



نقش هوشمندسازی معادن در بهبود بهره وری

خرداد ۱۴۰۱

خلاصه مدیریتی

هوشمندسازی معادن در راستای نهضت جهانی بهبود بهره وری و استفاده از منابع مورد استفاده در کشورهای پیشرفته در حوزه معدن از جمله استرالیا، کانادا، شیلی و همچنین در شرکت های چندملیتی بزرگ جهان شامل بی اچ پی و ریوتینتو به کار گرفته شده است. نتایج هوشمندسازی اعلام شده در جهان بسیار با ارزش و نشان از اثربخشی بالای آن در بخش های مختلف عملیات معدنکاری از اکتشاف تا فراوری دارد.

هوشمندسازی در معادن کشور با پیشتازی مجتمع معدنی چادرملو و در بخش عملیات استخراج معدن از سال ۱۳۹۴ آغاز شده است و بخش های مختلف در سال های اخیر در این مجتمع توسعه داده شده است به نحوی که برنامه ریزی و کنترل عملیات بارگیری و باربری، کنترل عیار بار دپوها، کنترل سنگ شکن، کنترل مصرف سوخت، کنترل تمام ماشین آلات، کنترل عملکرد راننده ها، پایش سرعت و رعایت ایمنی، ارائه گزارشات تولید و کنترل بار ورودی به کارخانه در حال حاضر در مرحله اجرا و بهره برداری است.

بر اساس مطالعات انجام شده، هوشمندسازی در بخش های مختلف عملیات معدنکاری اثرات قابل توجهی در زمینه بهبود بهره وری داشته است که می توان به بخش های سرمایه گذاری، نیروی انسانی، انرژی، تولید، عملیات، محیط زیست و ایمنی اشاره کرد. همچنین بر اساس بررسی های انجام شده در مجتمع معدنی چادرملو، اجرای این پروژه باعث افزایش ۲۰ درصدی راندمان عملیات، افزایش ۱۴ درصد در بخش تولید، کاهش ۲۷ درصدی در توقفات بخش خردایش، کاهش ۴۲ درصدی خرابی سیستم ترمز ماشین آلات، کاهش ۱۲ درصدی خرابی ماشین آلات و کاهش ۱۲ درصدی مصرف سوخت شده است. بررسی آماری در معدن چادرملو در بخش مصرف گازوئیل نشان از مصرف بالغ بر ۴۰ میلیون لیتر در سال دارد. بنابراین با بهینه شدن مصرف سوخت، مطابق آمار، قابلیت دستیابی به میزان ۵ میلیون لیتر گازوئیل صرفه جویی فراهم می شود.

با توجه به حجم عملیات معدنکاری و مصارف منابع و انرژی در کشور و نتایج کاربرد فناوری و هوشمندسازی در جهان، می توان هدف گذاری دستیابی به کاهش مصرف انرژی به میزان ۱۵ درصد و معادل با ۳۵ میلیون بشکه نفت خام، افزایش تولید به میزان ۱۵ درصد، افزایش بهره وری نیروی انسانی به میزان ۴۰۰ ساعت در سال، افزایش ۲۵ درصدی ایمنی عملیات و در نهایت بهبود بهره وری عملیات به میزان ۱۲ درصد (معادل نزدیک به دو میلیارد دلار) را در دستور کار داشت.



فهرست مطالب

۱- مقدمه.....	۱
۲- معدنکاری هوشمند.....	۲
۲-۱- ضرورت.....	۲
۲-۲- اهداف.....	۴
۳- طرح معدن هوشمند.....	۴
۴- ارزش اقتصادی طرح.....	۵
۵- نقش هوشمندسازی در بهره‌وری.....	۶
۵-۱- بهره‌وری سرمایه گذاری.....	۷
۵-۲- بهره‌وری نیروی انسانی.....	۸
۵-۳- بهره‌وری انرژی.....	۹
۵-۴- بهره‌وری تولید.....	۱۲
۵-۵- بهره‌وری عملیاتی.....	۱۳
۶- بهبود ایمنی عملیات.....	۱۵
۷- بهبود آثار زیست محیطی.....	۱۶
۸- بازدهی بهره‌وری طرح در ایران.....	۱۹
۸-۱- بررسی وضعیت معادن ایران.....	۱۹
۸-۲- وضعیت تولید مواد معدنی در ایران.....	۲۰
۸-۳- بهره‌وری نیروی کار.....	۲۱
۸-۴- بهره‌وری ایمنی و سلامت.....	۲۲
۸-۵- بهره‌وری کلی هوشمندسازی معادن.....	۲۳



۱- مقدمه

معدن یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در توسعه اجتماعی، اقتصادی و انسانی است. چند مقوله حائز اهمیت در این برهه زمانی چالش‌هایی را برای صنعت معدنکاری ایجاد کرده‌است. افزایش میزان تقاضای جهانی برای مواد اولیه معدنی، کاهش عیار کانسنگ، بازار کار سختگیرانه، الزامات و استانداردهای بالای تولید محصول از یک سو و تاکید بر توسعه پایدار و حفاظت از منابع طبیعی از سوی دیگر، سبب ایجاد چالش‌های متعدد و اساسی است. البته چالش‌های دیگری برای بازار صنعت معدن وجود دارد که در این بین به رقابت بین‌المللی، تاثیر محدودیت‌های فنی بر مقیاس‌پذیری اقتصادی و نوسانات قیمت کامودیتی‌ها، می‌توان اشاره کرد. راهکار پیشنهادی برای مقابله با این چالش‌های صنعت معدنکاری، ایجاد جریان اطلاعاتی آنی بین بخش برنامه‌ریزی منابع انسانی با سطوح متعدد فنی و پایین‌دستی محیط‌های معدنی، حرکت به سمت ایجاد معدن هوشمند است.

صنایع معدنی یکی از بخش‌هایی است که با استفاده از فناوری به تحول بزرگی دست پیدا کرده است. راهکارهایی که در حوزه معدن بر پایه این اکوسیستم شکل گرفته است به دو دسته کلی افزایش ایمنی نیروی انسانی و عملیات، و بهبود فرآیندها (کاهش هزینه‌های عملیاتی و انرژی، افزایش کارایی تجهیزات و ماشین‌آلات) تقسیم می‌شوند که در تمام مراحل از اکتشاف، تا فرآوری و پشتیبانی از معدنکاری کاربرد دارند.

معدن و صنایع وابسته به آن، اگرچه نقش ارزشمند و مثبتی در مؤلفه‌های اقتصادی و اجتماعی توسعه پایدار با ایجاد اشتغال و تولید ثروت دارد اما از جهت نقش آن در مؤلفه سوم توسعه پایدار، یعنی محیط زیست با انتقادهایی روبه‌رو است. همچنین با توجه به نیاز روزافزون جامعه جهانی به مواد معدنی، صنعت معدنکاری برای ادامه فعالیت‌های خود با چالش‌هایی روبه‌رو است که از جمله آن‌ها می‌توان به بهره‌برداری هرچه بیشتر از پتانسیل پهنه‌های اکتشافی با فناوری‌های جایگزین جدید، بهینه و هوشمندسازی متدهای استخراجی، افزایش بازیابی کانی‌ها و فلزات مهم و راهبردی با استفاده از روش و فناوری‌های نو، حضور فعال تر در بازاریابی بین‌المللی با ارائه خدمات و دانش جدید و نوآورانه، افزایش هرچه بیشتر ایمنی کارکنان و مؤلفه‌های سرمایه‌ای، حفظ محیط زیست و مسئولیت اجتماعی آن اشاره کرد. در کشورهای در حال توسعه به ویژه ایران که دارای منابع غنی معدنی است، در صورتیکه به مؤلفه‌های توسعه پایدار در صنعت معدنکاری توجه نشود، نتنها سبب پیشرفت نمی‌شود بلکه باعث عقب ماندگی اجتماعی و اقتصادی می‌گردد.



۲- معدنکاری هوشمند

معدن هوشمند، معدنی است که با بکارگیری فناوری های روز عملیات های اکتشاف، استخراج، فرآوری و خدمات عملیاتی و پشتیبانی به معدن را انجام می دهد. معدن هوشمند، معدنی است که بر روش های معدنکاری مکانیکی و اتوماتیکی استوار است. فناوری ها در معدن هوشمند باعث می شوند تا به صورت خودکار شرایط محیط کار استدلال گردد، ماشین های معدنی هوشمندانه کنترل شوند و به صورت خودکار عملیات معدنکاری از اکتشاف تا فرآوری و پس از فرآوری از معادن صورت گیرد.

معدن هوشمند دارای سه ویژگی اصلی است:

- ماشین آلات معدنی هوشمند دارند.
- اطلاعات بلافاصله ثبت و به روز می شوند، از جمله اطلاعات زمین شناسی، سنگ شناسی، موقعیت ماشین ها، فرآیند اکتشاف، استخراج، فرآوری و مدیریت.
- ماشین آلات می توانند به صورت خودکار و با توجه به شرایط و نوع کار کنترل شوند.

۲-۱- ضرورت

نگرش رسیدن به معدن هوشمند و دیجیتال فرآیندی است که از یک دهه قبل به تدریج جای خود را در بخش معدن باز کرده است. جدا از زمینه های نرم افزاری نظیر توسعه اینترنت که شرایط تازه ای را در اقتصاد پدید آورده است، زمینه فنی کار یعنی تحول از مرحله اکتشاف، تولید و فرآوری مواد معدنی بصورت دیجیتال و استفاده از فناوری های روز، منجر به رواج معدنکاری دیجیتال نیز شده است. این فرآیند، تحول بخش معدن از قالب های سنتی کنونی به وضعیتی مدرن را تسریع کرده و فضای تازه ای را در این بخش ایجاد می کند که این فضا سه پیام اساسی کاهش هزینه، افزایش کارایی و سرعت در تصمیم گیری برای مدیران معدنی را برای این بخش به ارمغان می آورد. با کاهش هزینه پیاده سازی فناوری های دیجیتال، اکنون زمان مناسبی برای ایجاد معادن هوشمند است. این رویکرد منجر به دید متفاوت، تفکر متفاوت و عملکرد متفاوت خواهد شد که امکان تصمیم گیری سریع تر و بهتر را فراهم می کند.

اصطلاح تحولات دیجیتال، روند کلی تغییر یک شرکت یا مدل تجاری به دلیل اجرای فناوری های دیجیتال را توصیف می کند؛ همچنین اصطلاحات معدن هوشمند یا معدنکاری نسل چهارم تحولات دیجیتال را به صنعت معدنکاری متصل خواهد کرد. صرف نظر از تفاوت های جزئی در تعاریف، دیجیتالی شدن بر اساس کاربرد



فناوری های دیجیتال استوار است، بنابراین معادن هوشمند به استفاده از سیستم های رایانه ای یا دیجیتالی، سنسورهای متعدد با رویکرد انتقال در لحظه داده، روش ها و داده های دیجیتالی برای کاهش هزینه ها، بهبود بهره وری در عملیات معدنکاری و بهره وری در کسب و کار و روش های تبدیل مالی اشاره دارد.

بهره گیری از تحول دیجیتال و هوشمندسازی که مفهومی جدید در صنایع معدنی محسوب می شود، به ایمن سازی، افزایش بهره وری و کارایی در معادن منتج خواهد شد.

نوآوری و تحول واقعی زمانی در صنایع معدنی رخ می دهد که این صنعت خلاقیت، دانش و استعداد فناورانه و نوآورانه نسل جوان را جذب و در ادامه مورد بهره برداری قرار دهد. مطالعات مربوط به معدنکاری دیجیتال و پیاده سازی زیرساخت های مربوطه بیش از نیم قرن است که در کشورهای پیشرفته و معادن بزرگ توسط شرکت های معدنی در حال توسعه است. با توجه به سرعت چشمگیر معدنکاری دیجیتال در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، در ایران نیز مقوله هوشمندسازی معادن در سال های اخیر اهمیت بالایی پیدا کرده است. از آنجا که در حال حاضر، معدنکاری دیجیتال در کشور در گام های نخست اجرایی و تکمیل زنجیره محصولات و خدمات است، بنابراین بهبود زیرساخت های فعلی و توسعه زیرساخت های جدید و مورد نیاز در راستای رسیدن به اهداف هوشمندسازی معادن امری ضروری است.

عامل اصلی پیاده سازی و موفقیت طرح تحول دیجیتال، رویکرد مدیران ارشد و میانی و همچنین بدنه شرکت های معدنی و معادن هستند و نیاز به ارتقای مهارت ها و درک بهتر تحولات فناوری در عرصه دیجیتال به شدت احساس می شود. یکی از مهم ترین اصول توسعه دانش مهندسی اهمیت دادن به بحث آموزش سازمانی و گسترش دانش متخصصان بر اساس علوم و تجارب جهانی است. انتقال تجارب موفق بین المللی و مباحثی چون مروری بر تحولات دیجیتال در هوشمندسازی معادن، بررسی فرصت ها و چالش های راهبردی در معدنکاری دیجیتال، پیاده سازی فرآیندهای مرتبط با تحولات دیجیتال و مدیریت بر فناوری های کلیدی مرتبط با هوشمندسازی معادن همراه با تشریح منافع و دستاوردهای حاصل از پیاده سازی مصادیق تحولات دیجیتال در زنجیره تولید از زمین شناسی و اکتشاف تا استخراج و فرآوری و ادامه زنجیره در کارخانه و محیط زیست و همچنین جنبه های اقتصادی و مدیریتی، می تواند افق های وسیعی را پیش روی مدیران پیشرو و تحول آفرین قرار دهد.



۲-۲- اهداف

هوشمندسازی بر اساس موارد گفته شده یک امر ضروری برای رشد مستمر در معادن محسوب می شود. اهداف ایجاد و اجرای هوشمندسازی معادن را می توان به شرح زیر ارائه کرد:



۳- طرح معدن هوشمند

پیاده سازی نوآوری ها در استفاده از فناوری هایی مانند هوش مصنوعی، کلان داده، رباتیک، پردازش تصویر و ... پیش از معدن در حوزه های مختلف از جمله صنایع نفت و گاز، صنایع انرژی و کشاورزی از سالیان قبل آغاز شده است. استفاده از نوآوری ها و فناوری های جدید صنعت معدن نیز با کمی تاخیر در سالیان گذشته در حال شتاب گیری می باشد.

با توجه به کاهش کمیت و کیفیت ذخایر معدنی در دسترس معادن، لازم است این معادن در راستای افزایش بهره وری تولید، ایمنی نیروی انسانی، بهره وری انرژی و افزایش تولیدات جهت تامین مواد اولیه مورد



نیاز صنایع، از نوآوری های در حوزه معدن استقبال ویژه ای گردد. استفاده هرچه بیشتر از فناوری در معادن و شناسایی نوآوری های نوین در این حوزه، از نیازمندی ها و چالش های معدن و صنایع معدنی خواهد بود،

این طرح قصد دارد با مطالعه و بررسی دقیق جدیدترین فناوری های حوزه معدن، نحوه و زمینه های بکارگیری نوآوری های معدنی، اقدام به پیاده سازی و اجرای فناوری ها و نوآوری های حوزه معدنی با توجه به نیاز معادن و همچنین پتانسیل دانش و فناوری بومی کند.

در این طرح چالش های حوزه معدنکاری در زمینه های اکتشاف، استخراج، فرآوری مواد معدنی، پشتیبانی و خدمات عملیاتی به معادن و ایمنی و بهداشت شناسایی شده است. همچنین پس از آن به بررسی مهم ترین شرکت ها و استارت آپ های حوزه معدن و همچنین مهم ترین معادن و صنایعی زیردستی آن ها که از این فناوری ها استفاده کرده و به نتایج خوبی دست یافته اند، پرداخته و اقدام به تعریف تعدادی زیر طرح اجرایی برای طرح جامع معدن هوشمند می کند. پیاده سازی طرح معدن هوشمند در حوزه های زیر انجام می پذیرد:



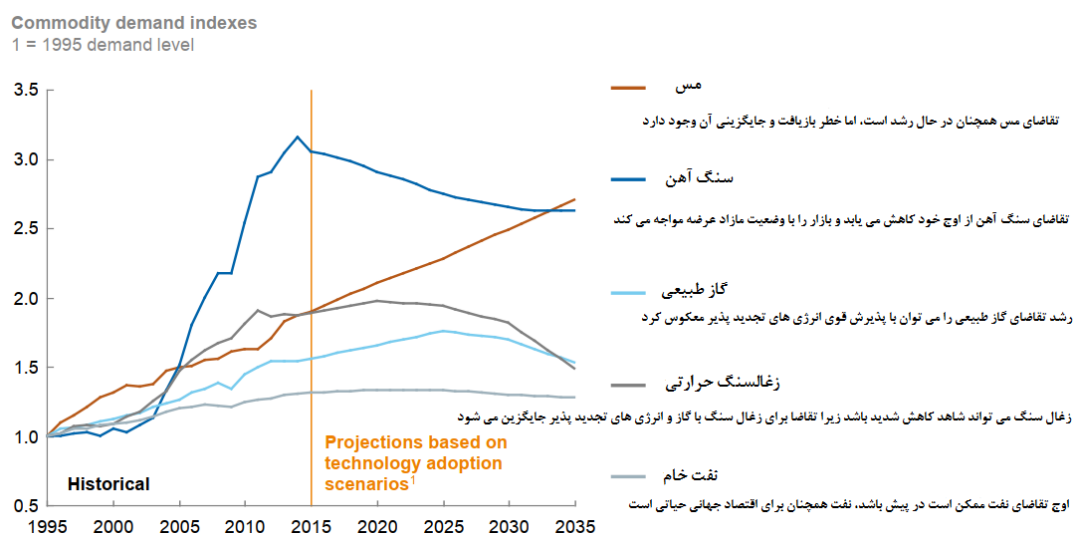
۴- ارزش اقتصادی طرح

ارزش اقتصادی طرح معدن هوشمند بسته به حجم کاری معادن و ظرفیت تولیدی و شرایط تولید معادن متغیر است. با توجه به مطالعات و بررسی های انجام شده در مورد پیاده سازی نوآوری ها و هوشمندسازی معادن، در معادن و شرکت های بزرگ معدنی دنیا، اثرات و مزایای بسیار زیادی متوجه معادن و شرکت های معدنی

شده اند. این اثرات خود را در قالب بهینه سازی هزینه ها، افزایش تولید، افزایش تولید مواد معدنی، افزایش بازدهی انرژی و همچنین افزایش راندمان عملیات ایمنی و سلامت کارگران، نشان داده است.

۵- نقش هوشمندسازی در بهره‌وری

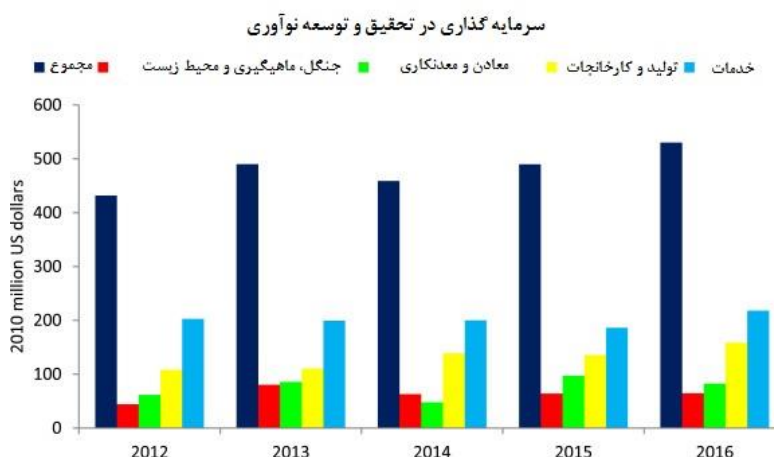
با توسعه فناوری ها و نوآوری ها در حوزه معادن و منابع طبیعی مانند نفت و گاز، شکل عرضه و تقاضای مواد معدنی تغییر خواهد کرد. مطالعات آماری نشان از کاهش تقاضا برای بسیاری از مواد معدنی با پیشرفت فناوری دارد. بطوری که با پیشرفت فناوری بهره‌وری منابع افزایش یافته و نیاز به منابع طبیعی کاهش می‌یابد (شکل ۱). با توجه به شکل ۱ کاهش ۱۵ درصدی تقاضا برای سنگ آهن و همچنین مازاد عرضه سنگ آهن قابل پیش‌بینی است. همچنین کاهش ۱۰ درصدی تقاضا برای زغالسنگ و گاز طبیعی پیش‌بینی می‌شود. این روند در مورد مس برعکس به نظر می‌رسد و با توجه به نیاز به ماده معدنی مس برای توسعه نوآوری های جدید مانند خودروهای الکتریکی باتری ها و ... این صنعت افزایش تقاضای خود را حفظ خواهد کرد. در مورد نفت خام این روند افزایشی با شیب بسیار کم ادامه خواهد داشت. بنابراین لازم است تا با توسعه فناوری و قابلیت پیش‌بینی تحولات تقاضای محصولات معدنی و منابع طبیعی، از پایداری تولیدات معدنی و بهره‌وری تولید اطمینان حاصل شود.



شکل ۱: تغییر شکل عرضه مواد معدنی ناشی از تحولات فناوری

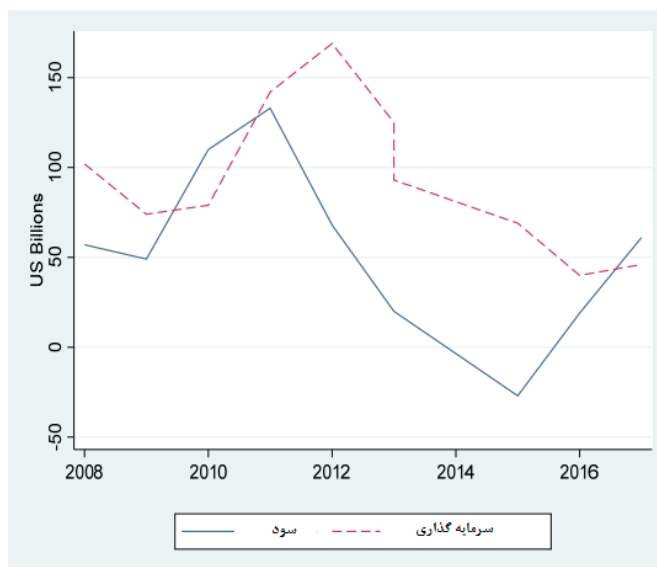
۵-۱- بهره‌وری سرمایه گذاری

با توجه به اهمیت مقوله تحقیق و توسعه، در ۱۰ سال گذشته کشورهای پیشرو صنعتی به سرمایه گذاری و هزینه در زمینه تحقیق و توسعه نوآوری روی آورده‌اند. با توجه به اهمیت معدنکاری و مواد معدنی در توسعه صنعتی و تجاری کشورها، سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه نوآوری در معدنکاری در بین ۴ حوزه مهم سرمایه گذاری قرار گرفته است، به عنوان مثال در کشور شیلی از سال ۲۰۱۲ بالغ بر ۲۰ درصد از هزینه‌های تحقیق و توسعه در نوآوری، به معدنکاری اختصاص داده شده است (شکل ۲).



شکل ۲: سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه نوآوری در کشور شیلی

یکی دیگر از مهم‌ترین فاکتورهایی که تحت تاثیر نوآوری‌ها قرار می‌گیرد سرمایه گذاری و بهره‌وری و سودآوری سرمایه است. مطالعه METS Ignited در تعدادی از معادن بزرگ استرالیا که از سال ۲۰۱۱ اقدام به هوشمندسازی معادن نموده‌اند، نشان می‌دهد که با توسعه فناوری‌ها در بخش معدنکاری استرالیا، با وجود کاهش ۱۵ درصدی سرمایه گذاری در بخش معدن، بهره‌وری و سودآفرینی این سرمایه گذاری بیش از ۲۰ درصد افزایش داشته است (شکل ۳).

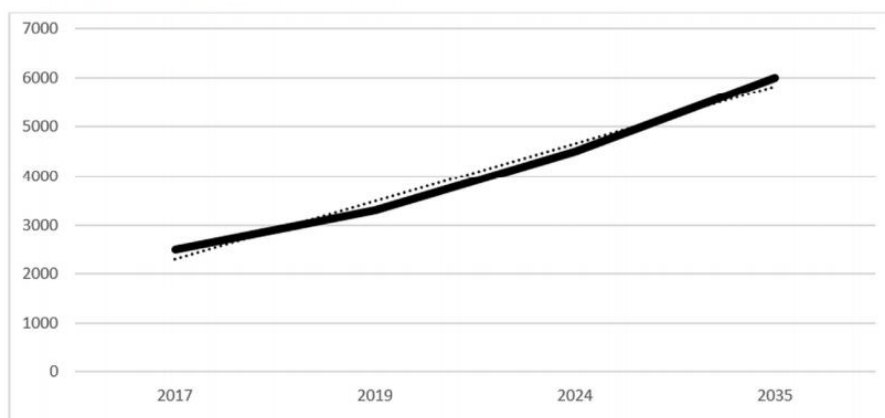


شکل ۳: افزایش بهره‌وری سرمایه گذاری ناشی از توسعه فناوری در بخش معدن

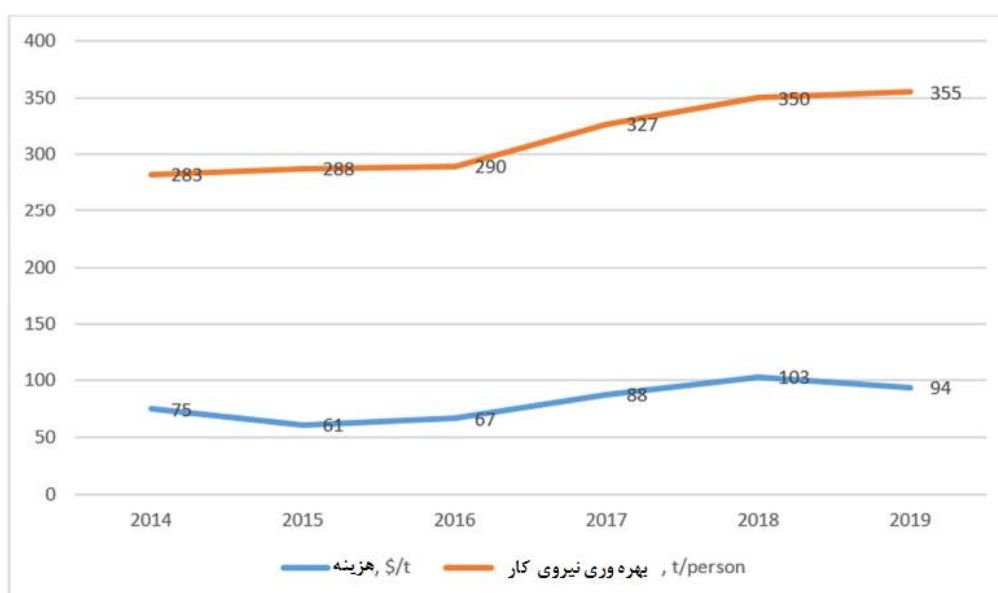
۵-۲- بهره‌وری نیروی انسانی

در ادامه، مطالعات در کشورهای صاحب صنعت و فناوری نشان داده است که استفاده از فناوری‌های جدید و نوآوری‌ها می‌تواند بهره‌وری نیروی انسانی را تا حد زیادی افزایش دهد. یک مطالعه در کشور کانادا نشان می‌دهد که با به کارگیری فناوری‌های جدید در معادن و صنایع وابسته آن، بهره‌وری نیروی انسانی تا سال ۲۰۳۵ تا بیش از ۴۰ درصد افزایش خواهد یافت (شکل ۴). به علاوه با افزایش بهره‌وری نیروی انسانی مربوط به ساعات کارکرد مفید، هزینه‌های نیروی انسانی تا سال ۲۰۱۹ روندی تا حدودی نزولی و با شیب ملایم به خود خواهد گرفت (شکل ۵).

افزایش بهره وری نیروی انسانی در دوره های زمانی



شکل ۴: افزایش بهره وری نیروی کار ناشی از توسعه فناوری



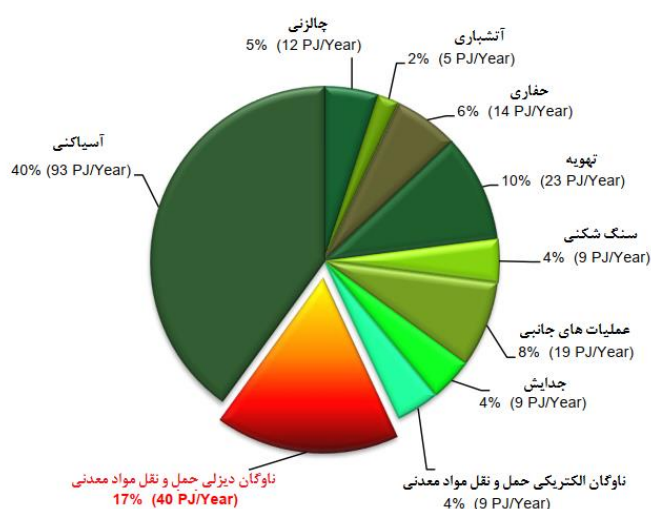
شکل ۵: نمودار هزینه و بهره وری نیروی انسانی

۵-۳- بهره وری انرژی

در ادامه بررسی اثرات هوشمندسازی معادن مسئله بهره وری انرژی حائز اهمیت بسیاری می باشد. از مهم ترین عوامل موثر در اقتصاد معادن که زیربنای توسعه اقتصادی یک کشور محسوب می شود، مصرف انرژی است. امروزه در فقدان فناوری، بخش بسیار بزرگی از انرژی مورد استفاده در معادن هدر می رود. اتلاف انرژی به معنی اتلاف منابع و سرمایه برای یک شرکت معدنی و صنعتی است. مصرف انرژی در معادن شامل

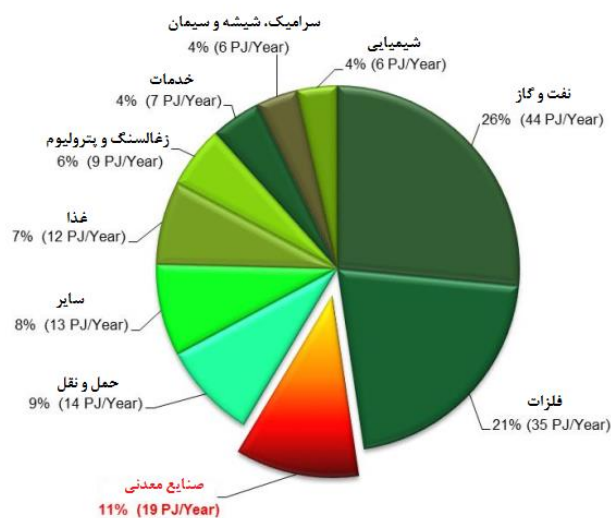


بخش‌های مختلفی می‌شود (شکل ۶). نتایج یک تحقیق از دانشکده معادن کلرادو نشان می‌دهد که با امکانات فعلی و بدون تغییر در شرایط فیزیکی معادن و صنایع، تنها با اتوماسیون و هوشمندسازی می‌توان تا ۱۱ درصد از انرژی مصرفی در بخش معادن را کاهش داد (شکل ۷). همچنین نتایج یک گزارش از بخش توسعه فناوری دانشکده نیو ساوت ولز استرالیا نشان می‌دهد که اتوماسیون و هوشمندسازی می‌تواند در بخش‌های مختلف معدن باعث صرفه جویی در مصرف انرژی گردد (شکل ۸).



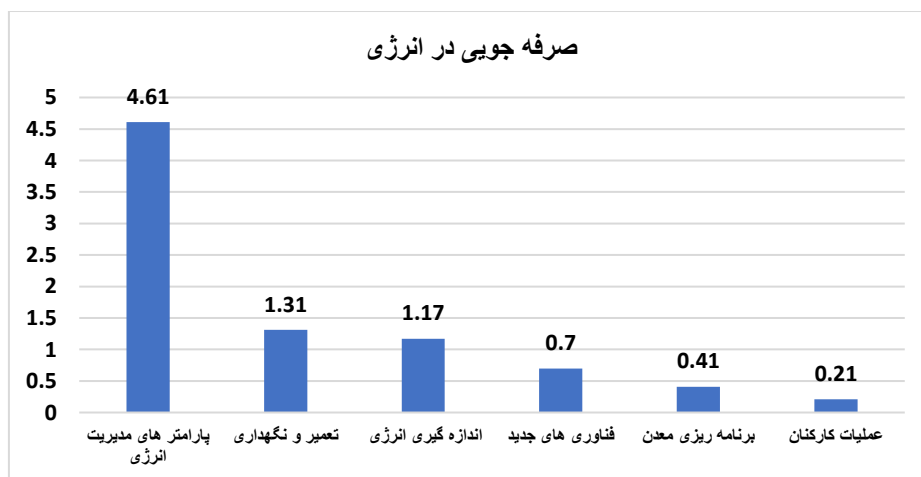
شکل ۶: انرژی مصرفی در بخش‌های مختلف عملیات معدنکاری

با توجه به شکل ۶، بخش‌های آسیابگری و حمل و نقل مواد معدنی به ترتیب با ۴۰ و ۲۱ درصد انرژی مصرفی بخش معدن، بیشترین مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۷: امکان صرفه جویی در انرژی در صنایع مختلف

باتوجه به نمودار شکل ۷ مشخص است که بخش معدن پس از صنایع نفت و گاز و فلزات با ۲۶ و ۲۱ درصد، با ۱۱ درصد امکان صرفه جویی در مصرف انرژی، سومین محل مهم صرفه جویی انرژی در بین صنایع حیاتی است.

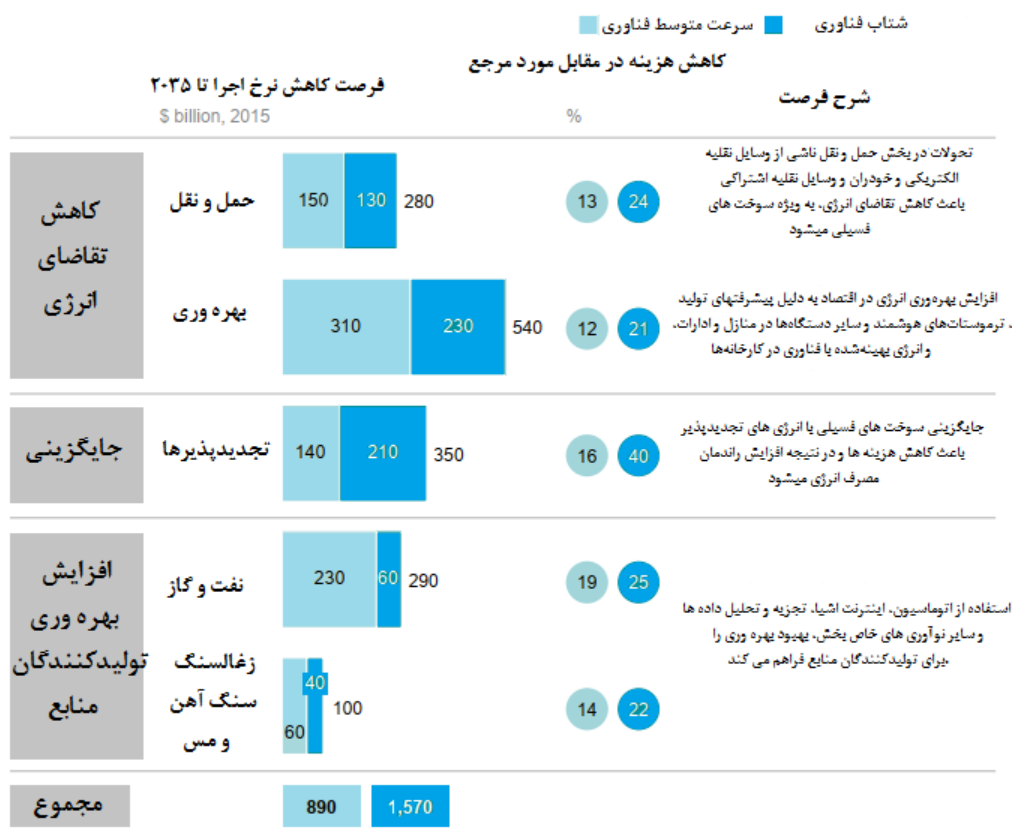


شکل ۸: محل های صرفه جویی در انرژی در فرآیند معدنکاری



۵-۴- بهره‌وری تولید

مهم‌ترین پارامتر در بررسی معدنکاری و معادن، بهره‌وری و تولید در این صنعت است. بهره‌وری در معادن و منابع طبیعی بخش‌های مختلفی شامل حمل و نقل، انرژی، تولید منابع و ... می‌باشد. مک‌کینزی در گزارشی در سال ۲۰۲۱ بیان کرد که امروز دیگر وجود یا عدم وجود هوشمندسازی در معادن و منابع طبیعی مطرح نیست. بر اساس گزارش مک‌کینزی، استفاده از فناوری‌های معدنی از ۱۰ سال گذشته شروع شده و استفاده از آن در آینده نزدیک اجتناب ناپذیر است. این گزارش بیان می‌کند که دیگر صحبت از استفاده یا عدم استفاده از هوشمندسازی در صنایع معدنی، انرژی و نفت و گاز مطرح نیست، بلکه شتاب استفاده از فناوری‌ها مد نظر است. در شکل ۹ نشان داده شده است که اگر صنعت با شتاب متوسط و همچنین شتاب زیاد به سمت استفاده از هوشمندسازی حرکت کند، چه اتفاقی در بهره‌وری بخش‌های مختلف این صنایع رخ می‌دهد.



شکل ۹: بهره‌وری تولید مواد معدنی، حمل و نقل و انرژی با در سرعت‌های مختلف هوشمندسازی



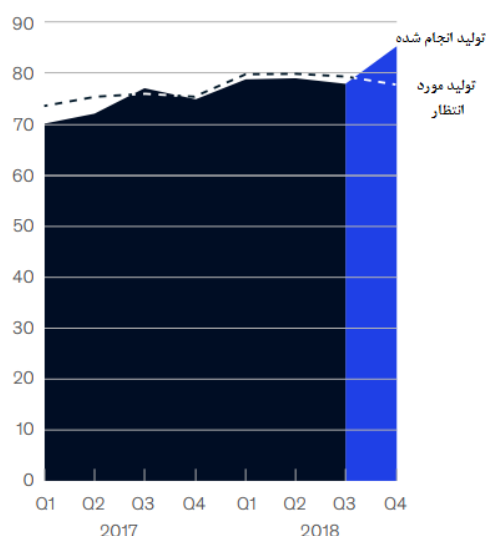
مطابق شکل ۹ مشخص است که با شتاب متوسط و سریع رشد فناوری، در بخش بهره‌وری انرژی با کاهش تقاضا روبه‌رو خواهیم بود. این کاهش تقاضا ناشی از صرفه جویی ۱۳ و ۲۴ درصدی (شتاب متوسط، شتاب زیاد) مصرف انرژی در بخش حمل و نقل و افزایش ۲۱ و ۱۲ درصدی بهره‌وری انرژی (شتاب متوسط، شتاب زیاد) خواهد بود.

همچنین با حرکت به سوی هوشمندسازی و فناوری، جایگزینی منابع انرژی تجدیدناپذیر با انواع تجدیدپذیر به سرعت انجام خواهد پذیرفت. تا سال ۲۰۳۵ با سرعت متوسط هوشمندسازی ۱۶ درصد و با هوشمندسازی با شتاب زیاد؛ ۴۰ درصد از منابع انرژی تجدیدناپذیر با منابع تجدیدپذیر جایگزین خواهند شد.

علاوه بر این، در مورد بهره‌وری تولید منابع طبیعی شامل نفت و گاز و مواد معدنی مانند زغالسنگ حرارتی، سنگ آهن و مس، با هوشمندسازی و فناوری‌های جدید، این منابع با بهره‌وری بالاتری استخراج و تولید خواهند شد. مطابق گزارش مک‌کینزی با شتاب متوسط فناوری در بخش‌های نفت و گاز و مواد معدنی، به ترتیب ۱۹ و ۱۴ درصد افزایش بهره‌وری تولید مشاهده می‌شود. همچنین با شتاب سریع هوشمندسازی بهره‌وری تولید در این دو حوزه، به ترتیب ۲۵ و ۲۳ درصد افزایش خواهد یافت.

۵-۵- بهره‌وری عملیاتی

افزایش توان عملیاتی تولید یکی دیگر از نکات حائز اهمیت در هوشمندسازی معادن است. هوشمندسازی می‌تواند به افزایش توان عملیاتی فرآیند معدنکاری کمک کند. به عنوان مثال سایت معدنی مس بغداد واقع در ایالت آریزونا کشور آمریکا که روزانه بالغ بر ۷۵ هزار تن مس تولید می‌کند، قصد داشت با سرمایه گذاری بالغ بر ۲۰۰ میلیون دلاری، ظرفیت تولید خود مس خود را به روزانه ۸۵ هزار تن افزایش دهد؛ اما با استفاده از هوشمندسازی و توسط مهندسان و دانشمندان داده، بدون سرمایه گذاری ۲۰۰ میلیون دلاری و تغییر در تجهیزات فیزیکی خطوط فرآوری و آسیاکنی خود، موفق به افزایش ۱۵ درصدی تولید محصول مس با تولید ۸۷ هزار تن (شکل ۱۰) در روز و همچنین افزایش ۴ درصدی بازیابی تولید مس در سایت بغداد، گردید.



شکل ۱۰: افزایش راندمان و بهره‌وری تولید ۱۵ درصدی توسط هوشمندسازی

در راستای بهبود راندمان عملیاتی توجه به هزینه‌های تعمیر و نگهداری بسیار ضروری است. بررسی‌های انجام شده توسط Deloit نشان می‌دهد که در یک معدن روباز سنگ آهن در کشور چین تنها با استفاده از هوشمندسازی و اتوماسیون داده‌های قدیمی تعمیر و نگهداری در یک سال، بیش از ۱۰ درصد افزایش بهره‌وری در عملیات تعمیر و نگهداری ناوگان استخراج حاصل شده است (شکل ۱۱).

وضعیت فعلی - پرداخت ۵۶.۷ میلیون دلار برای تعمیر و نگهداری

Planned	45%	\$20.0 m
Unplanned	55%	\$36.7 m

وضعیت بهبود یافته - پرداخت ۵۱.۱ میلیون دلار برای تعمیر و نگهداری

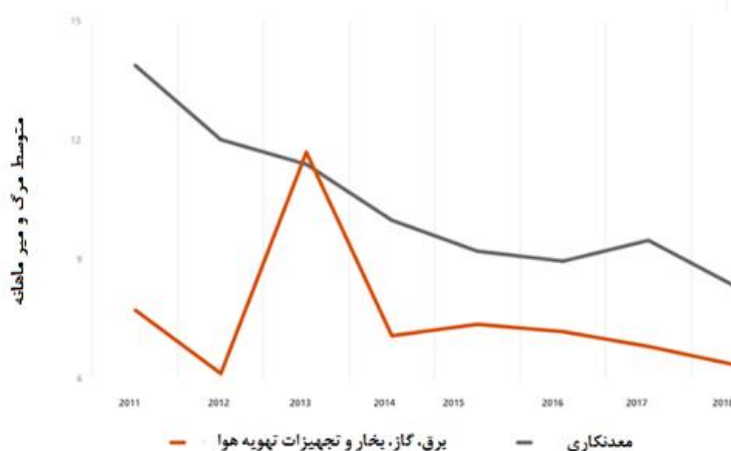
Planned	70%	\$31.1 m
Unplanned	30%	\$20.0 m

شکل ۱۱: بهبود راندمان تعمیر و نگهداری با هوشمندسازی

۶- بهبود ایمنی عملیات

ایمنی پرسنل و تجهیزات از مهم‌ترین مولفه‌ها در معدنکاری می‌باشد. معدنکاری همواره به عنوان یکی از خطرناک‌ترین و پر ریسک‌ترین مشاغل از نظر خطرات جانی، مالی و سلامتی افراد می‌باشد. تجهیزات ایمنی هوشمند نظیر تجهیزات پوشیدنی، تجهیزات ردیابی پرسنل و تجهیزات و همچنین تجهیزات سنجش سلامتی افراد به همراه سیستم‌های اتوماسیون و هوشمند پایش ایمنی کارکنان، از بروز بسیاری از صدمات جانی و سلامتی به معدنکاران جلوگیری می‌کند. محققان دانشگاه بریتیش کلمبیا در بخشی از یک گزارش درمورد هوشمندسازی ایمنی صنعتی که قسمتی از آن به بررسی اثرات اتوماسیون و هوشمندسازی بر عملکرد ایمنی معادن می‌پردازد؛ نوشتند که با استفاده از تجهیزات پوشیدنی هوشمند و همچنین سیستم اتوماسیون ایمنی یکی از معادن ریوتینتو در برزیل، تلفات جانی ناشی از حوادث معدنکاری تا بیش از ۶۰ درصد کاهش یافته است. همچنین تلفات ناشی از حوادث مربوط به برق گرفتگی، انتشار گازها و ... حدوداً ۳۰ درصد کاهش را نشان می‌دهند (شکل ۱۲).

با توجه به مطالب ذکر شده مشخص شد که افزایش در بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید و هزینه‌های عملیاتی با استفاده از هوشمندسازی و نوآوری میسر است. در واقع فناوری برای معادن و صنایع این امکان را فراهم می‌کند تا با استفاده از شرایط موجود، بهترین عملکرد را داشته باشند. مک‌کینزی در گزارشی پیش‌بینی می‌کند که با توسعه هوشمندسازی بخش‌های مختلف تولید در معادن استرالیا، این صنعت به صرفه‌جویی بیش از ۳۷۰ میلیارد دلاری در سال ۲۰۲۵ خواهد رسید (شکل ۱۳).



شکل ۱۲: بهبود عملکرد ایمنی معادن با استفاده از اتوماسیون و هوشمندسازی ایمنی



McKinsey Global Institute estimates^۱

تأثیر اقتصادی بالقوه برنامه های

کاربردی هوشمندسازی در سال ۲۰۲۵

\$ billion, annually



شکل ۱۳: بهبود بهره وری عملیات معدنکاری با هوشمندسازی

با توجه به شکل ۱۲ مشخص است که با استفاده از هوشمندسازی در بخش های مدیریت عملیات و تعمیر و نگهداری می توان به ترتیب به ۲۵۰ و ۱۰۰ میلیارد دلار درآمد ناشی از کاهش هزینه ها دست یافت.

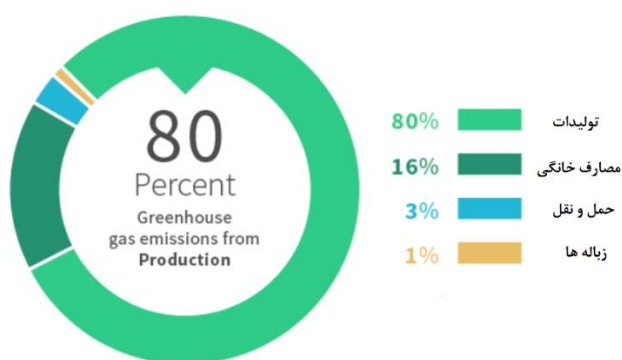
۷- بهبود آثار زیست محیطی

مک کینزی در گزارشی می گوید که امروزه مسئله محیط زیست و حفظ آن از اهمیت بسیاری برای همه کشورهای جهان برخوردار است. همه ساله سخنرانان بسیاری پیرامون اهمیت حفظ محیط زیست، کربن زدایی و پایداری صنعتی صحبت به عمل می آورند. شکل ۱۳ مهم ترین عوامل آلودگی های زیست محیطی و آلودگی به کربن را نشان می دهد که در این بین تولیدات صنعتی بیشترین درصد را به خود اختصاص داده اند. تولید

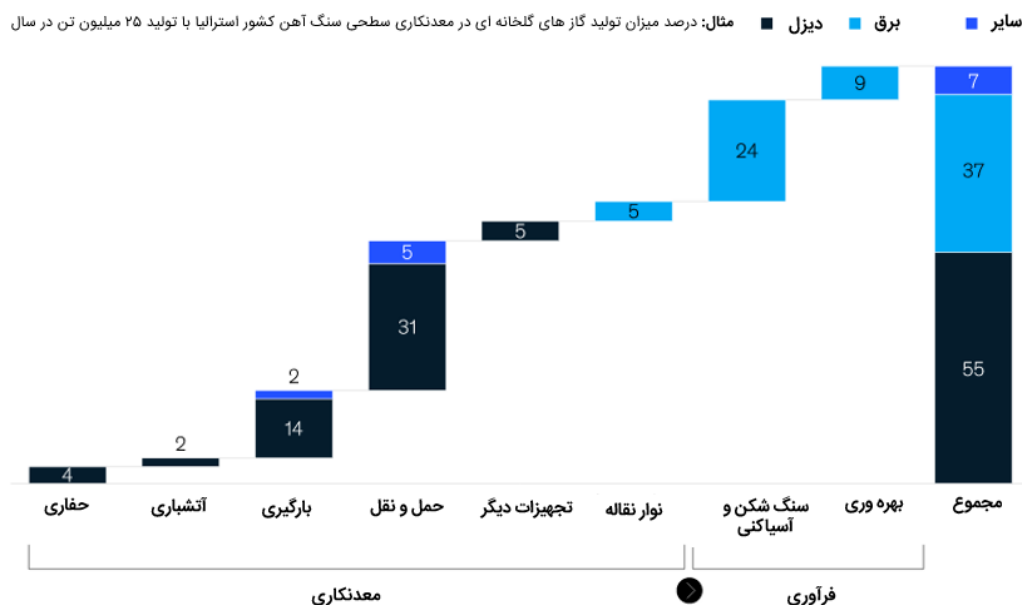


کربن در معدنکاری در بخش های مختلفی صورت می پذیرد، با کنترل بهره‌وری انرژی در هر کدام از این بخش ها می توان به جلوگیری از انتشار کربن و کاهش آلودگی زیست محیطی کمک کرد. شکل ۱۴ میزان انتشار کربن در بخش های مختلف یک معدن که توسط دیزل و یا الکتریسیته کار می کنند را نشان می دهد.

انتشار گازهای گلخانه ای



شکل ۱۴: منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای

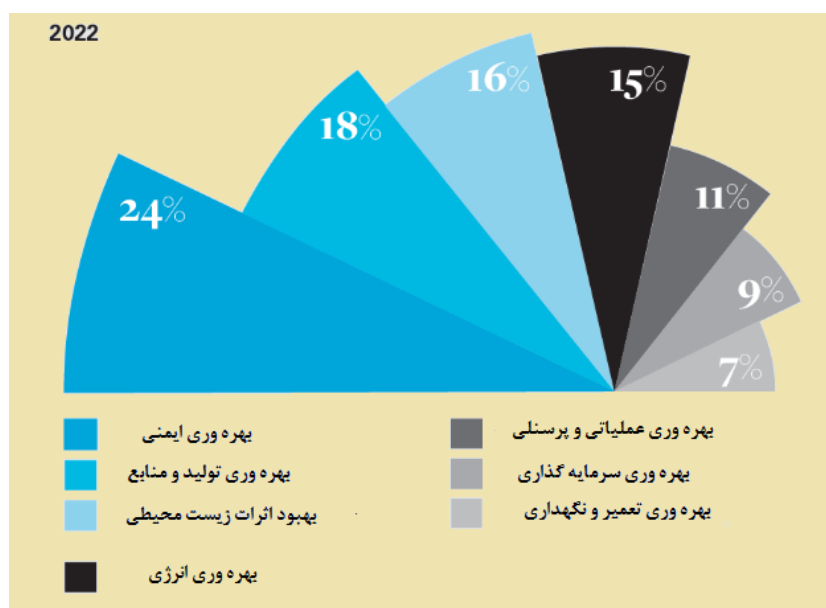


شکل ۱۵: منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در معادن



همانطور که در شکل ۱۴ مشخص است بیشترین میزان انتشار کربن در معادن مربوط به بخش حمل و نقل و خردایش به ترتیب با ۴۵ و ۲۴ درصد می باشد. از نمودار فوق چنین به نظر می رسد که حدود ۵۵ درصد از انتشار کربن مربوط به استفاده از دیزل و سوخت های فسیلی است. افزایش بهره وری انرژی و استفاده از انرژی های تجدید پذیر می توانند راهکاری برای مقابله با آلودگی ها زیست محیطی و کاهش خطرات زیست محیطی باشند. بهبود بهره وری انرژی با اتوماسیون و هوشمندسازی فرآیندها و همچنین تولید و استفاده از ماشین آلات با محرک سوخت های تمیزتر می تواند پاسخی برای انتشار دی اکسید کربن باشد.

با توجه به موارد بررسی شده، اهمیت هوشمندسازی معادن بیش از پیش روشن خواهد شد. دانشگاه کلرادو در یک گزارش، مهم ترین اثرات هوشمندسازی در معادن و صنایع معدنی را برآورد کرده است. شکل ۱۶ درصد افزایش بهره وری در بخش های مختلف معدنکاری را نشان می دهد.

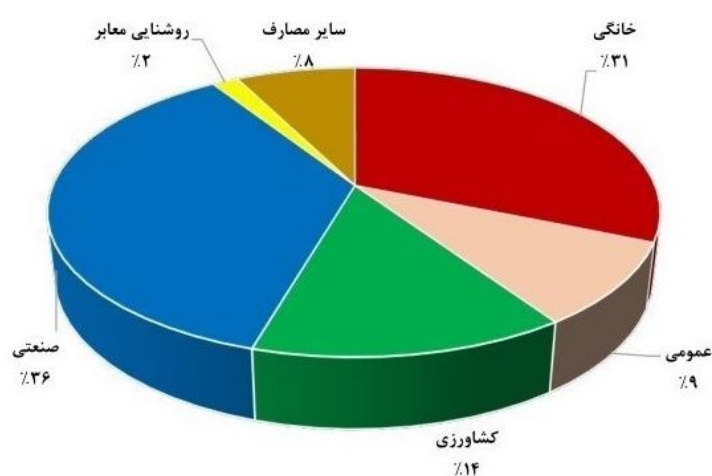


شکل ۱۶: افزایش بهره وری عملیات های معدنی با هوشمندسازی

۸- بازدهی بهره‌وری طرح در ایران

۸-۱- بررسی وضعیت معادن ایران

مرکز آمار ایران در جدیدترین گزارش خود مقدار مصرف حامل‌های انرژی و مولدهای توزیع انرژی مصرفی در بخش‌های مختلف را ارائه داده است. شکل طبق آمارهای موجود، در سال ۱۳۹۵ مصرف انرژی بخش صنعت، معدن و پتروشیمی معادل ۳۴۴.۸۶ میلیون بشکه نفت خام بوده است که سهم ۳۶ درصدی از کل انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱۷: مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ایران

بخش صنعت و معدن با ۸۷۵ هزار میلیارد ریال ارزش افزوده در سال ۱۳۹۶، حدود ۱۲/۶ درصد تولید ناخالص داخلی را تشکیل داده است. این در حالی است که بخش صنعت و معدن ۲۴/۳ درصد انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر انرژی مصرفی در بخش صنعت و معدن معادل ۲۳۲/۸ میلیون بشکه نفت خام است. همانطور که گفته شد به نسبت تولید ناخالص داخلی، انرژی بیشتری در بخش صنعت و معدن صرف می‌شود. با استفاده از هوشمندسازی صنایع و معادن می‌توان بهره‌وری انرژی را تا ۱۵ درصد افزایش داد. این افزایش ۱۵ درصدی بهره‌وری انرژی معادل انرژی ۳۴/۹ میلیون بشکه نفت خام خواهد بود.



۸-۲- وضعیت تولید مواد معدنی در ایران

با توجه به گزارش سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) میزان تولید مواد معدنی مهم در ایران در سال های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۷ به شرح جدول در شکل ۱۸ قابل مشاهده است.

جدول ۱: جدول رشد تولید محصولات معدن و صنایع معدنی در ایران

(هزار تن)

محصول	سال ۱۳۵۷	سال ۱۳۹۶	پیش بینی سال ۱۳۹۷
فولاد	۳۶۸	۲۱۸۴۰	۲۵۰۰۰
محصولات فولادی	۳۶۸	۱۹۷۷۶	۱۹۰۰۰
سنگ آهن	۸۹۱	۷۴۱۰۰	۷۵۰۰۰
مس*	۰	۱۶۳	۲۰۰
آلومینیوم	۱۸	۳۳۷	۳۴۵
کنسانتره زغالسنگ	۵۰۴	۱۴۹۶	۱۵۰۰
سیمان	۸۰۰۰	۵۵۱۹۲	۸۲۰۰۰

با توجه به اطلاعات موجود در شکل ۱۸ و شکل ۱۶ که افزایش بهره‌وری تولید ناشی از هوشمندسازی را ۱۸ درصد نشان می‌دهد، نتیجه این افزایش تولید می‌تواند به شکل جدول ۱ نشان داده شود.

جدول ۲: افزایش ۱۸ درصدی بهره‌وری تولید منابع

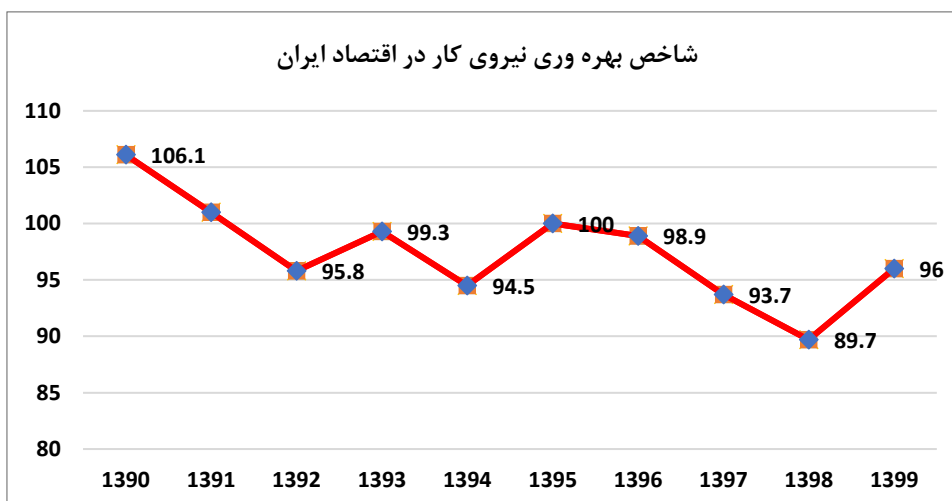
محصول	تولید سال ۱۳۹۷ (هزار تن)	تولید با افزایش ۱۵ درصدی با هوشمندسازی (هزار تن)
فولاد	۲۵۰۰۰	۲۸۷۵۰
محصولات فولادی	۱۹۰۰۰	۲۱۸۵۰
سنگ آهن	۷۵۰۰۰	۸۶۲۵۰
مس	۲۰۰	۲۳۰
آلومینیوم	۳۴۵	۳۹۶/۷۵
کنسانتره زغالسنگ	۱۵۰۰	۱۷۲۵
سیمان	۸۲۰۰۰	۹۴۳۰۰

با توجه به جدول ۱ و با تکیه به آمارهای بین‌المللی از افزایش بهره‌وری تولید ناشی از هوشمندسازی (شکل ۱۶)، و دردست داشتن مقادیر تولید در سال ۱۳۹۷ می‌توان گفت که بکارگیری هوشمندسازی در معادن و صنایع معدنی می‌تواند افزایش چشم‌گیری در تولید مواد معدنی کشور ایجاد کند.

۸-۳- بهره‌وری نیروی کار

بنا به گزارش اکوایران در سال ۱۴۰۰، از جمله مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی، شاخص بهره‌وری می‌باشد. از آنجا که بهره‌وری یکی از منابع تامین‌کننده رشد اقتصادی می‌باشد لازم است اطلاعات معتبر، استاندارد و قابل اتکایی از وضعیت و روند تغییرات آن در دست باشد. یک مقیاس بهره‌وری به بیان ساده نسبت یک شاخص مقداری از یک ستانده معین به یک شاخص مقداری از یک داده معین یا ترکیبی از چندین داده می‌باشد، به بیان دیگر هرچه نسبت یک ستانده مانند تولید ناخالص داخلی به داده مانند نیروی کار بیشتر باشد، می‌گوییم بهره‌وری نیروی کار بالاتر است چرا که به ازای هر نیروی کار به کار گرفته شده در فرآیند تولید، تولید بیشتری به وجود آمده است.

روش‌های مختلفی به منظور سنجش بهره‌وری وجود دارد از جمله روش‌های مبتنی بر اقتصادسنجی و تخمین تابع تولید، روش حسابداری رشد و روش شاخص عددی. هر یک از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی است و انتخاب روش برحسب محدودیت‌ها و اهداف مورد نظر صورت می‌گیرد. اغلب سازمان‌های بین‌المللی و مراکز آماری کشورهای مختلف از روش شاخص عددی بهره می‌برند. بر اساس بررسی‌های انجام شده از شاخص‌های بهره‌وری نیروی کار، شکل ۱۸ ارائه شده است که نشان از کاهش بهره‌وری نیروی کار ایران در سال‌های گذشته دارد.



شکل ۱۸: بهره وری نیروی کار در ایران (اکو ایران)

با توجه به شکل، بهره وری نیروی کار در ایران در سال های گذشته کاهش یافته است. با توجه به شکل ۴ و ۵ در پاره ای از مواقع با استفاده از هوشمندسازی، بهره وری نیروی انسانی می تواند تا بیش از ۴۰ درصد افزایش یابد و از طرف دیگر هزینه های نیروی انسانی تا حدود ۵ درصد کاهش یابد. در شرایطی که بهره وری نیروی انسانی ایران مطابق شکل ۱۸ در سال های گذشته کاهش یافته است، با استفاده از هوشمندسازی می توان بهره وری عملیاتی و پرسنلی معادن و صنایع وابسته آن را تا ۱۱ درصد افزایش داد.

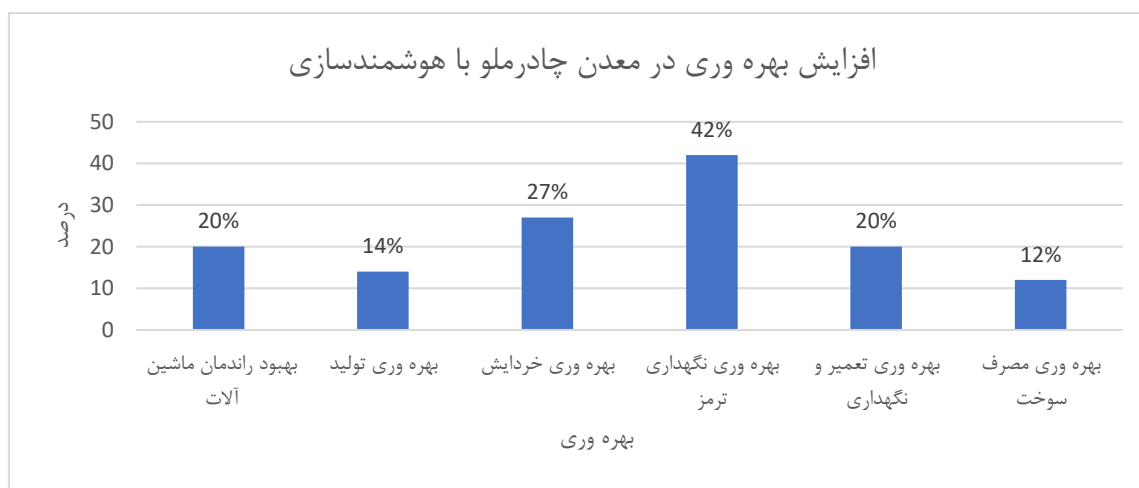
۸-۴- بهره وری ایمنی و سلامت

با توجه به اینکه اطلاعات و شاخص های کمی و مستندی از وضعیت بخش ایمنی و سلامت در بخش صنایع و معادن و بخصوص معدنکاری ایران در دست نیست؛ و با اتکا به گزارشات و مقالات مربوط به شرکت ها و کشورهای خارجی می توان گفت که با استفاده از تجهیزات ایمنی هوشمند و اتوماسیون و هوشمندسازی بخش ایمنی و سلامت، می توان عملکرد این بخش را بین ۲۴ الی ۶۰ درصد بهبود بخشید.

با توجه به توضیحات ارائه شده مشخص شده است که استفاده از هوشمندسازی و فناوری های جدید می تواند راندمان عملیاتی، تولید، انرژی، نیروی انسانی و ... را افزایش دهد. به عنوان مثال در گزارش شرکت صنعتی و معدنی چادرملو افزایش بهره وری با استفاده از سیستم مانیتورینگ و دیسپچینگ عملیات بارگیری و باربری و حمل و نقل نتایج بسیار خوبی کسب شده است. با استفاده از این سیستم افزایش ۲۰ درصد راندمان، افزایش ۱۴ درصدی تولید، کاهش ۲۷ درصدی توقفات خردایش، کاهش ۴۲ درصدی خرابی سیستم ترمز، کاهش ۱۲



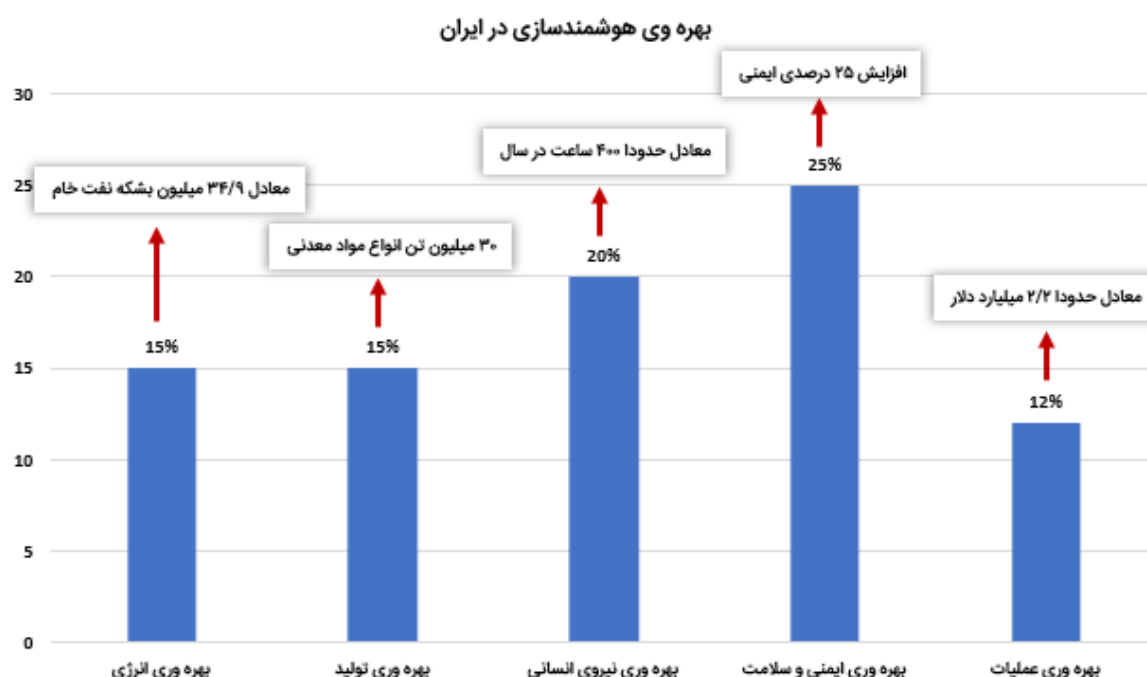
درصدی خرابی ماشین آلات و کاهش ۱۲ درصدی مصرف سوخت حاصل شده است (شکل ۲۰). لازم به ذکر است نتایج ذکر شده فقط مربوط به اتوماسیون در معدن چادرملو و مانیتورینگ و دیسپچینگ ماشین آلات می باشد.



شکل ۱۹: افزایش بهره وری عملیاتی معدن چادرملو با هوشمندسازی

۸-۵- بهره وری کلی هوشمندسازی معادن

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش های قبلی و نتایج بدست آمده از هوشمندسازی معادن و صنایع معدنی در سایر کشورها، مشخص می شود که هوشمندسازی می تواند بهره وری تمام بخش های فرآیند معدنکاری را افزایش دهد. بر این اساس با اعمال نتایج هوشمندسازی در کشورهای خارجی و مقایسه با کمیت های تولیدی، انرژی، پرسنلی، ایمنی و ... می تواند به نتایج نشان داده شده در شکل ۲۰ دست یافت.



شکل ۲۰: بهره‌وری هوشمندسازی معادن و صنایع معدنی در ایران

با توجه به نمودار ۲۰ با افزایش بهره‌وری انرژی به میزان ۱۵ درصد در بخش صنایع و معادن، صرفه جویی انرژی در این بخش با توجه به آمار اعلام شده معادل انرژی تقریباً ۱۵ میلیون بشکه نفت خام می‌باشد. لازم به ذکر است؛ بدلیل اینکه آمار دقیقی از مصرف انرژی معادن در دسترس نیست، این صرفه جویی انرژی مربوط به هوشمندسازی مجموع معادن و صنایع معدنی وابسته می‌باشد. مطالعه نمودار ۲۰ همچنین حاکی از افزایش حدوداً ۱۵ درصدی تولید انواع مواد معدنی در کشور را دارد که معادل افزایش ۳۰ میلیون تنی تولید انواع مواد معدنی می‌باشد. همچنین داده‌ها نشان از افزایش ۲ درصدی در کل عملیات فرآیند تولید از معدن تا کارخانه‌ها شامل استخراج، حمل و نقل، خردایش و پریارسازی خواهد بود و صرفه جویی حدود ۲ میلیارد دلاری در هزینه‌های این بخش را به همراه خواهد داشت.

با توجه به نمودار ۲۰ مشخص است که بهره‌وری نیروی انسانی می‌تواند تا حدود ۲۰ درصد افزایش یابد که با توجه به اطلاعات موجود معادل حدوداً ۴۰۰ ساعت کاری پرسنل و نیروی انسانی در یک سال می‌باشد. در مورد بهره‌وری ایمنی، با توجه به اینکه اطلاعات و داده‌های کمی قابل توجه از وضعیت ایمنی در معادن و صنایع ایران مشخص نیست، در اینجا به اطلاعات حاصل از مطالعات خرجی اکتفا می‌شود و افزایش بهره‌وری بخش ایمنی و سلامت ناشی از هوشمندسازی، ۲۵ درصد در نظر گرفته می‌شود.