مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی
مسلسل: ۱۸۵۵۶
آذر ۱۴۰۱
دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن

چالش‌ها و راهکارهای رفع نیاز فناورانه در معادن و صنایع معدنی (۱): تجزیه و تحلیل وضعیت توسعه فناوری در معادن و صنایع معدنی در اقتصاد ایران

بسم الله الرحمن الرحیم
بنام خدای بزرگ بخشایش همیشه بخشاینده

تاریخ انتشار:
۱۴۰۱/۹/۱۳

شماره مسلسل: ۱۸۵۵۶
کد موضوعی: ۳۱۰

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

عنوان گزارش:

چالش‌ها و راهکارهای رفع نیاز فناورانه در معادن و صنایع معدنی (۱): تجزیه و تحلیل وضعیت توسعه فناوری در معادن و صنایع معدنی ایران

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

مدیر مطالعه:
محمدحسین پیروی

تهیه و تدوین‌کنندگان:
هومن فرزامی، طیبه صالحی، میلاد سلیمانی،
محمدصادق رمضانی، علیرضا کشتکار باقری

ناظر علمی:
محمدحسن معادی رودسری

اظهارنظرکننده:
مسعود عسکری

صفحه‌آرا:
نفیسه حاجی‌صفری

ویراستار ادبی:
شیوا امین اسکندری

واژه‌های کلیدی:
۱. نیازهای فناورانه
۲. معدن
۳. صنایع معدنی

دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن

فهرست مطالب

۶
خلاصه مدیریتی

۸
۱. مواد معدنی بحرانی آینده و نیاز فناورانه (از نگاه قدرت‌های اقتصادی جهانی)

۱۶
۲. حوزه‌های معدنی و صنایع معدنی کلیدی کشور از منظر اقتصادی و فناوری‌های کلیدی

۲۴
۳. چالش‌های ناشی از تحریم‌های فناورانه در معدن و صنایع معدنی منتخب

۲۶
جمع‌بندی

۲۷
منابع و مآخذ

۲۸
پیوست

چالش‌ها و راهکارهای رفع نیاز فناورانه در معادن و صنایع معدنی

[خلاصه مدیریتی]

در جهـــان کنونی، فنـــاوری بیش از هر زمان دیگـــری به مقوله‌ای راهبردی برای همه ارکان یک کشـــور یا مناطق مشترک‌المنافع تبدیل شده است. رقابت بین کشورهای پیشـــرفته برای پیشتازی در فناوری ازیک‌ســـو و تلاش کشورهای در حال توســـعه برای رفع عقب‌ماندگی، وابستگی و تهدیدات فناورانه ازسوی‌دیگر، اهمیت راهبردی این مقوله را بیش‌ازپیش کرده است. به‌ویژه در صنایع مبتنی‌بر منابع طبیعی راهبردی (مانند معدنکاری و صنایع معدنی) عدم دسترسی به فناوری‌های به‌روز یا پیشـــرفته، ممکن اســـت صرفه اقتصادی فعالیـــت در این صنعت را تحت‌الشعاع قرار دهد، حاشیه سود آن را کمتر کند یا هزینه‌های جانبی را (مانند افزایش مخاطرات ایمنی و زیست‌محیطی) افزایش دهد.

از منظر داخل کشور، امروزه فضای تحریم‌های ظالمانه بین‌المللی «موضوع رفع نیاز فناورانه» را بیش‌ازپیش در کانون توجه حاکمیت کشور تا مدیران صنعت قرار داده است. البته پیش‌تر و در فضای پیشاتحریم، درک اهمیت توســـعه فناوری و رفع نیاز فناورانه، به ســـطح راهبردی کنونی نبوده است و همین موضوع سبب از دست رفتن فرصت‌ها برای تقویت فضای توسعه داخلی و جذب کمترین مشارکت‌های بین‌المللی در موضوع توسعه فناوری شد. به‌ویژه بررسی تجارب جهانی نشان می‌دهد که همکاری بین‌المللی تأثیر بسیاری بر موفقیت و پیشرفت پروژه‌های توســـعه فناوری دارد. لذا اگرچه در فضای تحریم عملاً امکان تعاملات و هم‌افزایی بین‌المللی برای توســـعه فناوری بســـیار سخت شده است، اما این موضوع، ســـبب شده که مســـئله رفع چالش‌های فناورانه و رفع نیازهای کلیدی صنعـــت، مورد توجه قرار گیرد. به بیان دیگر، به‌عنوان یک پیش‌نیاز الزامی است که «اهمیت راهبردی توسعه فناوری» در بین کلیه ذی‌نفعان حوزه معادن و صنایع معدنی کشور درک شود، سپس به طرق مختلف مانند افزایش ظرفیت جذب و اکتساب فناوری یا استفاده از ظرفیت داخلی نیاز فناورانه برطرف شود.

بررسی نیازهای فناورانه و خروجی پنل‌های خبرگی نشان می‌دهد کـــه در حال حاضر، صنعت معدنکاری و صنایع معدنی کشـــور به‌دلیل مســـائل ناشـــی از نیاز فناورانه، بهره‌وری پایینی دارند، هزینه عملیاتی آنها بالاست و راهکارهای کاهش مخاطرات نیروی انسانی و آثار زیان‌بار زیســـت‌محیطی (که برخی به‌سادگی با فناوری‌های نوین قابل اجتناب هستند) در دسترس نیست یا برای بهره‌برداران گران تمام می‌شود. در حوزه فناوری‌های فرایندی نیز، فناوری‌های به‌روز «اکتشاف، استخراج و استحصال» به‌طور قابل قبول، در دسترس نیست و وضعیت در تجهیزات به‌مراتب ناخوشایندتر است. به‌طور مثال، به سبب قدیمی یا بعضاً منسوخ بودن تجهیزات و روش‌های نامناســـب در فرایندها، مسئله آلاینده‌ها و مخاطرات انسانی و زیســـت‌محیطی بیشتر شده و فعالیت اقتصادی در مجموعه‌ای از عناصر معدنی تحت‌الشـــعاع قرار گرفته است. در همین راستا لازم به توجه اســـت که از بین رفتن توجیه اقتصادی فعالیت در یک حوزه معدنی، عملاً فرصت اشتغال‌زایی و خلق ارزش اقتصادی برای کشـــور را کاهش می‌دهد و یک منبع بالقوه مولد را از جریان اقتصادی کشور خارج می‌کند.

با توجه به چشم‌انداز پیش‌روی کشور، به‌نظر می‌رسد مسئله رفع نیاز فناورانه به دغدغه سراسری حاکمیت، توسعه‌دهندگان، بهره‌برداران و سایر ذی‌نفعان تبدیل شده است. البته این توجهات نباید صرفاً معطوف به منابع معدنی راهبردی فعلی کشور شود؛ یعنی منابعی که بیشترین ارزش اقتصادی فعلی کشور را تولید می‌کنند و سازمان‌ها و تشکیلات گسترده‌ای در آن شکل گرفته است (مانند زنجیره ارزش صنعت آهن و فولاد، آلومینیم یا مس). به‌عبارت‌دیگر محتمل است این صنایع، الزاماً صنایع راهبردی آینده نباشند یا آن‌دسته از صنایع راهبردی نباشند که بیشترین نیاز فناورانه را داشته باشند. لذا در تدقیق عناصر معدنی برای رفع نیاز فناورانه، بخشی از نگاه حاکمیت و ذی‌نفعان باید به عناصر راهبردی فعلی باشد و بخش مهم دیگری معطوف به «عناصر راهبردی مورد نیاز برای صنایع پیشرفته و آتی» یا «عناصر آینده» باشد. به‌طور مثال لیتیم، کبالت، نیکل و عناصر نادر خاکی، در حوزه مواد معدنی راهبردی در سطح جهان قرار دارند و برآورد می‌شود ابعاد اقتصادی زنجیره ارزش آنها در آینده چشمگیر و برای اقتصاد و صنعت کشورها «گلوگاه» باشد. لذا از منظر توسعه فناوری، به‌نظر می‌رسد عناصری راهبردی که نیاز به سطوح بالایی از فناوری برای اکتشاف، استخراج یا استحصال دارند و برای تحولات آینده کلیدی هستند، باید در اولویت بالاتری، محور توجه قرار گیرند. به عبارتی در سطح سیاست‌های معدنی کشور برای جلوگیری از بحران تحریم‌های فناورانه آتی، باید برای تهیه فهرست مواد بحرانی و توسعه فناوری‌های مربوطه سیاستگذاری شود.

مطالعه کارشناسی پیش‌رو، مرتبط با فاز اول از پژوهشی سه‌مرحله‌ای است. در فاز اول (گزارش حاضر) شناسایی و تحلیل عناصر راهبردی و فناوری‌های کلیدی مدنظر قرار گرفته است. شناسایی عناصر از دو منظر جهانی (کشورهای پیشرو با چه منطق و چه خروجی، عناصر بحرانی خود را مشخص می‌کنند) و داخلی (در کشور چه منابع معدنی در حال حاضر از منظر اقتصادی حیاتی هستند) انجام شده است. به نوعی این دو منظر، عناصر بحرانی حال و آینده را مشخص می‌کند. در فازهای بعدی، چشم‌انداز مطلوب برای رفع نیاز فناورانه و پیشنهادهای تکمیلی برای مقابله با تحریم‌های فناورانه ارائه خواهد شد.

از منظر «عناصر راهبردی» برآوردهای این گزارش نشان می‌دهد که زنجیره‌های ارزش صنعت آهن و فولاد، مس و آلومینیم از لحاظ تحریم‌های فناورانه، به‌شدت تحت تأثیر خواهند بود. همچنین برای عناصر مورد نیاز در آینده، مواد مورد نیاز برای ذخیره انرژی (حوزه‌هایی مانند لیتیم، کبالت، نیکل و عناصر نادر خاکی) کلیدی خواهند بود و نیازهای فناورانه آنها و تحریم‌پذیری‌شان مسئله کلیدی است. بااین‌حال در موضوع عناصر مورد نیاز برای آینده، نیاز به تحقیقات بومی بیشتری است.

علاوه‌بر موارد فوق، شناسایی «فناوری‌های کلیدی» نیز مدنظر این مطالعه کارشناسی قرار داشته است. به همین منظور جمع‌آوری و تحلیل مجموعه‌ای از «پژوهش‌ها، نشست‌های خبرگی، مستندات نیاز فناورانه» از شرکت‌های اصلی معدن و صنایع معدنی کشور در دستور این پژوهش قرار گرفت. با بررسی تحلیلی این منابع، حوزه‌هایی چون «فناوری‌های مدیریت و کاهش آلاینده‌ها»، «فناوری‌های معدنکاری عمیق»، «فناوری پهپادی»، «فناوری‌های استحصال منابع ثانویه»، «فناوری‌های نوین و تجهیزات هوشمند»، «فناوری‌های تولید محصولات پیشرفته در پایین‌دست»، «محصولات پایه کک نفتی»، «فناوری‌های تبدیلی منابع گازی و غیرگازی به هیدروژن پاک» و «فناوری‌های استحصال عناصر بحرانی و کمیاب برای صنایع پیشرفته پایین‌دست» به‌عنوان فناوری‌های کلیدی و با تأثیرپذیری بالا از تحریم‌های فناورانه، شناسایی شد. بحرانی بودن این فناوری‌ها برای تضمین ثبات جریان تولید، قابلیت رقابت، تضمین آینده صنایع پیشرفته کشور و مدیریت هزینه‌های تولید معادن و صنایع معدنی، مشخص است و باید در دستور کار سیاستگذار، نهادهای حاکمیتی و شرکت‌های بزرگ معدن و صنایع معدنی کشور قرار گیرد.

علاوه بر موارد فوق، ارزیابی‌های تکمیلی این گزارش نشان می‌دهد، تحریم‌های فناورانه مجموعه‌ای از چالش‌ها را برای کشور ایجاد کرده است. ازجمله این چالش‌ها می‌توان به «عدم دسترسی به نسل جدید فناوری‌های تولیدی»، «افزایش بیشتر شکاف با نسل جدید فناوری‌ها و از دست دادن فرصت همپایی»، «چالش در به‌روزرسانی و یادگیری فناورانه در معادن و صنایع معدنی»، «مصرف غیراقتصادی آب، برق و سوخت در معادن و صنایع معدنی»، «چالش‌های محیط زیستی در اثر تحریم‌های فناورانه»، «چالش در تأمین مواد اولیه، قطعات مصرفی و تجهیزات»، «چالش در وضعیت نگهداری و تعمیرات تجهیزات و دستگاه‌ها»، «چالش‌های ناشی از کاهش ایمنی در محیط کار»، «عدم دسترسی به فناوری‌های نوین آینده» و «مقیاس‌گیری و دسترسی به بازار جهانی» اشاره کرد.

شایان ذکر است که پیشنهادهای دقیق و تکمیلی برای رفع چالش‌های فوق‌الذکر و حل مسائل فناوری‌های کلیدی، در فازهای آتی ارائه خواهد شد. اما عطف به مطالعه کارشناسی فعلی، پیشنهاد می‌شود نظام برنامه‌ریزی برای رفع تحریم‌های فناورانه به‌جای «تمرکز بر حل چالش قطعات و مواد اولیه» معطوف به «حوزه فناوری‌های نو و رفع عقب‌ماندگی در شیوه‌های نوین تولید» شود. به‌ویژه چالش‌های فناورانه در تولید پیشرفته و تولید پاک از یک‌سو و چالش در مسیر تأمین مواد خام بحرانی برای صنایع پیشرفته، ازسوی‌دیگر، باید محور فعالیت نهادهای معدن و صنایع معدنی کشور باشد. بدیهی است چالش‌یابی و راهکاریابی در این زمینه با همراهی نهادهای حاکمیتی، شرکت‌های بزرگ معدن و صنایع معدنی، شرکت‌های دانش‌بنیان و مجموعه‌های تخصصی آینده‌نگر و پژوهشی، حاصل خواهد شد. همچنین تدوین نقشه‌راه متناسب برای توسعه هرکدام از فناوری‌های مذکور باید در دستور کار معاونت امور معادن و فرآوری مواد وزارت صنعت، معدن و تجارت و سازمان ایمیدرو قرار گیرد و بایسته است در ادامه قانون جهش تولید دانش‌بنیان، سایر قوانین حمایتی لازم برای پشتیبانی از توسعه فناوری‌های کلیدی مذکور، در دستور تهیه و تصویب مجلس شورای اسلامی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در بازنگری سیاست‌های کلی معدن در مجمع تشخیص مصلحت نظام، موضوع تولید پاک، عناصر بحرانی و فناوری نوین برای توسعه بخش معدنی و صنایع معدنی، منظور شود.

۱. مواد معدنی بحرانی آینده و نیاز فناورانه(از نگاه قدرت‌های اقتصادی جهانی)

کشـــورها و مناطق مختلف در جهـــان طرح‌هایی برای شناســـایی و دسترســـی به مواد معدنی کلیدی و راهبردی دارند و در تلاشـــند تا با افزایش تمرکز و سرمایه بر تأمین و توســـعه زنجیره ارزش این مواد، از مخاطراتی مثل عدم تأمین به‌موقع آنها و کمبود در پایین‌دست زنجیره ارزش، در امان باشـــند. معیارهای مختلفی در شناســـایی این مواد و زنجیره ارزش آنها نقش دارد، لکن به‌طور کلی می‌توان به دو مورد «نقش این مواد در فناوری‌ها و نیازهای آینده» و «ســـطح وابستگی به خارج و به‌ویژه کشورهای متخاصم» اشـــاره کرد. به‌طور مثال اهمیت لیتیم، کبالت و نیکل در تأمین نیازهای باتری‌ها و به‌ویژه خودروهای الکتریکی، در راهبردی شـــدن این عناصر، زنجیره تأمین و نیازهای فناورانه آنها برای کشورهای غربی و چین، مؤثر بوده است. ازسوی‌دیگر، وابستگی اروپای غربی و آمریکای شمالی به تأمین عناصر نادر خاکی از چین، در راهبردی‌شدن این عناصر و نیازهای فناورانه آنها نیز مؤثر بوده است.

مشکل عدم تأمین داخلی از منظر کشوری درحال‌توسعه؛ مانند ایران با مسائلی مانند تحریم نیز ادغام و بدین‌ترتیب عوامل جدید دیگری برای تعیین مواد معدنی کلیدی اضافه می‌شود. به‌عبارتی به‌صرف اینکه یک ماده، محصول یا فناوری حیاتی در سطح کشور یا سطح جهانی اهمیت یابد، تلاش کشـــورهای متخاصم برای محدودیت دسترسی ایران به آن ماده، محصول یا فناوری شـــدت می‌گیرد. حساسیت‌ها نسبت به دسترسی به منابع معدنی جهان چون لیتیم و نیکل یا محصولاتی مانند الکترود گرافیتی یا فناوری‌های نسل جدید تولید یا فناوری‌های نوین (برافکن و نوظهور) برای زنجیره ارزش معادن و صنایع معدنی کشور، ازجمله مثال‌هایی است که کشورهای متخاصم نسبت به این صنعت در کشور روا می‌دارند. درنهایت اگر محصول مورد نظر با فناوری‌های بومی تولید شـــود، با ممنوعیت و تحریم مقاصد صادراتی آنها، ســـعی در مسدودســـازی زنجیره ارزش آن ماده بحرانـــی می‌کنند. به همین سبب در تبیین نیازهای فناورانه معادن و صنایع معدنی کشور، علاوه بر معیارهای جهانی، مجموعـــه‌ای از ملاحظات داخلی نیز باید مدنظر قرار گیرند.

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، در مطالعات جهانی برای تعیین عناصر بحرانی و نیازهای فناورانه آنها، معمولاً اولویت‌ها و نیازهای منطقه‌ای مدنظر قرار می‌گیرد یا بســـته به تحولات آینده‌نگـــر و عمق راهبردی عناصر، کاوش‌های لازم صورت می‌گیرد. در میـــان مطالعات جهانی بررسی شـــده، برنامه‌های اتحادیه اروپا و آمریکا و چالش این مجموعه کشورها با چین، سرآمد اســـت. لذا با هدف شناسایی عناصر راهبردی آینده، در ادامه با بررسی برنامه‌های اتحادیه اروپا و آمریکا، به اثر چین بر مواد خام در جهان پرداخته می‌شود. البته به‌اختصار به نتایج مجموعه دیگری از گزارش‌های کشـــوری، منطقه‌ای و جهانی نیز اشاره خواهد شد.

شایان ذکر است عناصر معرفی‌شده در برنامه هر کشور یا منطقه، برای کنترل اقتصاد جهانی آینده، راهبردی محسوب می‌شوند و بدین‌ترتیب می‌توان اذعان داشـــت که توســـعه فناوری جهت اکتشاف، استخراج و فراوری آن حیاتی اســـت. به‌طـــور خاص باید توجه کـــرد که «عدم دسترســـی به یک ماده بحرانی» منجر به «تحقیقات، سرمایه‌گذاری و توســـعه فناوری برای مواد جایگزین» نیز خواهد شـــد (به‌طور مثال اهمیت عناصر نادر خاکی برای آمریکا و سرمایه‌گذاری و تحقیقات برای جایگزینی آنها). لذا مسئله توسعه فناوری عناصر راهبردی، مسئله‌ای جامع و همه‌جانبه اســـت و الزاماً به‌معنای اکتشاف و استخراج بیشتر نیست. در ادامه عناصر راهبردی آینده از منظر کشورهای پیشرو مطرح شده‌اند. بدیهی است هر کدام از این عناصر با درنظر گرفتن مجموعه‌ای از ملاحظات می‌تواند برای آینده ایران نیز عنصر بحرانی باشد.

۱-۱. عناصر راهبردی و نیازهای فناورانـــه از دیدگاه ایالات متحده آمریکا

در سال ۲۰۱۰ «شورای ملی علم و فناوری ایالات متحده»[1] به تشکیل یک زیرگروه برای زنجیره تأمین مواد معدنی بحرانی و راهبردی اقدام کرد. این زیرگروه به‌منظور یکپارچه‌ســـازی تلاش‌ها برای شناسایی و مدیریت ریسک‌های کنونی و آینده زنجیره تأمین مواد معدنی بحرانی تشکیل شد. در سال ۲۰۱۶ زیرگروه مذکور گزارشی را خطاب به کنگره آمریکا چاپ کرد که در آن از یک روش‌شناسی ۲ مرحله‌ای برای ارزیابی مواد معدنی بحرانی استفاده شده اســـت[۱]. در مرحله نخست، با ابزار غربال‌گری اولیه، مواد معدنی بحرانی بالقوه شناســـایی می‌شود. این مرحله با استفاده از گزارش‌های دوره‌ای در دسترس عموم تهیه می‌شود. مرحله دوم شامل تحلیل عمیق زنجیره تأمین مواد معدنی شناسایی شده در مرحله اول می‌شود.[۲]

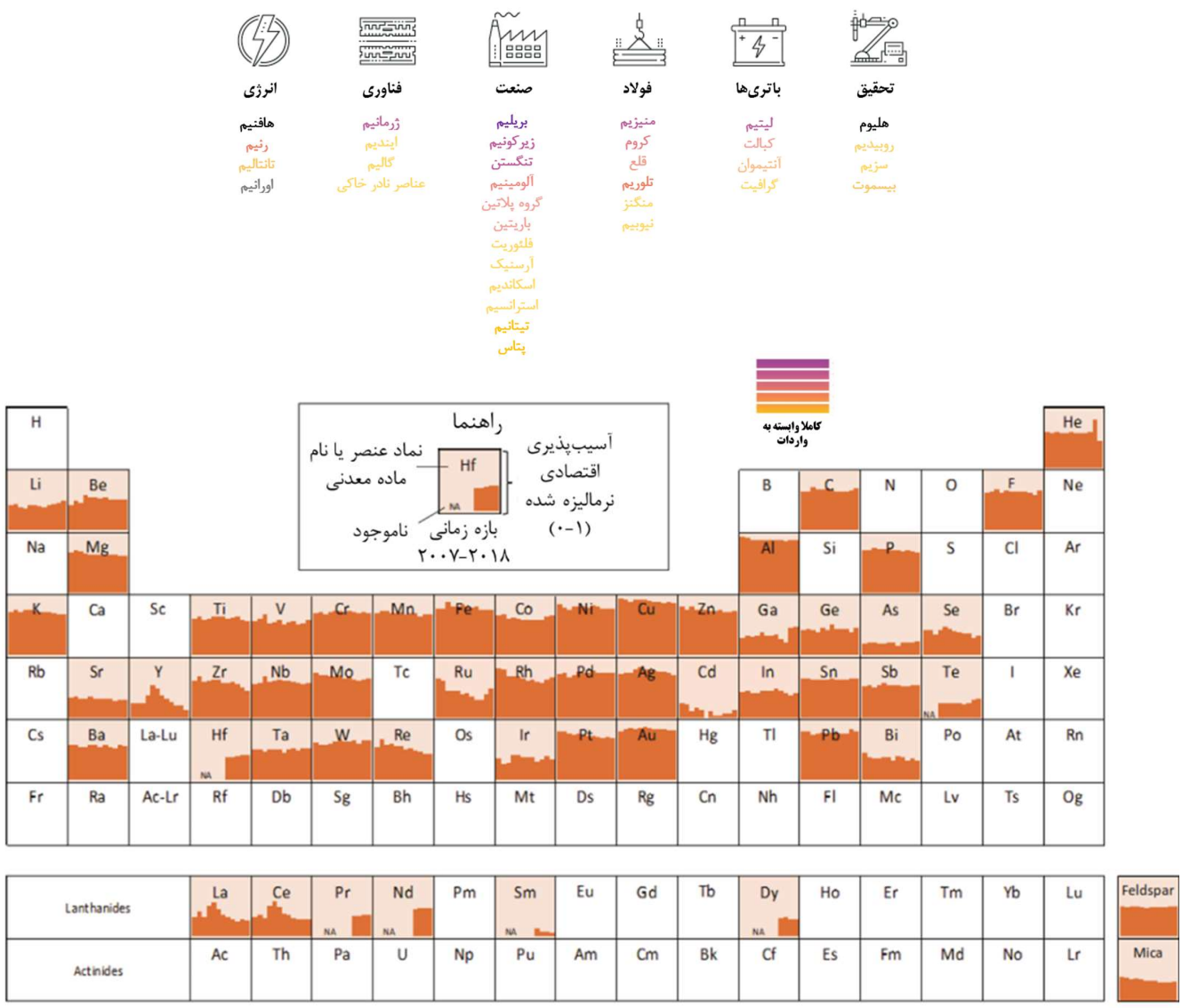
مواد معدنی بحرانی در این گزارش‌ها به موادی اطلاق می‌شـــود که از اهمیت اقتصادی و امنیتی برای کشور آمریکا برخوردار است. این مواد معدنی در بخش‌هـــای صنعتی آمریکا، مانند خودروســـازی (باتری و موتور)، فولادسازی، تحقیق، فناوری و انرژی کاربرد قابل توجه دارند. همچنین از سال ۱۹۴۵ تا سال ۲۰۱۷، وابستگی ایالات متحده آمریکا در واردات مواد معدنی بیشتر شـــده است تا جایی که وابستگی خالص وارداتی از ۲۱ ماده در نیمه قرن بیستم، به ۶۴ ماده در سال‌های اخیر

1. U.S. National Science and Technology Council (NSTC).

رسیده است. با توجه به این چالش‌ها، در گزارش اخیر این کشور برای مواد بحرانی، بـــه وضعیت بازیافت، مواد جایگزین بـــرای مواد معدنی بحرانی، گزینه‌های دسترسی به مواد معدنی و ارائه راهکار جهت بهبود اکتشاف و تولید این مواد پرداخته شده که همگی نشان از ابعاد راهبردی مواد مذکور دارند[۳].

همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، برای ایالات متحده آمریکا، منابع معدنی بحرانی وجود دارند که در حوزه‌هایی مانند باتری‌سازی، فولاد، فنـــاوری و انرژی کاربرد دارد. همچنین در همین شـــکل دیده می‌شـــود، اقتصاد آمریکا به اندازه فلزات کلیـــدی و پرکاربردی مانند آهن، مس، طلا و آلومینیم از مواد معدنی بحرانی مانند کبالت، نیکل و پلاتین، آسیب می‌بیند. این موضوع نشان می‌دهد هر کشور پیشرفته برای ادامه رشد خود در حوزه‌های نوین و فناورانه، به‌شدت نیازمند این مواد معدنی است. به‌ویژه تأکید بر نیازهای صنعت فولاد آمریکا، برای ایران نیز دلالت‌های مهمی دارد. علاوه بر ایـــن، عناصری مانند لیتیم و منیزیم در عناصر راهبردی ایالات متحده قرار گرفته‌اند که از لحاظ منابع شـــورآبه‌ای در ایران، در یک زنجیره استخراج و استحصال قرار می‌گیرند. در این شکل می‌توان به عناصر متعدد دیگری اشاره کرد که از باطله‌ها یا منابع ثانویه قابل استحصال هستند و بعضاً فرایند مورد نیاز آنها، به دانش فنی ســـطح بالایی نیاز دارد و می‌تواند در زمره نیازهای کلیدی فناورانه کشور قرار گیرد.

شکل ۱. مواد معدنی بحرانی بخش‌های مختلف در آمریکا (بالا) آسیب‌پذیری اقتصاد آمریکا از مواد معدنی (پایین)



Source: "Assessment of Critical Minerals Screening Methodology & Initial Applications", National Science and Technology Council, (2016).

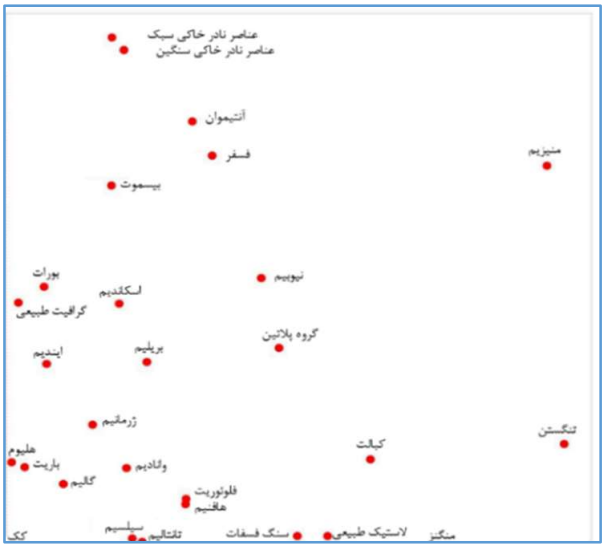
۱-۲. عناصر راهبردی و نیازهای فناورانه از دیدگاه طرح مواد خام[1] اتحادیه اروپا

مشابه با ایالات متحده آمریکا، اتحادیه اروپا نیز به ارزیابی و بررسی عناصر راهبری خود پرداخته است. در سال ۲۰۰۸ اتحادیه اروپا برنامه‌ای را پی‌ریزی کرد که طبق آن راهبردهایی برای دسترسی به مواد اولیه خام طراحی شده است. ستون‌های اصلی این طرح بر سه پایه بنا شده است: «تأمین عادلانه و پایدار مواد خام از بازارهای جهانی»، «تأمین پایدار مواد خام از داخل اتحادیه اروپا» و «بهبود بازده منابع و تأمین مواد خام ثانویه از طریق بازیافت». براساس این معیارها، اتحادیه اروپا از سال ۲۰۱۱ طی دوره‌های سه ساله، فهرستی از «مواد خام معدنی بحرانی»[2] را منتشر می‌کند (شکل ۲).

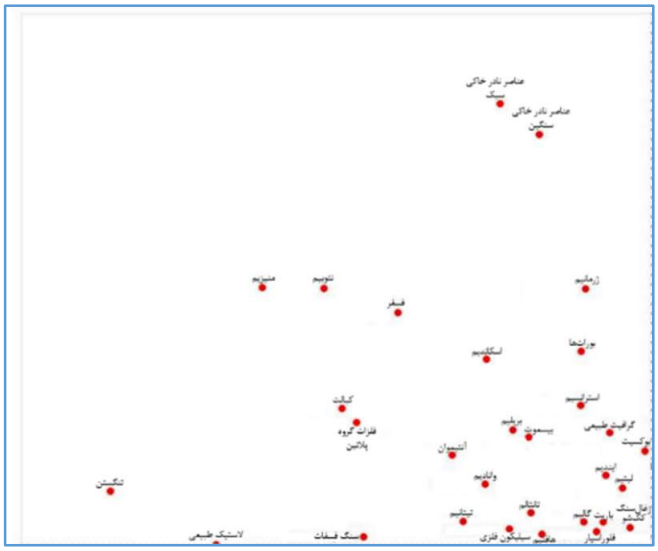
در معیارهای این اتحادیه، صرفاً مسئله وابستگی و تأمین پایدار منابع، در بحرانی شدن عناصر مهم نیست، بلکه موضوع‌هایی مانند بهبود راندمان و استفاده از بازیافت و منابع ثانویه در بحرانی‌شدن عناصر مهم است. به‌ویژه باید توجه داشت که فرایند استحصال مواد از باطله‌ها و مواد بازیافتی یا به‌طورکلی منابع ثانویه، عموماً به توانمندی‌های فناورانه و دانش فنی سطح بالا گره خورده است. علاوه‌براین، بهبود بهره‌وری و افزایش راندمان، اغلب در گرو نفوذدهی فناوری‌های نوین و کاربست سطح بیشتری از نوآوری‌های چابک است. این‌همه، بر اهمیت توسعه فناوری و نوآوری برای دستیابی به این عناصر راهبردی و معیارها تأکید دارد.

مبنای اصلی تهیه این فهرست‌های دوره‌ای در اتحادیه اروپا، ظرفیت کمبود تأمین طی ۱۰ سال آینده و اثر اقتصادی آن ماده است. ریسک تأمین بیشتر به این نکته برمی‌گردد که یا تمرکز تولید و منابع در یک کشور قرار گرفته است و یا این نکته که کشورهای تأمین‌کننده منبع مورد نظر ثبات مشخص اقتصادی و سیاسی ندارند. اهمیت اقتصادی نیز براساس اهمیت کاربرد نهایی آن ماده در اتحادیه اروپا، کیفیت عملکرد ماده جایگزین در دسترس و وابستگی به واردات تعیین می‌شود. به‌عنوان نمونه در سال ۲۰۱۷ با ارزیابی ۶۱ ماده خام (۵۸ ماده و ۳ گروه مواد) و تعیین آستانه برای دو عامل اهمیت اقتصادی و ریسک تأمین، ۲۶ ماده به‌عنوان مواد خام معدنی بحرانی اتحادیه اروپا مشخص شد.[4]

شکل ۲. مواد بحرانی اتحادیه اروپا با دو فاکتور اهمیت اقتصادی و ریسک تأمین، در سال ۲۰۱۷ (راست) و ۲۰۲۰ (چپ) (دو تصویر، تنها ربع چهارم عناصر بحرانی اتحادیه اروپا نشان می‌دهند؛ بدین معنا که عناصر با بالاترین ریسک تأمین (محور عمودی نمودار) و بالاترین اهمیت اقتصادی (محور افقی نمودار) نمایش داده شده‌اند.



۲۰۱۷



۲۰۲۰

Source: “Critical Raw Materials”, European Commission, (2017, 2020).

1.The Raw Materials Initiative

۲. Critical Mineral Raw Materials؛ تعبیر «مواد معدنی بحرانی» یا بعضاً «مواد معدنی استراتژیک یا راهبردی» نیز در فارسی برای این حوزه استفاده شده است. به‌نظر نگارندگان، بسته به توافق متخصصان بر کلیت موضوع، هم حیاتی و هم بحرانی برگردان مناسبی برای Critical در این عبارت خواهد بود.

همان‌طور که در شـــکل ۲ ملاحظه می‌شود، عناصری مانند منیزیم، تنگســـتن، آنتیموان، نئوبیم، گروه پلاتین، کبالت و عناصر نادر خاکی در سطوح بالایی از ریســـک تأمین و اهمیت اقتصادی سال ۲۰۱۷ قرار دارند. حوزه‌هایی مانند کروم، سنگ آهن و آلومینیم و تاحدودی مس، برای اتحادیه اروپا اهمیت اقتصادی بالایی دارند، اما ریسک تأمین آنها کمتر است. از منظر کشور ایران نیز منابع سنگ آهن و مس ارزش اقتصادی بالایی برای کشور و پایین‌دست زنجیره ارزش دارند. به این دو، می‌توان صنعت آلومینیم کشور را نیز افزود که مشابه اتحادیه اروپا، ارزش اقتصادی بالایی برای ایران دارد (در ادامه این موضوع بررسی شده است). در این میان، حوزه‌هایی مانند لیتیم و کبالت هر دو به دلایل متعدد ازجمله ژئوپولتیک و چالش گلوگاهی در چین، دارای ریسک تأمین بالایی برای اتحادیه اروپا هستند و کبالت به نسبت لیتیم، از ارزش اقتصادی بالاتری برای این اتحادیه برخوردار است. در سال ۲۰۲۰، لیتیم و تیتانیم به فهرست عناصر بحرانی این اتحادیه وارد شده‌اند. همچنین موادی مانند آنتیموان، ژرمانیم، منیزیم، گرافیت طبیعی، بریلیم، عناصر نادر خاکی سنگین و ســـبک، نیوبیم، کبالت، ایندیم، گروه پلاتین، فلوراسپار، تنگستن و گالیم، از ابتدای تهیه گزارش توسط اتحادیه اروپا تا آخرین نسخه آن، همواره بحرانی بوده‌اند [۵].

۱-۳. تعیین عناصر راهبردی و نیازهای فناورانه از دیدگاه ســـطح وابستگی به چین

شرایط مواد معدنی بحرانی در کشور چین متفاوت است. درواقع می‌توان گفت یکی از اصلی‌ترین دلایل اتحادیه اروپا و آمریکا برای تهیه فهرست مواد معدنی بحرانی، تسلط کشور چین بر بسیاری از این منابع است. وابستگی وارداتی به چین یا کشورهایی که ثبات اقتصادی یا سیاسی ندارند،[۱] موجب شده تا کشورهای توسعه‌یافته به فکر راهبرد برای آینده فلزات مذکور باشند. برای نمونه وزارت دفاع آمریکا از دولت، درخواستِ تخصیص بودجه بیشتر به‌منظور تولید داخلی عناصر نادر خاکی را داشـــته تا از وابستگی این کشور به چین کاسته شود [۶]. علاوه بر موارد فوق، در کشورهای مختلف، حتی کشورهایی که در قالب قوانین تجارت آزاد فعالیت می‌کنند، یکی از مسائل اساسی که نقش مهمی در بحث توسعه فناوری دارد، منشأ تأمین مواد است. در جدول ۱ مواد معدنی بحرانی اتحادیه اروپا (که کشور چین تولیدکننده ۴۰ درصد از حجـــم آن در کل دنیا یا واردکننده به اروپا با رقم بیش از ۴۰ درصد کل واردات اســـت) مشاهده می‌شود.[۲] این مواد درصد بالایی از کل مواد بحرانی اتحادیه اروپا را شامل می‌شود. برای نمونه ۹۵ درصد تولید عناصر نادر خاکی دنیا در اختیار چین بوده و ۴۰ درصد واردات به اتحادیه اروپا نیز این کشور انجام می‌دهد. وابستگی شـــدید به واردات یک کشور به‌منظور تأمین مواد معدنی، چالش‌های اقتصادی و امنیتی را برای کشورها در پی خواهد داشت و از همین جهت داشتن راهبرد بلندمدت در مورد این مواد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا یکی از منظرهایی مورد توجه در این گزارش، واکاوی آمار واردات و صادرات در زنجیره تأمین عناصری است که ارزش بالای اقتصادی برای کشور دارند. درمجموع می‌توان گفت که برنامه‌های مواد بحرانی برای قدرت‌های اقتصادی جهان برای حفظ برتری و سلطه اقتصادی و سیاسی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مضاعف کردن تلاش‌ها برای اجرای طرح‌ها و برنامه‌ها حول توسعه فناوری برای دستیابی به این مواد و کاهش وابستگی به قدرت‌های ناهمسو ازجمله دلایل اصلی توسعه این برنامه‌هاست. آمریکا با مبنا قرار دادن بخش‌های اصلی اقتصاد پیشرفته خود و سطح وابستگی به واردات از کشورهای متخاصم، اقدام به تعیین مواد معدنی کلیدی کرده است تا اقتصاد و پیشـــرفت آینده این کشور با کاهش یا توقف رشد مواجه نشود. برنامه اتحادیه اروپا نیز با شاخص قرار دادن فاکتورهای «اهمیت اقتصادی» و «ریسک تأمین» از سال ۲۰۱۱ در دوره‌های سه ساله اقدام به انتشار مواد معدنی کلید خود می‌کند. همچنین مسئله توسعه پایدار و استفاده از مواد ثانویه، یکی از معیارهای این اتحادیه برای تعیین مواد بحرانی است. یکی از عوامل کلیدی که در این مواد مشاهده می‌شود، وابستگی کنونی اتحادیه اروپا به چین اســـت و کشورهای اتحادیه با سرمایه‌گذاری خارجی در کشورهای غنی از منابع مانند اســـترالیا و کانادا، دیپلماسی برای تأمین مواد بحرانی و توسعه فناوری در تلاش هستند تا این وابستگی در آینده به حداقل برسد.

ماده خام	تولیدکنندگان اصلی	واردکنندگان اصلی به اتحادیه اروپا	ماده خام	تولیدکنندگان اصلی	واردکنندگان اصلی به اتحادیه اروپا
آنتیموان	چین (۴۴%) ویتنام (۱۱%)	چین (۹۰%) ویتنام (۴%)	باریت[۳]	چین (۴۴%) هند (۱۸%) مراکش (۱۰%)	چین (۵۳%) مراکش (۳۷%) ترکیه (۱۰%)
زغال‌سنگ ککشو	چین (۵۴%) استرالیا (۱۵%) آمریکا (۷%)	آمریکا (۳۹%) استرالیا (۳۶%) روسیه (۹%)	یسموت	چین (۸۲%) مکزیک (۱۱%) ژاپن (۷%)	چین (۸۲%)
گالیم[۴]	چین (۸۵%) آلمان (۷%) قزاقستان (۵%)	چین (۵۳%) آمریکا (۱۱%) اکراین (۹%)	فلوئوریت	چین (۶۴%) مکزیک (۱۶%) مغولستان (۵%)	مکزیک (۳۸%) چین (۱۷%)

۱.مانند کنگو و روآندا که تولیدکنندگان اصلی کبالت و تانتالیم هستند یا مثلث لیتیم در آمریکای جنوبی که مشکل ثبات سیاسی و اقتصادی دارند.
۲.فهرست کامل مواد معدنی حیاتی اتحادیه اروپا در پیوست قابل مشاهده است.
۳.ماده معدنی دارای سولفات باریم.
۴.گالیم محصول جانبی تولید آلومینیم و روی است. بهترین داده‌های در دسترس و ارائه شده در جدول، ظرفیت تولید را نشان می‌دهد نه تولید واقعی.

جدول ۱. مواد معدنی کلیدی اتحادیه اروپا، تولیدکنندگان اصلی آنها و واردکنندگان اصلی به اتحادیه اروپا، میانگین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴[۴]

ماده خام	تولیدکنندگان اصلی	واردکنندگان اصلی به اتحادیه اروپا	ماده خام	تولیدکنندگان اصلی	واردکنندگان اصلی به اتحادیه اروپا
ایندیم	چین (۵۷%) کره جنوبی (۱۵%) ژاپن (۱۰%)	چین (۴۱%) قزاقستان (۱۹%) کره جنوبی (۱۱%)	ژرمانیم	چین (۶۷%) فنلاند (۱۱%) کانادا (۹%)	چین (۶۰%) روسیه (۱۷%) آمریکا (۱۶%)
گرافیت	چین (۶۹%) هند (۱۲%) برزیل (۸%)	چین (۶۳%) برزیل (۱۳%) نروژ (۷%)	منیزیم	چین (۸۷%) آمریکا (۵%)	چین (۹۴%)
فسفر	چین (۵۸%) ویتنام (۱۹%) قزاقستان (۱۳%)	قزاقستان (۷۷%) چین (۱۴%) ویتنام (۸%)	سنگ فسفات	چین (۴۴%) مراکش (۱۳%) آمریکا (۱۳%)	مراکش (۳۱%) روسیه (۱۸%) سوریه (۱۲%)
سیلیسیم	چین (۶۱%) برزیل (۹%) نروژ (۷%)	نروژ (۳۵%) برزیل (۱۸%) چین (۱۸%)	اسکاندیم	چین (۶۶%) روسیه (۲۶%) اکراین (۷%)	روسیه (۶۷%) قزاقستان (۳۳%)
تنگستن	چین (۸۴%) روسیه (۴%)	روسیه (۸۴%) بولیوی (۵%)	وانادیم	چین (۵۳%) آفریقای جنوبی (۲۵%) روسیه (۲۰%)	روسیه (۷۱%) چین (۱۳%) آفریقای جنوبی (۱۳%)
عناصر نادر خاکی سبک	چین (۹۵%)	چین (۴۰%) آمریکا (۳۴%) روسیه (۲۵%)	عناصر نادر خاکی سنگین	چین (۹۵%)	چین (۴۰%) آمریکا (۳۴%) روسیه (۲۵%)

Source: "The 2017 List of Critical Raw Materials for the EU", European Commission, (2017).

۱-۴. تعیین عناصر راهبردی و نیازهای فناورانه از دیدگاه گزارش‌های جهانی دیگر

علاوه برگزارش‌های اشاره شده در بخش ۳-۱، مجموعه‌ای از سازمان‌های بین‌المللی و نهادهای دولتی در کشورهای مختلف، به بررسی عناصر بحرانی پرداخته‌اند که به‌طور خلاصه به برخی از نتایج آنها در ادامه اشاره می‌شود.

ازجمله گزارش‌های جهانی با موضوع مواد بحرانی می‌توان به گزارش سازمان همکاری و توسعه اقتصادی،[۱] در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد که در آن مواد معدنی بحرانی تا افق ۲۰۳۰ مورد بررسی قرار گرفته است.[۲] همانند گزارش اتحادیه اروپا، در این گزارش، مخاطرات تأمین ماده معدنی و ابعاد اقتصادی آن، معیارهای مهمی برای بحرانی بودن مواد معدنی بوده است و به‌طور خاص، مخاطرات حوزه سیاسی، اهمیت بسزایی داشته است. در این فهرست آنتیموان، باریت، بریلیم، کروم، کبالت، فلورسپار، گالیم، ژرمانیم، ایندیم، منیزیت، منیزیم، گرافیت طبیعی، نئوبیم، پلاتین، سنگ فسفات، عناصر نادر خاکی سنگین و سبک، سیلیکون فلزی، تنگستن و وانادیم، مواد معدنی بحرانی برای کشورهای این منطقه هستند[۸]. مؤسسه چتم هاوس[۳] نیز در سال ۲۰۱۲ گزارشی با موضوع آینده منابع،[۴] منتشر کرد که در آن پیش‌بینی شده است با توجه به تقاضای جهانی به‌ویژه در هند و چین، همچنین کاهش عیار منابع معدنی، فلزات سرب و روی، طلا، پلاتین، نیکل و مس، تحت تأثیر قرار خواهند گرفت[۹].

همسو با مطالعات فوق، گزارش‌های دیگری در آمریکا، کانادا[۵] و سطح جهانی در بازه سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ تهیه شده است که هرکدام به عناصر بحرانی برای این کشورها و یا جهان، اشاره شده است. در بخش پیشین به یکی از گزارش‌های مرتبط با آمریکا اشاره شد، لیکن در گزارش دیگری با عنوان فهرست مواد معدنی آمریکا،[۶] که سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده[۷] در سال ۲۰۱۸ تهیه کرده است، همانند دیگر گزارش‌ها دو معیار ریسک تأمین مواد معدنی و اهمیت اقتصادی آنها مدنظر قرار گرفته و نتیجتاً مواد معدنی آلومینیم، آنتیموان، آرسنیک، باریت، بریلیم، بیسموت، سزیم و روبیدیم، کروم، کبالت، فلورسپار، گالیم، ژرمانیم،

1. OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development
2. Critical Minerals Today and in 2030: an Analysis of OECD Countries
3. Chathamhouse
4. Resources Futures

۵. شایان ذکر است در چین نیز، گزارشی با عنوان «علم منابع معدنی در چین: نقشه راهی برای ۲۰۵۰» در سال ۲۰۱۰ توسط آکادمی علوم چین تهیه شده است که در آن علاوه بر اکتشاف عمیق (تا عمق ۴۰۰۰ هزار متر) و اهداف جاه‌طلبانه برای توسعه پایدار، به بهره‌برداری جامع (۸۰ درصدی) از منابع معدنی تا سال ۲۰۵۰ در چین تأکید شده است. (۱۶)

6. Draft Critical Mineral List
7. United States Geological Survey

گرافیت طبیعی، هلیـــم، ایندیم، لیتیم، منیزیم، منگنز، نئوبیم، گروه فلزات پلاتین، پتاس، عناصر نادر خاکی، رنیم، اسکاندیم، استرانسیم، تانتالم، تلوریم، قلع، تیتانیم، تنگســـتن، اورانیوم، وانادیم، زیرکونیم و هافنیم در فهرســـت مواد بحرانی قرار گرفته‌اند. البته در این گزارش مشخص شده اســـت که درگیری‌های تجاری بین کشورها و حرکت به‌سوی ملی کردن منابع معدنی، در بحرانی شدن عناصر کاملاً مؤثر است [۱۰].

در کانادا نیز در سال ۲۰۲۱، فهرست منابع معدنی بحرانی کانادا،[1] توســـط دپارتمان منابع طبیعی کانادا،[2] منتشـــر شـــد. این فهرست تحت تأثیر اقتصاد دیجیتال و برای رشـــد اقتصـــاد مدرن و پاک در این کشور، تهیه شـــده است. عناصر بحرانی این کشور مواردی چون آلومینیم، آنتیموان، بیســـموت، سزیم، کروم، کبالت، مس، فلورسپار، گالیـــوم، ژرمانیوم، گرافیت، هلیوم، ایندیـــم، لیتیوم، منیزیم، منگنز، مولیبدن، نیکل، نئوبیم، فلزات گروه پلاتین، پتاس، عناصر نادر خاکی، اسکاندیوم، تانتالوم، تلوریم، قلع، تیتانیوم، تنگستن، اورانیوم، وانادیوم و روی را دربرمی‌گیرد [۱۱].

مطالعات جهانی و فراکشوری نیز برای بررسی عناصر بحرانی انجام شده است. به‌عنوان نمونه پژوهشگران با بررسی بیش از ۳۰ مطالعه و روند جهانی در زمینه منابع معدنی بحرانی، در سال ۲۰۱۸ مشخص کردند که عناصر نادر خاکی، گروه فلزات پلاتین، تنگستن، ژرمانیوم، کبالت، نئوبیم، تیتانیوم، گالیوم و آنتیموان، بیش از بقیه عناصر بحرانی بوده‌اند [۱۲]. عناصر بحرانی، به‌غیراز منظرهای کشـــوری، منطقه‌ای و جهانـــی، از لحاظ مواد بحرانی مورد نیاز برای «توســـعه پایدار» (اعم از حمل‌ونقل و انرژی پاک یا کاهش ردپای کربن) نیز مورد بررســـی قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه در گزارشی از یک انجمن تحقیقاتی بین‌المللی،[3] برای شناسایی مواد پیشرفته در حوزه انرژی و حمل‌ونقل پایدار و پاک[4] در سال ۲۰۱۹، برآورد شده است که بیش از ۶۰ درصد از هزینه‌های باتری‌های لیتیوم-یون و سلول‌های خورشیدی، وابسته به مواد اولیه هســـتند و حدود ۵۰ درصد از انرژی بادی نیز وابسته به مواد اولیه اســـت[5]. عطف به این پژوهش مواردی چون لیتیم، کبالت، نیکل، عناصر نادر خاکی، برای توسعه این فناوری‌ها، کلیدی خواهند بود [۱۳].

در گزارشـــی دیگر از بانک بین‌المللی نوسازی و توسعه[6] (وابسته به بانک جهانی) به نقش مواد معدنی، به‌ویژه فلزات در کاهش ردپای کربن[7] اشاره شده است. آلومینیم، مس، سرب، فولاد، مولیبدن، کروم، لیتیم، نقره، ایندیوم، منگنز، روی، نئودیوم، کبالت، منگنز و نیکل مورد تأکید این گزارش بوده است. همچنین پیش‌بینی شده است که برای تقاضای آتی انرژی‌هـــای تجدیدپذیر بحران در بخش عرضه به‌وجود خواهد آمد و کشورهایی مانند چین، هند، اندونزی، فیلیپین و مالزی در آســـیا، به‌دلیل این نابرابری عرضه و تقاضا، کسب منفعت خواهند کرد [۱۴].

۱-۵. عناصر راهبردی آینده و مطالعات داخلی

تلاش‌های متعددی برای شناســـایی و تدقیـــق عناصر بحرانی آینده در کشور انجام شده است. دســـتیابی به فناوری‌های مورد نیاز برای اســـتحصال این عناصر ازیک‌سو و بحرانی بودن آنها برای فناوری‌های آینده ازســـوی‌دیگر، اهمیت این عناصر را دوچندان کرده و آنها را به هدف مناســـبی برای تحریم‌های فناورانه فعلی و آتی تبدیل خواهد کرد. ازجمله این مطالعات می‌توان به «طرح شناسایی عناصر و مواد معدنی مورد نیاز فناوری‌های آینده و روش‌های استحصال آنها» [۱۵]، «آینده‌پژوهی توسعه خودروهای برقی و آثار آن بر صنایع معدنی» [۱۶] و «مصوبه مصادیق صنایع پیشرفته با فناوری بالا و صنایع خطرپذیر- به‌ویژه ســـرفصل ۱۱ محصولات پیشـــرفته در حوزه معدن»[8] اشاره کرد. به‌تازگی نیز گزارشی در سال ۱۴۰۰ بخش خصوصی با موضوع «گزارش پشتیبان مواد خام بحرانی و نادر ایران؛ مبنا»[9] منتشر کرده است که تعداد بسیاری از گزارش‌های جهانی با موضوع مواد بحرانی را بررسی و تحلیل کرده است. از لحاظ پیشنهاد عناصر بحرانی داخلی، در مطالعه نخســـت، برخی عناصری به‌عنوان مـــواد مورد نیاز آینده معرفی شده بود که مستندات به نیاز صنایع پایین‌دست داخلی نبوده است (شکل ۳).

1. Canadian Critical Minerals List
2. Critical Minerals Today and in 2030: an Analysis of OECD Countries
3. The Energy Materials Industrial Research Initiative
4. Advanced Materials for Clean and Sustainable Energy and Mobility
6. International Bank for Reconstruction and Development
7. The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future

۵. باقی هزینه‌ها شامل انرژی، نیروی کار، حمل‌ونقل، نگهداری و تعمیرات و تجهیزات می‌شود.

۸. مصوبه هیئت وزیران در جلسه ۲۵ آذر ۱۳۹۷.

۹. نوآفرینان اکسیر (۱۴۰۱)، دسترسی به گزارش مذکور در وبگاه https://innoxir.com.

شکل ۳. عناصر و مواد معدنی مورد نیاز فناوری‌های آینده

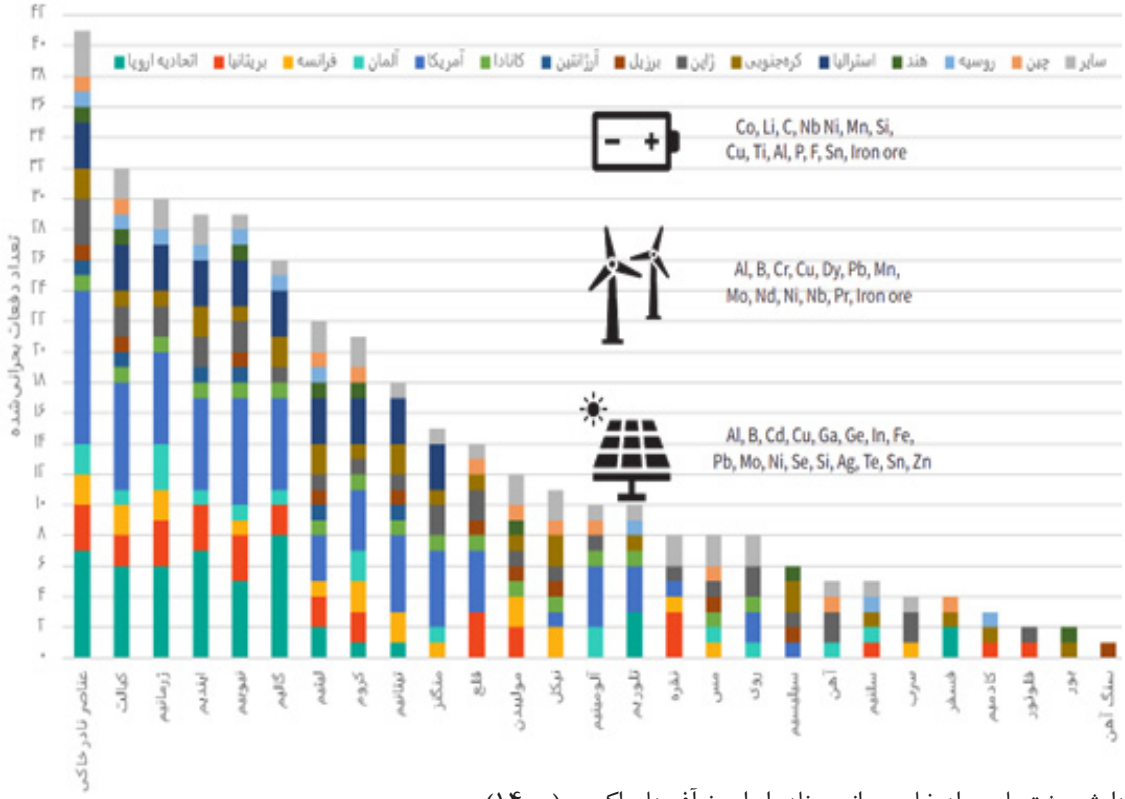
طلا	وانادیوم	کبالت	نیکل	کادمیوم
	ژرمانیوم	آنتیموان	گالیوم	تیتانیوم
نقره	لیتیم	تنگستن	مولبیدن	برلیوم
	پالادیوم	ایندیوم	عناصر نادر خاکی	

مأخذ: طرح شناسایی عناصر و مواد معدنی مورد نیاز در فناوری‌های آینده و بررسی روش‌های استحصال آنها در کشور، ایمیدرو (۱۳۹۶).

طبق بررسی انجام شده در مطالعه دوم در مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، لیتیم، کبالت، نیکل، آلومینیم و فولادهای مستحکم، برای توسعه خودروهای برقی کلیدی است. در این میان، به‌طور خاص رشد بازارهایی مانند خودروهای برقی، لوازم شخصی الکترونیکی قابل حمل و در کل حوزه ذخیره انرژی، گسترش استفاده از لیتیم و کبالت را در پی داشته است و پیش‌بینی‌ها نیز نشان از رشد بیشتر این بازارها در آینده نزدیک تا دور دارد. همچنین عناصر نادر خاکی برای بخشی از موتور این خودروها و به‌طورکلی برای محصولات پیشرفته، بسیار کلیدی هستند.

مطالعه آخر در حوزه عناصر بحرانی، به نسبت تعداد گزارش‌های بین‌المللی بیشتری را در حوزه مواد بحرانی از لحاظ روش‌شناسی و فهرست‌های نهایی بررسی کرده است. خروجی‌های این گزارش می‌تواند یک ورودی «اولیه» برای مواد خام بحرانی ایران باشد و در گزارش مذکور فهرستی برای مواد بحرانی ایران ارائه نشده است. در این گزارش، مشخص شده است که پیشران‌های عرضه و تقاضای مواد خام بحرانی چه هستند و چرا این مواد از لحاظ راهبردی و توسعه فناوری اهمیت دارند. به‌طور خاص به تفاوت روش‌شناسی کشورهای فقیر از لحاظ منابع و غنی از منبع نیز پرداخته شده است. درواقع برای تعیین و انتشار فهرست مواد خام بحرانی ایران به بررسی نیاز آتی صنایع پیشرفته پایین‌دست و برنامه صادراتی کشور لازم است و به همین دلیل در گزارش مواد خام بحرانی و نادر ایران، فهرستی ارائه نشده است. البته در گزارش مذکور نیز برنامه سه‌ساله پژوهشی به تفکیک صنایع حوزه انرژی، خودروهای برقی و سایر صنایع پیشرفته پایین‌دست ایران (و مقاصد صادراتی) اعلام شده است. طبق این برنامه، ایران در سال ۱۴۰۳، مانند اتحادیه اروپا، آمریکا، ژاپن، استرالیا، کانادا و سایر کشورهای پیشرفته گزارش مواد بحرانی خواهد داشت.

شکل ۴. مواد خام بحرانی برای باتری‌های لیتیم - یون، انرژی بادی و خورشیدی در ۴۲ گزارش جهانی



مأخذ: گزارش پشتیبان مواد خام بحرانی و نادر ایران، نوآفرینان اکسیر (۱۴۰۰).

به‌طورکلی برای تعیین عناصر بحرانی آینده برای کشـــور، می‌توان از چند رهیافت اســـتفاده کرد. به‌عنوان نمونه می‌توان صرفاً به مطالعات جهانی رجوع کرد و نتایج این مطالعات را تجمیع کرد و نقاط اشـــتراک این مطالعات را به‌عنوان نمونه‌ای برای کشور برگزید. این رویکرد با اینکه مزایا و سرعت چشمگیری دارد، خالی از اشکال نیست، زیرا عناصر بحرانی هر منطقه یا جغرافیای سیاسی، برمبنای الزامات و راهبردهای آن جغرافیا تعیین می‌شـــود و الزاماً نمی‌تـــوان آن را به همه نقاط جهان تعمیم داد. به‌خصوص ارزیابی «وضعیت تخاصم و همکاری‌های راهبردی» بین ایران و اتحادیه اروپا و آمریکا متفاوت است و درحالی‌که ایران در حال پی‌ریزی همکاری‌های راهبردی بیشتر با شرق است، آمریکا و اتحادیه اروپا، براساس کاهش سطح وابستگی مواد به چین و روسیه، اولویت‌های خود را مجدداً بازنگری و برنامه‌ریزی می‌کنند. بااین‌حال، با کاوش در مطالعات جهانی، تاحدودی می‌توان «عناصر راهبردی نامزد» برای آینده کشور را استخراج کرد، زیرا جهت‌گیری اغلب مطالعات جهانی نخست به‌سمت حوزه‌های راهبردی آینده‌دار (به‌طور مثال ذخیره انرژی) است. در مرحله دوم، این گزارش‌ها به بررسی الزامات تهیه منابع اولیه و توسعه فناوری‌های مورد نیاز آن توجه می‌کنند. بنابراین، با دقت در گزارش‌های جهانی، می‌توان عناصر آینده‌دار را احصا کرد، اما در بحث منبع‌یابی و توسعه فناوری، مسئله تخاصم‌های بین‌المللی و الزامات هر کشور، اهمیت دارد.

ارزیابی‌های این پژوهش نشان می‌دهد مطالعات متعدد چندانی معطوف به آینده در زمینه عناصر راهبردی معدنی کشور، انجام نشده است. به‌طور خاص مستندات کارشناسی شده محدودی مبتنی بر اهمیت لیتیم، کبالت، نیکل و عناصر نادر خاکی که در دسترس پژوهشگران این مطالعه قرار داشته مورد تحلیل قرار گرفته است. بدیهی است انتخاب عناصر بیشتر نیاز به مستندات کارشناسی بیشتری دارد. بررسی این مستندات به‌وضوح نشان می‌دهد که نسبت به سرعت تحولات جهانی در حوزه عناصر مذکور، اقدامات داخلی کافی نبوده و نیاز به شتاب بیشتری دارد. همچنین گزارش‌های یادشده خاطرنشان می‌کنند که این عناصر برای آینده کشور راهبردی خواهند بود. به‌عنوان نمونه از لحاظ اکتشاف و استحصال و توسعه فناوری در حوزه‌های لیتیم، کبالت و نیکل[1] (که هر سه در گزارش‌های جهانی و داخلی مورد اشاره قرار گرفته‌اند) تحولات محدودی در زمینه لیتیم[2] رخ داده و اقداماتی در سطح سازمان ایمیدرو برای پژوهش در حوزه عناصر نادر خاکی مدنظر قرار گرفته است.

۱. به‌عنوان نمونه نگاه کنید به پژوهش سلیمانی و همکاران با موضوع «آینده‌پژوهی توسعه خودروهای برقی و آثار آن بر صنایع معدنی»، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۸).
۲. به‌عنوان نمونه‌ای دیگر نگاه کنید به پژوهش نعمتی، مسعود و همکاران، با موضوع «بررسی پتانسیل‌های کشور جهت اکتشاف، استحصال و بازیافت فلز لیتیم به‌عنوان مهم‌ترین ذخیره‌ساز انرژی در دنیا»، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۷).
آدرس اینترنتی https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1084010

۲. حوزه‌های معدنی و صنایع معدنی کلیدی کشور از منظر اقتصادی و فناوری‌های کلیدی

همان‌طور که در ابتدای این گزارش و در مطالعات جهانی مشاهده شد، برای ارزیابی عناصر کلیدی، بحث «تأثیرات اقتصادی» موضوع مهمی است. از منظر داخلی نیز، بدیهی است که تحریم‌های فناورانه در سطحی بالاتر، اقتصاد کشور را هدف گرفته‌اند و تمرکز بر تحریم «آن‌دسته از معادن و صنایع معدنی که بیشترین ابعاد اقتصادی را در حال و آینده کشور دارند» مورد توجه کشورهای متخاصم قرار دارد. لذا کشورهای تحریم‌کننده، علاوه بر اینکه برخی مواد اولیه و محصولات نهایی را در زنجیره ارزش مواد معدنی پرارزش ایران مورد هدف قرار داده‌اند، ایران را از دستیابی به فناوری‌های به‌روز تولیدی و همکاری‌های بین‌المللی با شرکت‌های فناور نیز محروم ساخته‌اند تا در فرایند تولید و بهره‌وری اقتصادی آن مانع ایجاد کنند.

به‌منظور اولویت‌گذاری برای رفع تحریم‌های فناورانه، لازم است بر چند زنجیره ارزش معدنی شاخص در کشور تمرکز شود. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد زنجیره ارزش‌های تقریباً کامل (از معدن تا صنایع معدنی و صنایع پایین‌دست)، در زیر فشار تحریمی بیشتری قرار داشته‌اند زیرا تبعات اقتصادی آنها برای کشور نیز بزرگ‌تر است.

به‌طورکلی هدف از تحریم‌های فناورانه در زنجیره ارزش‌های یادشده، ایجاد مانع در دسترسی به مواد اولیه و مصرفی، تجهیزات، نرم‌افزارها و فناوری‌های تولید است یا جلوگیری از توسعه زنجیره ارزش به پایین‌دست برای تولید مواد با ارزش افزوده بالاتر. به بیان دیگر، تحریم‌کنندگان تلاش داشته‌اند که ازیک‌سو صنایع معدنی ایران را از دسترسی به مواد، تجهیزات و فناوری‌های تولید (با مانع‌تراشی برای دستیابی به فناوری‌ها و تجهیزات اکتشاف و استخراج آن در بخش معدن) محروم سازند، ازسوی‌دیگر از توسعه منابع معدنی ایران به‌سمت تولید مواد با ارزش افزوده بالاتر در پایین‌دست جلوگیری کنند.

در این بخش، نخست با توجه به شاخص‌های مختلف اقتصادی، زنجیره ارزش‌های اصلی معدن و صنایع معدنی کشور بررسی شده‌اند. سپس در بخش دوم با مجموعه مطالعات تکمیلی و جمع‌آوری مستندات، نشست‌های خبرگی و بررسی نیازهای فناورانه شرکت‌های بزرگ معدن و صنایع معدنی، مجموعه‌ای از «فناوری‌های کلیدی» شناسایی شده که تحریم‌های فناورانه به‌طورخاص متوجه آنهاست.

۲-۱. ارزیابی حوزه‌های معدنی از منظر شاخص‌های اقتصادی

بخش معدن و صنایع معدنی برای اقتصاد کشور از اهمیت بی‌بدیلی برخوردار است و طی سال‌های مختلف بین ۱۵ تا ۲۰ درصد تولید ناخالص داخلی کشور را ایجاد کرده است. همچنین سهم این صنعت در ایجاد اشتغال و ثبات ارزی کشور در دوران تحریم‌ها انکارناپذیر است اما شناسایی آثار تحریم‌های فناورانه و برنامه‌ریزی برای مواجهه و عبور از این تحریم‌ها در معادن و صنایع معدنی ایران، به تمرکز نیاز دارد. به عبارتی نمی‌توان از ظرفیت‌های محدود کشور، انتظار داشت که در همه حوزه‌های معدنی و صنایع معدنی برای رفع تحریم‌های فناورانه اقدامات کاملی به‌عمل آورد و به نوعی از اولویت‌بندی، انتخاب و البته الگوسازی نیاز است.

توجه به عناصری که زنجیره ارزش کاملی در کشور دارند، از این جهت که برای تحریم‌کنندگان به‌منظور ضربه‌های اقتصادی به کشور فرصت‌های بیشتری را فراهم می‌آورد باید به‌عنوان یک معیار انتخاب مدنظر قرار گیرد. همچنین با توجه به اینکه زنجیره‌های ارزش کامل عناصر معدنی در کشور، به‌شدت وابسته به وجود منابع در بالادست (معادن) و ابعاد اقتصادی آنهاست، به‌عنوان یک معیار کلیدی، می‌توان با بررسی وضعیت اقتصادی عناصر معدنی ایران، حوزه تحریم‌های فناورانه را دقیق‌تر انتخاب، تحلیل و برنامه‌ریزی کرد. به‌عنوان نمونه‌ای از اطلاعات اقتصادی در بالادست همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، وضعیت معادن کشور از منظر مقدار تولید، ارزش تولیدات، ارزش‌افزوده و ارزش سرمایه‌گذاری در دسترس است.

این جدول براساس ارزش افزوده هر حوزه معدنی مرتب شده است. درصورتی‌که برای هدف‌گیری دقیق‌تر از حوزه‌های تجمیعی[1] صرف‌نظر شود، مواردی چون «سنگ آهن» و «مس» ارزش افزوده بالایی در کشور ایجاد کرده‌اند و در سه شاخص بعدی (مقدار تولید، ارزش تولیدات و ارزش سرمایه‌گذاری) نیز رتبه نخست را به خود اختصاص داده‌اند. این دو حوزه معدنی، زنجیره ارزش مهم و گسترده‌ای در کشور دارند. البته در رتبه‌های بعدی سرب و روی، زغال‌سنگ، طلا، کرومیت و بوکسیت نیز هرکدام در شاخص‌هایی حائز اهمیت هستند و به‌تناسب می‌توانند در برنامه‌ریزی و تدقیق حوزه اقدام برای رفع تحریم‌های فناورانه مدنظر قرار گیرند.

۱. شامل مجموع غیرآهنی‌ها، مجموع سنگ، شن و ماسه و...، مجموع مواد معدنی شیمیایی و مجموع سایر مواد معدنی که در پیوست دوم این گزارش ذکر شده‌اند.

جدول ۲. آمار اقتصادی معادن کشور در انتهای سال ۱۳۹۹ به غیر از موارد تجمیعی (بخش اول)[۱۷]

رتبه[۱]	معدن	ارزش‌افزوده (میلیون ریال)	مقدار تولید (تن)	ارزش کل تولیدات (میلیون ریال)	ارزش سرمایه‌گذاری (میلیون ریال)
۱	سنگ آهن	۶۸۳,۳۵۳,۷۵۰	۹۴,۶۰۹,۵۳۱	۸۵۳,۹۴۴,۶۲۶	۲۷,۰۹۷,۴۷۹
۳	مس	۳۹۵,۴۳۵,۷۷۴	۴,۸۰۴,۲۶۱	۴۲۵,۸۳۱,۳۴۶	۳,۸۱۵,۶۶۱
۵	سرب و روی	۴۲,۸۳۲,۴۵۵	۲,۳۱۷,۱۶۳	۴۸.۹۴۶.۰۴۳	۲,۳۶۸,۲۴۰
۶	زغال‌سنگ خشک	۲۶,۰۶۲,۶۸۱	۴,۵۴۱,۹۵۲	۳۱,۲۶۰,۸۵۴	۴,۳۴۱,۰۷۴
۷	طلا	۹,۷۰۳,۶۳۸	۶,۵۶۸,۵۷۹	۱۲,۰۲۳,۵۶۴	۱,۴۶۴,۱۷۵
۹	کرومیت	۲,۱۲۵,۶۸۹	۲۵۱,۲۹۲	۲,۷۲۳,۱۳۱	۱۲۹,۴۲۰
۱۱	بوکسیت	۱,۹۷۵,۲۲۷	۱,۱۱۵,۰۰۸	۲,۱۵۸,۳۵۸	۶۰,۵۹۴
۱۲	نمک	۷۷۰,۲۳۴	۳,۶۷۷,۵۰۱	۹۷۷,۷۲۷	۲۹۰,۹۰۳
۱۳	منگنز	۱,۵۰۱,۴۳۰	۲۵۴,۲۳۷	۱,۷۸۵,۷۸۴	۱۰۶,۴۱۰
۱۴	نیکل، آنتیموان و تیتانیم	۴۱,۶۵۸	۶,۶۱۵	۹۶,۴۱۵	۱۳,۶۱۴

مأخذ: آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور، مرکز آمار ایران - ۱۳۹۹، مرکز آمار ایران، (۱۴۰۰).

تحریم‌های بخش معدن و صنایع معدنی ایران (به‌ویژه تحریم‌های فناورانه) می‌تواند ابعاد دیگری را نیز تحت تأثیر قرار دهد. لذا در برنامه‌ریزی برای رفع تحریم‌های فناورانه این بخش، می‌توان حوزه تمرکز را با توجه به مواردی چون اشتغال‌زایی، میزان ذخیره قطعی، ارزش صادراتی یا میزان مصرف سرانه آن در حوزه آب و انرژی نیز مورد بررسی قرار داد تا اهمیت راهبردی عناصر معدنی کشور مشخص شود. همان‌طور که در جدول ذیل ملاحظه می‌شود (مرتب شده براساس مقدار ذخیره قطعی) حوزه‌هایی چون سنگ آهن و مس، از منظر مقدار ذخیره قطعی بیشترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند و درعین‌حال از منظرهای تعداد شاغل، ارزش کل صادرات و ارزش سوخت و آب مصرف شده، رتبه اول و دوم را (در میان موارد غیرتجمیعی) به خود اختصاص داده‌اند. این موضوع از اهمیت بیش‌ازپیش این دو حوزه معدنی، از منظرهای اقدام کشورهای متخاصم برای تحریم هدفمند بخش معدن و صنایع معدنی ایران و برنامه‌ریزی داخلی برای مدیریت بهینه چالش‌های اقتصادی ناشی از تحریم‌های فناورانه، نشان دارد.

جدول ۳. آمار اقتصاد معادن کشور در انتهای سال ۱۳۹۹ به غیر از موارد تجمیعی (بخش دوم)[۱۷]

رتبه[۲]	معدن	مقدار ذخیره قطعی، پایان سال (تن)	تعداد شاغلان (نفر)	ارزش کل صادرات[۳] (هزار دلار)	ارزش سوخت، آب و... مصرف شده (میلیون ریال)
۲	سنگ آهن	۲,۶۰۴,۷۵۴,۵۰۲	۲۹,۷۸۳	۳۱,۵۳۳	۲,۰۴۷,۳۱۶
۴	مس	۲,۴۰۷,۱۸۰,۱۰۳	۱۷,۱۳۷	۶۶,۱۹۴	۷۱۹,۱۸۹
۷	سرب و روی	۲۳۳,۹۴۵,۸۷۷	۴,۲۶۱	۵۰,۵۲۳	۱۵۱,۸۸۲
۸	زغال‌سنگ خشک	۱۵۵,۵۶۲,۴۳۹	۱۱,۹۷۸	۰	۱۴۰,۹۸۲
۹	نمک	۷۴,۷۹۴,۸۰۰	۶۷۴	۰	۲۳,۴۳۶
۱۰	طلا	۱۲۹,۵۶۴,۹۰۴	۱,۹۲۶	۰	۸۴,۷۳۷

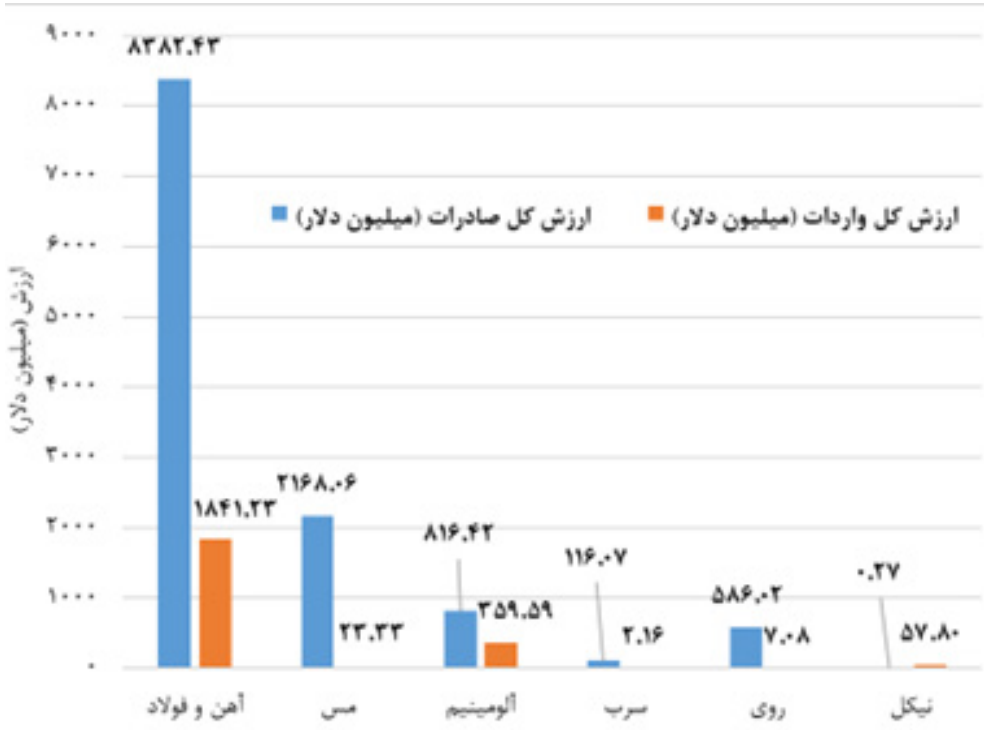
۱. سایر رتبه‌های حذف شده (رتبه عناصر تجمیعی) در جدول پیوست دوم قابل مشاهده است.
۲. رتبه عناصر تجمیعی در جدول پیوست دوم قابل مشاهده است.
۳. صادرات مستقیم معادن.

رتبه	معدن	مقدار ذخیره قطعی، پایان سال (تن)	تعداد شاغلان (نفر)	ارزش کل صادرات (هزار دلار)	ارزش سوخت، آب و... مصرف شده (میلیون ریال)
۱۱	بوکسیت	۳۵,۹۹۹,۸۲۲	۷۳۴	۰	۴۶,۲۴۵
۱۲	کرومیت	۷,۲۲۴,۱۶۱	۱,۹۴۷	۲۱۳	۵۷,۱۵۲
۱۳	منگنز	۱۱,۱۵۰,۵۳۴	۶۴۶	۰	۱۹,۱۹۹
۱۴	نیکل، آنتیموان و تیتانیم	۸۰۲,۴۶۵	۸۱	۰	۱,۹۸۷

مأخذ: «آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور، مرکز آمار ایران - ۱۳۹۹»، مرکز آمار ایران، (۱۴۰۰).

همان‌طور که در بخش گزارش‌های بین‌المللی مشاهده شد، وابستگی به واردات (به‌خصوص از چین)، از نگاه کشورهای اروپایی و آمریکا، معیار تعیین‌کننده‌ای برای شناسایی و برنامه‌ریزی برای عناصر راهبردی است. از منظر داخلی نیز، وابستگی به واردات در بخش معدن و صنایع معدنی کشور (چه مواد اولیه، فناوری یا محصولات نهایی) نشان از آسیب‌پذیری کشور در مقابل تحریم‌ها دارد. از منظر صادراتی نیز، درصورتی‌که زنجیره ارزش یک صنعت به قدر کافی در پایین‌دست توسعه‌یافته نباشد و فناوری به‌روز نداشته باشد، احتمال صادرات مواد خام بیشتر است و به عبارتی، کشور از مزایای اقتصادی ناشی از تولید مواد با ارزش‌افزوده بیشتر محروم می‌شود و در مقابل، این محصولات نهایی با قیمت بیشتر وارد کشور خواهد شد. به بیان دیگر و در دیدگاهی کلی، هر چه واردات به‌سمت محصولات پایین‌دست صنعت باشد وضعیت توسعه‌یافتگی فناوری در آن زنجیره ارزش نامناسب است و صادرات محصولات خام و بالادستی صنعت می‌تواند نشانه‌ای از خام‌فروشی و ناتوانی فناورانه در توسعه محصول اقتصادی و با ارزش افزوده باشد. با توجه به موارد ذکر شده، همان‌طور که در جدول ۴ و نمودار مشاهده می‌شود، شش زنجیره فلزی در کشور از لحاظ ارزش کل صادرات و واردات با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این میان، ارزش صادرات و واردات زنجیره آهن فولاد با اختلاف زیادی از سایر فلزات بیشتر است. در رتبه‌های بعدی زنجیره ارزش صنعت آلومینیم و در بحث صادرات، مس و روی بخش عظیمی از تجارت خارجی کشور را تشکیل می‌دهد.

نمودار آمار صادرات و واردات حوزه‌های معدنی مختلف در انتهای سال ۱۴۰۰



مأخذ: آمار گمرک جمهوری اسلامی ایران.

جدول ۴. وضعیت صادرات و واردات حوزه‌های معدنی مختلف در سال ۱۴۰۰ (میلیون دلار آمریکا)

فلز	آهن و فولاد	مس	آلومینیم	سرب	روی	نیکل
ارزش کل صادرات	۲۸۲/۴۷	۲۱۶۸/۰۶	۸۱۶/۴۲	۱۱۶/۰۷	۵۸۶/۰۲	۰/۲۷
ارزش کل واردات	۱۴۸۸/۲۲	۲۳/۲۳	۳۵۹/۵۹	۲/۱۶	۷/۰۸	۵۷/۸۰

مأخذ: آمار گمرک جمهوری اسلامی ایران.

از لحاظ تراکنش‌های واردات و صادراتی، صنعت آهن و فولاد، مس و آلومینیم کشور، درمجموع بیشترین حجم را به خود اختصاص داده‌اند و از این منظر، برنامه‌ریزی برای رفع تحریم‌های فناورانه آنها از اولویت بالاتری برخوردار است. همچنین حجم چشمگیر ارزش وارداتی در صنعت آهن، فولاد و آلومینیم، این صنایع را بیش از دیگر صنایع در کانون تأثیرپذیری از تحریم‌های فناورانه قرار می‌دهد. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که عمده واردات در این صنایع مربوط به بخش پایین‌دست آن است. به‌طوری‌که طبق بررسی‌ها (جدول ۵) در سال ۱۳۹۹، ۱۰۹۵ میلیون دلار محصول پایین‌دست در صنعت فولاد وارد شده است.

جدول ۵. میزان واردات انواع محصولات با ارزش افزوده بالا در زنجیره فولاد در سال ۱۴۰۰ به تفکیک محصول

محصول	میزان واردات (تن)	ارزش واردات (دلار)	کاربرد عمده
محصولات نوردی سرد	۲۵۵,۲۵۱	۲۴۶,۵۵۵,۲۳۱	خودروسازی و لوازم خانگی
محصولات نوردی گرم	۱۲۲,۶۵۲	۱۰۵,۶۳۰,۳۷۷	لوله، پروفیل و مخازن و ...
ورق‌های پوشش‌دار	۳۹۳,۱۱۰	۲۶۷,۷۴۷,۱۲۶	خودروسازی، صنایع غذایی و ساخت‌وساز
انواع شمش و محصولات آلیاژی	۲۰۵,۳۲۲	۷۲۷,۱۸۶,۸۷۸	نفت، گاز، پتروشیمی، ساخت‌وساز، لوازم خانگی خودروسازی و صنایع غذایی و...
محصولات نهایی	۲۷۵,۴۴۰	۴۸۶,۲۴۴,۵۵۹	صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

مأخذ: همان.

همان‌طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، ارزش بالای دلاری واردات محصولات پایین‌دست در صنعت فولاد و مسئله نیازهای کاربردی آن برای توسعه صنایع پایین‌دست، اهمیت برنامه‌ریزی برای حل چالش‌های ناشی از تحریم‌های فناورانه در این صنعت را دو چندان می‌کند. از منظر دیگر، همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود، در حوزه معدن و صنایع معدنی، بخش زیادی از مواد مصرفی که وارد کشور می‌شود مرتبط با صنعت فولاد و سپس آلومینیم است. به عبارتی وابستگی زنجیره تولید این صنعت به خارج از کشور امکان آسیب‌پذیری این صنعت و صنایعی که از محصولات آنها استفاده می‌کنند را در زمان تحریم‌های فناورانه افزایش می‌دهد.

جدول ۶.مواد اولیه مصرفی و وارداتی صنایع بزرگ معدنی براساس آمار واردات سال ۱۴۰۰

شرح کالا	صنایع معدنی مرتبط	واردات	
		وزنی (تن)	ارزشی (میلیون دلار)
الکترود زغالی	صنایع فولاد و آلومینیم	۱۶۱,۳۵۸	۴۰۹
انواع فروآلیاژها	صنایع فولاد	۲۰۵,۳۲۲	۳۵۳
مواد و محصولات نسوز	صنایع متالورژی دما بالا	۸۲,۲۴۰	۱۵۳
پودر آلومینا	صنایع آلومینیم	۴۰۸,۳۳۳	۲۴۰
انواع زغال‌سنگ	صنایع فولاد	۸۵۶,۱۷۹	۲۴۲
انواع کک	صنایع فولاد	۵۶۹,۷۴۸	۳۲۱
انواع شمش آلومینیم	صنایع پایین‌دست آلومینیم	۱۰۶,۲۹۵	۱۴۴
کک نفتی	صنایع آلومینیم	۳۳,۶۳۰	۱۲
جمع		۲,۴۲۳,۱۰۳	۱,۸۷۳

مأخذ: همان.

با حرکت از بالای زنجیره ارزش در صنعت آهن و فولاد به‌سمت پایین آن (محصولات با ارزش افزوده بالاتر) میزان ارزش وارداتی محصولات افزایش می‌یابد (جدول ۷). این وضعیت، به نوعی بیانگر خام‌فروشی ازیک‌سو و نیاز فناورانه برای توسعه اقتصادی صنایع پایین‌دست (به‌عنوان یکی از نیازهای کلیدی) ازسوی‌دیگر دارد. همچنین این وضعیت نشان از افزایش اهمیت رفع نیاز فناورانه در زنجیره ارزش صنایع معدنی برای جلوگیری از خروج ارز از کشور و خلق فرصت‌های اقتصادی جذاب‌تر دارد.

جدول ۷.میزان واردات محصولات زنجیره صنعت آهن و فولاد در سال ۱۴۰۰

ردیف	شرح	ارزش - به‌دلار
۱	سنگ آهن و کنسانتره	۰
۲	گندله	۰
۳	قراضه و ضایعات	۱,۱۰۵,۴۸۰
۴	چدن، آهن و شمش فولادی	۳,۰۸۷,۸۱۱
۵	پودر آهن و فولاد	۳,۶۶۹,۲۰۳
۶	محصولات نورد	۶۱۹,۹۳۲,۷۳۴
۷	شمش و محصولات آلیاژی	۷۲۷,۱۸۶,۸۷۸
۸	محصولات نهایی	۴۸۶,۲۴۴,۵۵۹
–	مجموع	۱,۸۴۱,۲۲۶,۶۶۵

مأخذ: همان.

مشـــابه صنعت آهن و فولاد، وضعیت آمـــار واردات در صنعت مس و آلومینیم نیز به همین شـــکل است. همان‌طور که در جدول ذیل ملاحظه می‌شـــود در پایین‌دست زنجیره ارزش این صنایع، ارزش دلاری محصولات وارد شده افزایش می‌یابد. این موضوع علاوه‌براین که حد وابستگی کشور به محصولات نهایی و محصولات با ارزش‌افزوده بالا را نشان می‌دهد، بر اهمیت رفع نیاز فناورانه در شرایط تحریم و توسعه صنایع پایین‌دست نیز تأکید دارد.

جدول ۸. افزایش واردات محصولات زنجیره ارزش صنعت مس و آلومینیم در سال ۱۴۰۰

زنجیره ارزش صنعت مس			زنجیره ارزش صنعت آلومینیم	
ردیف	شرح	ارزش – به‌دلار	شرح	ارزش – به‌دلار
۱	سنگ مس و کنسانتره	۴۳۹,۹۸۶	سنگ آلومینیم و کنسانتره	۱۴,۱۳۸,۳۴۷
۲	مس تصفیه نشده و تصفیه شده و پودر مس	۴,۶۰۵,۳۹۶	آلومینیم کار نشده و پودر آلومینیم	۱۴۷,۳۴۰,۲۵۸
۳	محصولات نورد	۴,۴۰۷,۵۴۵	محصولات نورد	۱۰۳,۶۳۶,۲۶۶
۴	قراضه و ضایعات مس	۷۹,۹۰۱	قراضه و ضایعات آلومینیم	۴,۶۵۹,۴۶۹
۵	محصولات نهایی	۱۳,۷۹۴,۵۳۰	محصولات نهایی	۸۹,۸۱۲,۴۶۹
	مجموع	۲۳,۳۲۷,۳۵۸	مجموع	۳۵۹,۵۸۶,۶۹۰

مأخذ: همان.

به‌عنوان جمع‌بندی این بخش، ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که زنجیره ارزش صنعت آهن، فـــولاد و مس، از لحاظ ابعاد مختلف اقتصادی برای کشور بسیار حائز اهمیت هســـتند و تحریم‌های فناورانه در این صنایع به چالش‌های بزرگ اقتصادی منجر می‌شود. همچنین ارزیابی وضعیت واردات در طـــول زنجیره ارزش صنایع آهـــن و فولاد، مس و آلومینیم، نشان می‌دهد که در حرکت به‌سمت صنایع پایین‌دست و با ارزش افزوده بالاتر، حجم دلاری واردات افزایش یافته و توسعه‌نیافتگی و خام‌فروشی در بالادست چشمگیرتر اســـت. به‌عنوان حوزه‌ای کلیدی برای تمرکز، بررســـی‌های این گزارش نشان می‌دهد زنجیره ارزش این سه صنعت از ابعاد مختلف اقتصادی و تأثیرپذیری از شرایط تحریم فناورانه، بیش‌ازپیش باید مورد توجه و برنامه‌ریزی قرار گیرند.

۲-۲. ارزیابی وضعیت تأثیرپذیری از تحریم از منظر فناوری‌های کلیدی

در بخش‌های پیشـــین با بررســـی‌های عناصر آینده از منظر جهانی و زنجیره‌های ارزش معدن و صنایع معدنی کشور از منظرهای «اقتصادی» برخی حوزه‌های کلیدی با توجه به تحریم‌های فناورانه برجسته شدند.

در این بخش تمرکز بر شناســـایی آن‌دسته از «فناوری‌های کلیدی» قرار گرفته است که از تحریم‌های فناورانه بیش‌ازپیش متأثر خواهند شد.

اطلاعات مختلفی بـــرای فناوری‌های کلیدی متأثر از تحریم، در این پژوهش جمع‌آوری شـــده است. ازجمله می‌توان به بررسی برخی مطالعات مربوط به چالش‌های فناورانه در بخش معدن و صنایع معدنی کشور اشـــاره کرد [۱] که البته ضعف مشهودی در کشور در زمینه این مطالعات وجود دارد. اطلاعات دیگری مانند «کتابچه‌های نیاز فناورانه شرکت‌های معدن و صنایع معدنی کشور» نیز بررسی شد. بررسی این مســـتندات نیز نشان داد که مواد اولیه، قطعات و تجهیزات بیشترین نیاز شرکت‌های معدن و صنایع معدنی کشور است که این موارد الزاماً به‌معنای نیازهای فناورانه کلیدی کشـــور نیســـت. در ادامه به‌منظور دســـتیابی به اطلاعات دقیق با کســـب اطلاعات از نهادهای اصلی و شرکت‌های بزرگ معادن و صنایع معدنی و برگزاری نشست خبرگی با نمایندگان ایشـــان، [۲] اطلاعات مناسب برای شناسایی سرفصل‌های فناوری‌های کلیدی معدن و صنایع معدنی کشور (با توجه به تحریم) جمع‌آوری و تحلیل شده است.

۱. نمایندگان سازمان‌ها و نهادهایی مانند معاونت آموزش، پژوهش و فناوری وزارت صمت، سازمان ایمیدرو، ســـازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، انجمن مهندسی معدن ایران، سازمان نظام مهندسی معدن ایران، مرکز همکاری‌های تحول و پیشرفت ریاست جمهوری، انجمن سنگ آهن، انجمن تولیدکنندگان فولاد و کمیسیون معادن و صنایع معدنی اتاق بازرگانی، در این زمینه طرف سؤال قرار گرفتند.

۲. ازجمله مجموعه‌هایی که در پنل‌های خبرگی مشارکت نمودند یا اطلاعات نیاز فناورانه ارسال کردند می‌توان به مدیریت‌های مختلف سازمان ایمیدرو، مرکز تحقیقات و فراوری مواد معدنی ایران، شرکت فولاد مبارکه اصفهان، شرکت فولاد خوزستان، شرکت ذوب‌آهن اصفهان، شرکت فولاد خراسان، شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو، شرکت ملی صنایع مس ایران، شرکت آلومینیم ایران و شرکت آلومینیم المهدی اشاره کرد.

بررسی این اطلاعات[1] نشان می‌دهد که «مواد اولیه و مصرفی، قطعات و تجهیزات وارداتی» بیشتر در کانون توجه شرکت‌های بزرگ معدن و صنایع معدنی کشور قرار دارد. اما بررسی‌های کارشناسی بعدی نشان داد که آن‌دسته از مواد، قطعات یا تجهیزات که تولید آنها به سبب موانع ناشی از تحریم فناورانه در کشور محقق نشده است (مانند الکترود گرافیتی) اهمیت به‌مراتب بالاتری نسبت به قطعات یدکی دستگاه‌های تولیدی دارند (که بعضاً با هزینه بالاتر قابل بومی‌سازی هستند). به همین مناسب در جهت‌گیری برای رفع تحریم‌های فناورانه نیز باید به‌سمت اولویت‌دهی به حل چالش این دسته از مواد و تجهیزات حرکت کرد. علاوه‌براین، حجم تأکید برخی شرکت‌های معدنی و صنایع معدنی کشور به مواد اولیه و قطعات مصرفی وارداتی (به‌عنوان نیاز فناورانه) ممکن است سیاستگذار را از اولویت‌های بالاتری در زمینه رفع نیازهای فناورانه کشور غافل کند.

با توجه به نشست خبرگی و بررسی دقیق‌تر اطلاعات یادشده، در ادامه به برخی از سرفصل‌های نیاز فناورانه و متأثر از تحریم در معادن و صنایع معدنی کشور اشاره می‌شود. این فناوری‌ها اغلب آن نوع از «فناوری‌های کلیدی» هستند که نظام سلطه جهانی، برای ایجاد چالش میان‌مدت و بلندمدت معادن و صنایع معدنی کشور، آنها را هدف گرفته است. به بیان دیگر تبعات عدم دسترسی به این فناوری‌ها در مقولات مختلفی چون «پایداری و اقتصادی بودن تولید» تا مسائل «سیاسی/اجتماعی» تأثیر خواهد داشت. ایضاً این دسته از تحریم‌ها در آینده تقریباً نزدیک می‌تواند باعث توقف فرایند توسعه در صنایع پیشرفته پایین‌دستی شود.

۲-۲-۱. فناوری‌های آب‌محور

با توجه به اقلیم آب و هوایی و منابع آبی کشور، «فناوری‌های کم‌آب‌بر» به‌ویژه در منابع کم‌عیار معدنی و «فناوری‌های کاهش مصرف آب» در حوزه صنایع معدنی (به‌ویژه صنایع فلزی)، ازجمله نیازهای مهم فناورانه کشور است که بعضاً به‌دلیل جدید بودن برخی از این فناوری‌ها و کشورهای طرف معامله، دسترسی به آنها محدود شده است. همچنین فناوری‌های تسویه پساب‌های صنعتی به دلایلی چون بازچرخانی آب، استحصال مواد پرارزش و الزامات محیط زیستی نیز، ازجمله نیازهای فناورانه کلیدی بخش معدن و صنایع معدنی کشور است که بعضاً نیازمند انتقال فناوری و همکاری‌های بین‌المللی هستند. به‌ویژه موضوع ردپای آب، مانند ردپای کربن، به چالش جدی آتی معادن ایران برای تجارت بین‌الملل تبدیل خواهد شد و کشور را از بازارهای صادراتی محروم خواهد کرد.

۲-۲-۲. فناوری‌های مدیریت و کاهش آلاینده‌ها

بررسی‌ها نشان می‌دهد که فناوری‌های نسل قدیم (و بعضاً منسوخ) استفاده شده در برخی سایت‌های معدن و صنایع معدنی کشور، منبع انتشار مجموعه‌ای از آلاینده‌ها هستند و بر سلامت مردم بومی و محیط زیست آثار سوء دارند. جهت‌گیری‌های جهانی، کشورها[2] و شرکت‌های بزرگ نیز به‌سمت کاهش هرچه بیشتر آلایندگی و ردپای کربن در فرایند تولید و با هدف‌گذاری انتشار «کربن خالص صفر» در چشم‌انداز بلندمدت است. بررسی نیازهای فناورانه نشان داده است که دستیابی به برخی فناوری‌های پیشرفته برای کاهش آلاینده‌های مایع، صوتی، غبارها و ذرات در فرایند تولید معادن و صنایع کشور به سبب تحریم‌ها با مشکل مواجه شده است.

رویکردهای جهانی در استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر برای فرایندهای تولیدی و حرکت به‌سوی توسعه پایدار ازیک‌سو و نظام‌های مبتنی‌بر مالیات کربن و بورس‌های کربنی ازسوی‌دیگر، برای آینده تجارت معدنی کشور نیز چالش‌زا خواهد بود. به‌طور خاص یارانه‌های انرژی و عدم دسترسی به مواد بحرانی و فناوری‌های اقتصادی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، برای آینده تأمین انرژی پاک در بخش معدن و صنایع معدنی کشور، مشکل ایجاد خواهد کرد.

عدم به‌روزرسانی یا جایگزینی فناوری‌های تولید قدیمی در معادن و صنایع معدنی ایران نیز، موجب تولید بیش‌ازپیش این آلاینده‌ها در برخی معادن و صنایع معدنی کشور شده‌اند که به سبب تحریم‌های فناورانه امکان دسترسی به فناوری‌های به‌روز فراهم نبوده است. سوابق تاریخی نشان می‌دهد در برخی سایت‌های اصلی کشور، فناوری تولیدی به چند دهه گذشته برمی‌گردد که در زمان خرید فناوری نیز جدیدترین نسل فناوری وارد نشده بود. همچنین در راه‌اندازی مجموعه‌های جدید معدن و صنایع معدنی گزارش شده است که عدم امکان قرارداد با شرکت‌های فناور و پیشرو (وابسته به بلوک غربی یا تأثیرپذیر از آن) منجر به خرید فناوری‌های کم‌بهره‌ورتر از شرکت‌های متوسط شده است که این موضوع در میزان آلایندگی و بهره‌وری معادن و صنایع معدنی نسبت به شاخص‌های جهانی مؤثر بوده است.

---

۱. در این گزارش به‌دلیل محرمانگی از ذکر مصادیق و نیازهای فناورانه شرکت‌ها خودداری شده است. البته از منظر سیاستگذاری، حوزه‌های کلان و اصلی مورد اشاره در این بخش گزارش، برای اقدامات بعدی کفایت می‌کند.

۲. به‌عنوان نمونه برنامه ۲۰۶۰ چین برای انتشار صفر گازهای گلخانه‌ای.

۲-۲-۳. فناوری‌های معدنکاری عمیق (اکتشاف و استخراج)

ازجملـــه روندهای کلیدی در حوزه معادن و صنایع معدنی، «اکتشـــاف عمیق» برای دســـتیابی به منابع پرعیار و کمیاب اســـت که در بررسی نیازهای فناورانه کشـــور مورد توجه شـــرکت‌های اصلی معدن و صنایع معدنی بوده است. این فناوری‌های پیشرفته برای تضمین پایداری تولید در میان‌مدت و بلندمدت ازیک‌ســـو (با توجه به کمبود منابع دســـترس برای پایین‌دست زنجیره) و ازسوی‌دیگر برای دسترسی به منابع کمیاب و کلیدی، الزامی هســـتند. همچنین حوزه اکتشافات عمیق مجموعه‌ای از نیازهای فناورانه در حوزه ســـخت‌افزارها، نرم‌افزارهـــا و مغزافزارها را دربرمی‌گیرد و دسترســـی به آنها به‌ســـبب تحریم‌های فناورانه و برخی بی‌توجهی‌های داخلی، مغفول مانده است.

۲-۲-۴. فناوری پهپادی

«فناوری پهپادی» از مجموعه نیازها و فناوری‌های کلیدی گزارش شده شـــرکت‌های معدنی داخلی، برای حوزه اکتشاف است. نتایج حاصل از مطالعه روندهای جهانی نیز اهمیت این فناوری را دوچندان کرده است و نشان می‌دهد کاربردهای این فناوری در سایت‌های معدنی فراتر از بحث اکتشـــاف خواهد بود.[۱] عدم دستیابی به‌موقع به جنبه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری فناوری پهپادی در کمینه‌ترین حالت، هزینه‌های اکتشـــاف در کشور را نســـبت به خارج، غیررقابتی می‌کند. علاوه‌براین، با پهپادها امکان اکتشاف در مناطق صعب‌العبور و ناایمن در سریع‌ترین زمان فراهم می‌شـــود که در گستره سرزمینی ایران، الزام آن دوچندان است. به‌ویژه با توجه به نیاز صنایع معدنی به منابع بیشتر در آینده، فشار شرکت‌های بزرگ دولتی و خصوصی معدن و صنایع معدنی برای سرمایه‌گذاری در بخش اکتشاف بیشتر شده است.

۲-۲-۵. فناوری‌های استحصال از منابع ثانویه

حجم ارزشمندی از منابع ثانویه در کشور وجود دارد که استحصال فلزات از آنها نیازمند توســـعه دانش فنی و انتقال فناوری اســـت. به‌ویژه برخی از این منابع، شامل مواد اولیه یا مصرفی مورد نیاز کشور هستند یا به‌صورت مجموعه‌ای از باطله‌ها و پساب‌ها،[۲] آسیب‌های محیط زیستی ایجاد کرده‌اند. بررسی‌ها مشخص کرده که مصادیقی از نیازهای فناورانه شرکت‌های معدن و صنایع معدنی مرتبط با بازیافت عناصر ثانویه آهنی و غیرآهنی اســـت. با توجه به اهمیت‌یافتن بیش‌ازپیش منابع ثانویه در آینده (توســـعه مفهوم شهرکاوی یا معدن‌شهرها) و کلیدی‌شدن فناوری‌های مربوط به آن، برآورد می‌شود اثر تحریم‌های فناورانه در این بخش قابل توجه خواهد بود.

۲-۲-۶. فناوری‌های نوین و تجهیزات هوشمند

تحریم فناورانه در سال‌های اخیر، دسترسی به برخی نرم‌افزارهای مورد نیاز شـــرکت‌های معدنی و صنایع معدنی (یا نسخه‌های به‌روز آنها) را با بحران مواجه کرده و در نیازهای اعلامی شـــرکت‌ها نیز، به این موارد اشـــاره شده اســـت. در ســـطوح بالاتر، نیاز به دوربین‌های پیشرفته برای پردازش حجم مواد و حسگرهای پیشرفته برای رصد متغیرهای تولید نیز به‌عنوان نیازهای فناورانه گزارش شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شرکت‌های معدنی و صنایع معدنی ایران، از دسترسی به مجموعه‌ای از فناوری‌های نوین (به‌ویژه در حوزه‌های هوشمندســـازی با هوش‌مصنوعی، اینترنت اشـــیا و رباتیک) به‌دلیل تحریم فناورانه محروم شده‌اند. به‌عنوان نمونه خدمات هوشمندسازی خطوط تولید و راه‌اندازی کوره‌های هوشـــمند در صنایع فلزی، تحول چند سال اخیر شـــرکت‌های صنایع معدنی است[۵] و به‌دلیل تحریم، شرکت‌های صاحب فناوری از انتقال این نســـل از فناوری تولیدی به شرکت‌های ایرانی اجتناب می‌کنند. شـــایان ذکر است ازجمله فناوری‌های کلیدی برای نسل جدید خطوط تولید، موضوع هوشمندسازی است که عدم دستیابی به‌موقع به این فناوری‌ها تبعات فرصت‌سوزی و چالش‌زایی متعددی خواهد داشت. برخی از مصادیق نشـــان می‌دهد که بـــا وجود تمایل طرف معدن و صنایع معدنی داخلی به تحول دیجیتال در کل فرایند، همکاری شرکت‌های مشاوره بین‌المللی توسط تحریم‌های فناورانه محدود شده است.

۲-۲-۷. محصولات پیشرفته در پایین‌دست

تولید محصولات پیشرفته در پایین‌دست بخش معدن، ارزش‌افزوده بالایی تولید می‌کنند و در آینده نیز این محصولات بازار تقاضا و ابعاد اقتصادی چشـــمگیری خواهند داشت. مواردی چون آلیاژهای پیشرفته در صنایع فلزی (به‌طور خاص فولادهای مســـتحکم) و پودرهای فلزی متناســـب برای چاپ ســـه‌بعدی،[۴] نیاز به دانش فنی و فناوری‌های پیشـــرفته‌ای دارند که دسترســـی به آنها به ســـبب تحریم‌های فناورانه محدود شده اســـت. این موارد را بعضاً شرکت‌های بزرگ‌تر صنایع معدنی، اعلام نیاز می‌کنند. به‌طورکلی حوزه‌های یادشـــده، فناوری‌های کلیدی در آینده نزدیک هستند و برآورد می‌شود درصورت عدم دسترسی به‌موقع به این فناوری‌ها، بازارهای جذاب و با حاشیه سود مناسب از دست خواهد رفت و نیاز وارداتی جدیدی برای صنایع پایین‌دســـت کشور (به‌طور مثال در خودروسازی) ایجاد خواهد شد.

---

۱. به‌عنوان نمونه به گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی با موضوع «چالش‌های ایمنی معادن در ایران ۱. نقش فناوری‌های نوین در ارتقای ایمنی معادن» با شماره مسلسل ۱۷۱۱۹ در پایگاه اینترنتی این مرکز به نشانی https://rc.majlis.ir/ مراجعه فرمایید.

۲. ذیل موضوع «معدن شهرها» مسئله دورریزهای لوازم الکترونیک و استخراج عناصر ارزشمند از آنها نیز، از منظر نیاز فناورانه قابل توجه است.

۳. برای توضیحات و مصادیق مفصل در این زمینه به گزارش‌های سه‌گانه مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی با عناوین «آینده صنعت فولاد ۱. شناسایی ابعاد تحولی انقلاب صنعتی چهارم در صنعت فولاد و چشم‌اندازهای فناورانه پیشرو»، «آینده صنعت فولاد ۲. بررسی اقدامات شرکت‌های کلیدی و پیشرو جهانی در صنعت فولاد در حوزه توسعه فناوری و نوآوری» و «آینده صنعت فولاد ۳. واکاوی سند طرح جامع فولاد کشور از منظر فرصت‌ها و چالش‌های انقلاب صنعتی چهارم و پیشنهاد فرصت‌های اصلاحی و تحولی» به شماره مسلسل‌های ۱۶۹۹۲، ۱۷۰۰۵ و ۱۷۰۲۶ در پایگاه اینترنتی https://rc.majlis.ir/ مراجعه فرمایید.

4. 3D Printing

۸-۲-۲. محصولات پایه کک نفتی و غیر آن

ازجملـــه مواد مصرفـــی صنایع فلـــزی مانند فولاد، مـــس و آلومینیم، الکترودهایی اســـت که برپایه کک نفتی، تهیه می‌شـــود. در چند سال اخیر عدم دسترسی به این محصولات، نگرانی‌های بیشماری برای ثبات جریان تولید صنایع فلزی ایجاد کرده و در فهرســـت نیازهای فناورانه و فناوری‌های کلیدی مورد نیاز این شرکت‌ها، رتبه بالایی به خود اختصاص داده اســـت. با وجود تلاش‌های همه‌جانبـــه و ادعاهای مختلف، هنوز به قطع، دانش فنی برای تولید این محصولات در اختیار نیست (یا به‌صورت مستند گزارش نشده است) و تحریم‌های ظالمانه نیز به‌صورت هدفمند دسترسی به این محصولات یا فناوری‌های مربوطه را هدف گرفته است.

۹-۲-۲. فناوری‌های مبتنی‌بر هیدروژن

برآوردها نشان می‌دهد که تبدیل هیدروکربن‌های گازی به گاز هیدروژن یا تبدیل آب به هیدروژن (با انرژی تجدیدپذیر و تولید هیدروژن سبز)، تحول اصلی در صنایع فلزی و به‌طور خاص در حوزه فناوری و تولید پاک در زنجیـــره ارزش صنعت آهن و فولاد خواهد بود. گرچه در حال حاضر در ســـطح جهانی تمرکز بر تحقیق و توسعه، توسعه پایلوت‌ها، دستیابی به راهکار اقتصادی و تجاری‌ســـازی این فناوری‌هـــا بوده، اما با توجه به مشارکت‌های جهانی، شرکت‌های داخلی به‌دلیل تحریم، از دسترسی به این همکاری‌ها و نتایج آن محروم خواهند بود. برآورد می‌شود با افزایش حساســـیت‌های محیط زیســـتی و حرکت کشـــورهای پیشرو به‌سمت تولیـــد فولادهای بدون‌ردپای کربن، مرحله بعدی تحریم‌ها جلوگیری از دسترسی فولادهای غیرسبز (مانند محصولات فولاد داخلی) به بازارهای جهانی خواهد بود.

۱۰-۲-۲. فناوری‌های اســـتحصال عناصر بحرانی و کمیاب برای صنایع پیشرفته پایین‌دست

ارزیابی مستندات و گزارش‌های داخلی نشان می‌دهد برای تأمین منابع اولیه برای حوزه «ذخیره انرژی (به‌طور خاص خودروهای برقی)»،[1] «مواد مورد نیاز برای توســـعه انرژی‌های نوین» و «زیرساخت‌های فناوری‌های نوین به‌ویژه فناوری اطلاعات و ارتباطات»، به استحصال عناصر بحرانی و بعضاً کمیاب مانند لیتیم، کبالت، نیکل، عناصر نادر خاکی و موادی از این دست نیاز است. برآوردها نشان می‌دهد سطح حساسیت‌ها و رقابت‌های بین‌المللی برای دستیابی به این منابع بسیار بالاست. به‌ویژه در حوزه مواد مورد نیاز برای باتری‌ها و انرژی‌های تجدیدپذیر، چالش‌های بین‌المللی بزرگی بین بلوک غرب و ســـایر کشورهای مدعی وجود دارد. با توجه به تقاضای ناشی از ماده (۱۶) در قانون جهش تولید دانش‌بنیان و نیاز آتی صنعت و اقتصاد کشور به انرژی تجدیدپذیر و ذخیره انرژی، دسترسی به مواد معدنی اولیه و فناوری‌های تولید در این دو حوزه، یک چالش کلیدی خواهد بود. همچنین فناوری‌های مرتبط با استحصال این عناصر با چالش و محدودیت‌های فناورانه مواجه اســـت و برآورد می‌شود که در آینده نیز حساســـیت بیشتری نسبت به توسعه داخلی این مواد توسط کشورهای متخاصم ایجاد شود. البته همچنان برای تدقیق فهرست عناصر بحرانی در کشور، نیاز به یک مطالعه جامع و دوره‌ای، ازسوی یک نهاد پژوهشی و تخصصی وجود دارد. همچنین در اسناد سیاستی کشور نیز نسبت به محوریت توسعه فناوری در حوزه مواد خام بحرانی، کم‌توجهی وجود دارد.

[۳. چالش‌های ناشی از تحریم‌های فناورانه در معدن و صنایع معدن منتخب[2]]

بررسی‌های انجام شده در این گزارش نشـــان می‌دهد مطالعه جامعی برای برآورد دقیق نتایج حاصل از تحریم‌های فناورانه در معادن و صنایع معدنی کشور صورت نگرفته اســـت. به‌ویژه اینکه تحریم‌های فناورانه ابعاد مختلف و نتایج متنوع و متعددی دارند که الزامی است مورد توجه قرار گیرند. بخشی از این بررســـی‌ها می‌بایست به تفکیک هر صنعت و با جمع‌آوری آمار و اطلاعات شـــرکت‌های اصلی صورت گیرد و به‌طور پیوسته برای آن چاره‌جویی و راهکاریابی شود. بخشی دیگر از تحریم‌ها نظر به آینده دارند و کشور را از دسترسی به فناوری‌های آینده و تولید اقتصادی در معـــادن و صنایع معدنی محروم خواهنـــد کرد. لذا علاوه بر اینکه در پایش تهدیدهای ناشـــی از تحریم فناورانه باید به وضعیت چالش‌های فعلی معادن و صنایع معدنی نظر داشـــت، الزامی است که تهدیدهای فناورانه ناشی از تحریم در آینده نیز مورد رصد و چاره‌جویی قرار گیرند. در ادامه به برخی از چالش‌های ناشی از تحریم‌های فناورانه در صنعت معدن و صنایع معدنی اشاره شده است.

۱-۳. عدم دسترسی به نسل جدید فناوری‌های تولیدی

فناوری اصلی در فرایند تولید در زنجیره ارزش صنعت معدن و صنایع ایران، اغلب منطبق با نسل‌های قدیمی فناوری بوده و به‌دلیل تحریم‌ها و برخی دلایل دیگر، دسترسی به نسل نوین فناوری‌های تولید ازسوی شرکت‌های فناور جهانی محدود شده اســـت. این موانع علاوه بر اینکه برای سرمایه‌گذاری‌های جدید محدودیت در دسترسی به فناوری روز ایجاد می‌کند، صنایع تولیدی قبلی را نیز از مزایای به‌روزرسانی فناوری تولیدی محروم می‌کند. عدم دسترسی به نسل‌های جدید فناور، بر تولید اقتصادی و بهره‌ور مؤثر بوده و کاهش بهره‌وری در زنجیره ارزش معدن و صنایع ایرانی، چالش‌های اقتصادی بعدی را به‌همراه خواهد داشت.

۱. برای اطلاعات تفصیلی بیشتر به مطالعه کارشناسی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی با عنوان «آینده‌پژوهی توسعه خودروهای برقی و آثار آن بر صنایع معدنی» و شماره مسلسل ۱۶۹۲۴ در پایگاه اطلاع‌رسانی https://rc.majlis.ir/ مراجعه کنید.

۲. این فصل در گزارش آتی (نهایی) با جمع‌آوری پیمایش‌های در حال انجام و کسب اطلاعات تکمیلی از سازمان‌ها و نهادها تکمیل خواهد شد.

۳-۲. افزایش بیشتر شکاف با نسل جدید فناوری‌ها و از دست دادن فرصت همپایی

سرمایه‌گذاری‌های جدید روی نسل‌های قدیمی فناوری‌های تولیدی و عدم به‌روزرسانی فناوری‌های فعلی، مشکلات عدیده‌ای برای تولید اقتصادی و بهره‌وری در معادن و صنایع معدنی ایجاد خواهد کرد. اما چالش بزرگ‌تر تحریم‌های فناورانه که معمولاً کمتر به آن پرداخته می‌شوند، افزایش بیش‌ازپیش شکاف بین نسل‌های جدید فناوری در جهان و نسل‌های فعلی در کشور است. به‌عبارتی با سرعت بیش‌ازپیش توسعه فناوری در جهان، نسل‌های جدید فناوری در بازه‌های کوتاه‌تری به‌روز می‌شوند و با توجه به عدم دسترسی به فناوری‌های روز، فرصت کشور برای همپایی با جهان و توسعه معادن و صنایع معدنی کشور بیش‌ازپیش از دست می‌رود.

۳-۳. چالش در به‌روزرسانی و یادگیری فناورانه در معادن و صنایع معدنی

با توجه به موانع در ارتباطات بین‌المللی و تعامل با شرکت‌های اصلی فناور در معادن و صنایع معدنی جهان، امکان به‌روزرسانی فناوری‌های فعلی و یادگیری فناورانه (فناوری به‌روز) از سوی بدنه تخصصی این صنعت، سلب می‌شود. به‌عبارتی در میان‌مدت و بلندمدت، دانش فنی و تجربی بدنه حرفه‌ای معادن و صنایع معدنی کشور، فرصت یادگیری و به‌روزرسانی را از دست می‌دهد و برای جذب فناوری‌های جدید نیز دچار مشکل خواهد شد. به‌عبارتی این بخش از تحریم فناورانه، بدنه کارشناسی و تخصصی معادن و صنایع معدنی ایران را هدف قرار خواهد داد. این موضوع، به حوزه دانش مدیریتی نیز قابل تعمیم است و انتظار می‌رود فرصت یادگیری و همپایی در حوزه مدیریت تخصصی ارشد در بخش معدن و صنایع معدنی (مبتنی‌بر تجارب روز) از دست برود.

۳-۴. مصرف غیراقتصادی آب، برق و انرژی در معادن و صنایع معدنی

تحریم‌های فناورانه و استفاده از نسل‌های قدیمی فناوری تولیدی، باعث شده است که بعضاً میزان مصرف آب، برق و انرژی (به‌طور خاص گاز طبیعی) در کشور بیش از استانداردهای جهانی باشد. به‌ویژه با توجه به کمیابی منابع آبی، مشکلات مدیریت توازن جریان برق، مسائل زیست‌محیطی زغال‌سنگ و ارزش اقتصادی گاز طبیعی، این اضافه مصرفِ بیش‌ازپیش، برای کشور مشکلات اقتصادی و غیراقتصادی ایجاد خواهد کرد. به‌ویژه حجم مصرف بالای آب، برق و انرژی معادن و صنایع معدنی کشور، اهمیت استفاده از نسل‌های جدید فناوری با بهره‌وری بالاتر را خاطرنشان می‌سازد.

۳-۵. چالش‌های محیط زیستی در اثر تحریم‌های فناورانه

علاوه بر چالش‌های محیط زیستی ناشی از اضافه مصرف آب، برق و انرژی، عدم دسترسی به فناوری‌های به‌روز و بهره‌ور و مشکلات ناشی از باطله‌ها، پساب‌ها و سایر آلاینده‌ها، منجر به چالش‌های افزایش یابنده محیط زیستی در مناطق مجاور سایت‌های معدنی کشور شده است. به بیان دیگر، عدم دسترسی به فناوری‌های دوستدار محیط زیست و نبود راهکارهای بهره‌ور برای حل مسائل ناشی از باطله‌ها، به چالش‌های بیش‌ازپیش محیط زیستی در معادن و صنایع معدنی کشور منتج شده است.

۳-۶. چالش در تأمین مواد اولیه، قطعات مصرفی و تجهیزات

ازجمله مهم‌ترین مشکلات گزارش شده (به‌ویژه ارائه شده در نمایشگاه‌های ارائه نیاز فناورانه بخش معدن و صنایع معدنی کشور) چالش در تأمین مواد اولیه، قطعات مصرفی و تجهیزات است. با اینکه بخشی از دانش فنی برای تولید این قطعات در کشور موجود است، اما تولید اقتصادی این نیازها (با توجه به تقاضای محدود آن) و برخی پیچیدگی‌های فنی (به‌ویژه در بخش تجهیزات) ازجمله چالش‌هایی است که درنتیجه تحریم‌های فناورانه در مقابل معادن و صنایع معدنی کشور قرار گرفته است. عدم دسترسی به هرکدام از این موارد، به افزایش هزینه‌ها، توقف خطوط تولید، کاهش راندمان، کاهش بهره‌وری و به‌طور کلی از دست رفتن فرصت‌ها و مزیت‌های اقتصادی در معادن و صنایع معدنی کشور منجر شده است و با توجه به کاهش ذخیره‌ها و چالش‌های بازرگانی بیشتر در واردات مواد و تجهیزات، ممکن است در آینده نیز ابعاد آن گسترش یابد.

۳-۷. چالش در وضعیت نگهداری و تعمیرات تجهیزات و دستگاه‌ها

از مهم‌ترین عوامل پایدار نگهدارنده وضعیت تولید، نگهداری و تعمیرات به‌موقع و دسترسی به قطعات یدکی و ملزومات مصرفی است. علاوه‌براین دسترسی به دانش فنی تجهیزات (دانش فنی شرکت سازنده) و نیاز به ارسال و دریافت تجهیز به کشور مبدأ، موضوعی بحرانی برای نگهداری و تعمیرات است. تحریم‌های فناورانه بر انجام بهینه و به‌موقع نگهداری و تعمیرات در معدن و صنایع معدنی تأثیر می‌گذارد و وقفه در این فرایند به توقف در خطوط تولید و کاهش بهره‌وری منجر خواهد شد.

۳-۸. چالش‌های ناشی از کاهش ایمنی در محیط کار

استفاده از فناوری‌های منسوخ و روش‌های قدیمی معدنکاری، باعث حوادث متعدد در معادن و صنایع معدنی ایران می‌شود. همچنین تحریم‌های فناورانه و عدم دسترسی به فناوری‌های نوین (که نقش مهمی در به صفر رساندن حوادث این چنینی دارند) ۱ مشکلات ایمنی در این بخش را دوچندان کرده است. با توجه به اهمیت مقولات انسانی (حتی در مجوزدهی برای صادرات محصولات نهایی به کشور مقصد) ۲ ازجمله نتایج تحریم‌های فناورانه در معادن و صنایع معدنی ایران، کاهش ایمنی و افزایش مخاطرات انسانی در محیط کار است.

---

۱. به‌عنوان نمونه نگاه کنید به این گزارش از مرکز پژوهش‌های مجلس با عنوان «نقش فناوری‌های نوین در ارتقای ایمنی معادن» و به آدرس اینترنتی https://rc.majlis.ir/fa/news/show/۱۵۶۳۸۵۲

۲. به‌عنوان نمونه می‌توان به فشارهای کنگره آمریکا بر شرکت‌های خودروسازی این کشور برای توقف تأمین کبالت (برای استفاده در باتری خودروهای برقی) از معادن پرخطر و غیرانسانی کنگو (نیروی کار اجیر شده و کودکان کار) اشاره کرد.

۳-۹. عدم دسترسی به فناوری‌های نوین آینده

ازجمله مهم‌ترین مسائلی که در موضوع تحریم‌های فناورانه نادیده انگاشته می‌شود عدم دسترسی به فناوری‌های نوین و برافکن و توسعه آنها در معادن و صنایع معدنی است. به‌عبارتی مشکلات ناشی از عدم دسترسی به مواد اولیه، قطعات و تجهیزات باعث شده است که کمبودهای ناشی از عدم کاربست فناوری‌های هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، رباتیک و غیره در معادن و صنایع معدنی ملموس نباشد. درواقع این فناوری‌های نوظهور، نقش مهمی در تولید بهره‌ور و اقتصادی معادن و صنایع معدنی جهان برعهده دارند و عدم دسترسی به آنها، در عمل به‌معنای تحریم فناورانه نسل‌های آتی کشور است.

۳-۱۰. مقیاس‌گیری و دسترسی به بازار جهانی

توسعه فناوری بدون توجه به بازار و مقتضیات اقتصادی آن، عقیم خواهد ماند. ازجمله چالش‌های ناشی از تحریم (اعم از فناورانه و غیرفناورانه) عدم دسترسی به بازار جهانی و مشکلات تجاری‌سازی توسعه فناوری است. به‌عبارتی توسعه یک فناوری خاص با توجه به نیاز مشخصی در کشور، درصورتی‌که نتواند مقیاس بگیرد و به بازار منطقه‌ای و جهانی دسترسی پیدا نکند (با توجه به حجم سرمایه‌گذاری اولیه بالای این فناوری‌ها) در توجیه‌پذیری اقتصادی و جذب سرمایه با مشکل مواجه خواهد شد. از منظر دیگر، مطالعات جهانی ادعا می‌کنند که توسعه فناوری‌های نوین درصورتی کاملاً موفق خواهد بود که راه خود را به کاربران اصلی فناوری باز کند. به‌عنوان مصداق جهانی، تحریم‌های ایالات متحده آمریکا علیه چین (تحریم ۵جی و شرکت‌های پیشرفته فناوری اطلاعات چین) با همین هدف صورت گرفته است. در مورد اخیر، هم‌زمان با اصلاح «جنگ تجاری» بین آمریکا و چین «جنگ فناوری» بین این دو کشور نیز، استفاده شده است. به همین دلیل، یکی از چالش‌های ناشی از تحریم فناورانه، عدم دسترسی به مصرف‌کنندگان نهایی کالا و محصولات پیشرفته و محروم ماندن از پیوستن به زنجیره‌های ارزش صنایع پیشرفته است.

جمع‌بندی

همان‌طور که در مقدمه ذکر شد، این مطالعه کارشناسی، فاز نخست از سه فاز یک پژوهش بوده که به‌تنهایی نیز قابل بهره‌برداری است. تمرکز این مطالعه با محوریت تحریم‌های ظالمانه بر «شناسایی عناصر راهبردی آینده»، «زنجیره ارزش‌های اصلی و اقتصادی معدن و صنایع معدنی کشور» و «فناوری‌های کلیدی» است. بررسی‌های انجام شده در این گزارش نشان می‌دهد که چالش‌های مرتبط با تحریم‌های فناورانه، خسارت‌های متعددی برای اقتصاد کل کشور و به‌ویژه بخش معدن و صنایع معدنی آن دربرخواهد داشت. به‌طور خاص برای مدیریت و رفع چالش‌های ناشی از تحریم‌های فناورانه، پیشنهاد این گزارش، اولویت‌دهی به زنجیره ارزش صنعت آهن و فولاد، مس و آلومینیم، عناصر راهبردی لیتیم، کبالت، نیکل و عناصر نادر خاکی و ۱۰ حوزه کلیدی فناورانه در معدن و صنایع معدنی کشور (به شرح بخش ۲) است. پیشنهادهای تکمیلی این مطالعه کارشناسی در فازهای بعدی آن ارائه خواهد شد، اما بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد رفع این چالش با عمق‌دهی بیشتر به مطالعات کارشناسی و استفاده از توان زیست‌بوم دانش‌بنیان و پژوهشی کشور امکان‌پذیر است. البته برای رفع این چالش‌ها در سطح ملی و جلوگیری از پراکنده‌کاری‌ها، جهت‌دهی و همکاری در داخل این زیست‌بوم نیز ضرورت دارد. در این زمینه نقش نهادهای متولی بخش معدن و صنایع معدنی کشور در دولت، مجموعه‌های پژوهشی تخصصی-دانشگاهی و معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری برجسته است. همچنین برای بالفعل کردن توان زیست‌بوم دانش‌بنیان و پژوهشی کشور، حمایت‌های نهاد قانونگذار و اقدامات در بدنه اجرایی کشور الزامی است. به‌طور خاص انتظار می‌رود سازمان توسعه‌ای مانند ایمیدرو، تمرکز حداکثری بر توسعه عناصر راهبردی و فناوری‌های کلیدی یادشده داشته باشد و از زیست‌بوم پژوهشی و دانش‌بنیان کشور در این زمینه‌ها حمایت کند. همچنین انتظار می‌رود نهاد قانونگذاری کشور، ظرفیت‌های قانونی برای حمایت از اقتصاد و حقوق این زیست‌بوم و الزام دستگاه اجرایی به ورود به حوزه‌های راهبردی را فراهم سازد. به‌طور خاص، پیشنهاد می‌شود برای هرکدام از فناوری‌های کلیدی و عناصر راهبردی یادشده، تدوین نقشه راه توسعه فناوری، مدنظر دستگاه اجرایی به‌ویژه وزارت صنعت، معدن و تجارت و سازمان ایمیدرو قرار گیرد. تجارب جهانی نشان می‌دهد شرکت‌های بزرگ معدن و صنایع معدنی در جهان، با کمک اکوسیستم نوآوری در کشور خود به این عناصر راهبردی ورود پیدا کرده‌اند.[1] بنابراین، هم‌افزایی نهادهای حاکمیتی، شرکت‌های بزرگ و زیست‌بوم دانش‌بنیان کشور برای رفع نیازها و غلبه بر تحریم‌های فناورانه در زمینه عناصر راهبردی و فناوری‌های کلیدی، ضرورت دارد. به‌عنوان یک ضرورت کلیدی برای کشور (به‌ویژه از منظر تحریم‌های فناورانه)، توجه به آینده‌نگری، رصد تحولات فناورانه و شناسایی عناصر بحرانی در بخش معدن و صنایع معدنی اهمیت دارد. همچنین تجارب نهادهای بین‌المللی و کشورهای پیشرفته نشان می‌دهد که این موضوع به‌صورت مستمر بوده و نهادهای تخصصی پشتیبانی می‌کنند. مبتنی‌بر اطلاعات ارائه شده در این گزارش، در بخش معدن و صنایع معدنی نیز باید از مطالعات آینده‌نگر و فناوری‌محور پشتیبانی شده و نهادهای تصمیم‌گیر در این بخش (به‌ویژه در بخش حاکمیتی) ملزم به استناد تصمیمات خود به چنین مطالعاتی شوند.

۱. به‌عنوان نمونه ورود شرکت‌های فولادسازی به حوزه صنعت لیتیم یا به فناوری‌های چاپ سه‌بعدی فلزات.

منابع و مآخذ

1. Assessment of Critical Minerals: Screening Methodology and Initial Application. s.l. : U.S. National Science and Technology Council, 2016.

2. Assessment of Critical Minerals: Screening Methodology and Initial Application. s.l. : U.S. National Science and Technology Council, 2018.

3. Interior Releases 2018's Final List of Critical Minerals. U.S. Geological Survey. [Online] May 2018. https://www.usgs.gov/news/interior-releases-2018-s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us-national-security-and.

4. The 2017 List of Critical Raw Materials for the EU. s.l. : European Commission, 2017.

5. Blengini, Gian Andrea, et al. Study on the EU's List of Critical Raw Materials (2020). s.l. : European Commission, 2020.

6. Stewart, Phil and Shalal, Andrea. Pentagon Seeks Funds to Reduce U.S. Reliance on China's Rare Earth Metals. Reuters. [Online] May 2019. https://www.reuters.com/article/us-china-usa-rareearth-pentagon/pentagon-seeks-funds-to-reduce-u-s-reliance-on-chinas-rare-earth-metals-idUSKCN1SZ2C6.

7. Kubik, Marek. This Breakthrough Lithium Extraction Technology Could Accelerate The Sustainable Energy Transition. PR Newswire. [Online] September 2019. https://www.forbes.com/sites/marekkubik/2019/09/24/this-breakthrough-lithium-extraction-technology-could-accelerate-the-sustainable-energy-transition/#3886312975fc.

8. Coulomb, Renaud, et al. Critical Minerals Today and in 2030: an Analysis of OECD Countries. s.l. : ESRC Centre for Climate Change Economics and Policy, 2015.

9. Bernice Lee, Felix Preston, Jaakko Kooroshy, Rob Bailey and Glada Lahn. Resources Futures. s.l. : Chatham House, 2012.

10. Draft Critical Mineral List—Summary of Methodology and Background Information—U.S. Geological Survey Technical Input Document in Response to Secretarial Order No. 3359. s.l. : U.S. Geological Survey, 2018.

.11. Canadian Critical Minerals List . s.l. : The Department of Natural Resources Canada, 2021.

12. Critical Minerals: A Review of Elemental Trends in Comprehensive Criticality Studies. M.Hayes, Sarah and McCullough, Erin A. s.l. : Resources Policy, 2018, Vol. 59.

13. Advanced Materials for Clean and Sustainable Energy and Mobility. s.l. : The Energy Materials Industrial Research Initiative, 2019.

14. The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future. s.l. : International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank, 2017.

۱۵. طرح شناسایی عناصر و مواد معدنی مورد نیاز در فناوری‌های آینده و بررسی روش‌های استحصال آنها در کشور . ایمیدرو (مشاور: پارک علم و فناوری دانشگاه تهران)، ۱۳۹۶.

۱۶. آینده‌پژوهی توسعه خودروهای برقی و آثار آن بر صنایع معدنی. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۸.

۱۷. آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور - ۱۳۹۹. مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰.

18. Rui-Zhong Hu, Jianming Liu, Mingguo Zhai. Mineral Resources Science in China: A Roadmap to . s.l. : Chinese Academy of Sciences, 2010.

پیوست

پیوست۱. جدول کامل مواد معدنی کلیدی اتحادیه اروپا

ماده خام	تولیدکنندگان اصلی (میانگین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴)	واردکنندگان اصلی به اتحادیه اروپا (میانگین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴)	ماده خام	تولیدکنندگان اصلی (میانگین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴)	واردکنندگان اصلی به اتحادیه اروپا (میانگین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴)
آنتیموان	چین (۴۴%) ویتنام (۱۱%)	چین (۹۰%) ویتنام (۴%)	باریت[1]	چین (۴۴%) هند (۱۸%) مراکش (۱۰%)	چین (۵۳%) مراکش (۳۷%) ترکیه (۱۰%)
بریلیم	آمریکا (۹۰%) چین (۸%)	– [2]	بیسموت	چین (۸۲%) مکزیک (۱۱%) ژاپن (۷%)	چین (۸۲%)
بورات[3]	ترکیه (۳۸%) آمریکا (۲۳%) آرژانتین (۱۲%)	ترکیه (۹۸%)	کبالت	کنگو (۶۴%) چین (۵%) کانادا (۵%)	روسیه (۹۱%) کنگو (۷%)
زغال‌سنگ کک‌شو	چین (۵۴%) استرالیا (۱۵%) آمریکا (۷%)	آمریکا (۳۹%) استرالیا (۳۶%) روسیه (۹%)	فلوئوریت	چین (۶۴%) مکزیک (۱۶%) مغولستان (۵%)	مکزیک (۳۸%) چین (۱۷%)
گالیم[4]	چین (۸۵%) آلمان (۷%) قزاقستان (۵%)	چین (۵۳%) آمریکا (۱۱%) اکراین (۹%)	ژرمانیم	چین (۶۷%) فنلاند (۱۱%) کانادا (۹%)	چین (۶۰%) روسیه (۱۷%) آمریکا (۱۶%)
هافنیم	فرانسه (۴۳%) آمریکا (۴۱%) اکراین (۸%)	کانادا (۶۷%) چین (۳۳%)	هلیم	آمریکا (۷۳%) قطر (۱۲%) الجزایر (۱۰%)	آمریکا (۵۳%) الجزایر (۲۹%) روسیه (۸%)
ایندیم	چین (۵۷%) کره جنوبی (۱۵%) ژاپن (۱۰%)	چین (۴۱%) قزاقستان (۱۹%) کره جنوبی (۱۱%)	منیزیم	چین (۸۷%) آمریکا (۵%)	چین (۹۴%)
گرافیت	چین (۶۹%) هند (۱۲%) برزیل (۸%)	چین (۶۳%) برزیل (۱۳%) نروژ (۷%)	لاستیک طبیعی	تایلند (۳۲%) اندونزی (۲۶%) ویتنام (۸%)	اندونزی (۳۲%) مالزی (۲۰%) تایلند (۱۷%)
نئوبیم	برزیل (۹۰%) کانادا (۱۰%)	برزیل (۷۱%) کانادا (۱۳%)	سنگ فسفات	چین (۴۴%) مراکش (۱۳%) آمریکا (۱۳%)	مراکش (۳۱%) روسیه (۱۸%) سوریه (۱۲%)
فسفر	چین (۵۸%) ویتنام (۱۹%) قزاقستان (۱۳%)	قزاقستان (۷۷%) چین (۱۴%) ویتنام (۸%)	اسکاندیم	چین (۶۶%) روسیه (۲۶%) اکراین (۷%)	روسیه (۶۷%) قزاقستان (۳۳%)

۱. ماده معدنی دارای سولفات باریم.
۲. گزارش نشده است.
۳. بوراتها ترکیبات شیمیایی حاوی اکسید بور با ظرفیت سه مثبت هستند.
۴. گالیم محصول جانبی تولید آلومینیم و روی است. بهترین داده‌های در دسترس و ارائه شده در جدول، ظرفیت تولید را نشان می‌دهد نه تولید واقعی.

ماده خام	تولیدکنندگان اصلی (میانگین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴)	واردکنندگان اصلی به اتحادیه اروپا (میانگین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴)		ماده خام	تولیدکنندگان اصلی (میانگین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴)	واردکنندگان اصلی به اتحادیه اروپا (میانگین بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴)
سیلیسیم	چین (۶۱%) برزیل (۹%) نروژ (۷%)	نروژ (۳۵%) برزیل (۱۸%) چین (۱۸%)		تانتالیم	روآندا (۳۱%) کنگو (۱۹%) برزیل (۱۴%)	نیجریه (۸۱%) روآندا (۱۴%) چین (۵%)
تنگستن	چین (۸۴%) روسیه (۴%)	روسیه (۸۴%) بولیوی (۵%)		وانادیم	چین (۵۳%) آفریقای جنوبی (۲۵٪) روسیه (۲۰%)	روسیه (۷۱%) چین (۱۳%) آفریقای جنوبی (۱۳٪)
فلزات گروه پلاتین[1]	آفریقای جنوبی (۸۳٪) روسیه (۴۶%)	سوئیس (۳۴%) آفریقای جنوبی (۳۱٪)		عناصر نادر خاکی سنگین	چین (۹۵%)	چین (۴۰%) آمریکا (۳۴%) روسیه (۲۵%)
عناصر نادر خاکی سبک	چین (۹۵%)	چین (۴۰%) آمریکا (۳۴%) روسیه (۲۵%)				

Source: "The 2017 List of Critical Raw Materials for the EU", European Commission, (2017).

۱. پلاتین، پالادیم، رودیم، روتنیم، ایریدیم و اوسمیم.

پیوست ۲. آمار ابعاد اقتصادی معادن کشور، شامل موارد تجمیعی در پایان سال ۱۳۹۹ (بخش اول)

ردیف	معدن	ارزش افزوده (میلیون ریال)	مقدار تولید (تن)	ارزش کل تولیدات (میلیون ریال)	ارزش سرمایه‌گذاری (میلیون ریال)
۱	سنگ آهن	۶۸۳,۳۵۳,۷۵۰	۹۴,۶۰۹,۵۳۱	۸۵۳,۹۴۴,۶۲۶	۲۷,۰۹۷,۴۷۹
۲	مجموع غیرآهنی‌ها	۴۵۳,۶۱۵,۸۷۲	۱۵,۳۱۷,۱۵۶	۴۹۳,۵۶۴,۶۴۰	۷,۹۵۸,۱۱۴
۳	مس	۳۹۵,۴۳۵,۷۷۴	۴,۸۰۴,۲۶۱	۴۲۵,۸۳۱,۳۴۶	۳,۸۱۵,۶۶۱
۴	مجموع سنگ، شن و ماسه و...	۷۶,۲۵۳,۴۵۰	۳۱۵,۲۱۵,۴۳۳	۱۰۰,۲۰۴,۳۴۳	۱۳,۴۸۶,۷۹۳
۵	زغال‌سنگ خشک	۲۶,۰۶۲,۶۸۱	۴,۵۴۱,۹۵۲	۳۱,۲۶۰,۸۵۴	۴,۳۴۱,۰۷۴
۶	سرب و روی	۴۲,۸۳۲,۴۵۵	۲,۳۱۷,۱۶۳	۴۸,۹۴۶,۰۴۳	۲,۳۶۸,۲۴۰
۷	طلا	۹,۷۰۳,۶۳۸	۶,۵۶۸,۵۷۹	۱۲,۰۲۳,۵۶۴	۱,۴۶۴,۱۷۵
۸	مجموع مواد معدنی شیمیایی	۶,۲۴۸,۶۳۹	۲,۳۵۳,۹۵۱	۷,۰۷۴,۲۱۷	۷۲۰,۵۴۸
۹	کرومیت	۲,۱۲۵,۶۸۹	۲۵۱,۲۹۲	۲,۷۲۳,۱۳۱	۱۲۹,۴۲۰
۱۰	مجموع سایر مواد معدنی	۵,۴۱۸,۲۸۲	۱۰,۶۳۶,۷۲۶	۶,۶۶۸,۳۶۹	۹۷۰,۹۴۷
۱۱	بوکسیت	۱,۹۷۵,۲۲۷	۱,۱۱۵,۰۰۸	۲,۱۵۸,۳۵۸	۶۰,۵۹۴
۱۲	نمک	۷۷۰,۲۳۴	۳,۶۷۷,۵۰۱	۹۷۷,۷۲۷	۲۹۰,۹۰۳
۱۳	منگنز	۱,۵۰۱,۴۳۰	۲۵۴,۲۳۷	۱,۷۸۵,۷۸۴	۱۰۶,۴۱۰
۱۴	نیکل، آنتیموان و تیتانیم	۴۱,۶۵۸	۶,۶۱۵	۹۶,۴۱۵	۱۳,۶۱۴

مأخذ: «آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور، مرکز آمار ایران - ۱۳۹۹»، مرکز آمار ایران، (۱۴۰۰).

پیوست ۲. آمار ابعاد اقتصادی معادن کشور، شامل موارد تجمیعی در پایان سال ۱۳۹۹ (بخش دوم)

ردیف	معدن	مقدار ذخیره قطعی، پایان سال (تن)	تعداد شاغلان (نفر)	ارزش کل صادرات (هزار دلار)	ارزش سوخت، آب و... مصرف‌شده (میلیون ریال)
۱	مجموع سنگ، شن و ماسه و...	۱۰,۷۸۵,۹۲۳,۴۵۱	۴۵,۹۲۳	۲,۵۳۵	۲,۵۳۱,۷۸۰
۲	سنگ آهن	۲,۶۰۴,۷۵۴,۵۰۲	۲۹,۷۸۳	۳۱,۵۳۳	۲,۰۴۷,۳۱۶
۳	مجموع غیرآهنی‌ها	۲,۸۲۵,۸۶۷,۸۶۶	۲۹,۷۸۳	۱۱۶,۹۲۹	۱,۰۸۰,۳۹۱
۴	مس	۲,۴۰۷,۱۸۰,۱۰۳	۱۷,۱۳۷	۶۶,۱۹۴	۷۱۹,۱۸۹
۵	مجموع مواد معدنی شیمیایی	۴۵۴,۶۴۱,۶۸۱	۱,۷۶۵	۸,۸۴۵	۵۴,۴۹۶
۶	مجموع سایر مواد معدنی	۴۵۴,۰۰۰,۷۷۹	۳,۴۷۲	۰	۱۷۹,۹۴۴
۷	سرب و روی	۲۳۳,۹۴۵,۸۷۷	۴,۲۶۱	۵۰,۵۲۳	۱۵۱,۸۸۲
۸	زغال‌سنگ خشک	۱۵۵,۵۶۲,۴۳۹	۱۱,۹۷۸	۰	۱۴۰,۹۸۲
۹	نمک	۷۴,۷۹۴,۸۰۰	۶۷۴	۰	۲۳,۴۳۶
۱۰	طلا	۱۲۹,۵۶۴,۹۰۴	۱,۹۲۶	۰	۸۴,۷۳۷
۱۱	بوکسیت	۳۵,۹۹۹,۸۲۲	۷۳۴	۰	۴۶,۲۴۵
۱۲	کرومیت	۷,۲۲۴,۱۶۱	۱,۹۴۷	۲۱۳	۵۷,۱۵۲
۱۳	منگنز	۱۱,۱۵۰,۵۳۴	۶۴۶	۰	۱۹,۱۹۹
۱۴	نیکل، آنتیموان و تیتانیم	۸۰۲,۴۶۵	۸۱	۰	۱,۹۸۷

مأخذ: «آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور، مرکز آمار ایران - ۱۳۹۹»، مرکز آمار ایران، (۱۴۰۰).

پیوست ۳. کد تعرفه‌های استخراج شده برای داده‌های جداول ۵ الی ۸

ردیف	زنجیره	محصول	کد تعرفه
۱	آهن و فولاد	سنگ آهن و کنسانتره و گندله	۲۶۰۱
		چدن، آهن و شمش فولادی	۷۲۰۱–۷۲۰۳–۷۲۰۶–۷۲۰۷
		محصولات نورد	۷۲۰۸ تا ۷۲۱۷
		محصولات نورد سرد	۷۲۰۹–۷۲۱۱–۷۲۱۵–۷۲۱۶–۷۲۱۷
		محصولات نورد گرم	۷۲۰۸–۷۲۱۳–۷۲۱۴
		ورق‌های پوشش‌دار	۷۲۱۰–۷۲۱۲
		انواع شمش و محصولات آلیاژی	۷۲۰۲ – ۷۲۱۸ تا ۷۲۲۹
		محصولات نهایی	۷۳۰۱ تا ۷۳۲۶
۲	مس	سنگ و کنسانتره مس	۲۶۰۳
		مس تصفیه نشده و تصفیه شده و پودر مس	۷۴۰۲–۷۴۰۳–۷۴۰۶
		قراضه و ضایعات مس	۷۴۰۴
		محصولات نورد	۷۴۰۷–۷۴۰۹
		محصولات نهایی	۷۴۰۸ – ۷۴۱۰ تا ۷۴۱۹
۳	آلومینیم	سنگ و کنسانتره آلومینیم	۲۶۰۶
		آلومینیم کارنشده و پودر آلومینیم	۷۶۰۱–۷۶۰۳
		قراضه و ضایعات آلومینیم	۷۶۰۲
		محصولات نهایی	۷۶۰۵ – ۷۶۰۷ تا ۷۶۱۶
۴	مواد مصرفی	الکترود زغالی	۸۵۴۵
		انواع فروآلیاژها	۷۲۰۲
		مواد و محصولات نسوز	۶۹۰۲–۶۹۰۳–۶۸۱۱–۳۸۱۶
		پودر آلومینا	۲۸۱۸۲
		انواع زغال‌سنگ	۲۷۰۱۱۹۰۰
		انواع کک	۲۷۰۴۰۰۹۰
		انواع شمش آلومینیم	۷۶۰۱
		کک نفتی	۲۷۰۴۰۰۱۰

مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی

تهران، خیابان پاســـداران، روبروی پـــارک نیاوران (ضلع جنوبی، پلاک ۸۰۲)

تلفن: ۷۵۱۸۳۰۰۰ صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۵۸۵۵ پست الکترونیک: mrc@majles.ir

وب سایت: rc@majles.ir