیفرا است. سیستم مدیریت ناوگان معدنی این شرکت که با فناوری‌های اینترنت اشیا و هوش مصنوعی کار می‌کند، در بیش از ۸۰ معدن در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است.<sup>۲</sup> بسیاری از معادن در جهان از سیستم‌های دیسپاچینگ هوشمند

1. <https://groundhogapps.com/>

2. <https://www.zyfra.com/industries/Mining>

برای نظارت و مدیریت بر ناوگان خود استفاده می‌کنند. در معادن داخل کشور نیز به‌کارگیری هوش مصنوعی در سامانه‌های دیسپاچینگ مدنظر قرار گرفته است. به عنوان مثال، مجتمع مس سرچشمه در آگهی مناقصه خود برای استقرار سامانه دیسپاچینگ، استفاده از هوش مصنوعی را به صورت مستقیم ذکر کرده است و در دستور کار قرار داده است. در ایران نیز شرکت بیستون کویر یزد به عنوان اولین شرکت ارائه‌دهنده خدمات دیسپاچینگ هوشمند فعالیت می‌کند. سامانه دیسپاچینگ هوشمند این شرکت در معدن چادرملو مورد استفاده قرار گرفته است. این شرکت مدعی است که به‌کارگیری سامانه دیسپاچینگ می‌تواند سبب افزایش بهره‌وری و تولید تا ۱۰ درصد و همچنین ۱۴ درصد بهبود چرخه بارگیری و حمل شود<sup>۱</sup>.

### بهینه‌سازی مصرف سوخت

تراک‌های معدنی مصرف سوخت بالایی دارند، مصرف گازوئیل در معدن برای تولید سنگ آهن در ایران ۱ لیتر به ازای هر تن سنگ آهن و این عدد در سطح جهان در حدود ۰.۶ لیتر می‌باشد<sup>۲</sup>. همچنین بر اساس برخی آمارها یک تراک معدنی هر ساعت تا ۱۰۰ لیتر گازوئیل مصرف می‌کند. از همین رو کاهش مصرف سوخت یک موضوع مهم می‌باشد.

در این زمینه، شرکت وله پروژه‌ای را در معادن مختلف خود بکار برده است. در مجموع ۹.۱٪ کاهش مصرف سوخت و ۴٪ افزایش بهره‌وری در معدن مس Morenci که یکی از معادن بزرگ آمریکا می‌باشد

1. <https://bistunkavir.com/>

۲. دکتر غلامی نژاد، دومین همایش معدنکاری دیجیتال، شهریور ۱۴۰۲



گزارش شده است<sup>۱</sup>. کاهش مصرف سوخت با بهینه‌سازی فعالیت دامپتراک با روش‌های گوناگون قابل انجام است. در ایران، به‌کارگیری سامانه دیسپاچینگ شرکت بیستون کویر یزد در یکی از معادن کشور ۱۰٪ مصرف سوخت را کاهش داده است<sup>۲</sup>. بهینه‌سازی مصرف سوخت به صورت مستقیم می‌تواند هزینه‌های تولید را برای استخراج معادن کاهش دهد. همچنین الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند تأثیر پارامترهای مختلف نظیر سرعت تراک، وزن بار و مقاومت جاده را در مصرف سوخت ارزیابی کنند و با بهینه‌سازی آن‌ها، مصرف سوخت را کاهش دهند<sup>۳</sup>. در حال حاضر در نیازهای فناورانه برخی معادن از جمله معدن مس میدوک، بهینه‌سازی مصرف سوخت مطرح گردیده است<sup>۴</sup> که نشان می‌دهد شرکت‌های بزرگ توجه ویژه‌ای به این بخش دارند.

### خودکارسازی ناوگان

سطح بالاتری از به‌کارگیری هوش مصنوعی در ماشین‌آلات معدنی، خودران‌سازی ماشین‌آلات معدنی است. خودکارسازی این ناوگان گسترده از دامپتراک‌ها و شاول‌ها و سایر ماشین‌آلات موجود در معادن یکی از فعالیت‌هایی است که شرکت‌های بزرگ معدنی جهان در حال حرکت به سمت آن می‌باشند. شرکت Forescue یک ناوگان با نزدیک به ۲۰۰ تراک خودران در مراکز سولومون و چیچستر دارد. این تراک‌ها از برنده کاترپیلار و کوماتسو که از شناخته‌شده‌ترین برنده‌ها می‌باشند هستند.

۱. وینار کاربردهای هوش مصنوعی در معدنکاری، دکتر علی سوسفطایی

۲. دکتر غلامی نژاد، دومین همایش معدنکاری دیجیتال، شهریور ۱۴۰۲

۳. پژوهش دکتر علی سوسفطایی

۴. رویداد مسینو

این ناوگان از سال ۲۰۱۳ فعالیت می‌کند و بر اساس گزارش‌ها، بیش از ۱.۵ میلیارد تن مواد را جابجا کرده‌اند. همچنین بیشتر از ۹۰۰ وسیله‌ی دیگر مانند بیل مکانیکی، لودر چرخ زنجیری و وسایل نقلیه سبک نیز با این ناوگان یکپارچه شده‌اند.



این ناوگان حمل و نقل خودران توانسته ۳۰٪ بهره‌وری را افزایش دهد. همچنین از داده‌های جمع‌آوری شده توسط این ناوگان برای جستجو راه‌هایی برای بهینه‌سازی، مانند طراحی جاده‌ها و برنامه‌ریزی برای نگهداری استفاده می‌شود.<sup>۱</sup>

شرکت ریوتینتو بیش از یک دهه پیش برای بهبود ایمنی و افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های عملیاتی، اتوماسیون ناوگان را اجرایی کرده است. در یک معدن سنگ آهن، ۲۳ کامیون خودران کاترپیلار فعالیت می‌کنند.

1. [www.mining-technology.com](http://www.mining-technology.com)



شرکت BHP در حال حاضر بزرگ‌ترین ناوگان تراک‌های خودران در جهان را دارد. بیش از ۳۰۰ تراک در ۱۰ معدن به صورت اتوماتیک فعالیت می‌کنند. افزایش ۲۰٪ بهره‌وری، کاهش ۲۰٪ هزینه‌های عملیاتی و کاهش ۹۰٪ تصادفات از نتایج این خودران‌سازی بوده است.



در ایران تلاش‌هایی برای خودران‌سازی صورت گرفته است. آزمایشگاه ماشین‌آلات معدنی دانشگاه صنعتی اصفهان در پروژه‌ای با همکاری مجتمع مس سرچشمه در حال پژوهش در این زمینه بوده و نسخه‌های اولیه از این پروژه ایجاد کرده است اما هنوز در سطح معدن مورد استفاده قرار نگرفته است. این پروژه در حال حاضر حدود ۵۵٪ پیشرفت فیزیکی داشته است و برآورد می‌شود در سال ۱۴۰۳ به نتیجه برسد<sup>۱</sup>. استارت‌آپ نورون<sup>۲</sup> نیز به دنبال خودران‌سازی ماشین‌آلات معدنی بوده است، این استارت‌آپ ابتدا به دنبال خودران‌سازی خودروهای سواری بوده است اما

۱. بر اساس گزارش مدیر مجموعه در رویداد معدنکاری دیجیتال ۱۴۰۲

2. <https://noron.ai>



فعالیت خود را به سمت معدن آورده است. این استارت‌آپ عنوان کرده است که در ماه‌های آتی یک نسخه اولیه از محصول خود را ارائه خواهد کرد.

### نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه



نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات معدنی و تجهیزات و خطوط فرآوری (در کارخانه‌های فرآوری) از اهمیت بالایی برخوردار است. ایجاد خرابی در ماشین‌آلات می‌تواند منجر به توقف فرآیند تولید، ایجاد خسارت و آسیب به نیروی انسانی گردد. در صنایعی که فرایندهای تولید پیوسته است، خرابی و توقف در برخی تجهیزات می‌تواند حتی منجر به توقف کامل خط تولید یا کارخانه گردد از همین رو نگهداری و تعمیرات به موقع یکی از موضوعاتی است که از اهمیت بالایی در صنعت برخوردار است.



رویکردهای مختلفی برای تعمیر و نگهداری وجود دارد. امروزه هوش مصنوعی در این حوزه نقش مهمی بازی می‌کند. هوش مصنوعی با پایش پیوسته تجهیزات و جمع‌آوری داده‌های ماشین‌آلات توسط حس‌گرها و همچنین داده‌های ثبت شده نظیر سوابق نگهداری و تعمیرات، می‌تواند پیش از رخداد خرابی اطلاع‌رسانی کرده و همچنین به یک برنامه بهینه برای نگهداری و تعمیرات ارائه کند. نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه هم سبب کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری می‌گردد و هم با پیش‌بینی زمان تخریب، به ایمنی کارکنان کمک می‌کند. یکی از تجربه‌های داخلی اجرای این پروژه در معدن سنگ آهن جلال‌آباد توسط شرکت فناپ است.

### ایمنی و سلامتی

معادن یکی از مناطق پرخطر برای کار به حساب می‌آید. وقوع سوانح بسیار در معادن سبب شده است که شرکت‌ها به دنبال راه‌های فناورانه برای افزایش سطح ایمنی معادن و حفظ سلامت کارکنان خود باشند.

به‌کارگیری فناوری هوش مصنوعی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند برای ایمنی تأثیرگذار باشد. به عنوان نمونه خودران‌سازی دامپتراک‌ها با حذف نیروی انسانی، سبب می‌شود که در صورت وقوع حادثه در معدن، سلامت نیروی کار در معرض خطر نباشد، یا در مثالی دیگر، تعمیرات و نگهداری پیش‌بینانه می‌تواند با جلوگیری از رخداد خرابی، مانع آسیب کارکنان در محیط کار گردد.

فناوری هوش مصنوعی به صورت مستقیم نیز می‌تواند ایمنی معدن را افزایش دهد. استفاده از فناوری پردازش تصویر برای تشخیص خطراتی نظیر ریزش دیواره معدن، آتش‌سوزی و...، تشخیص سلامت نیروی کار، وضعیت پوشش ایمنی کارکنان نظیر کلاه ایمنی و لباس کار و... از جمله این توانمندی‌ها می‌باشد. به عنوان نمونه Hikvision خدمات ایمنی را با هوش مصنوعی ارائه می‌کند که می‌تواند در معادن نیز به کار گرفته شود و با ثبت پیوسته رفتار کارکنان، همه کارکنان را ملزم به رعایت الزامات ایمنی کند. در ایران نیز شرکت فرادید یکی از شرکت‌هایی است که به ارائه خدمات هوشمند ایمنی می‌پردازد که صنایع معدنی می‌توانند از آن برای حفظ امنیت کارکنان خود استفاده کنند.

### جمع‌بندی بخش استخراج

هوش مصنوعی کاربردهای مختلفی در استخراج معادن دارد. بهینه‌سازی فرآیندهای مختلف نظیر حفاری و آتش‌باری، مدیریت هوشمند ناوگان، خودران‌سازی ناوگان، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه، ایمنی و... از جمله برخی از مهم‌ترین این کاربردها هستند. ماشین‌آلات مهم‌ترین بخش عملیات استخراج معادن می‌باشد. از همین رو به‌کارگیری هوش مصنوعی نیازمند وجود ماشین‌آلات معدنی مناسب است که توان پذیرش این سیستم‌ها را داشته باشند. متأسفانه یکی از چالش‌های مهم حوزه معدن در کشور قدیمی بودن ماشین‌آلات معدنی در کشور است که به‌کارگیری روش‌های هوشمند را دشوار می‌کند. قوانین محدودکننده ورود ماشین‌آلات معدنی در راستای حمایت از تولید داخلی سبب شده است که تهیه و تأمین این ماشین‌آلات برای بسیاری از معادن و شرکت‌های معدنی بسیار دشوار گردد.



دومین مسئله در این مرحله، زیرساخت ارتباطی و اینترنت است. بسیاری از معادن کشور در مناطقی قرار دارند که زیرساخت ارتباطی برای به کارگیری فناوری های نوین وجود ندارد و به یک مانع جدی در این مسیر تبدیل شده است.

این چالش ها و برخی چالش های دیگر سبب شده است که به کارگیری هوش مصنوعی در بخش معدن دشوار تلقی گردد.

### ۳-۳. هوش مصنوعی در فرآوری

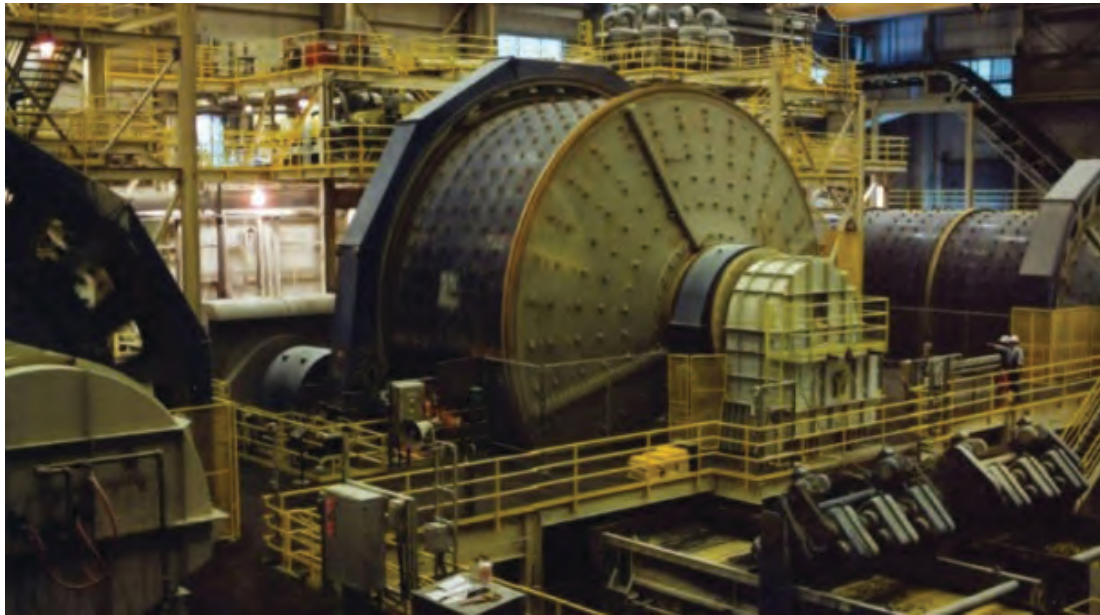
فرآوری مجموعه ای از فرایندها است که سنگ معدن را به مواد قابل استفاده برای تولید فلزات تبدیل می کند. کارخانه های فرآوری در اکثر مواقع در نزدیکی معادن واقع شده اند و سنگ معدن را به فرآورده های معدنی تبدیل می کنند.

هوش مصنوعی می تواند در بهینه سازی فرایندهای مختلف در کارخانه های فرآوری نقش آفرینی کند. عملکرد صحیح و مناسب فرایندهای فرآوری نیازمند بهینه سازی پارامترهای بسیار و مدیریت صحیح کارخانه ها است. هوش مصنوعی در این زمینه تأثیرگذاری بسیاری دارد.

به عنوان نمونه یک شرکت معدنی، با همراهی شرکت مکنزی در پروژه ای در یک معدن مس، با استفاده از هوش مصنوعی به بهینه سازی یکی از آسیاب های صنعتی پرداخته است و توانسته عملکرد آسیاب را بهبود دهد<sup>۱</sup>. مثالی دیگر در این زمینه بهینه سازی دیسک دوار در فرایند گندله سازی در صنعت فولاد است. در این بخش به کمک پردازش تصویر، ابعاد گندله ها به صورت

1. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/how-we-help-clients/inside-a-mining-companys-ai-transformation>

پیوسته اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از داده‌های لحظه‌ای و کنترل سیستم گندله‌سازی، می‌توان عملکرد گندله‌سازی را بهبود بخشید. در ایران شرکت درصا، سامانه هوشمند دانه‌بندی گندله را برای کارخانه‌های فولاد مبارکه اصفهان، چادرملو، فولاد خوزستان و... ارائه کرده است.



هوش مصنوعی علاوه بر آن که با تحلیل داده‌های عملیاتی که از طریق حس‌گرهای فیزیکی تولید شده‌اند می‌تواند به بهبود عملیات کمک کند، بلکه خود نیز می‌تواند در شرایطی که امکان استفاده از حس‌گر وجود ندارد به جمع‌آوری داده‌ها بپردازد. سافت سنسور یا حس‌گر نرم یکی از این موارد هستند که با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی بسیار توانمند شده‌اند. این حس‌گرها می‌توانند در توسعه سیستم‌های اتوماسیون صنعتی نقش اساسی ایفا کنند.



روش های پردازش تصویر کاربردهای بسیاری در حوزه معادن دارند و می توان از آن ها در بخش های مختلف استفاده کرد. به عنوان مثال با استفاده از پردازش تصویر می توان به آنالیز بار تراک ها و بررسی اندازه سنگ ها و یا حتی ترکیب شیمیایی سنگ ها پی برد. همچنین در بخش های دیگر فرآوری نظیر گندله سازی استفاده از فناوری پردازش تصویر می تواند به کنترل وضعت گندله سازی و اندازه آن ها کمک کرد.

به عنوان نمونه، نصب دوربین در محل تخلیه بار دامپتراک در دهانه ورودی سنگ شکن در مجتمع مس شهرباک به این مجتمع کمک می کند که اطلاعاتی را در لحظه در مورد بار در حال تخلیه به دست آورد. آنالیز تصویر تخلیه تراک ها و ارتباط آن با توان کشی سنگ شکن و تنظیم اتومات دهانه سنگ شکن یکی از نیازمندی های اعلام شده مجتمع مس شهرباک است که اجرای آن می تواند به بهینه سازی عملیات خردایش کمک کند.

یکی از کاربردهای هوش مصنوعی توسعه روش هایی برای ردیابی خاک از معدن تا بخش های مختلف فرآوری است که این نیاز فناورانه نیز در معادن مختلف کشور دیده شده است.

### دوقلوی دیجیتال

دوقلوی دیجیتال یک نسخه دیجیتال از یک سیستم فیزیکی می باشد به گونه ای که تمام فرآیندهایی که در کارخانه یا فرآیند انجام می شود در نسخه دوقلوی دیجیتالی نیز انجام می شود، نکته حائز اهمیت در مورد دوقلوی دیجیتال این است که دوقلوی دیجیتال قابلیت پیش بینی و همچنین ایجاد درک

مناسب‌تری از اتفاقات درون یک مجموعه را فراهم می‌کند. ایجاد دوقلوی دیجیتال برای واحدهای فرآوری یکی از پروژه‌های پرتکرار است. در واقع بسیاری از کارخانه‌های تولیدی امروزه به دنبال توسعه دوقلوهای دیجیتال هستند. در جهان شرکت‌هایی نظیر Metallurgicalsystems و Mosimtec و... نمونه شرکت‌هایی هستند که فناوری دوقلوی دیجیتال با استفاده از هوش مصنوعی را برای واحدهای فرآوری مواد معدنی ارائه می‌کنند.

در ایران نیز پروژه‌های دوقلوی دیجیتال برای برخی فرایندها در حال انجام می‌باشد. شرکت طلاوران یکی از شرکت‌هایی است که در فرایندهای فرآوری طلا و برخی فرایندهای هیدرومتالورژی در حال توسعه دوقلوهای دیجیتال می‌باشد. همچنین شرکت I4 twin نیز در زمینه ساخت دوقلوی دیجیتال تجربه قابل توجهی داشته و همکاری‌های بین‌المللی را نیز در کارنامه دارد.

### جمع‌بندی بخش فرآوری

کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی با کمک هوش مصنوعی می‌توانند از طریق مختلف، توان تولید خود را افزایش دهند، مصرف انرژی را کاهش دهند، تولید ضایعات و آلاینده‌ها را کاهش دهند و بهره‌وری خود را افزایش دهند. حرکت به این سمت یک ضرورت واقعی است و راه‌گزینی از آن وجود ندارد اما در این مسیر نیز چالش‌های بسیار وجود دارد. یکی از چالش‌های بزرگ هزینه بالای مورد نیاز برای تأمین زیرساخت مورد نیاز به‌کارگیری هوش مصنوعی می‌باشد. زیرساخت‌های جمع‌آوری داده نظیر حس‌گرها، زیرساخت‌های ارتباطی نظیر شبکه اینترنت، زیرساخت ذخیره‌سازی و پردازش



داده و زیرساخت‌های اتوماسیون صنعتی برای عملکرد مناسب و ایده‌آل بر پایه هوش مصنوعی ضروری است.

همچنین از آنجایی که تجهیزات این واحدها گران‌قیمت و حیاتی هستند، پذیرش ریسک به‌کارگیری فناوری‌های جدید چندان راحت نیست و اجرایی‌سازی پروژه‌ها را دشوار می‌کند. یکی از مهم‌ترین موانع در پیشبرد هوش مصنوعی در این بخش، مسئله امنیت است. وقوع حملات سایبری به کارخانه‌ها یکی از مهم‌ترین ریسک‌هایی است که صنایع با آن روبرو هستند. به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند نیازمند تأییدیه‌های امنیتی نظیر اف‌تا است که صنایع برای دریافت آن‌ها لازم است اقدامات پیشگیرانه دشواری را انجام دهند که در بسیاری از حالات ساده نیست. از همین رو رسیدن به سطح مناسبی از هوشمندسازی در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی چندان ساده نیست و حتی برخی از واحدها در کشور با وجود این که امکان توسعه سیستم‌های هوشمند را دارند، اما به سبب نداشتن تأییدیه‌های امنیتی اجازه استفاده از آن‌ها را ندارند.

### ۳-۴. مروری بر چالش‌ها و موانع تحول دیجیتال و هوشمندسازی بخش معدن

هرچند که در این گزارش به صورت اختصاصی بر فناوری هوش مصنوعی پرداخته شد اما طبیعی است که موانع پیش روی به‌کارگیری این فناوری، به ویژه موانع غیر فنی، مشابهت بسیاری با موانع تحول دیجیتال در معدن داشته باشد. در این بخش به مرور برخی از این موانع می‌پردازیم تا با یک شناخت بهتر به ارائه پیشنهادهای سیاستی بپردازیم. در بخش‌های قبلی گزارش به تعدادی از این



موانع و چالش‌ها اشاره شد. در این بخش تلاش می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها به همراه موارد ذکر نشده به صورت مختصر بیان شوند.

### **در اولویت نبودن مسئله تحول دیجیتال به سبب وجود چالش‌های موجود**

حوزه معدن در کشور با چالش‌های متعددی روبرو است، مسئله انرژی و قطعی برق، قیمت‌گذاری‌ها و سیاست‌گذاری‌های نادرست و... بخشی از مواردی است که از شرکت‌ها و صنایع معدنی انرژی مضاعف می‌گیرد و از همین رو بسیاری از صنایع با وجود آگاهی از لزوم تحول دیجیتال، نمی‌توانند تحول دیجیتال را در میان اولویت‌ها و یا اهداف راهبردی قرار دهند.

### **مقاومت در برابر تغییر**

یکی از موارد پرتکرار در پژوهش‌های مختلف و همچنین نقل‌قول‌های فعالان معدنی، مقاومت در برابر تغییر است. سمیه خلوصی، معاون برنامه‌ریزی و توانمندسازی ایمیدرو، در دومین همایش معدنکاری دیجیتال این مورد را به عنوان مهم‌ترین مانع در مسیر تحول دیجیتال برشمرد. این مقاومت را می‌توان در کارگران تا مدیران عامل مشاهده کرد. بسیاری از مدیران آشنایی مناسبی با مفاهیم تحول دیجیتال نداشته، اهمیت و ضرورت آن را آن‌طور که باید درک نکرده از همین رو در این راستا گامی بر نخواهند داشت.

### عدم توسعه متناسب با نسل قبلی صنعت

تحول دیجیتال و استفاده از فناوری های نسل چهارم، به خصوص فناوری هوش مصنوعی، در شرایطی که بسیاری از واحدهای معدنی متناسب با نسل های قبل فناوری در دوره های گذشته همراه نشده اند هم دشوار است و هم هزینه های بسیار بیشتری را طلب می کند.

### نبود ابزارهای حمایتی و ابزارهای مالی مناسب

حرکت کردن به سمت تحول دیجیتال هم نیازمند منابع مالی است و همچنین ریسک های زیادی را بر شرکت ها تحمیل می کند، نبود ابزارهای حمایتی و ابزارهای مالی مناسب در این زمینه میل به سکون را افزایش می دهد.

### قدیمی بودن ماشین آلات معدنی در ایران

بسیاری از صاحبان صنایع و مدیران در بخش معدن، قدیمی بودن ماشین آلات معدنی را یکی از مهم ترین موانع در این مسیر می داند، ماشین آلات قدیمی امکان نصب سیستم های دیجیتالی را ندارند. افزایش قیمت بالای ماشین آلات معدنی به سبب تورم و همچنین برخی مقررات محدودکننده سبب شده است بسیاری از شرکت های معدنی امکان نوسازی ناوگان خود با ماشین آلات روز که شرایط لازم برای پیاده سازی راه حل های هوشمند را دارند، نداشته باشند.



## زیرساخت نامناسب جمع‌آوری، انتقال، ذخیره‌سازی و پردازش داده

در حالی که برای پیشبرد پروژه‌های تحول دیجیتال نیازمند نسل پنجم اینترنت هستیم، در بسیاری از مناطق معدنی حتی نسل چهارم و سه اینترنت نیز وجود ندارد. از سویی بسیاری از شرکت‌ها نیز زیرساخت‌های مناسب برای جمع‌آوری داده نظیر حس‌گرها و... را در اختیار ندارند.

### امنیت

در صنعت نسل چهارم، حملات سایبری به واحدهای صنعتی یک تهدید جدی است. برخی از حملات سایبری در سال‌های گذشته بر حساسیت این موضوع افزوده است. بسیاری از شرکت‌های صنعتی در وضعیت فعلی شرایط لازم برای ارتقا سطح امنیت خود را نداشته و از همین رو با سختگیری‌های بسیار نهادهایی نظیر افتا مواجه می‌شوند. از همین رو اجرای بسیاری از پروژه‌ها تا قبل از پاسخگویی به الزامات امنیتی تقریباً غیرممکن است.

### نیروی انسانی

یکی از چالش‌های بسیار مهم در حوزه تحول دیجیتال در بخش معدن، چالش منابع انسانی است، در سال‌های اخیر نسل جدید نیروی کار تمایل کمتری به حضور در حوزه معدن دارد. همچنین بخش معدن در رقابت با سایر بخش‌ها، شانس کمتری برای جذب استعدادهاى مورد نیاز در زمینه تحول دیجیتال را دارد.



## نبود درس آموخته و تجربیات موفق

در حال حاضر، یکی از چالش‌های تحول دیجیتال در بخش معدن، نبود تجربه‌های موفق در داخل کشور و درس‌آموزی از آن است.

موارد فوق تنها برخی از چالش‌های موجود در مسیر تحول دیجیتال در بخش معدن است که باید به آن‌ها توجه شود و در هرگونه سیاست‌گذاری به آن‌ها توجه شود.

### ۳-۵. نقطه شروع برای استفاده از هوش مصنوعی در بخش معدن

حوزه معدن بسیار گسترده است و بازیگران متنوعی را در یک زنجیره ارزش طولانی در خود دارد. ایجاد تحول در این صنعت وسیع چندان ساده نیست و نیازمند برنامه‌ریزی و داشتن یک نقشه راه مناسب است. از سویی پنجره فرصت بهره‌گیری از فناوری هوش مصنوعی بسیار اندک است و تأخیر در حرکت در این مسیر می‌تواند زیان‌بار باشد. از همین رو انتخاب یک نقطه شروع مناسب ضروری است. این نقطه آغازین باید از لحاظ اقتصادی، ارزش‌آفرین باشد، سهل‌الوصول باشد و بازکننده مسیر برای توسعه تحول دیجیتال باشد. انتخاب چنین نقطه آغازین مناسبی می‌تواند اعتماد مدیران به فناوری‌های جدید را افزایش دهد، هزینه‌های پروژه‌های انجام شده را پوشش دهد و ریسک اجرا و توسعه را کاهش می‌دهد.

بر اساس مطالب مذکور حوزه اکتشاف می‌تواند به عنوان نقطه آغازین در این مسیر انتخاب گردد. در ادامه از برخی جهات به بررسی این موضوع می‌پردازیم.



**نخست، حوزه اکتشاف در حال حاضر هم در سطح بنگاه و هم در سطح ملی اهمیت راهبردی دارد.** کشف ذخایر جدید برای شرکت‌ها و صنایع یک منبع برای کسب درآمد و سود به حساب می‌آید. بسیاری از شرکت‌های بزرگ معدنی، در سال‌های گذشته، توسعه فعالیت‌های اکتشافی را در میان اهداف راهبردی خود قرار داده‌اند.

در سطح ملی، اکتشاف معادن جدید به معنای خلق ثروت، ایجاد اشتغال و توسعه اقتصاد است. علاوه بر آن اکتشاف و توسعه معادن جدید از محل حقوق دولتی می‌تواند یک منبع درآمدی برای دولت باشد<sup>۱</sup>. از سویی ایران با وجود این که یکی از کشورهای غنی معدنی به حساب می‌آید در زمینه اکتشاف یک عقب‌افتادگی تاریخی را تجربه می‌کند. در ایران از سال ۱۳۱۷ تا ۱۳۹۸، در کل حدود ۶ میلیون متر حفاری صورت گرفته است که عدد بسیار پائینی می‌باشد<sup>۲</sup>. به گفته الله‌وری دهقانی، عضو کمیسیون صنایع و معادن مجلس شورای اسلامی، تنها ۷٪ از سطح کشور اکتشافات کامل صورت گرفته است. همه این موارد و سایر موارد ذکر نشده از زبان متخصصین و صنعتگران بخش معدن نشان می‌دهد که عملکرد اکتشافی کشور مورد قبول نیست و نیازمند توسعه جدی در این مسیر هستیم.

## **دوم، حوزه اکتشاف حوزه‌ای داده محور است.**

در حالی که دسترسی به داده در بخش استخراج و فرآوری دشوار است، حوزه اکتشاف به صورت خوبی با داده در ارتباط است. هرچند ممکن است این داده‌ها در حال حاضر شرایط لازم را برای

1. <https://dolat.ir/detail/434516>

2. سجاد غرق، نقش معدن و صنایع معدنی در اقتصاد و راهکارهای اعتلای آن، ۱۴۰۰، مجله نظام مهندسی معدن، شماره ۴۴



هوش مصنوعی را نداشته باشند، اما همین مسئله که متخصصین این حوزه از روش های داده محور استفاده می کنند پذیرش این فناوری را ساده تر می کند.

### سوم، چالش های امنیتی در بخش اکتشاف کمتر است.

در حالی که چالش امنیت و اخذ تأییدیه های افتا برای معادن و کارخانه ها یک مسئله جدی است؛ اما در بخش اکتشاف این موضوع یک مانع جدی به حساب نمی آید.

### چهارم، وجود یک نهاد متولی

تهیه اطلاعات پایه برای حوزه اکتشاف در کشورها از وظایف حاکمیت ها می باشد. در ایران سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور به عنوان نهاد متولی بخش اکتشافات کشور فعالیت می کند. این سازمان در سال های گذشته پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور را به عنوان یک مرجع برای دریافت داده ها و نقشه های زمین شناسی راه اندازی کرده است. وجود چنین نهادی با تجربه داشتن یک پایگاه داده ای (هرچند این پایگاه داده برای پروژه های هوش مصنوعی کاربردی نمی باشد) یک نقطه قوت به حساب می آید. طرح تحول زمین شناسی و اکتشافات معدنی در دو سال گذشته با تمرکز بر گردآوری لایه های اطلاعاتی در حال اجرا است که می تواند گام مهمی در این زمینه به حساب آید. سازمان گسترش و نوسازی صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) به عنوان متولی سیاست گذار این بخش است و شرکت تهیه و تولید فرآورده های معدنی ایران (ایمپاسکو) بازوی اجرایی ایمیدرو در این زمینه است. فعالیت های این سازمان ها در راستای به کارگیری فناوری های جدید در این بخش حائز اهمیت

است. به عنوان نمونه در دی ماه ۱۴۰۲ از سامانه اطلاعات یکپارچه مکان مبنای ایمیدرو، رونمایی شد که می‌تواند به عنوان یک منبع اطلاعاتی مناسب در نظر گرفته شود.

علاوه بر آن، بر اساس قانون (تبصره ۳ ماده اصلاح قانون معادن)، همه ارگان‌ها در راستای تجمیع و هم‌افزایی نتایج فعالیت‌های تولید اطلاعات پایه زمین‌شناسی و اکتشافی باید اطلاعات خود را در اختیار وزارت صمت قرار دهند. گام‌هایی در این زمینه برداشته شده است که سامانه کاداستر را می‌توان بخشی از آن نام برد.

این موارد و اقدامات، هرچند کوچک، در مقایسه با سایر بخش‌ها نشان می‌دهد که در حوزه اکتشاف معادن، متولی‌های اصلی نسبتاً با نقش خود آشنا هستند و همین موضوع از اهمیت خوبی برخوردار است.

### **پنجم، تنوع بازیگران در بخش اکتشاف زیاد است.**

عملیات‌های اکتشافی توسط بازیگران مختلفی انجام می‌شود. استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های دانش‌بنیان، مهندسی مشاور، پیمانکاران معدنی، کنسرسیوم‌های متشکل از شرکت‌های معدنی یا پیمانکاران و... همگی می‌توانند در بخش اکتشاف، نقش آفرینی کنند. در حالی که در سایر بخش‌ها نظیر فرآوری یا استخراج، امکان حضور مناسب شرکت‌های دانش‌بنیان یا استارت‌آپ‌ها دشوار است.

### **ششم، همسویی با رویکردهای بهینه‌سازی یکپارچه نظیر ژئومتالورژی**

رویکردهایی نظیر ژئومتالورژی امروزه نویدبخش بهینه‌سازی یکپارچه زنجیره ارزش معدن از زمین‌شناسی تا فرآوری می‌باشد. ژئومتالورژی شامل ادغام اطلاعات زمین‌شناسی و متالورژی برای



استخراج مؤثر و پایدار مواد معدنی ارزشمند از زمین است. حرکت به سمت این رویکرد، از بخش زمین شناسی آغاز می شود. در صورتی که بخواهیم در آینده به سطح ایده آلی از مدیریت یکپارچه معادن هوشمند برسیم، در نظر گرفتن حوزه اکتشاف ارزش آفرینی بیشتر نسبت به حوزه استخراج و فرآوری دارد.

موارد مذکور برخی از دلایلی است که می توان از آن نتیجه گرفت که بخش اکتشاف، نسبت به سایر حوزه ها، برای پذیرش فناوری هوش مصنوعی، آمادگی بهتری دارد و موانع نسبتاً کمتری پیش روی آن قرار دارد. می توان امیدوار بود که شروع از نقطه اکتشاف به واسطه سهولت نسبی آن، موفقیت های مورد نیاز برای تغییر نگاه مدیران را ایجاد کند، از طریق افزایش ارزش خلق شده حاصل از کاهش هزینه های اکتشافی، و یا کشف منابع جدید، سرمایه لازم برای شرکت ها برای ادامه دادن مسیر هوشمندسازی و به کارگیری از فناوری های جدید با محوریت هوش مصنوعی در بخش های استخراج و فرآوری را فراهم کند و در نهایت مزایای خود را برای شرکت ها، کارکنان و کارگران شرکت ها، محیط زیست، دولت و جامعه به ارمغان آورد.

### ۳-۶. جمع بندی

بهره مندی فناوری هوش مصنوعی در بخش های مختلف زنجیره معدنی می تواند اثرات اقتصادی فراوانی داشته باشد. این تأثیرگذاری بیشتر از زاویه ارتقا بهره وری است که یکی از چالش های اصلی معادن و صنایع معدنی به حساب می آید.



صنایع معدنی را می‌توان صنایعی نسبتاً سنتی در نظر گرفت که با تأخیر بیشتری نسبت به سایر صنایع پذیرای فناوری‌های جدید، به ویژه فناوری هوش مصنوعی، شده‌اند. تنوع پروژه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در این حوزه قابل توجه می‌باشد که بر اساس نیازهای مختلف صنایع انجام شده‌اند. در این گزارش تنها به بررسی متداول‌ترین این پروژه‌ها پرداخته شد که از اهمیت بالاتری برخوردار بوده و هم در بخش‌های مختلف معدنی قابل اجرا می‌باشند. علاوه بر آن به حوزه اکتشاف معادن، به سبب داده محور بودن، اهمیت راهبردی برای شرکت‌ها و دولت، چالش‌های کمتر امنیتی و...، به عنوان نقطه آغازین مناسب برای به‌کارگیری هوش مصنوعی در بخش معدن معرفی گردید.

بهره‌گیری از این فرصت‌ها و دستاوردهای این فناوری نیازمند رفع چالش‌ها و موانع موجود در این مسیر برای شرکت‌های معدنی، شرکت‌های فناور و تقویت نقاط قوت و رفع نقاط ضعف آن‌هاست. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در کشور ما جایگاه هوش مصنوعی و سایر فناوری‌های نوظهور در صنایع معدنی در مرحله ابتدایی است و شکاف زیادی با سایر کشورها دارد. همچنین دانش فنی مورد نیاز برای به‌کارگیری در این صنایع به خوبی توسعه نیافته است. از همین رو برای توسعه هوش مصنوعی در صنایع معدنی نیازمند یک الگوی مناسب هستیم، الگویی که با نقش‌آفرینی بازیگران مختلف و کلیدی، نه تنها موجب به‌کارگیری و تحول در برخی واحدهای صنعتی شود، بلکه بتواند زمینه‌ساز تحول در کل صنعت شود.

در میان الگوهای مختلف، «نظام نوآوری شرکتی» می‌تواند یک گزینه مناسب برای بخش معدن باشد. وجود شرکت‌های بزرگ به عنوان بازیگران اصلی و همچنین وجود تعداد قابل توجهی از

شرکت‌های کوچک که با شرکت‌های بزرگ در حال تعامل اند، بستر مناسبی را برای به‌کارگیری الگوی نظام نوآوری شرکتی ایجاد می‌کند. همچنین تاریخچه بسیاری از شرکت‌ها و تحولات نشان می‌دهد که الگوی نظام نوآوری شرکتی، با بخش معدن همخوانی مناسبی دارد. در بخش بعدی این گزارش به معرفی مدل نظام نوآوری شرکتی برای توسعه فناوری هوش مصنوعی پرداخته می‌شود، دسته‌بندی بازیگران و نقش‌های آن‌ها ارائه شده و همچنین برخی از شرکت‌ها یا نهادهای فعال که در زمینه هوش مصنوعی گام برداشته‌اند و می‌توانند در ادامه این مسیر از پیشگامان باشند معرفی می‌گردند.

#### ۴. توسعه هوش مصنوعی در صنایع معدنی بر اساس نظام نوآوری شرکتی

رسیدن به صنعت معدن پیشرفته و مدرن و استفاده از فناوری هوش مصنوعی و کاربردهای آن که در بخش قبلی ذکر گردید نیازمند یک برنامه و الگوی مناسب است. الگویی که بتواند هم به توسعه فناوری کمک کند و هم کاربردی سازی آن را سبب شود. این الگو باید با شرایط و ویژگی‌های بخش معدن همخوانی مناسبی داشته باشد.

در میان مدل‌های مختلف «نظام نوآوری شرکتی» یکی از مدل‌هایی است که می‌تواند برای این هدف مناسب باشد.

نظام نوآوری شرکتی را می‌توان مجموعه‌ای از بازیگران، فعالیت‌ها، منابع، نهادها و روابط متقابل علی در نظر گرفت که در آن کلیه ارکان اکوسیستم در خدمت شرکت بزرگ مرکزی برای دست یافتن به اهداف تجاری و کسب‌وکاری این شرکت بزرگ تلاش می‌کنند. در این مدل سیاست‌گذار



حوزه توسعه فناوری در معدن، حمایت‌های خود را بر ارکانی از اکوسیستم هوش مصنوعی در معدن متمرکز می‌کند که در خدمت اهداف تجاری شرکت بزرگ باشند. با استفاده از این مدل، ضمن استقلال اکوسیستم هوش مصنوعی از شرکت‌های بزرگ، بازار مناسبی نیز برای ایشان ایجاد شده و شرکت بزرگی که در مرکزیت سیستم نوآوری شرکتی قرار دارد به طور غیرمستقیم یا مستقیم از حمایت‌های دولتی بهره‌مند می‌گردد.

### نظام نوآوری شرکتی در صنایع معدنی در ایران

تجربه حوزه معدن شباهت خوبی به مدل نظام نوآوری شرکتی دارد. تصویر ساده‌سازی شده زیر برای درک بهتر بازیگران مهم حوزه معدن ارائه شده است.





بر اساس قانون اصلاح قانون معادن، وزارت صنعت، معدن و تجارت مسئول اعمال حاکمیت بر معادن کشور و حفظ ذخایر معدنی و نیز صدور اجازه فعالیت‌های معدنی مقرر در این قانون و نظارت بر امور مزبور و فراهم آوردن موجبات توسعه فعالیت‌های معدنی، دستیابی به ارزش افزوده مواد خام معدنی، توسعه صادرات مواد معدنی با ارزش افزوده، ایجاد اشتغال در این بخش و نیز افزایش سهم بخش معدن در توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور است<sup>۱</sup>. در امتداد این مسیر، سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) به عنوان متولی راهبری، بسترساز و تسهیلگر در این حوزه فعالیت می‌کند. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور نیز به عنوان متولی اصلی بخش اکتشافات معدنی شناخته می‌شود.

به صورت ساده، می‌توان شرکت‌های معدنی و پیمانکاران معدنی را بازیگران مهم این صنعت در نظر گرفت که همراه با شرکت‌های بزرگ، کوچک و متوسط دیگر، فعالیت خود را ادامه می‌دهند. این شرکت‌های بزرگ معدنی در راستای رفع نیازهای فناورانه و حل چالش‌های علمی و صنعتی خود، با دانشگاه‌ها، مؤسسات تحقیقاتی، پارک‌های علم و فناوری، شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ‌ها و... همکاری می‌کنند. در این مسیر سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر و شتاب‌دهنده‌ها و... می‌توانند نقش خوبی داشته باشند. نهادها و انجمن‌های مختلفی در بخش معدن فعال هستند که در پیشبرد اهداف بخش معدن به این اکوسیستم کمک می‌کنند. خانه معدن، انجمن سنگ آهن، انجمن مس، اتاق‌ها و... برخی از این نهادها هستند.

---

۱. قانون اصلاح قانون معادن، ماده ۲

مشاهده می‌شود که بخش معدن به صورت یک فعالیت ایزوله توسط شرکت‌های مختلف نیست، بلکه شرکت‌های بزرگ در پیوند با بازیگران دیگر فعالیت خود را ادامه می‌دهند. هرچند ممکن است بسیاری از پیوندها قوی نباشد و نیاز به تقویت داشته باشند. این شرایط نشان می‌دهد که استفاده از مدلی نظیر مدل نظام نوآوری شرکتی، همخوانی مناسبی با بخش معدن دارد.





امروزه برخی از شرکت‌های معدنی در راستای توسعه فناوریانه خود از این چنین مدلی بهره می‌گیرند. مجتمع مس شهر بابک یکی از نمونه‌های مهم در این زمینه است. این مجموعه مدل نوآوری شرکتی را برای طرح توسعه نوآوری و فناوری خود معرفی کرده است<sup>1</sup>. رویداد مسینو در راستای رفع نیازهای فناوریانه این مجتمع، گروه‌های مختلف از جمله شرکت‌های دانش‌بنیان را مخاطب قرار می‌دهد. بسیاری از نیازهای فناوریانه با محوریت هوش مصنوعی این مجتمع نیز در قالب همین طرح دنبال می‌شود.

بسیاری از شرکت‌های معدنی دیگر نیز در گزارش‌های خود مدلی مشابه مدل نظام نوآوری شرکتی را برای پیشبرد طرح‌های فناوریانه خود مطرح کرده‌اند. این جهت‌گیری‌ها حاکی از آن است که نظام نوآوری شرکتی مدلی پذیرفته شده در بخش معدنی است. از همین رو این مدل برای توسعه هوش مصنوعی در بخش معدن می‌تواند مناسب باشد.

در ادامه مدلی با هدف توسعه هوش مصنوعی ارائه خواهد شد. در این مدل برخی از مهم‌ترین بازیگران معرفی خواهند شد.

### شرکت بزرگ

در مفهوم نظام نوآوری شرکتی، یک شرکت بزرگ در مرکز قرار می‌گیرد. شرکت بزرگ را می‌توان شرکتی تعریف کرد که در صنعت خود جایگاهی مهم و سهم قابل توجهی از بازار را دارد. این شرکت‌ها در اطراف خود با گستره وسیعی از تأمین‌کنندگان و مشتریان، نهادهای علمی و پژوهشی و... تعامل

1. <https://www.mesinno.ir/cnf/about?goals>

دارند. برای به‌کارگیری نظام نوآوری شرکتی با هدف توسعه هوش مصنوعی در صنایع معدنی، می‌توان شرکت‌های بزرگ را به سه دسته کلی تقسیم کرد. شرکت‌های بزرگ معدنی، پیمانکاران معدنی و شرکت‌های غول فناوری. در ادامه با هر یک از این دسته‌ها آشنا می‌شویم.

**شرکت‌های بزرگ معدنی:** شرکت‌های معدنی شرکت‌هایی هستند که به بهره‌برداری از معادن و فرآوری مواد معدنی می‌پردازند. در واقع بازیگران اصلی بخش معدن این شرکت‌ها می‌باشند. این شرکت‌ها و هولدینگ‌ها معادن و کارخانه‌های متعددی را در بخش‌های مختلف کشور در اختیار دارند. صنایع ملی مس ایران، گل‌گهر سیرجان، گهرزمین، چادرملو، هولدینگ میدکو، سنگ آهن سنگان، گروه صنعتی و معدنی زرین، هولدینگ ماهان و سنگ آهن مرکزی و... برخی از این شرکت‌ها به حساب می‌آیند. این شرکت‌ها در زمره بزرگ‌ترین شرکت‌های ایرانی به شمار می‌آیند. این شرکت‌های بزرگ می‌توانند با همراهی سایر بازیگران در نظام نوآوری شرکتی، نیازهای فناورانه خود در زمینه هوش مصنوعی را رفع کرده و منجر به گسترش و توسعه زیست‌بوم هوش مصنوعی گردند.

نکته مهم در مورد این شرکت‌ها این است که هسته اصلی فعالیت آن‌ها معدن است. در واقع آن‌ها بیشتر به دنبال بهره‌گیری از کاربردهای هوش مصنوعی هستند. از همین رو به خوبی می‌توانند با برون‌سپاری اهداف هوش مصنوعی خود به شرکت‌های کوچک و متوسط و شرکت‌های دانش‌بنیان در حوزه هوش مصنوعی، زمینه‌ساز شکل‌گیری شرکت‌های جدید و رشد آن‌ها شوند.

**پیمانکاران معدنی:** صنایع معدنی بسیاری از فعالیت‌های خود را به پیمانکاران و مجریان طرح‌های صنعتی برون‌سپاری می‌کنند. این پیمانکاران و مجریان با توجه به تخصص و توانمندی‌های



خود خدماتی را برای شرکت های معدنی ارائه می کنند. برخی از این شرکت ها، فعالیت هایی نظیر ساخت و راه اندازی کارخانه ها را برای شرکت های معدنی انجام می دهند، به عنوان نمونه شرکت فکور صنعت مجری پروژه های صنعتی و معدنی می باشد. این شرکت یکی از ۱۰۰ شرکت برتر ایران می باشد که در برخی پروژه های صنعتی خود از هوش مصنوعی نیز بهره گرفته است. دسته دیگری از پیمانکاران بزرگ، شرکت هایی می باشند که فعالیت های اکتشاف، استخراج و یا زیرساخت و... انجام می دهند. شرکت های آهن آجین، مبین، آپادانا کاوش و... از جمله این شرکت ها به حساب می آیند. این شرکت ها عملیات های معدنکاری و... را با تجهیزات و ماشین آلات خود برای شرکت های معدنی و یا دولت انجام می دهند این شرکت ها نیز با توجه به حضور مستقیم در بسیاری از معادن کشور، می توانند در راستای رفع نیازهای فناورانه خود، زمینه ساز توسعه زیست بوم هوش مصنوعی در سطح صنایع معدنی کشور گردند.

یکی از موضوعات مهم این است که نسبت به شرکت های معدنی بزرگ، این شرکت ها کمتر مورد توجه سیاست گذاران برای توسعه فناورانه قرار گرفته اند در حالی که حجم قابل توجهی از فعالیت های معدنی کشور توسط این شرکت ها انجام می شود.

**شرکت های غول فناوری:** دسته سوم، شرکت هایی هستند که در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات و یا هوش مصنوعی فعالیت می کنند و می توانند سرویس ها و محصولات هوش مصنوعی را برای حوزه های مختلف توسعه دهند. در ایران شرکت های فناپ زیرساخت، همکاران سیستم، پارت، مبین نت و راهکارهای سازمانی ایرانسل می توانند نمونه ای از این شرکت ها در حوزه معدنی به



حساب آیند. این شرکت‌ها با ارائه سرویس‌هایی در راستای تحول دیجیتال به صنایع معدنی و حضور در رویدادهای تخصصی تحول دیجیتال، تمایل و توانمندی خود در این راستا را نشان داده‌اند. برخلاف دو گونه قبلی، هسته کسب‌وکار این شرکت‌ها بخش معدن نمی‌باشد و فعالیت‌های آن‌ها در حوزه هوش مصنوعی در راستای توسعه سرویس‌هایی برای بخش معدن است. در مدل نظام نوآوری شرکتی، در صورتی که یک شرکت غول فناوری به عنوان شرکت بزرگ در هسته نظام نوآوری شرکتی قرار گیرد، سایر شرکت‌های فناور، دانش‌بنیان، استارت‌آپ و... در تعامل با این شرکت رشد خواهند کرد و شرکت بزرگ به عنوان یک اپراتور هوش مصنوعی برای صنایع معدنی تبدیل خواهد شد.

### استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های دانش‌بنیان و شرکت‌های کوچک و متوسط

در نظام نوآوری شرکتی، این دسته شرکت‌ها به تأمین خدمات فناورانه برای شرکت بزرگ که در هسته این نظام قرار دارد می‌پردازند. شرکت بزرگ به جای آن که برای رفع نیازهای فناورانه خود در زمینه فناوری هوش مصنوعی، به بخش‌های داخلی سازمان خود توجه کند، یا شرکت‌های کوچک را خریداری کند و به بخشی از خود تبدیل کند، به عنوان مشتری یا شریک تجاری (یا در مراحل پیشرفته‌تر سهامدار غیر عمده) با این شرکت‌های کوچک و دانش‌بنیان وارد تعامل می‌شود. در این حال شرکت بزرگ بر فعالیت اصلی خود تمرکز کرده و از دستاورد این شرکت‌ها بهره می‌برد و این شرکت‌ها به عنوان شرکت‌های متخصص رشد کرده و زمینه‌ساز توسعه و گسترش فناوری می‌گردند.



در حال حاضر چندین شرکت دانش بنیان و استارتاپ که در زمینه هوش مصنوعی تخصص دارند و خدمات آن‌ها می‌تواند به شرکت بزرگ ارائه شود در کشور فعالیت می‌کنند. برخی از این شرکت‌ها به صورت اختصاصی در حوزه معدن فعالیت می‌کنند و برخی می‌توانند خدمات خود را برای بخش معدن اختصاصی سازی کنند. در جدول زیر برخی از این شرکت‌ها و استارتاپ‌ها و تیم‌های توانمند معرفی شده‌اند.

حوزه فعالیت	نام شرکت یا استارتاپ
اکتشاف معادن با هوش مصنوعی	سماکاوش هوشمند پارسین
اکتشاف معادن با هوش مصنوعی	زمین پژوهان هوشمند پارس
اکتشاف معادن با هوش مصنوعی	زمین هوش
دامپتراک خودران	نورون
دوقلوی دیجیتال	طلاوران پارس فرآور
دوقلوی دیجیتال	I4twin
تحلیل پایداری شیروانی با استفاده از پردازش تصویر	کیان ارتباط هوشمند
بهینه سازی مسیر در پروژه‌های معدنی و راه سازی	مسیر
سامانه هوشمند دانه بندی گندله، سامانه هوشمند بازرسی نوار نقاله و...	دیده رایان صنعتی اصفهان (درصا)
سامانه هوشمند دانه بندی گندله	شرکت طراحی سیستم و اتوماسیون دورعلی
سورتر هوشمند مواد معدنی	سورچین
اکتشاف معادن با فناوری هوش مصنوعی	IDSM

نام شرکت یا استارتاپ	حوزه فعالیت
سنجش از راه دور بصیر	هوش مصنوعی و سنجش از راه دور
داده یکتا پرداز تحلیل کلان (دیپ تک)	نگهداری و تعمیرات پیش‌گویانه
همراه ماشین هوشمند فردا	واردکننده و تولیدکننده سیستم‌های هوشمند نظیر پایش خواب‌آلودگی رانندگان با پردازش تصویر
راهکارهای هوشمند سدنا	دپوگراف هوشمند
ویراسنسی	ایمنی و امنیت، بینایی ماشین
فرادید	ایمنی هوشمند
سورین فربد	بینایی ماشین و اتوماسیون صنعتی
رتیناتک	بینایی ماشین، فنس مجازی و...
بیستون کویر یزد	سامانه‌های هوشمند دیسپاچینگ و ترکر

موارد ذکر شده در جدول بالا برخی از شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های فعال در این حوزه هستند. همچنین باید توجه شود که همچنان بسیاری از راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در ایران توان فنی و اجرایی آن وجود ندارد و امید است که با ظهور شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ‌های جدید تنوع و گستره این شرکت‌ها افزایش یابد. به همین دلیل باید از انتظارات غیر معقول از هوش مصنوعی در حوزه معدن به شدت پرهیز شود.

## دولت

در مدل نظام نوآوری شرکتی، دولت در داخل زیست‌بوم نقشی ایفا نمی‌کند و صرفاً در قامت یک واحد حمایتی فعالیت می‌کند. در حوزه معدن نقش دولت علاوه بر نقش حمایتی، نقش راهبری



و اجرایی نیز دارد. سازمان توسعه و نوسازی معادن یا ایمیدرو و همچنین شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران یا ایمپاسکو نمونه‌ای از این ایفای نقش هستند. ایمیدرو در برخی از شرکت‌های بزرگ معدنی و صنعتی به عنوان سهام‌دار حضور دارد. علاوه بر این، به عنوان راهبر بخش معدن در کشور نیز نقش آفرینی می‌کند. سند هدهد در راستای استقرار فناوری‌های نسل چهارم در معدن از مهم‌ترین اقدامات ایمیدرو در این زمینه است. همچنین امضای تفاهم‌نامه با نهادها و بخش‌های مختلف، نظیر بنیان نوآوری هوش مصنوعی از جمله دیگر اقدامات این سازمان است. تعامل با دانشگاه در قالب تأسیس موسسه یونیدرو و تأسیس شتاب‌دهنده تخصصی حوزه معدن از دیگر اقدامات این سازمان می‌باشد. شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران به عنوان یک شرکت معدنی، بازوی اجرایی سازمان توسعه و نوسازی معادن ایران به حساب می‌آید که نقش پررنگی در صنعت معدن در کشور دارد.

در بحث اکتشاف، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات متولی اصلی شناخته می‌شود. نقش این سازمان تهیه و انتشار داده‌ها است که در پیشبرد هوش مصنوعی اهمیت بسیاری دارد. در کشورهای مختلف، سازمان‌های مشابه در این مسیر اقدامات مهمی انجام داده‌اند تا با گردآوری داده‌ها، امکان استفاده از هوش مصنوعی را تسهیل کنند. در ایران اقدام مناسبی با این هدف انجام نشده است و داده‌های مناسب برای کاربرد هوش مصنوعی در حال حاضر وجود ندارد اما اقدامات این سازمان نظیر پایگاه ملی داده‌های علوم زمین می‌تواند زمینه‌ای برای شروع باشد.

در واقع می‌توان مشاهده کرد با توجه به این که نقش دولت در این مسیر بیشتر از یک نقش حمایتی است، بهتر است در خود زیست‌بوم نیز جایی برای برخی از سازمان‌های دولتی در نظر گرفته شود زیرا توسعه هوش مصنوعی نیاز به تقویت خود این سازمان‌ها دارد.

### سرمایه‌گذاران، سرمایه‌گذاران خطرپذیر (VC) و شتاب‌دهنده‌ها

در توسعه نوآوری و فناوری‌های نوظهور، نقش شتاب‌دهنده‌ها و سرمایه‌گذاران خطرپذیر و همچنین سرمایه‌گذاران کلان بسیار حیاتی است. بخش معدن نیز از این قاعده مستثنا نیست. در بخش معدن **سرمایه‌گذاران بزرگ** نقش بسیار حیاتی دارند. شرکت‌های سرمایه‌گذاری بزرگ با سرمایه‌گذاری در صنایع معدنی هم به توسعه بخش معدن کمک می‌کنند و هم برای سهامداران خود سودآوری می‌کنند. در صورتی که برخی از شرکت‌های بزرگ معدنی به دنبال ساخت کارخانه‌های جدید هوشمند باشند، بدون شک نقش این سرمایه‌گذاران حیاتی خواهد بود. دسته دیگر فعالان حوزه تأمین مالی، **سرمایه‌گذاران خطرپذیر** می‌باشند، این سرمایه‌گذاران به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های با ریسک بالا می‌پردازند. حضور این سرمایه‌گذاران برای توسعه و رشد شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ‌ها بسیار اهمیت دارد. سرمایه‌گذاری خطرپذیر **معنا** و آن می‌تواند به عنوان دو نمونه سرمایه‌گذاری خطرپذیر در حوزه معدن معرفی شوند. ورود فولاد مبارکه به حوزه سرمایه‌گذاری خطرپذیر نیز اقدامی قابل توجه در این مسیر است. همچنین سرمایه‌گذاری خطرپذیر **بهمن** که در حوزه‌های صنعتی فعالیت می‌کند، آمادگی ورود به حوزه معدن را اعلام کرده است.



**شتاب دهنده‌ها** نیز از جمله ارکان اکوسیستم هوش مصنوعی هستند که به حمایت از استارت‌آپ‌ها در مراحل اولیه می‌پردازند. در ایران شتاب دهنده‌های ایمنو، کانی بوم، راشا، ماین تک و... را می‌توان از جمله شتاب دهنده‌هایی دانست که می‌توانند در زمینه توسعه فناوری هوش مصنوعی در بخش معدن نقش ایفا کنند. نکته حائز توجه در این بخش، توان سرمایه‌گذاری نقدی اندک شتاب دهنده‌ها در بخش معدن می‌باشد. چه در ایران و چه در سطح جهانی، هزینه استارت‌آپ‌ها در بخش معدن بسیار زیاد است و شاید میزان سرمایه‌گذاری شتاب دهنده‌ها چندان تأثیرگذار نباشد. اما بدون شک این شتاب دهنده‌ها در زمینه آموزش و مشاوره و استقرار، اتصال آن‌ها به صنایع و سرمایه‌گذاران می‌تواند به استارت‌آپ‌ها در مراحل اولیه کمک فراوانی کنند.

### دانشگاه و مؤسسات آموزشی

دانشگاه در دو نقش می‌تواند در راستای توسعه فناوری در صنایع معدنی نقش ایفا کند. اولین نقش، تربیت نیروی متخصص و دومین نقش، انجام پژوهش‌های تحقیقاتی برای صنایع معدنی است. به عنوان نمونه موسسه یونیدرو (موسسه پژوهشی مشترک دانشگاه تهران و ایمیدرو) در این زمینه نقش آفرین است. این موسسه با داشتن کارگروه هوش مصنوعی و همچنین انجام پروژه‌های متعدد در زمینه تحول دیجیتال در صنایع معدنی و همچنین برگزاری دوره‌های آموزشی، رویدادهای اینوماین و... همچنین حمایت از پایان‌نامه‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی و... نقش حائز اهمیتی در این زمینه دارد.

نمونه دیگری از نقش دانشگاه، آزمایشگاه ماشین آلات معدنی دانشگاه صنعتی اصفهان می باشد که مجری پروژه خودران سازی ناوگان مجتمع مس سرچشمه است. همچنین بسیاری از اساتید و دانشجویان و پژوهشگران، با انجام تحقیقات پژوهشی، پاسخگوی نیازهای فناورانه صنایع در زمینه هوش مصنوعی خواهند بود.

پارک های علم و فناوری نیز می توانند نقش خوبی در حمایت از تیم های توانمند در این زمینه ایفا کنند و با ارتباط با صنایع معدنی به رفع نیازهای فناورانه آنها کمک کنند. تفاهم نامه میان شرکت پشتیبانی و توسعه فناوری و نوآوری فولاد مبارکه و پارک علم و فناوری دانشگاه تهران و همچنین تأسیس پردیس فناوری صنایع معدنی که حاصل همکاری شرکت فولاد سنگان و پارک علم و فناوری خراسان است را می توان به عنوان نمونه برشمرد. بسیاری از شرکت های معدنی در این زمینه گام های خوبی برداشته اند.

علاوه بر موارد فوق، بسیاری از شرکت های معدنی با ارائه نیازهای پژوهشی خود به دانشگاه ها یا اساتید دانشگاه ها و گروه های پژوهشی، خدمات تحقیقاتی مورد نیاز خود را برون سپاری می کنند یا از پایان نامه های مرتبط با حوزه های مورد نیاز آنها حمایت می کنند.

موضوع حائز اهمیت در این بخش، این است که با وجود همکاری ها و همراهی های بسیار و انعقاد تفاهم نامه ها، همچنان ارتباط صنایع معدنی با بدنه دانشگاهی در حد مطلوبی نبوده و برای تقویت این ارتباط باید تلاش های بیشتری صورت گیرد.



## انجمن ها و تشکل ها

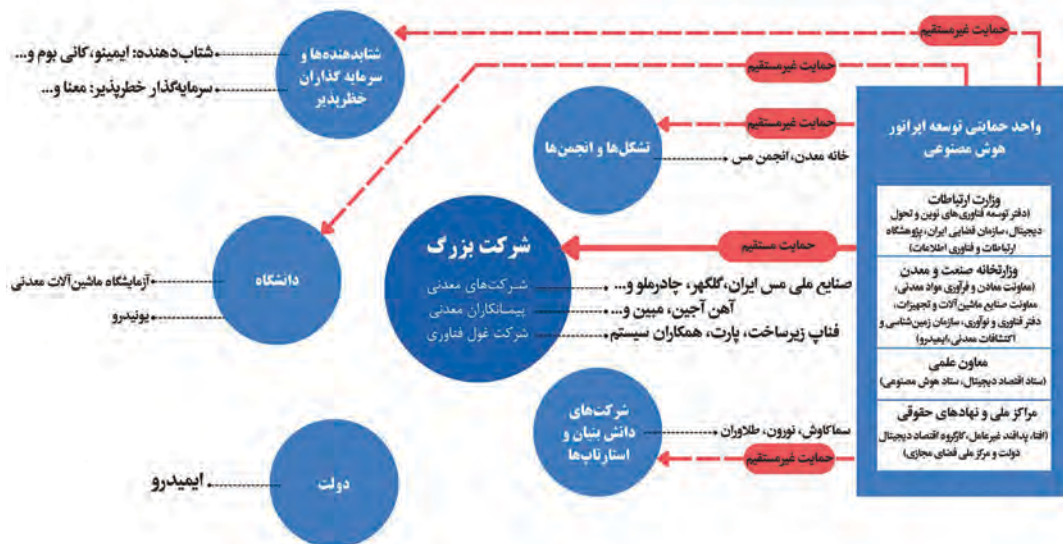
شرکت های فعال در صنایع معدنی از طریق حضور در انجمن ها، اتاق ها و تشکل ها برخی اهداف خود را به پیش می برند. نهادهایی نظیر خانه معدن، انجمن مس و... از جمله انجمن هایی هستند که می توانند با هم افزایی هرچه بیشتر، نقش خوبی در توسعه زیست بوم هوش مصنوعی ایفا کنند.

گروه هایی که در بالا به اختصار معرفی شدند، می توانند در توسعه فناوری هوش مصنوعی در صنایع معدنی نقش آفرین باشند. اما برای رسیدن به صنعتی هوشمند و پیشرفته نیازمند تقویت هرچه بیشتر هرکدام از این بخش ها هستیم. شرکت های بزرگ باید حرکت به سمت بهره گیری از فناوری های جدید، مخصوصاً هوش مصنوعی را در اهداف راهبردی خود قرار دهند. در حال حاضر شرکت های دانش بنیان و استارت آپ های تخصصی هوش مصنوعی و معدن همچنان سهم اندکی دارند و تکثیر و رشد آن ها در این زمینه از اهمیت بالایی برخوردار است. دانشگاه ها و نهادهای آموزشی با وجود سابقه طولانی ارتباط با شرکت های معدنی و صنعتی، همچنان نیازمند تقویت ارتباط می باشند؛ و همچنین حضور هرچه بیشتر نهادها و مؤسسات و تشکل ها نظیر انجمن ها می تواند به هم افزایی بیشتر در مسیر به کارگیری هوش مصنوعی در بخش معدن کمک کند.

در این مدل در راستای توسعه هوش مصنوعی در بخش معدن، یک واحد حمایتی شکل می گیرد که متشکل از وزارت ارتباطات، وزارت صمت، معاونت علمی و سایر مراکز ملی و حقوقی خواهد بود. هرکدام از این بخش ها ابزارهای حمایتی خود را خواهند داشت که در کنار هم و به صورت



هدفمند در خدمت شرکت بزرگ (به صورت مستقیم) و سایر بازیگران (به صورت غیرمستقیم) خواهند بود.



توجه: لازم به ذکر است که شرکت‌های معرفی شده در تصویر و جدول فوق، تنها برخی از شرکت‌های شناسایی شده در بازه زمانی مطالعه می‌باشند. طبیعی است که شرکت‌های توانمند و علاقه‌مند بیشتری در این زمینه وجود دارد.

نظام نوآوری شرکتی می‌تواند یک راه‌حل برای تقویت همه این بخش‌ها و توسعه و نفوذ فناوری هوش مصنوعی در میان صنایع معدنی باشد که علاوه بر ارتقاء سطح فناوریانه صنایع معدنی، به توسعه کل صنعت معدن و اقتصاد بخش معدن کمک کند.



## ۵. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

امروزه هوش مصنوعی در حال تغییر چهره معادن است. توانمندی‌های این فناوری به حدی است که از دست دادن پنجره فرصت آن می‌تواند سبب افزایش هزینه‌های تولید و کاهش سودآوری شرکت‌های معدنی گردد و در نتیجه رقابت‌پذیری بنگاه‌های داخلی با رقبای بین‌المللی را با چالش‌های جدی مواجه کند.

فناوری هوش مصنوعی در بخش‌های مختلف زنجیره ارزش معدن کاربرد دارد. در مرحله اکتشاف این فناوری با استفاده از داده‌های مختلف نظیر تصاویر ماهواره‌ای و هوایی، داده‌های زمین‌شناسی، نقشه‌ها و... سرعت و دقت فرآیندهای مختلف اکتشافی را افزایش داده و هزینه‌های اکتشاف را کاهش می‌دهد.

در بخش استخراج، به‌کارگیری هوش مصنوعی می‌تواند ضمن افزایش بهره‌وری معدنکاری، هزینه‌های آن را کاهش دهد، سطح ایمنی را بالا ببرد و از خرابی ماشین‌آلات بکاهد. در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی، این فناوری می‌تواند فرآیندهای صنعتی را بهینه کند، مصرف انرژی را کاهش دهد، عمر خطوط تولید را افزایش دهد و به مدیریت بهتر واحدها کمک کند.

در این گزارش با توجه به چالش‌های مختلف، حوزه اکتشاف نقطه شروع مناسبی برای به‌کارگیری فناوری هوش مصنوعی انتخاب شد. این حوزه داده‌محور می‌باشد، چالش‌های امنیتی کمتری دارد، بازیگران متنوع بزرگ و کوچک بسیاری در این حوزه فعالیت می‌کنند، و وجود تجارب ابتدایی اما تأثیرگذار داخلی می‌تواند مقوم توسعه کاربردهای هوش مصنوعی در این بخش باشد.

اما حوزه استخراج، به دلیل وجود چالش‌هایی نظیر قدیمی بودن ماشین‌آلات و سیستم‌ها، امنیت، زیرساخت نامناسب و... گزینه ساده‌ای برای آغاز فعالیت‌های هوش مصنوعی نمی‌باشد. در این راستا نظام نوآوری شرکتی با توجه به همخوانی مناسبی که با شرایط و تجربه معدن دارد، مدل مناسبی برای توسعه هوش مصنوعی ارزیابی می‌شود. در این مدل، بخش‌های مختلف دولت از وزارت ارتباطات، وزارت صمت، معاونت علمی و سایر نهادهای ملی و حقوقی به صورت مستقیم از یک شرکت و به صورت غیر مستقیم از سایر بازیگران حمایت می‌کند. در این حالت انتظار می‌رود که در حالی که نیازهای فناورانه شرکت بزرگ رفع می‌گردد، سایر شرکت‌های کوچک و متوسط، دانش بنیان و استارت‌آپ‌های حوزه هوش مصنوعی در این مسیر شکل گرفته و توسعه یابند و کل حوزه صنعت و معدن از رشد اقتصادی ناشی از توسعه و کاربردی سازی فناوری منتفع گردد. در این ساختار شرکت‌های کوچک و متوسط در زنجیره ارزش شرکت‌های بزرگ‌تر قرار می‌گیرند.

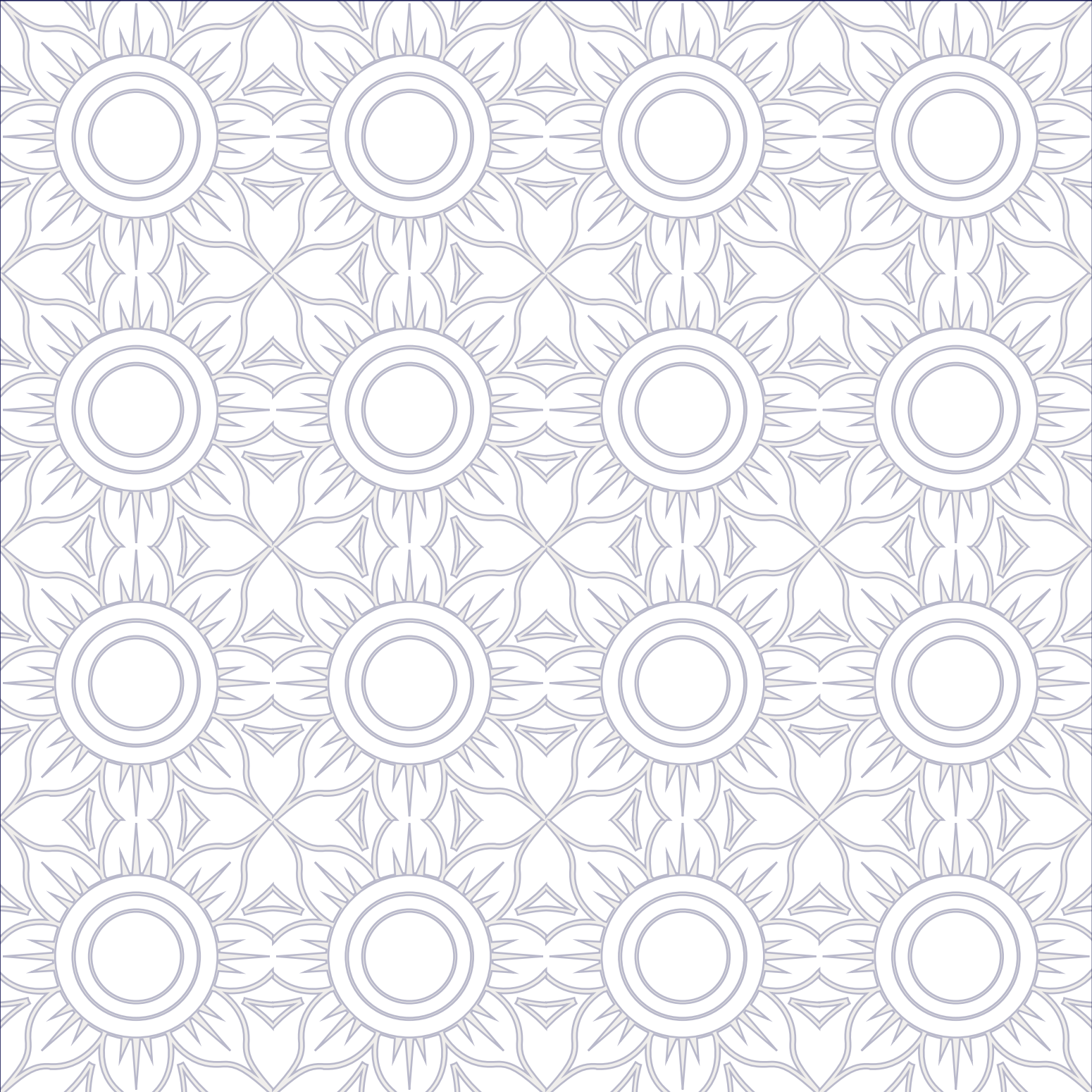
## ۶. پیشنهاد‌های سیاستی

با توجه به محتوای گزارش و بررسی‌های تیم تحقیقاتی از محل گزارش‌ها، مصاحبه‌ها و... در راستای توسعه و کاربردی سازی هوش مصنوعی در بخش معدن در کشور پیشنهاد‌های زیر ارائه می‌گردد:

- اول، پیشنهاد می‌شود بخش اکتشاف به عنوان بخش اصلی برای تمرکز حمایت‌ها از صنعت معدن مورد توجه قرار گیرد.



- دوم، می بایست نهادهای دولتی تأثیرگذار در نظام نوآوری شرکتی، از شکل‌گیری اپراتورهای هوش مصنوعی در زمینه اکتشاف معادن در قالب شرکت بزرگ حمایت کرده و به مرور زمان، از رشد و توسعه نظام نوآوری شرکتی پیرامون این شرکت‌های بزرگ حمایت کنند.
- سوم، به اصلاح قوانین و بخشنامه‌های پیرامون محدودیت واردات ماشین‌آلات معدنی مدرن که از سیستم‌های هوشمند بهره‌مند باشند و امکان به‌کارگیری راهکارهای داده‌محور به خصوص هوش مصنوعی را فراهم آورند، توجه شود. نکته مهم در این زمینه، عدم تداخل این اصلاحات با سیاست‌های حمایت از ساخت داخل ماشین‌آلات است.
- چهارم، به دلیل موقعیت‌های مکانی معادن، لازم است تا زیرساخت‌های ارتباطی لازم از قبیل اینترنت نسل پنجم و... تأمین گردد و دسترسی این مناطق به اینترنت با کیفیت بالا تضمین شود.
- پنجم، به دلیل سابقه سال‌های اخیر در حملات سایبری به شرکت‌های معدنی لازم است تا پروتکل‌های امنیتی سایبری برای معادن تهیه شده و چالش‌های امنیتی معادن مرتفع گردد. این چالش‌ها در حال حاضر مانع بسیاری از پروژه‌های هوشمندسازی و هوش مصنوعی است و مانع به‌کارگیری بسیاری از راهکارهای داده‌محور و نقل و انتقالات داده‌ای شده است.



## گزارش سیاستی

انجام پژوهش‌های اصیل، چندی‌سده‌ای و کاربردی محور برای کمک به شناخت، تحلیل و پاسخ مؤثر و فعالانه به مسائل و فرصت‌های پیشرفت جمهوری اسلامی ایران در حوزه فناوری و نوآوری، مأموریت پژوهشکده مطالعات فناوری است. انتقال یافته‌های پژوهش به فضای تصمیم‌سازی، تصمیم‌گیری و اجرا، لازمه‌ی پژوهش‌های کاربردی محور است. «سیاست‌نامه» بستری برای ترجمان دانش و پلی میان پژوهش و سیاست‌گذاری است که پس از بیان مسئله و بررسی ریشه‌ها و پیامدهای آن، با بهره‌گیری از تجربیات داخلی و بین‌المللی و با مطالعه نظام‌مند موضوع و کنشگران مسئله، مجموعه‌ای از سیاست‌ها و راه‌حل‌ها را پیشنهاد می‌دهد.



وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات  
پژوهشگاه ارتباطات  
و فناوری اطلاعات



پژوهشکده  
مطالعات فناوری



[www.tsi.ir](http://www.tsi.ir)