Journal of
Improvement Management
Vol. 20 ,No. 1, Spting 2026 (Serial 71)

Smart Mining as a Socio-Technical Transition: Transition Challenges and Policy Solutions

Mohammad Nesari[1], Mostafa Safdari Ranjbar[2☎], Kiarash Fartash[3]

1- PhD in Technology Management, Department of Management and Accounting, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Management and Accounting, College of Farabi, University of Tehran, Qom, Iran.
3- Associate Professor, Institute for Fundamental Science and Technology Studies, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract:

While the mining industry significantly contributes to countries' economic development, it also adversely affects human health and the environment. However, digital technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things, robotics, and drones have demonstrated considerable potential to mitigate these challenges through mine digitalization. This study aims to identify the socio-technical challenges and obstacles in transitioning to digitalized mines in Iran and to propose policy solutions to address these challenges. Using the Multi-Level Perspective (MLP) framework, this research develops a theoretical model to analyze factors influencing the socio-technical transition toward mine digitalization. Through expert opinions in focus groups and thematic analysis, transition challenges were identified at three levels—landscape, socio-technical regime, and niche—with corresponding policy solutions proposed for each level .At the landscape level, two main challenges were identified: the lack of economic and productivity imperatives and the absence of environmental and human requirements. To address these, programs such as targeted financial facilities and energy subsidies were proposed. At the socio-technical regime level, challenges included policy and legal barriers, insufficient management support for change, socio-cultural challenges, and technological and infrastructural shortcomings. Twelve solutions were proposed, such as establishing a single window for technology licensing, developing a digital transformation center, implementing training programs for managers and staff, and supporting pilot projects in digitalization. At the niche level, a weak innovation ecosystem and difficulties in the mining sector innovation were identified. Solutions included institutional and infrastructural development (through innovation centers and technology consortia) and facilitating collaboration and knowledge transfer (by supporting university-industry joint projects).

Keywords: Socio-technical transition, Smart mine, Multi-level perspective, Digital transformation, Digitalization
DOI: (10.22034/jmi.2026.555301.3255)

[1] Email: m_nesari@atu.ac.ir
[2] ☎Corresponding author: Email: Mostafa.safdary@ut.ac.ir
[3] Email: k_fartash@sbu.ac.ir

هوشمندسازی معادن به مثابه گذار اجتماعی –فنی؛ چالش های گذار و راهکارهای سیاستی

دوره ۲۰ شماره ۱ (پیاپی ۷۱)
بهار ۱۴۰۵

نوع مقاله: پژوهشی(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۱) صفحات ۷ تا ۲۸

محمد نثاری دکتری، مدیریت فناوری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

مصطفی صفدری رنجبر[۱]☎ دانشیار، گروه مدیریت صنعتی و فناوری، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران.

کیارش فرتاش دانشیار، پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده

اگرچه از یک جهت صنایع معدنی کمک فراوانی به توسعه اقتصادی کشورها می نمایند، از جهت دیگر تأثیرات نامطلوبی نیز بر سلامت انسان ها و محیط زیست دارند. با این حال، فناوری های دیجیتال مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، رباتیک و پهبادها، پتانسیل قابل توجهی برای کاهش این چالش ها از طریق هوشمندسازی معادن نشان داده اند. این پژوهش با هدف شناسایی چالش ها و موانع اجتماعی–فنی گذار به هوشمندسازی معادن در ایران و ارائه راهکارهای سیاستی برای مواجهه با این چالش ها انجام شده است. این پژوهش با استفاده از رویکرد چشم انداز چندسطحی (MLP)، یک چارچوب نظری برای تحلیل عوامل مؤثر در گذار اجتماعی–فنی هوشمندسازی معادن توسعه داده است. سپس، با بهره گیری از نظرات خبرگان در گروه های کانونی و روش تحلیل مضمون، چالش های این گذار در سه سطح فرانما، رژیم اجتماعی–فنی و کنام شناسایی و راهکارهای سیاستی متناسب برای هر سطح ارائه شده است. در سطح فرانما، دو چالش اصلی نبود الزامات اقتصادی و بهره وری و نبود الزامات زیست محیطی و انسانی شناسایی شد که برای مقابله با آنها، برنامه هایی مانند اعطای تسهیلات هدفمند و یارانه انرژی پیشنهاد گردید. در سطح رژیم اجتماعی–فنی، چالش های سیاستی و قانونی، کاستی در حمایت مدیریت از تغییر، چالش های فرهنگی–اجتماعی و فناورانه و زیرساختی مورد بررسی قرار گرفت و دوازده راهکار از جمله ایجاد پنجره واحد صدور مجوزهای فناورانه، توسعه مرکز تحول دیجیتال، برنامه های آموزش مدیران و کارکنان، و حمایت از پروژه های آزمایشی در زمینه هوشمندسازی ارائه شد. در سطح کنام، زیست بوم نوآوری ضعیف و دشواری نوآوری در بخش معدن شناسایی و راهکارهایی مانند توسعه نهادی و زیرساختی (از طریق ایجاد مراکز نوآوری و کنسرسیوم های فناورانه) و تسهیل همکاری و انتقال دانش (با حمایت از پروژه های مشترک دانشگاه و صنعت) پیشنهاد شد.

واژگان کلیدی: گذار اجتماعی - فنی، معدن هوشمند، رویکرد چشم انداز چند سطحی، تحول دیجیتال، هوشمندسازی

۱. m_nesari@atu.ac.ir
۲ ☎مسئول مکاتبات: Mostafa.safdary@ut.ac.ir
۳. k_fartash@sbu.ac.ir

۱– مقدمه

صنایع معدنی به عنوان یکی از قدیمی ترین صنایع، همچنان کانون اصلی تولید جهانی است. معدن کاری[1] شامل استخراج، فرآوری و بهره‌برداری از مواد خام معدنی است. توسعه فعال این صنعت در اواخر قرن هجدهم و اوایل قرن نوزدهم و در دوره ساخت و ساز گسترده کارخانه ها آغاز شد و در ادامه و در قرن بیستم، سرعت گرفت (کالنوف و کوکوشکین[2]، ۲۰۲۱). مواد معدنی زیربنای مادی برای پیشرفت تمدن بشری، نقطه شروع زنجیره تامین تولید و منابع راهبردی ضروری برای امنیت ملی و پیشرفت اقتصادی هستند (لیو و همکاران[3]، ۲۰۲۴). تجزیه و تحلیل تاریخی معدن کاری نشان می دهد که این حرفه بسیار خطرناک است و اثرات نامطلوبی بر سلامت انسان و محیط زیست دارد. حساسیت نهادهای مدنی و الزام دولت ها به نظارت و قانون گذاری نشان دهنده میزان بالای آسیب های ناشی از فعالیت های معدنی به سلامت معدنچیان است. از دیدگاه جهانی، خطرات مکانیکی، شیمیایی و زیست شناختی؛ خطرات ناشی از منابع انرژی؛ فشار فیزیکی بر کارگران؛ خطر سقوط از ارتفاع؛ و خطرات روانی تهدیدهای اصلی در فعالیت های معدنی هستند (معزی نصب و سلمانی، ۲۰۲۴).

از سوی دیگر پذیرش فناوری های دیجیتال و هوشمند سازی معادن پتانسیل امیدوارکننده ای را برای کاهش برخی از مشکلات اشاره شده در صنایع معدنی نشان داده است. طی دو دهه گذشته، اجرای فناوری‌های پیشرفته منجر به پیشرفت‌های قابل‌توجهی در حوزه‌های عملکرد کلیدی این بخش مانند سلامت و ایمنی، سودآوری، کارایی، فراگیری، پایداری و بهره‌وری شده است (شمیاپوندا-ناوا و انویلا[4]، ۲۰۲۴). به عنوان مثال هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و هواپیماهای بدون سرنشین می‌توانند با جمع‌آوری و پردازش هوشمند اطلاعات، نقش مؤثری در هشدار خطر به کارگران و اجرای اقدامات پیشگیرانه ایفا کنند. علاوه بر این، فناوری هایی مانند رباتیک، پهپادها و وسایل نقلیه خودران می توانند جایگزین انسان در مناطق خطرناک شوند و تلفات و جراحات انسانی را کاهش دهند (معزی نصب و سلمانی، ۲۰۲۴).

بدین ترتیب دولت ها و مدیران شرکت های معدنی با فشار فزاینده ای برای گذار به سمت هوشمند سازی و تحول دیجیتال به عنوان یک اولویت راهبردی و استقبال از فرصت های ارائه شده توسط دیجیتالی شدن مواجه شده اند. در حالی که این موضوع پذیرفته شده است که دیجیتالی شدن در صنایع معدنی نیروی محرکه ای خواهد بود که پتانسیل زیادی برای تغییر ماهیت شرکت ها و تعامل آنها با ذینفعان در هر مرحله از زنجیره ارزش دارد، به نظر می رسد درک درستی از این موضوع وجود ندارد و صنایع معدنی همگام با سایر صنایع به سمت هوشمندسازی معادن حرکت نکرده اند (لازارنکو و

[1] Mining
[2] Kalenov and Kukushkin
[3] Liu et al
[4] Shimaponda-Nawa and Nwaila

همکاران، ۲۰۲۱). لذا برای جبران این موضوع لازم است ضمن شناسایی موانع موجود در مسیر گذار به سمت معادن هوشمند، سیاست های مناسبی جهت رفع این موانع از سوی دولتها اعمال گردد. در کشور ما نیز در چند سال اخیر با توجه به مشکلات عدیده‌ای که در صنایع معدنی بخصوص از بعد ایمنی و زیست محیطی مشاهده شده است (فرزامی و همکاران، ۱۴۰۱)، ضرورت اعمال سیاست های مناسب و هوشمندانه برای توسعه معادن هوشمند و دیجیتال وجود دارد. لذا در این پژوهش با استفاده از چارچوب چشم انداز چند سطحی[1] گذار از معادن سنتی به معادن هوشمند در ایران مورد بررسی و مطالعه قرار می گیرد و از این رهگذر چالش های اصلی پیش روی این گذار شناسایی و سیاست هایی برای عبور از این چالش ها ارائه می گردد.

ساختار این مقاله بدین شرح می باشد: در بخش مبانی نظری پژوهش به بررسی مفهوم گذار اجتماعی - فنی، رویکرد چشم انداز چند سطحی، چالش های گذار در مسیر هوشمندسازی معادن و پیشینه پژوهش خواهیم پرداخت. در بخش روش پژوهش، روش شناسی مورد استفاده برای انجام پژوهش توضیح داده خواهد شد. سپس در بخش بعدی به تجزیه و تحلیل یافته های پژوهش خواهیم پرداخت. در این بخش با استفاده از یافته های پژوهش شکست های پیش روی گذار اجتماعی - فنی هوشمند سازی معادن در ایران را شناسایی و راهکارهای سیاستی مناسب جهت کاهش و یا رفع هریک ارائه می گردند. در انتها نیز جمع بندی و دلالت های سیاستی ومدیریتی ارائه خواهد شد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱-گذار اجتماعی- فنی

گذارهای اجتماعی - فنی در واقع تغییرات فناورانه‌ای هستند که شیوه‌ی تحقق کارکردهای اجتماعی مثل حمل و نقل و ارتباطات را متحول می‌کنند (راتمنز و همکاران[2]، ۲۰۰۱). کارکردهای مختلف جوامع انسانی با کمک فناوری صورت می پذیرند و نوآوری‌های فناورانه می‌توانند رژیم حاکم بر کارکردهای اجتماعی را تغییر دهند. ذکر این نکته ضروری است که تغییر چنین رژیمی فقط دربرگیرنده تغییرات فناورانه نیست بلکه تغییر در عناصری چون اقدامات کاربران، مقررات، شبکه‌های صنعتی زیرساخت‌ها و معانی نمادین را در پی دارد. از جمله مثال‌های ملموس تاریخی گذار اجتماعی - فنی می توان به گذار در صنعت حمل و نقل از اسب و حیوانات مشابه به اتومبیل و یا گذار از کشتی‌های بادبانی به کشتی‌های بخار که با تغییرات وسیع در ابعاد مختلف زیرساختی، اجتماعی، مقرراتی و موارد دیگر همراه بوده‌اند، اشاره نمود (گیلز[3]، ۲۰۰۵). گذارهای اجتماعی - فنی معمولا فرایندهایی زمان‌بر و بسیار پیچیده هستند

[1] Multi-Level Perspective (MLP)
[2] Rotmans et al
[3] Geels

که علت آن مقاومت رژیمهای موجود و از قبل شکل گرفته اجتماعی - فنی در مقابل تغییرات بنیادین است (ریون و همکاران[1]، ۲۰۱۰).

۲-۲- چشم انداز چندسطحی

جهت مطالعه گذارهای اجتماعی فنی از رویکردهای متعددی نظیر رویکرد مدیریت گذار[2]، رویکرد مدیریت راهبردی کنام[3] و رویکرد چشم انداز چند سطحی استفاده می شود. در این میان رویکرد چشم انداز چند سطحی از مقبولیت و کاربرد بیشتری در بین پژوهشگران این حوزه برخوردار گردیده است. این رویکرد، گذار را به مثابه فرآیندهای غیرخطی ناشی از تاثیر متقابل تحولاتی در نظر می گیرد، که در سه سطح تحلیلی ۱) کنام ها[4]، ۲) رژیم های اجتماعی - فنی و ۳) چشم انداز اجتماعی – فنی رخ می دهند (کیم و همکاران[5]، ۲۰۱۹؛ ال بیلالی[6]، ۲۰۱۹). کنام بخش های محدود و محافظت شده از جامعه را توصیف می کند، جاییکه تازگی ها (فناوری های جدید، قوانین، تنظیمات سازمانی یا ترکیبات آنها) ایجاد و آزمایش می شوند. رژیم اجتماعی - فنی یک مفهوم کلیدی در چارچوب چشم انداز چند سطحی است (فوئنفشیلینگ و تروفر[7]، ۲۰۱۴). رژیم در نهایت سرعت و جهت فرآیندهای گذار را تعیین می کند (ون ولی و همکاران[8]، ۲۰۱۸).

ادبیات چشم انداز چند سطحی معمولا پنج بعد رژیم یا رژیم های فرعی (فناوری، علوم، سیاست ها، فرهنگی اجتماعی و رژیم کاربر و بازار) را معرفی می نماید که هر یک مجموعه قوانین و خط سیر خود را برای این قوانین دارند (گیلز، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴؛ گاش و شات[9]، ۲۰۱۹). در حالیکه این رژیم های فرعی پویایی خاص خود را دارند، اما با هم تکامل می یابند (گیلز، ۲۰۱۱). در نهایت چشم انداز اجتماعی-فنی اشاره به توسعه های مفهومی گسترده تری دارد که رژیم اجتماعی - فنی را تحت تاثیر قرار داده و فرای آن بازیگران یک رژیم می توانند تاثیر اندکی داشته باشند یا حتی تاثیر نداشته باشند. تغییرات چشم انداز شامل روندهای تغییرات آهسته (به عنوان مثال تغییر تاریخی، ایدئولوژیک، جغرافیایی سیاسی) و شوک های خارجی (مانند جنگ، بحران های خارجی) می باشند (گیلز، ۲۰۱۸). رویکرد چشم انداز چند سطحی یک چارچوب نظری غالب برای درک گذارهای اجتماعی - فنی است، که ریشه در اقتصاد تکاملی، سیستم های نوآوری و پژوهش ها در مورد هم تکاملی دارد. این رویکرد به ویژه در

[1] Raven et al
[2] Transition Management (TM)
[3] Strategic Niche Management (SNM)
[4] Niches
[5] Kim et al
[6] El Bilali
[7] Fuenfschiling and Truffer
[8] Van Welie et al
[9] Ghosh and Schot

ارائه چارچوبی برای درک نمایندگی ذینفعان در گذارهای تاریخی و روابط بین تازه واردان بسیار مفید است (گیلز، ۲۰۱۸). چشم انداز گذار اجتماعی - فنی روشی مفید برای تفسیر پویایی ها و پیچیدگی های اجتماعی - فنی دخیل در گذارهای پایداری فراهم می کند (کانیتز[1]، ۲۰۱۹).

۲-۳- پیشینه پژوهش: هوشمندسازی معادن

در حوزه گذارهای اجتماعی - فنی به سمت معادن هوشمند مطالعات اندکی صورت پذیرفته است. در ادامه به برخی از معتبرترین این مطالعات و نتایج حاصل از هریک اشاره می شود.

گابریک و نیدو[2](۲۰۲۴) با استفاده از یک رویکرد مطالعه موردی تفسیری به درک نقش فناوری‌های دیجیتال در اهداف پایداری به ظاهر متناقض در معدن پرداختند. ایشان با کمک مدل اجتماعی- فنی سیستم‌های اطلاعاتی به عنوان چارچوبی برای هدایت تحلیل، بیست و پنج مصاحبه عمیق با متخصصان فناوری دیجیتال پراکنده در سطح جهان انجام داده اند. یافته‌های تحلیل موضوعی مبتنی بر اجتماعی-فنی، بده‌بستان‌هایی را که متخصصان در ایجاد تعادل بین الزامات محدود فناوری و نتایج اقتصادی با اهداف پایداری گسترده‌تر با آن مواجه هستند، برجسته می‌کند. این تحلیل فراتر از فناوری و اقتصاد به یک دیدگاه هماهنگ از تعاملات اجتماعی، انسانی، زیست‌محیطی و فناوری می‌رود. در کار ایشان یک نقشه موضوعی بصری ارائه شده است تا به متخصصان در طراحی و اجرای بهینه فناوری‌های دیجیتال برای رسیدگی همزمان به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد و در عین حال اولویت‌بندی پایداری کسب‌وکار کمک کند. در پایان نیز با استفاده از رویکرد دیدگاه‌های اجتماعی- فنی پیشنهادی برای پایداری دیجیتال، مسیرهای ممکن را برای پژوهش ها سیستم‌های اطلاعاتی مسئولانه در آینده در اختیار پژوهشگران قرار می دهند.

ژیرونکین و ازدینا[3](۲۰۲۳الف) نیز در پژوهش خود مشاهده‌ای چندجانبه از شرایط، فرآیندها و ویژگی‌های گذار فعلی به معدن ۴.۰ و تحول آتی در پلتفرم معدن ۵.۰ ارائه می‌دهند. این دو محقق هسته و چشم‌اندازهای آن را برای جایگزینی انسان‌ها با ربات‌های همکار و هوش مصنوعی برجسته می‌کنند. علاوه بر این، پژوهشگران به بررسی محدودیت‌های اصلی گذار به معدن ۵.۰ پرداخته و نتیجه می گیرند که غلبه بر آنها با توسعه معدن سبز و سرمایه‌گذاری در مسائل محیط زیستی، اجتماعی و حکمرانی مرتبط است. ژیرونکینا و ژیرونکین (۲۰۲۳ب) در پژوهشی دیگر تلاش نمودند تا مروری چندجانبه بر تحول صنایع معدنی در جریان انتشار فناوری‌های صنعت ۴.۰ ارائه داده و هسته و مرزهای گسترش معدن ۴.۰ را برجسته نمایند. ایشان همچنین فرصت‌ها و تهدیدهای جایگزینی سیستم‌های

[1] Canitez
[2] Gabryk and Naidoo
[3] Zhironkin and Ezdina

فیزیکی و انسان‌ها در معدن با سیستم‌های سایبری- فیزیکی را برجسته نمودند. علاوه بر این، در کار ایشان افق‌های فناوری، اقتصادی و اجتماعی تحول معدن ۴.۰ به معدن ۵.۰ با تهدیدهای خاص دیجیتالی شدن کامل مورد بحث قرار گرفته است.

فرزامی وهمکاران (۱۴۰۱) نیز به بررسی چالش ها و راهکارهای رفع نیاز فناورانه در معادن و صنایع معدنی در ایران پرداخته اند. محققین در این تحقیق عنوان می نمایند که در حال حاضر، صنعت معدنکاری و صنایع معدنی کشور به دلیل مسائل ناشی از نیاز فناورانه، بهره‌وری پایینی دارند، هزینه عملیاتی آنها بالا است و راهکارهای کاهش مخاطرات نیروی انسانی و آثار زیان‌بار زیست محیطی که برخی با فناوری‌های نوین قابل اجتناب هستند، در دسترس نمی باشند. در حوزه فناوری های فرایندی نیز، فناوری های به‌روز «اکتشاف، استخراج و استحصال» به‌طور قابل قبول، در دسترس نیست و وضعیت در تجهیزات به‌مراتب ناخوشایندتر است. به‌طور مثال، به واسطه قدیمی بودن تجهیزات و روش های نامناسب در فرایندها، مسئله آلاینده ها و مخاطرات انسانی و زیست محیطی بیشتر شده و فعالیت اقتصادی در مجموعه‌ای از عناصر معدنی تحت‌الشعاع قرار گرفته است. جدول ۱ به ارائه خلاصه و جمع بندی از پیشینه پژوهش پرداخته است.

جدول ۱: جمع بندی پیشینه پژوهش

ردیف	نویسنده	سال انتشار	نتایج
۱	گابریک و نیدو	۲۰۲۴	برجسته سازی ملاحظات زیست محیطی در کنار تمرکز بر جنبه های اجتماعی – فنی برای ارتقای اهداف زیست محیطی و انسانی معدنکاری دیجیتال امری ضروری است.
۲	ژیرونکین و ازدینا	۲۰۲۳	پلتفرم‌های فناوری معدنکاری ۴.۰ و ۵.۰ فرصت‌های بی‌سابقه‌ای را برای افزایش بهره‌وری و ایمنی نیروی کار، کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی در خوشه‌های معدنکاری و احیای تنوع زیستی، مدیریت انعطاف‌پذیر شرکت‌ها، بسته به وضعیت بازارهای کالا، به همراه دارند. فرآیند گذار از معدنکاری ۳.۰ به ۴.۰ با فرآیندهایی مانند دیجیتالی شدن و معرفی سیستم‌های سایبری- فیزیکی به ژئوفناوری سنتی (سطحی و زیرزمینی) و همچنین به مدیریت شرکت‌های معدنکاری، واسطه‌گری می‌شود.
۳	ژیرونکینا و ژیرونکین	۲۰۲۳	انتظار می‌رود پلتفرم فناوری در نیمه دوم قرن بیست و یکم اصول انسان‌محوری و طبیعت‌محوری را به معدن آورده و بهره‌وری آن را به سطح صنایع تولیدی افزایش دهند.
۴	فرزامی و همکاران	۱۴۰۱	صنعت معدنکاری و صنایع معدنی کشور به دلیل مسائل ناشی از نیاز فناورانه، بهره‌وری پایینی دارند، هزینه عملیاتی آنها بالا است و راهکارهای کاهش مخاطرات نیروی انسانی و آثار زیان‌بار زیست

ردیف	نویسنده	سال انتشار	نتایج
			محیطی که برخی با فناوری‌های نوین قابل اجتناب هستند، در دسترس نمی باشند. در حوزه فناوری های فرایندی نیز، فناوری های به‌روز «اکتشاف، استخراج و استحصال» به‌طور قابل قبول، در دسترس نیست و وضعیت در تجهیزات به‌مراتب ناخوشایندتر است.

جمع بندی مطالعات فوق نشان می‌دهد که تحقیقات موجود عموما نقش فناوری و آثار اقتصادی و اجتماعی آن را در مسیر هوشمندسازی صنایع معدنی مورد بررسی قرار داده‌اند و چنانچه چالش‌هایی نیز شناسایی شده‌اند، از بعدی فنی و فناوری مورد توجه قرار گرفته اند. لذا کوتاهی در توجه به ابعاد اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی وسیاسی هوشمندسازی صنایع معدنی و ابزارهای سیاستی مواجه با چالش‌های موجود در هریک از این ابعاد مشهود می باشد. از طرفی توجه اندکی نیز به نقش فضاهای نوآورانه و عوامل موجود در سطح کلان که بر هوشمندسازی صنایع معدنی تاثیر خواهند گذاشت، معطوف شده است. لذا پژوهش پیش رو با استفاده از ادبیات گذارهای اجتماعی – فنی تلاش دارد خلا موجود در زمینه های مورد اشاره را پر نماید.

۳– روش‌شناسی

پژوهش پیش رو از حیث جهت گیری، کاربردی می باشد و پژوهشگر از حیث هستی شناسی از پارادایم تفسیری استفاده نموده است. همچنین پژوهش از نظر رویکرد کیفی می باشد زیرا بر جمع‌آوری و تحلیل داده‌های غیر عددی تمرکز دارد تا مفاهیم، دیدگاه‌ها و تجربیات را درک کند. این نوع پژوهش شامل فعالیت‌هایی مانند مشاهده، مصاحبه و مشارکت افراد است، با این ایده که پژوهشگر به عنوان ابزاری برای پژوهش عمل می‌کند و اجازه می‌دهد تا مطالعه در حین پیشرفت خود تکامل یابد. راهبرد مورد استفاده نیز موردکاوی می باشد. مورد کاوی یک روش شناسی کیفی است که برای پژوهشگران ابزاری فراهم می‌آورد تا پدیده را در بستر خودش مورد مطالعه قرار دهند و وقتی درست و به جا به کار گرفته شود برای توسعه نظریه، ارزیابی برنامه‌ها و حتی شیوه دست بردن در پدیده کاربرد دارد (باکستر و جک[1]، ۲۰۰۸).

در این پژوهش مورد مطالعه گذار اجتماعی – فنی هوشمند سازی معادن در ایران می باشد. شایان ذکر است این مطالعه تمامی گونه های معادن در ایران را در بر می‌گیرد و موضوع هوشمندسازی و گذار به معادن هوشمند را به طور کلی مورد مطالعه قرار داده است. داده های این پژوهش کیفی می باشند که جهت گردآوری آنها نیز از ابزارهایی چون مطالعه ادبیات موضوع (شامل کتب، مقالات علمی پژوهشی، گزارش های سیاستی) و اظهارات خبرگان در گروه کانونی استفاده شده است. جهت تشکیل گروه کانونی

[1] Baxter and Jack

از نمونه گیری به روش گلوله برفی استفاده شده است. علت استفاده از روش گلوله برفی دشواری در شناسایی و دسترسی به خبرگان حوزه مورد مطالعه می باشد. در جلسه ای که با حضور۶ نفر از خبرگان (جدول۲) به عنوان گروه کانونی برگزار گردید، بر اساس پروتکل مصاحبه که با استفاده از ادبیات موضوع (فیگنباوم، ۲۰۱۷؛ لین و سواکول، ۲۰۲۰) از قبل تهیه شده، نظرات خبرگان گردآوری و پس از تبدیل به متن با استفاده از روش تحلیل مضمون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. لازم به ذکر است، در این گروه کانونی ضمن تشریح آخرین روندهای توسعه معادن هوشمند در سطح جهان و ایران، گذار اجتماعی - فنی و به طور خاص رویکرد چشم انداز چند سطحی به این گونه گذارها جهت خبرگان تشریح گردید. همچنین انتخاب تعداد ۶ نفر به واسطه رسیدن به اشباع نظری در جلسه گروه کانونی و تحلیل داده‌های گردآوری شده از این گروه می باشد. محقیق پس از تحلیل داده‌های گروه کانونی، اطلاعات را با برخی دیگر از خبرگان خارج از این گروه به اشتراک گذاشته و از اشباع نظری مطمئن گردیدند.

جهت رسیدن به پایایی و روایی پژوهش نیز با توجه به آزمون های معرفی شده توسط یین (۲۰۰۹)،گردآوری داده ها از منابع مختلف از جمله نظرات خبرگان، اطلاعات مندرج در اسناد و مدارک صورت پذیرفت تا بدین ترتیب اعتبار سازه فراهم گردد. برای نیل به اعتبار درونی پژوهش، یافته ها با چارچوب رویکرد چند سطحی مورد مقایسه قرار گرفتند. این چارچوب متداول ترین برای بررسی گذارهای اجتماعی - فنی می باشد که از اعتبار بالایی بین اندیشمندان حوزه گذار برخوردار است. جهت تامین اعتبار بیرونی نیز توصیف کامل محیط، شرایط و آزمودنی های پژوهش و روش های به کار رفته برای جمع آوری و تحلیل داده ها انجام پذیرفت. در نهایت برای رسیدن به پایایی نیز پروتکل پژوهش و بانک اطلاعاتی از اظهارات خبرگان تهیه گردیده است.

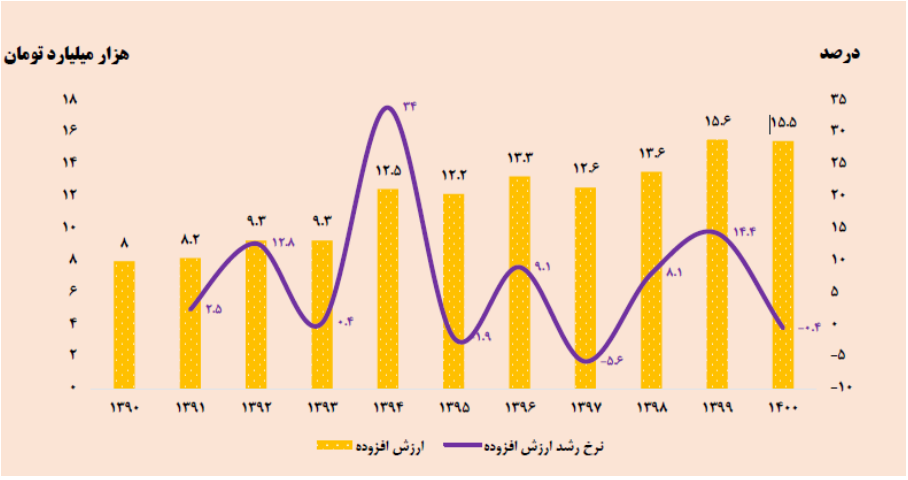
جدول ۲: ویژگی های خبرگان حاضر در گروه کانونی

ردیف	مدرک تحصیلی	سابقه کار (سال)	سمت / تخصص
۱	لیسانس	۲۵	مدیر عامل شرکت فعال در حوزه هوشمند سازی
۲	دکتری	۲۰	رئیس مرکز یادگیری و آموزش نهاد فعال در حوزه معدن
۳	دکتری	۱۸	مشاور حوزه تحول دیجیتال و هوشمند سازی صنایع و معادن
۴	دکتری	۳۰	مشاور و مدرس تحول دیجیتال و هوش مصنوعی، مدیرعامل شرکت توسعه فناوری
۵	فوق لیسانس	۱۵	کارشناس مرکز ایمیدرو
۶	دکتری	۱۸	مسئول کمیته آموزش و فرهنگ سازی حوزه تحول دیجیتال

۴– تحلیل داده و یافته‌ها

۴–۱– نگاهی به وضعیت معادن در ایران

طبق آخرین گزارشات جهانی، ایران با داشتن ۲۷.۳ تریلیون دلار منابع معدنی اعم از نفت، گاز، ذغال سنگ، سنگ آهن، کروم، مس و ... در جایگاه پنجم جهان و پس از کشورهای روسیه، ایالات متحده آمریکا، عربستان و کانادا قرار گرفته است. ایران با داشتن بالغ بر ۷ درصد از منابع معدنی دنیا به ارزش ۱۰۰ میلیارد یکی از کشورهای مستعد در این عرصه است. اکثر منابع طبیعی و معادن ایران در کلاس جهانی قرار دارند. از این معادن می توان به معدن مس سرچشمه، معدن سنگ آهن سنگان، معدن روی مراغه، معدن گل گهر سیرجان و معدن روی انگوران اشاره نمود.کشور ایران با دارا بودن ۳۷ میلیارد تن ذخایر کشف شده و ۵۷ میلیارد تن ذخایر بالقوه و حدود ۶۸ نوع ماده معدنی غیر نفتی در بین ۱۵ قدرت معدنی جهان قرار گرفته است. طبق آمارها تا پایان سال ۱۴۰۰، تعداد ۶۰۲۵ معدن در حال بهره برداری در ایران وجود دارد. بیشترین ارزش تولید معدنی در کشور، به ترتیب مربوط به استان های کرمان، یزد و آذربایجان شرقی می باشد. در عین حال سه استان خراسان رضوی، فارس و سمنان نیز بیشترین تعداد معادن کشور را دارند. طبق آخرین آمارهای بانک مرکزی، ارزش افزوده بخش استخراج معدن به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵، در یک دهه اخیر، بجز سالهای ۱۳۹۷ و ۱۴۰۰ رشد مثبتی داشته است. بیشترین ارزش افزوده استخراج معدن در سال های مورد بررسی مربوط به سال ۱۳۹۴ و حدود ۳۴ درصد بوده است. بیشترین میزان ارزش افزوده استخراج معدن مربوط به سال ۱۳۹۹ و حدود ۱۵.۶ هزار میلیارد تومان برآورده شده است(نگاهی به وضعیت بخش های عمده اقتصاد ایران، ۱۴۰۱).



شکل ۱: ارزش افزوده استخراج معدن به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵ و نرخ رشد آن (بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران) (هزار میلیارد تومان – درصد)

این درحالی است است که علی رغم بهره مندی از منابع طبیعی معدنی فراوان، ایران نتوانسته سهم معدن را در تولید ناخالص داخلی افزایش دهد. سهم ارزش افزوده بخش معدن از تولید ناخالص داخلی، طبق آمارهای بانک مرکزی بسیار پایین و حداکثر در سطح ۱.۱ درصد طی سال های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ قرار داشته است. همچنین طبق آخرین گزارش مرکز آمار ایران و بر اساس سرشماری صورت گرفته از معادن کشور در سال ۱۴۰۰، در مجموع ۱۳۰ هزار نفر در بخش معدن کشور مشغول به کار هستندکه نسبت به سال گذشته این نسبت ۸.۳ درصد افزایش یافته است. ۱۰ معدن اصلی کشور نیز در مجموع حدود ۹۰ درصد از شاغالان این بخش را تشکیل داده اند. ارزش کل تولیدات معادن کشور در سال ۱۴۰۰ نیز حدود ۲۷۵ هزار میلیارد تومان برآورد شده است که نسب به سال قبل رشد ۸۴.۱ درصدی داشته است. در بحث سرمایه گذاری در بخش معدن که شامل تغییرات ایجاد شده در ارزش اموال سرمایه ای (ارزش خرید یا تحصیل و هزینه تعمیرات اساسی پس از کسر ارزش فروش یا انتقال اموال سرمایه ای) است در سال ۱۴۰۰، معادل ۷.۸ هزار میلیارد تومان بوده که نسبت به سال قبل از آن ۴۳.۶ درصد رشد داشته است. در بین فعالیت های مختلف سنگ آهن، زغال سنگ خشک و شن و ماسه به ترتیب با ۲.۵، ۱.۱ و ۰.۸ هزار میلیارد تومان، بیشترین ارزش سرمایه گذاری را داشته اند (نگاهی به وضعیت بخش های عمده اقتصاد ایران، ۱۴۰۱).

۴-۲- شناسایی چالش های گذار به معادن هوشمند

جهت تحلیل و تفسیر اطلاعات از روش تحلیل مضمون استفاده گردید. در این پژوهش تحلیل مضمون بکار گرفته شده بر مبنای روش آترایدِ – استرلینگ[1] است. در این روش بر اساس یک رویه مشخص و در سه سطح نقشه ای از کل مضامین ارائه می شود. مضامین فراگیر[2] که شامل مضامین عالی دربرگیرنده اصول حاکم بر متن به عنوان یک کل است و در کانون شبکه مضامین قرار می گیرد. مضامین سازمان دهنده[3] که شامل مضامین حاصل از ترکیب و تلخیص مضامین پایه می باشند و در نهایت مضامین پایه[4] که شامل کدها و نکات کلیدی موجود در متن است (آترایدِ – استرلینگ، ۲۰۰۱). مضامین پایه، فراگیر و سازمان دهنده در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

[1] Atride Stirling
[2] Global
[3] Organizing
[4] Basic

جدول ۳: شناسایی و استخراج مضامین پایه، سازمان دهنده و فراگیر

نمونه کدها	مضامین پایه	مضامین سازمان دهنده	مضامین فراگیر
آثار اجتماعی و محیطی صنایع دیده نمی شود و صنایع در این زمینه احساس مسئولیت نمی کنند.	کوتاهی در توجه به آثار زیست محیطی و انسانی صنایع	کمبود الزامات زیست محیطی و انسانی	**چالش های سطح فرانما**
متاسفانه در کشور ما به مقوله بهره وری توجه جدی نمی شود. این مسئله بخصوص در بخش معدن که گردش مالی بالا است به شدت دیده می شود.	ضعف توجه به مسئله بهره وری در صنایع	کمبود الزامات اقتصادی و بهره وری	
کاستی در اولویت بندی و تخصیص منابع مورد نیاز فرآیند هوشمند سازی توسط دولت دیده می شود.	کاستی اولویت گذاری و سطح بندی برنامه های هوشمند سازی توسط دولت	چالش های سیاستی و قانونی	**چالش های سطح رژیم اجتماعی - فنی**
ضعف طبقه بندی برنامه‌های تحول دیجیتال در لایه سیاستی هم برای شرکت های بزرگ و هم شرکت های کوچک مشهود است.			
مقررات موجود کافی نبوده و برخی از این قوانین حتی با یکدیگر ضدیت دارند.	ضعف جامعیت و کفایت قوانین موجود		
در حوزه معدن بسته های سیاستی برای هوشمند سازی نظیر یارانه و معافیت مالیاتی وجود ندارد.			
قوانین ما همه بازیگران را در برنمی گیرند و منافع جمعی لحاظ نمی شود.			

نمونه کدها ◄	مضامین پایه ◄	مضامین سازمان دهنده ◄	مضامین فراگیر
قوانین ما همه بازیگران را در برنمی گیرند و منافع جمعی لحاظ نمی شود.			
با توجه به حجم درآمدها در معادن، توجه زیادی به مقوله بهره وری نمی شود.	کمبود توجه به مقوله بهره وری در معادن	کاستی در حمایت مدیریت ارشد به دلیل عدم ضرورت و فوریت تغییر	
مدیریت و مالکیت معادن در معادن تفکیک نشده اند. به اعتقاد من مدیریت باید قدرت تصمیم گیری در خصوص پروژه های تحول دیجیتال را داشته باشد.	کاستی در تفکیک مدیریت از مالکیت در شرکت های معدنی		
مدیران ارشد بیشتر از پروژه های افزایش تولید و ظرفیت حمایت می کنند تا پروژه های هوشمند سازی.	ضعف حمایت مدیران ارشد سازمان از هوشمند سازی و تحول دیجیتال		
هزینه های تحول دیجیتال، منافع اقتصادی و آورده این هزینه ها برای صاحبان صنعت مشخص نمی باشند.	شفاف نبودن هزینه - فایده پروژه های هوشمند سازی برای صنایع		
فرهنگ پذیرش تغییر در بخش معدن به واسطه درک پایین افراد از مزایای هوشمند سازی پایین است.	ضعف در فرهنگ پذیرش تغییر	چالش های فرهنگی و اجتماعی	
ما به واسطه پراکندگی معادن با فرهنگ های مختلفی سروکار داریم که مانع هوشمند سازی می شوند.	وجود تفاوت های فرهنگی در نواحی معدنی کشور		
هوشمندسازی باعث شفاف سازی می شود و این مسئله برای برخی از مدیران و کارکنان خوشایند نیست.	نگرانی از شفاف سازی به واسطه هوشمند سازی		

نمونه کدها ◄	مضامین پایه ◄	مضامین سازمان دهنده ◄	مضامین فراگیر
نیروی انسانی این بخش با فناوری های دیجیتال و هوش مصنوعی عجین نیست و نیاز به آموزش جدی در این زمینه دارند.	درک پایین نیروی انسانی در سطوح مختلف سازمان نسبت به هوشمند سازی و تحول دیجیتال		
به واسطه تصویری که معدن از خود نشان داده است به واسطه مسائل ایمنی، زیست محیطی و رفاهی، نخبگان علاقه ای به حضور در این بخش ندارند.	کمبود تمایل نخبگان به حضور در بخش معدن		
در ۹۸٪ از معادن هنوز بسیاری از فرآیندها به صورت دستی انجام می شود و ما بلوغ دیجیتال بسیار پایینی در این بخش داریم.	بلوغ پایین دیجیتال در بخش معدن	عقب افتادگی فناورانه و ضعف زیرساخت ها	
معلوم نیست آیا سیستم های موجود با فناوری های جدید یکپارچه می شوند یا خیر و این مسئله باید مورد توجه جدی قرار گیرد.	ضعف در توجه به یکپارچه سازی سیستم های جدید با سیستم های موجود		
ما هنوز فناوری های دیجیتال را به خوبی درک نکرده ایم و نمی دانیم این فناوری ها در کجای کار به ما کمک می کنند.	کمبود وجود آشنایی عمیق با فناوری های دیجیتال و هوشمند در سطوح مختلف		
پوشش ارتباطی مثلا فیبر نوری و شبکه های نسل ۵ و ۶ در سطح معادن وجود ندارد.	ضعف در وجود زیرساخت های فناورانه مناسب نظیر اینترنت با پهنای باند بالا و فیبر نوری در مناطق معدنی		

نمونه کدها ◄	مضامین پایه ◄	مضامین سازمان دهنده ◄	مضامین فراگیر
ما همچنان در صنعت دو و صنعت سه قفل شده ایم و فاصله زیادی با روش های موجود در سطح بین المللی داریم.	افزایش فاصله بخش معدن با Best Practice های موجود در جهان		
ما هنوز در معادن داده های درستی نداریم و حتی توسعه یک ERP نیز به زحمت اتفاق می افتد.	سطح پایین رقمس سازی و دیجیتالی سازی در بخش معدن		
اکثر فناوران ما حتی یکبار هم وارد معدن نشده اند و راهکارهایی که ارائه می دهند رویایی و غیر قابل دسترس می باشند.	درک پایین فناوران از مشکلات واقعی بخش معدن و ارائه راه کارهای ناکارآمد		
سطح درک مدیران بخش معدن از هوشمند سازی و منافعی که دارد اندک است.	دانش پایین مدیران و کارکنان صنعت نسبت به هوشمند سازی و مزایا و منافع آن		
نیروی انسانی ما دانش لازم را ندارد و اشتراک دانش در این حوزه اتفاق نمی افتد.			
تعداد شرکت های دانش بنیان در بخش معدن کم است و بسیار از آنها مجبور به ترک این حوزه هستند..	کافی نبودن تعداد شرکت های دانش بنیان و نوپا در بخش معدن	ضعف در زیست بوم نوآوری معدن	**چالش های سطح کنام**
اکوسیستم نوآوری می تواند با حضور بزرگترین بازیگران این حوزه به توسعه و هوشمند سازی معادن کمک جدی نماید.	کاستی در وجود زیست بوم نوآوری متمرکز بر بخش معدن		
کنسرسیوم متشکل از بازیگران دولتی و خصوصی در صنعت وجود ندارد و بازیگران			

نمونه کدها ◄	مضامین پایه ◄	مضامین سازمان دهنده ◄	مضامین فراگیر
به صورت پراکنده فعالیت می‌نمایند.			
ورود فناوری به بخش معدن به سادگی رخ نمی دهد و استارت آپ ها در این زمینه چالش دارند.	تفاوت ورود فناوری به بخش معدن نسبت به سایر حوزه ها	دشواری های نوآوری در بخش معدن	
ایجاد ارتباط شرکت های نوپا با شرکت های معدنی سخت و دشوار می باشد.	ضعف در وجود یک نظام مدیریت نوآوری درون زا در بخش معدن		

۴-۳- راهکارهای سیاستی برای مواجهه با چالش های گذار

در بخش گذشته پژوهش چالش های پیش روی گذار اجتماعی- فنی هوشمند سازی بخش معدن در ایران در سه محور اصلی چالش های سطوح فرانما، رژیم اجتماعی- فنی و کنام شناسایی گردیدند. در این بخش جهت هر سطح و به فراخور چالش موجود در آن پیشنهادات سیاستی مناسب جهت رفع و یا کاهش این چالش ها ارائه می گردد.

۴-۳-۱- راهکارهای سیاستی در سطح فرانما

در این سطح تحلیل و با توجه به اظهارات خبرگان چنین بر می آید که عوامل اصلی رایج در سطح فرانما که فشار لازم جهت حرکت رژیم اجتماعی – فنی به سمت هوشمندسازی را فراهم کرده و از این رهگذر پنجره فرصتهای لازم را برای تغییرات فناورانه فراهم می نمایند، در کشور ما وجود اثر گذار ندارند. به عنوان مثال در حالیکه در سطح بین المللی و ادبیات موضوع (کالنوف و کوکوشکین، ۲۰۲۱؛ شمیاپوندا-ناوا و انویلا، ۲۰۲۴) به مسئله بهره وری به عنوان یکی از عوامل اصلی حرکت به سمت معادن هوشمند اشاره شده است، به گفته کارشناس محترم مرکز ایمیدرو حاضر در گروه کانونی، در کشور ما به واسطه گردش بالای مالی معادن اصلی و بزرگ کشور، توجه زیادی به این مقوله نمی شود و سیاست گذاران و مدیران این حوزه هنوز فشاری را جهت حرکت به سمت هوشمند سازی از این منظر احساس نمی کنند. همچنین در بعد ایمنی نیز علی رغم وقوع حوادث دلخراش در بخش معدن در چند سال اخیر و امکان بهره‌برداری از توانایی فناوری های دیجیتال در جلوگیری از این حوادث، اقدام موثری در این راستا صورت نگرفته است. عامل بعدی یعنی توجه به اثرات منفی صنایع معدنی بر روی محیط زیست نیز با توجه به تاکیدات گسترده روی این موضوع (ژیرونکین و ازدینا، ۲۰۲۳؛ کالنوف و

کوکوشکین، ۲۰۲۱) همچنان در کشور ما مورد بی مهری قرار گرفته و بر اساس نظر خبرگان بازیگران این صنعت توجه به امر محافظت از محیط زیست را جدی تلقی نمی نمایند. به هر ترتیب با توجه به چالش های مطرح شده در سطح فرانما می توان سیاست های و برنامه های ذیل را جهت رفع و یا کاهش این موانع پیشنهاد داد.

الف.کمبود الزامات زیست محیطی و انسانی

- *اعطای تسهیلات هدفمند و مسئله محور:* در این سیاست در صورت اقدام صنایع به استفاده از فناوری های دیجیتال و هوشمند سازی با محوریت کاهش آلایندگی زیست محیطی، تسهیلات و کمک های دولتی نظیر وام های توسعه ای با بهره کم، ضمانتنامه های با اعتبار زمانی بیشتر وکارمزد کمتر از عرف، تعرفه های گمرکی کمتر و معافیت های مالیاتی به ایشان تعلق می گیرد. البته اجرای چنین سیاستی نیازمند نظارت موثر و سختگیرانه جهت راستی آزمایی صنعت دارد.

ب. کمبود الزامات اقتصادی و بهره وری

- *اعطای هدفمند یارانه انرژی:* اگرچه در اسناد بالا دستی از جمله قانون برنامه پنجساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران نیز توجه ویژه ای به هوشمند سازی و تحول دیجیتال در صنایع شده است، لیکن همانطور که در نظرات خبرگان اشاره گردید بحث بهره وری همچنان در صنایع ایران و بخصوص بخش معدن مغفول است. برنامه اعطای هدفمند یارانه انرژی در صورت افزایش بهره وری صنایع با توجه به افزایش قیمت های انرژی و ناترازی های اخیر می تواند کمک شایانی به توجه صنایع به مقوله بهره وری نماید. به عنوان مثال سهمیه سوخت خودروهای فعال در معادن را می توان بر اساس افزایش سطح بهره وری در هر معدن و به صورت هوشمند کم یا زیاد نمود.

۴-۳-۲- راهکارهای سیاستی در سطح رژیم اجتماعی – فنی

پژوهشگران این سطح را مهمترین سطح در رویکرد چشم اندازچند سطحی به گذارهای اجتماعی – فنی می دانند و معتقدند گذار و مسیر آن به واسطه تاثیرات متقابل این سطح با سایر سطوح فرانما و کنام تعیین می گردد. مطالعه یافته های حاصل از بیانات خبرگان در جلسه گروه کانونی حاوی نکات ذیل می باشد.

در سطح سیاست گذاری فرآیند هوشمند سازی به صورت متمرکز و اولویت بندی شده نمی باشد و سیاستگذار در این زمینه برنامه های سیاستی خود را به صورت کلی و مبهم ارائه نموده است. این در حالی است که بنا به اظهار نظر رئیس مرکز یادگیری و آموزش نهاد فعال در حوزه معدن "در کشور ما با تعدادی از معادن بزرگ و کوچک و ظرفیت های اقتصادی و فنی متفاوت مواجه هستیم که نیازمند به برنامه ها و سیاست ها خاص خود می باشند". همچنین خبرگان گروه کانونی معتقدند قوانین موجود

از نظر تناسب با نیاز صنعت، جامعیت و فراگیری ذی نفعان دارای جامعیت و کفاین کافی نمی باشند. البته در این زمینه اقدامات خوبی در حال شکل گیری و انجام می باشد.

از طرفی در سطح رژیم و به طور خاص زیر رژیم بازار و کاربر، هنوز محرک های اقتصادی نظیر نیاز به بهبود بهره وری و اثربخشی عملیات معادن به حدی نیست که این صنایع را به سمت هوشمند سازی سوق دهند. خبرگان معتقدند که در معادن اصلی کشور که می توانند جریان هوشمند سازی را توسعه و راهبری نمایند، گردش مالی به حدی بالا است که مقوله بهره وری چندان مورد توجه نمی باشد. یکی دیگر از بحث های جدی در این زیر رژیم ضعف در تفکیک بحث مدیریت از مالکیت معادن است. بر اساس نظر مسئول کمیته آموزش و فرهنگ سازی حوزه تحول دیجیتال " از آنجاییکه بسیاری از مالکان معادن از مزایا و منافع هوشمند سازی و تحول دیجیتال نا آگاه هستند، بنابراین اقدامی نیز در این راستا صورت نمی دهند". این در حالی است که به باور خبرگان چنانچه مالکیت و مدیریت معادن از هم تفکیک و قدرت تصمیم گیری به مدیران واگذار شود، کمک شایانی به هوشمند سازی معادن صورت خواهد گرفت. هچنین با توجه به اینکه مالکیت معادن اصولا بیشتر به دنبال منابع اقتصادی و کسب درآمد بیشتر با حداقل ها می باشند، گرایش در معادن بیشتر به سمت و سوی سرمایه گذاری در پروژه های افزایش ظرفیت تولید می باشد تا هوشمند سازی. البته این مسئله به باور اعضای پنل خود می تواند معلول ضعف آگاهی از منافع مالی و هزینه - فایده پروژه های هوشمند سازی در بخش معدن باشد. خبرگان معتقدند که آگاهی از میزان سرمایه گذاری و منافع آن و تعیین دوره بازگشت سرمایه و در یک کلام تجزیه و تحلیل هزینه – فایده پروژه های هوشمند سازی می تواند کمک شایانی به رفع این مشکل نماید.

در بعد فرهنگی نیز بخش معدن کشور دچار چالش های جدی از جمله کمبود تمایل به تغییر به واسطه ناآگاهی نسبت به مزایای هوشمند سازی و نگاه تجملی به این پروژه ها می باشد. از طرفی با توجه به اینکه پراکندگی معادن در سطح کشور بالا می باشد، هر گونه اقدام فرهنگی بدون توجه به تفاوت های فرهنگی هر منطقه می تواند خود به چالش دیگری تبدیل شود. از دیگر مسائل این حوزه می توان به کمبود تمایل افراد به شفاف سازی به واسطه استفاده از فناوری های دیجیتال اشاره نمود. در نهایت با توجه به بعد مسافت معادن نسبت و حضور این صنایع در مناطق فاقد امکانات کافی و همچنین ماهیت فعالیت در معدن که می تواند از لحاظ ایمنی و سلامتی شغلی چالش برانگیز باشد، بسیاری از نخبگان تمایلی به حضور در این صنعت ندارند. شاهد این مدعا این است که انتخاب رشته های تحصیلی مرتبط با این حوزه در دانشگاه های کشور عموما در اولیت های پایین دانشجویان می باشد.

در عین حال داده های گردآوری شده نشان می دهند که در سطح رژیم اجتماعی – فنی، چالش های فناورانه نقش بسیار زیاد و مهمی بازی می کنند. به باور خبرگان در سطح صنعت بلوغ دیجیتال بسیار پایین می باشد و صنایع معدنی کشور همچنان آمادگی بسیار پایینی برای ورود به عصر صنعت ۴.۰ دارند. همچنین به واسطه پیچیدگی فناوری های دیجیتال و سرعت تغییرات آنها، بسیاری از بازیگران

این صنعت درک صحیحی از فناوری های موجود نداشته و از مسائلی که می توانند به کمک این فناوری های حل نمایند، آگاهی ندارند. در چالشی دیگر، زیرساختهای نامناسب و ناکافی از منظر ظرفیت و دسترسی نیز مورد توجه می باشند. بسیاری از فناوری های دیجیتال از جمله تجزیه و تحلیل کلان داده ها نیازمند زیرساخت های قوی و پراکنده در سطح کشور می باشند. این چالش زمانی حادتر خواهد شد که بدانیم ما همچنان در بحث هوشمند سازی در سطح رقمی سازی[1] و استفاده از فناوری هایی نظیر سیستم های برنامه ریزی منابع سازمانی[2] که مقدمه تحول دیجیتال می باشند، همچنان در سطح پایینی می باشیم. در چالش های فناورانه، آشنایی ناکافی فناوران و افراد نوآور با مشکلات بخش معدن که خود می تواند به واسطه عدم تمایل ایشان به حضور در معادن دورافتاده و ناایمن و یا انجام مشاغل خطرناک باشد، باعث شده است که از ظرفیت فناوری های دیجیتال که می نوانند گره گشا باشند، استفاده صحیح نشود. با توجه به موارد مطرح شده در سطح رژیم اجتماعی – فنی می توان سیاست ها و برنامه های ذیل را جهت رفع و یا کاهش این موانع بسته به نوع چالش پیشنهاد داد.

الف. چالش های سیاستی و قانونی

- *برنامه ایجاد پنجره واحد صدور مجوز و مجوزهای فناورانه برای هوشمند سازی معادن:* در این برنامه مجوزهای اقدامات هوشمند سازی و تحول دیجیتال بر اساس اولویت تعریف شده در سامانه از بودجه های تخصیص یافته بهره مند می شوند. در این برنامه می توان کلیه برنامه ها را به بودجه مرتبط و اولویت بندی شده در برنامه بودجه سالانه مرتبط و سپس بر اساس اولویت بندی و سطح بندی پیش فرض اقدام به تایید و تخصیص اعتبارات به برنامه ها نمود.
- *برنامه اجرای طرح های پایلوت تنظیم گری[3] برای فناوری های نو در معدن:* در این برنامه بسته به نوع فناوری و کاربرد آن، تنظیم گری خاص و همه جانبه توسط نهاد مرکزی و متولی تنظیم گیری و هماهنگی (مرکز تحول دیجیتال صنایع معدنی) صورت می پذیرد.
- *برنامه توسعه مرکز تحول دیجیتال صنایع معدنی:* برنامه ریزی و قانون گذاری متمرکز: در این برنامه یک مرکز تحول دیجیتال صنایع معدنی با حضور کلیه ذی نفعان از جمله بخش صنعت، نهادهای قانون گذار و تنظیم گر، نمایندگان وزارتخانه های مرتبط نظیر وزارت ICT، وزارت نیرو و ... ، نمایندگان نهادهای مردم نهاد، سازمان محیط زیست شکل خواهد گرفت. در این نهاد هر یک از ذی نفعان اشاره شده یک نمایند در هیات مدیره خواهند داشت و مرکز کلیه اقدامات سیاست گذاری و برنامه ریزی اجرا، نظارت و پایش، تنظیم گری، آموزش و توانمندسازی را به طور متمرکز و با در نظر گرفتن نیاز و منافع کلیه ذی نفعان انجام میدهد.

ب. کاستی در حمایت مدیریت ارشد به دلیل نبود ضرورت و فوریت برای تغییر

[1] Digitization
[2] Enterprize Resource Planning (ERP)
[3] Regulatory Sandbox

- *برنامه حمایت مالی از پروژه های پایلوت برای کاهش ریسک هزینه های فناوری های نو در معادن با شرط همکاری صنعت و شرکت های فناور:* این برنامه ضمن شفاف شدن ریسک های هزینه های سرمایه گذاری در طرح های هوشمند سازی، این ریسک ها را کاهش داده و از طرفی شرکت های فناور و دانش بنیان را نیز امیدوار به حضور در بخش معدن می نماید.
- *برنامه خرید دولتی مبتنی بر نوآوری و افزایش بهره وری:* این برنامه سبب می شود دولت محصولات صنایع معدنی را به شرط استفاده از نوآوری های فناورانه و افزایش بهره وری خریداری نماید که بدین ترتیب علاوه بر بازارسازی و افزایش سود آوری برای صنایع هدف، این صنایع را تشویق به استفاده از راه کارهای هوشمند سازی و تحول دیجیتال در معادن به عنوان راه حل مشکلات مرتبط با بهره وری می نماید. البته در این برنامه باید سازوکار پایش و اندازه گیری افزایش بهره وری در بخش معدن به طور مشخص و قابل اندازه گیری تعریف شود و از سویی نهاد نظارتی جهت رصد و کنترل اقدامات تشکیل گردد.
- *برنامه آموزش و توانمند سازی مدیران بخش معدن:* این برنامه با هدف آموزش هوشمند سازی و تحول دیجیتال به مدیران و ارتقای سطح دانش مدیریتی و فنی ایشان در قبال مزایا و چالش های فناوری های دیجیتال و نحوه کمک آنها به رفع مسائل و مشکلات معدن در سطح ملی برگزار می شود. برگزاری نمایشگاه های توانمند سازی، دوره های برون مرزی و بازدید از نمونه های موفق بین المللی می تواند به اثربخشی چنین برنامه هایی کمک نماید.

پ. چالش های فرهنگی - اجتماعی

- *برنامه توسعه فرهنگ دیجیتال در معادن:* از این برنامه جهت ترکیب آموزش های فرهنگی، کوچینگ تغییر، و انگیزه دهی برای پذیرش فناوری در سازمان های معدنی و در سطوح مختلف استفاده می شود.
- *برنامه مشارکت جامعه:* این برنامه می تواند نقش مهمی در جهت ورود جامعه محلی، کارگران، و اتحادیه ها در فرآیند تصمیم گیری هوشمند سازی برای ایجاد حس مالکیت استفاده می شود. بدین ترتیب می توان از این برنامه در راستای کاهش مقاومت در برابر تغییر در سطوح مختلف بهره جست.
- *برنامه آموزش مدیران و کارکنان معادن:* این برنامه با تولید برنامه های آموزش تخصصی همراه با ارائه گواهی نامه برای نیروی کار معادن جهت تغییر ذهنیت و فرهنگ عجین می باشد و می توان نقش بسزایی در پذیرش فناوری و نوآوری های دیجیتال در معادن بازی نماید.
- *برنامه حمایت مالی از نخبگان جهت حضور در بخش معدن:* این برنامه می تواند با ارائه تسهیلات مالی به نخبگان جهت تامین مسکن و امکانات زندگی در شهرهای همجوار معادن و ارائه تسهیلات

به دانشجویانی که به تحصیلات مرتبط با این صنعت مشغول می شوند و حمایت مالی به شرط تعهد خدمت از این عزیزان، می تواند جهت تشویق نخبگان به فعالیت در بخش معدن کمک نماید.

ت. عقب ماندگی فناورانه و ضعف زیرساخت ها

- *برنامه توسعه آزمایشگاه های زنده*[1] *در معادن:* در این برنامه با پایلوت قراردادن معادن اصلی کشور اقدام به تست فناوری های هوشمند در این معادن جهت شناسایی ریسک ها، هزینه ها، اقدامات اصلاحی مورد نیاز، آموزش پرسنل می گردد. بدین ترتیب سایر معادن کشور نیز می توانند ضمن آشنایی با کارکردهای فناوری مورد نظر، بدون صرف هزینه ارزیابی مناسبی از میزان هزینه کرد و سودآوری این فناوری ها داشته باشند.
- *برنامه توسعه پلتفرم های باز و مسابقات نوآوری:* از برنامه جهت تسهیل ورود فناوری به معادن و حل مشکلات صنعت استفاده می شود. برگزاری مسابقات نوآوری می تواند نقش بسزایی در حضور نخبگان و جوانان تحصیلکرده در این صنعت و انگیزش ایشان گردد. همچنین امکان استفاده از راه حل نوآورانه با هزینه های کمتر از نمونه های خارجی را نیز فراهم می نماید.

۴-۳-۳- راهکارهای سیاستی در سطح کنام

در این سطح که اصولا نوآوری ها و فناوری ها جدید توسعه یافته و حفاظت می شوند تا در نهایت با استفاده از فرصتهای ایجاد شده به سطح رژیم اجتماعی – فنی منتقل شوند، به نظر خبرگان یکی از چالش های اساسی در سطح کنام کمبود وجود شرکت های دانش بنیان و نوآفرین در این بخش و قدرت پایین این شرکتها برای ورود به سطح رژیم اجتماعی – فنی حاکم می باشد. البته به گفته کارشناس مرکز ایمیدرو "در حال حاضر سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) طرح توسعه زیست بوم نوآوری صنایع معدنی را در دست مطالعه و اقدام دارد که می تواند فضای مناسب جهت حمایت از شرکت های دانش بنیان و نوآفرین باشد". در عین حال در سطح صنعت نیز نگاه جدی به نوآوری وجود ندارد و شرکت های معدنی عموما فاقد نظام نوآوری موثر جهت توسعه نوآوری می باشند. یک چالش مهم و اثر گذار دیگر در سطح کنام تفاوت نحوه ورود فناوری ها و نوآوری به سطح رژیم اجتماعی – فنی در مقایسه با سایر صنایع می باشد. علل این چالش را می توان در سطح رژیم و چالش های مرتبط با این سطح جستجو نمود. به نظر خبرگان شرکت نوآور و دانش بنیان به واسطه قفل شدگی شدید صنعت در رژیم سنتی فعلی، با موانع بسیار جدی در مسیر نفوذ نوآوری های خود به این سطح مواجه می باشند. لذا با توجه به موارد مطرح شده می توان برنامه های سیاستی پیشنهادی را ذیل هر یک از چالش ها عنوان نمود.

[1] Living Lab

الف. ضعف در زیست بوم نوآوری بخش معدن

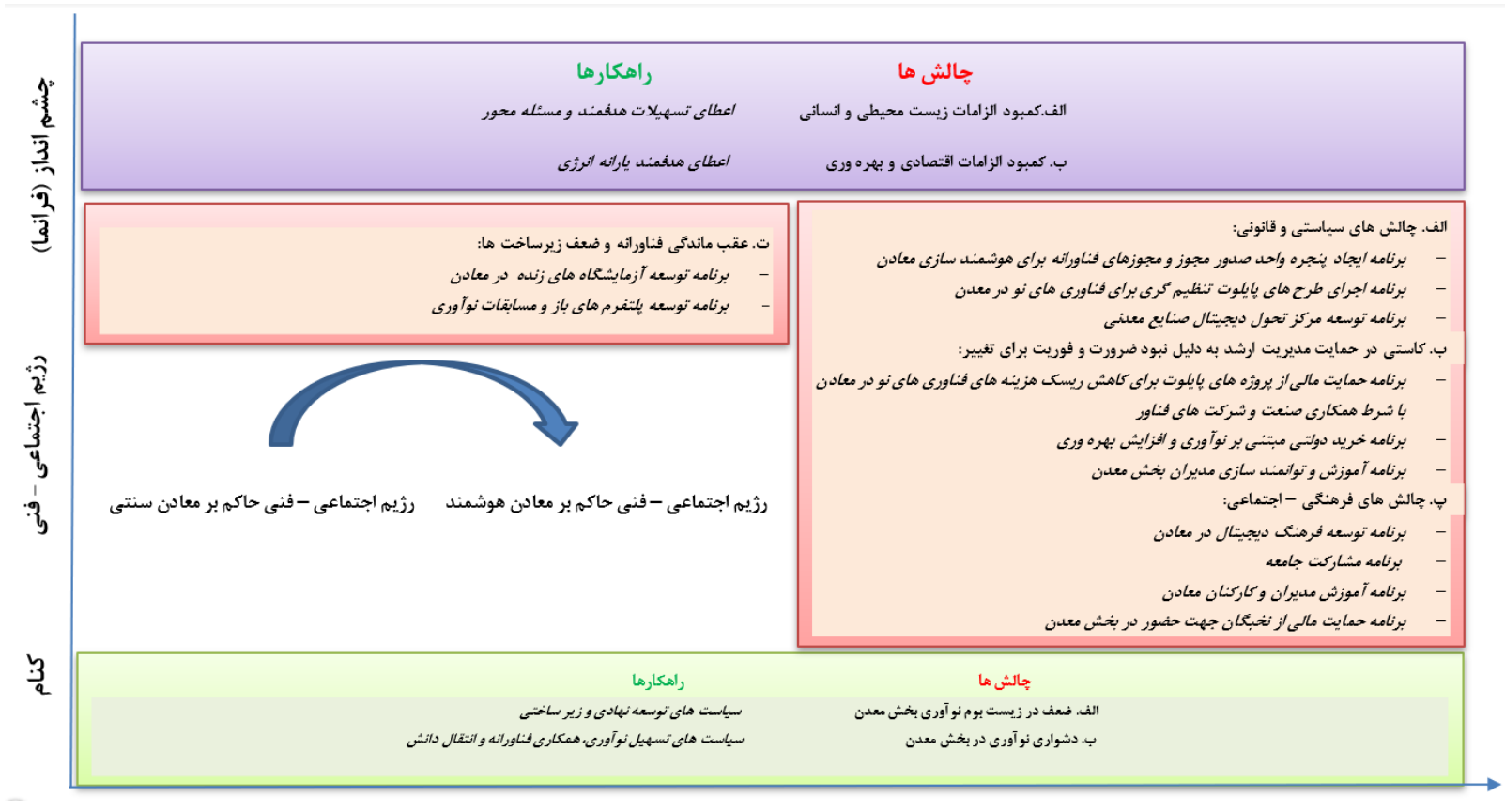
- *سیاست های توسعه نهادی و زیر ساختی:* در این برنامه سیاستی اقداماتی از جمله ۱) ایجاد مراکز نوآوری تخصصی معدنی[1] در نزدیکی نواحی معدنی مهم، ۲) حمایت از ایجاد شتاب دهنده ها و مراکز رشد تخصصی در حوزه معدن با تمرکز بر فناوری های حفاری، فرآوری، ایمنی، پایداری و محیط زیست، ۳) ایجاد سامانه ملی اشتراک گذاری داده ها معدنی (زمین شناسی، حفاری و بهره برداری) برای استفاده شرکت های نوآفرین در مدل سازی و توسعه الگوریتم های هوش مصنوعی ، ۴) ایجاد و توسعه کنسرسیوم های فناورانه بین شرکت های معدنی، دانشگاه ها و شرکت های دانش بنیان.

ب. دشواری نوآوری در بخش معدن

- *سیاست های تسهیل نوآوری، همکاری فناورانه و انتقال دانش: در این بخش برنامه های سیاستی با اقداماتی از قبیل ۱) حمایت از پروژه های مشترک توسعه فناوری و نمونه سازی با تاکید بر انتقال دانش از دانشگاه به صنعت، ۲) ایجاد بسترهای دیجیتال برای اتصال تقاضای فناوری از سوی شرکت های معدنی به عرضه کنندگان دانش بنیان و نوآفرین۲، ۳) برگزاری نمایشگاه ها و رویدادهای تخصصی فناوری معدن برای معرفی دستاوردهای شرکت های نوآفرین و ایجاد شبکه سازی، ۴) ایجاد نشان ملی "نوآوری معدنی" برای محصولات یا خدمات نوآورانه تایید شده، ۵) اعطای امتیازات در مناقصات معدنی به شرکت هایی که از فناوری های بومی دانش بنیان استفاده می نمایند، پیاده سازی و اجرا می شود.*

شکل ۲ چالش ها و راهکارهای گذار به معادن هوشمند در سطح چشم انداز، رژیم و کنام را نمایش می‌دهد.

[1] Mining Innovation Hubs
[2] Matching Platforms



شکل۲: چالش ها و راهکارهای گذار به معادن هوشمند در سطح چشم انداز، رژیم و کنام

۵- بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش تلاش کرده است با بهره گیری از چارچوب نظری دیدگاه چندسطحی به شناسایی چالش ها و موانع پیش روی گذار به معادن هوشمند در ایران بپردازد و متناسب با چالش های شناسایی شده به ارائه راهکارهای سیاستی در سطوح مختلف اقدام نماید. یافته های پژوهش نشان می دهد که عبور از چالش های شناسایی شده در این پژوهش نیازمند توجه همزمان به ابعاد فناوری و اجتماعی است. همانگونه که در ابتدای این مقاله بیان گردید اغلب تحقیقات انجام شده بیشتر روی بعد فناوری تاکید ورزیده اند. ادعای این مقاله این است که بعد اجتماعی می تواند در بسیاری از موارد از بعد فناوری نیز از اهمیت بیشتری داشته باشد و تلاش های صورت گرفته در آن سطح را تحت الشعاع قرار دهد. به عنوان نمونه می توان به مقاومت های صورت گرفته در مقابل هوشمندسازی به دلیل افزایش شفافیت در فرآیندها و فعالیت ها اشاره نمود که باعث برانگیختن مقاومت ها و سنگ اندازی ها از سوی برخی افراد شده است که افزایش شفافیت با منافع آنها در تقابل و تضاد است. به عنوان نمونه دیگر می توان به عدم ارتقای راندمان در اثر کاربرد فناوری های نو، به دلیل بی توجهی به روابط انسانی و تعاملات اجتماعی در زمان طراحی و توسعه فناوری ها اشاره نمود.

بر این اساس، توصیه می‌گردد که برنامه‌های سیاستی ارائه شده، هم‌زمان با به کارگیریِ رویکردهای پذیرش اجتماعی فناوری، به مرحله اجرا درآیند. برای نمونه، در موقعیت‌هایی که هدف، توسعه فرهنگ دیجیتال در معادن، جلب مشارکت جوامع محلی و آموزش نیروی انسانی است، می‌توان از ترکیبی از رویکردهای روان‌شناختی-فردی، اجتماعی-فرهنگی و مشارکتی-تعاملی بهره جست تا این اهداف محقق شوند:

- ترغیب پذیرش فناوری: ایجاد انگیزه در افراد برای به کارگیری فناوری‌ها بر پایه درک مزایا و سودمندی آن‌ها.
- تقویت اعتماد اجتماعی: توسعه سرمایه اجتماعی از طریق شفاف‌سازی و اعتمادسازی نسبت به نهادها، شرکت‌ها و سیاست‌گذاران.
- تحقق عدالت و شمولیت: پیشگیری از تبعیض، نابرابری و به حاشیه‌رانی گروه‌های ذی‌نفع، به منظور برقراری عدالت و فراگیری اجتماعی.
- ترویج نوآوری مسئولانه: تشویق به نوآوری‌های اخلاق‌محور و انسان محور از طریق اعمال شفافیت و سازوکارهای پاسخگویی در چرخه توسعه فناوری (از طراحی تا کاربرد فناوری)

- گسترش گفتمان اجتماعی: ایجاد و تقویت فضاهای گفت‌وگو و تبادل نظر جمعی پیرامون توسعه و کاربرد فناوری‌ها.

بعلاوه، هنگامی که از ابزارهای سیاستی با محوریت ابعاد اقتصادی و بازاری (مانند حمایت‌های مالی، افزایش خریدهای دولتی و تحریک تقاضا) استفاده می‌شود، لازم است معیارهایی همچون پیچیدگی، مزیت نسبی، سازگاری، مشاهده‌پذیری و قابلیت آزمون فناوری‌ها، همراه با منافع اقتصادی و اثر شبکه‌ای آن‌ها، در کانون توجه قرار گیرند. در مقابل، زمانی که هدف، توسعه چارچوب‌های ساختاری، تنظیم‌گری و قانون‌گذاری است و ابزارهای سیاستی متناسب با این عرصه به کار گرفته می‌شوند، باید ملاحظاتی جدی را در نظر گرفت؛ از جمله: تدوین قوانین حمایتی در دیگر صنایع، پیش‌بینی و مدیریت تضادها و تعارض‌های منافع با سایر بخش‌ها، و آمادگی برای مواجهه با مقاومت‌های احتمالی در برابر تغییر.

در نهایت دلالت های سیاستی و مدیریتی یافته های این پژوهش بدین شرح می باشند:

- اول، فشار ناشی از سطح فرانما در کشور ما برای وقوع گذار می تواند توسط نیاز مبرم به حفظ محیط زیست و افزایش سطح ایمنی در معادن تامین شود. نباید فراموش کرد که در کشور با ابرچالش ها و مشکلات عدیده ای به واسطه پایین بودن سطح ایمنی معادن مواجه هستیم و هوشمند سازی معادن می تواند کمک فراوانی به رفع این دغدغه ها نماید.
- دوم، برنامه و سیاست های پیشنهادی در این پژوهش نیازمند به هماهنگی و مدیریت یکپارچه دارند که توسعه یک کمیته مرکزی ذیل بالاترین مقام اجرایی کشور می گردد. زیرا، گذار به معادن هوشمند یک گذار اجتماعی-فنی است که سیاست ها و برنامه های مرتبط با آن باید فراتر از یک بخش یا وزارتخانه دنبال گردد و اصطلاحا فرابخشی[1] است و نیازمند همکاری، هماهنگی و هم افزایی بخش های مختلف و وزارتخانه های مختلف نظیر وزارت صنعت، معدن و تجارت، وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و ... می باشد.
- سوم، کشور ایران یک کشور در حال توسعه با منابع عظیم معدنی می باشد که رژیم اجتماعی – فنی حاکم بر آن دچار پدیده قفل شدگی می باشد. نگاهی به شرایط معادن کشور بخصوص معادن کوچک نشان دهنده سطح بالای مدیریت سنتی در این معادن می باشد. لذا جهت حرکت به سمت هوشمند سازی نیاز به یک اقدام جمعی و مسنجم جهت غلبه بر این شرایط می باشد.
- چهارم، گذار به سمت معادن هوشمند در کشور ما در مراحل آغازین خود می باشد و مسیرهای پیش روی آن همچنان مبهم و نیازمند بررسی است. این مسیرها بر اساس نحوه تعاملات سطوح

[1] Cross-sectoral

فرانما، رژیم اجتماعی – فنی و کنام تغییر می نماید. لذا پایش این تعاملات در راستای هدایت گذار در مسیر صحیح از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

- پنجم، مطالعه و بررسی دقیق تجارب موفق در زمینه تحول دیجیتال و هوشمندسازی معادن در کشورهای توسعه یافته (نظیر استرالیا) و در حال توسعه (نظیر شیلی) می تواند درس آموخته های ارزشمندی برای سیاستگذاران و مدیران صنایع معدنی داشته باشد.

منابع

A Look at the Status of Major Sectors of Iran's Economy: First Report: The Mining Sector. 1401, Tehran: Tehran Chamber of Commerce, Industries, Mines, and Agriculture. [In Persian]

Attride-Stirling. (2001). Thematic networks: An analytic tool for qualitative research. Qualitative research, 385-405.

Barnewold, L., & G. Lottermoser, B. (2020). Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. International Journal of Mining Science and Technology, 30, 747-757.

Baxter, P., & Jack, S. (2008). Qualitative case study methodology: Study design and implementation for Novice Researchers. The Qualitative Report, 13(4), 544-559.

Cameron, R., & Geels, F. (2019). Conditions for politically accelerated transitions: Historical institutionalism, the multi-level perspective, and two historical case studies in transport and agriculture. Technological Forecasting and Social Change, 140, 221-240.

Canitez, F. (2019). Pathways to sustainable urban mobility in developing megacities: A sociotechnical transition perspective. Technological Forecating and Social Change, 141, 319-329.

Challenges and Solutions for Addressing Technological Needs in Mines and Mineral Industries (1): Analysis of the State of Technology Development in Iran's Mines and Mineral Industries, (1401), Office of Energy, Industry, and Mining Studies (Mining and Mineral Industries Group), Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran. [In Persian]

Choi, Y. (2023). Recent Advances in Smart Mining Technology. Appl. Sci, 13.

Comparative Analysis of the Mining Economy in Chile, Canada, and Iran. Vice Presidency for Infrastructure and Production Research, 1395, Office of Energy, Industry, and Mining Studies, Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran. [In Persian]

El Bilali, H. (2019). The Multi-Level Perspective in Research on Sustainability Transitions in Agriculture and Food Systems: A Systematic Review. Agriculture, 9(74).

Farzami, H., Salehi, T., Soleimani, M., Ramezani, M., Keshtkar Bagheri, A. (1401). Challenges and Solutions for Addressing Technological Needs in Mines and Mineral Industries (1): Analysis of the State of Technology Development in Iran's Mines and Mineral Industries. Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran. [In Persian]

Fuenfschiling, L., & Truffer, B. (2014). The structuration of socio-technical regimes—Conceptual foundations from institutional theory. Research Policy, 43, 772-791.

Gabryk, W., & Naidoo, R. (2024). Sociotechnical perspectives of digital technologies in sustainable mining. Australasian Journal of Information Systems, 28.

Geels, F. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. Research Policy, 33, 897-920.

Geels, F. (2005). Process and patterns in transitions and system innovation: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. Technological Forecasting & Social Change, 72, 681-696.

Geels, F. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. Environmental Innovation and Societal Transitions, 1, 24-40.

Geels, F. (2018). Low-carbon transition via system reconfiguration? A socio-technical whole system analysis of passenger mobility in Great Britain (1990–2016). Energy Research and Social Science, 46, 86-102.

Geels, F. (2019). Socio-technical transitions to sustainability: a review of criticisms and elaborations of the Multi-Level. Current Opinion in Environmental Sustainability, 20, 1-15.

Geels, F. W. (2002). Technological Transition as Evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case study. Research Policy, 31(8-9), 1257-1274.

Geels, F. W. (2005). Co-evolution of technology and society: The transition in water supply and personal hygiene in the Netherlands (1850–1930)—a case study in multi-level perspective. Technology in Society, 27, 363-397.

Geels, F. W. (2005). Technological Transitions and System Innovations: A Co-Evolutionary and Socio-Technical Analysis. Cheltenham, UK ; Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing Limited.

Geels, F. W. (2005). The dynamics of transitions in sociotechnical systems: A multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930). Technology Analysis & Strategic Management, 17(4), 445-476.

Ghorbani, Y., Zhang, S. E., Nwaila, G. T., Bourdeau, J. E., Safari, M., Hoseinie, H., . . . Ruuska, J. (2023). Dry laboratories – Mapping the required instrumentation and infrastructure for online monitoring, analysis, and characterization in the mineral industry. Minerals Engineering, 191.

Ghosh, B., & Schot, J. (2019). Towards a novel regime change framework: Studying mobility transitions in public transport regimes in an Indian megacity. Energy Research and Social Science, 51, 82-95.

IMIDRO's Programs in Line with the Digital Transformation and Smartening of Mines and Mineral Industries in Iran, 1402, Tehran: IMIDRO. [In Persian]

Kalenov, O., & Kukushkin, S. (2021). Digital Transformation of Mining Enterprises. SDEMR-2021. E3S Web of Conferences.

Kim, Y., Lee, J., & Ahn, J. (2019). Innovation towards sustainable technologies: A socio-technical perspective on accelerating transition to aviation biofuel. Technological Forecasting and Social Change, 145, 317-329.

King, N., & Horrocks, C. (n.d.). Interviews in qualitative research. SAGE Publication.

Lazarenko, Y., Garafonova, O., Marhasova, V., & Tkalenko, N. (2021). Digital Transformation in the Mining Sector: Exploring Global Technology Trends and Managerial Issues. VIth International Innovative Mining Symposium. E3S Web of Conferences.

Levidow, L., & Upham, P. (2017). Linking the multi-level perspective with social representations theory: Gasifiers as a niche innovation reinforcing the energy-

from-waste (EfW) regime. Technological Forecasting and Social Change, 120, 1-13.

Liu, X., Zhang, X., Wang, L., Qu, F., Shao, A., Zhao, L., . . . He, J. (2024). Research progress and prospects of intelligent technology in underground mining of hard rock mines. Green and Smart Mining Engineering, 12-26.

Miles, M., Huberman, A., & Saldana, J. (2020). Qualitative data analysis: A method sourcebook.

Moezzi Nasab, R., & Salmani, A. (2024). Sustainable Development of Mining by Utilizing Innovative Global Methods to Reduce Mining Hazards. Journal of Environment and Sustainable Mining, 2(1), 22-29.

Moradi, A., & Vagnoni, E. (2018). A multi-level perspective analysis of urban mobility system dynamics: What are the future transition pathways? Technological Forecasting & Social Change, 126, 231-243.

Raven, R., Van Den Bosch, S., & Weterings, R. (2010). Transitions and strategic niche management: towards a competence kit for practitioners. International Journal of Technology Management, 51(1), 57-74.

Rotmans, J., Kemp, R., & Van Asselt, M. (2001). More evolution than revolution: transition management in public policy. Foresight, 3(1), 15-31.

Sheikhzadeh, M., Baniasad, R. (2020). Thematic Analysis: Concepts, Approaches, and Applications. Tehran: Logos Publications. [In Persian]

Shimaponda-Nawa, M., & Nwaila, G. T. (2024). Integrated and intelligent remote operation centres (I2ROCs): Assessing the human–machine requirements for 21st century mining operations. Minerals Engineering.

Sovacool, B., & Hess, D. (2O17). Ordering theories: Typologies and conceptual frameworks for sociotechnical change. Social Studies of Science, 47(5), 703-750.

The Digital Mine :A review of Australia’s mining innovation ecosyste, 2022, Minerals Council of Australia

Van Weilie, M., Cherunya, P., Truffer, B., & Murphy, J. (2018). Analysing transition pathways in developing cities: The case of Nairobi's splintered sanitation regime. Technological Forecasting and Social Change.

Weber, K., & Rohracher, H. (2012). Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective. Research Policy, 41, 1037-1047.

Yin, R.K. (2009). Case study research: Design and methods (Vol. 5). sage.

Zhironkin, S., & Ezdina, N. (2023a). Review of Transition from Mining 4.0 to Mining 5.0 Innovative Technologies. Appl. Sci, 13.

Zhironkina, O., & Zhironkin, S. (2023b). Technological and Intellectual Transition to Mining 4.0: A Review. Energies, 16.