

بازنگری در نظام اکتشاف معدنی ایران؛ «هدف اکتشافی» جایگزین «مرحله عملیاتی» می‌شود

احسان آشوری، کارشناس حوزه اکتشاف معدن شرکت سرمایه‌گذاری توسعه معادن و فلزات، در یادداشتی با بررسی نظام رسمی اکتشاف مواد معدنی در ایران، بر ضرورت بازنگری در رویکردهای موجود و گذار از نظام عملیات‌محور به یک چارچوب هدف‌محور و تصمیم‌محور تأکید کرد.

به گزارش پایگاه اطلاع رسانی معدن سامانه؛ احسان آشوری در یادداشتی با بررسی ساختار فعلی نظام اکتشاف مواد معدنی در ایران، بر ضرورت گذار از رویکرد عملیات‌محور به رویکردی هدف‌محور و تصمیم‌محور تأکید کرد. متن این یادداشت به شرح زیر است:

بیان مسئله

نظام رسمی اکتشاف مواد معدنی در ایران بر تقسیم فعالیت‌های اکتشافی به چهار مرحله شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف عمومی و اکتشاف تفصیلی استوار است. این تقسیم‌بندی طی چند دهه گذشته مبنای تنظیم برنامه‌های اکتشافی، صدور و تمدید مجوزها، تعیین تعهدات دارندگان پروانه، پذیرش هزینه‌ها و تهیه گزارش‌های رسمی قرار گرفته است. با وجود کارکرد حقوقی و اداری این ساختار، تحولات علمی و حرفه‌ای اکتشاف نشان می‌دهد که تقسیم‌بندی چهارمرحله‌ای به‌تنهایی نمی‌تواند نیازهای مدیریتی فنی، ارزیابی ریسک و تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری در پروژه‌های اکتشافی را تأمین کند.

محدودیت اصلی نظام موجود آن است که مراحل اکتشاف را عمدتاً بر مبنای نوع، مقیاس و حجم عملیات تعریف می‌کند، درحالی‌که در رویکردهای نوین، جایگاه هر فعالیت بر اساس پرسش زمین‌شناسی، فرضیه مورد آزمون، میزان کاهش عدم قطعیت و تصمیمی که باید بر مبنای نتایج آن اتخاذ شود، تعیین می‌شود. زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک، سنجش از دور، ترانسه‌زنی و حفاری، روش‌ها و ابزارهای گردآوری اطلاعات هستند و نمی‌توان هرکدام را به‌طور انحصاری متعلق به یک مرحله مشخص دانست.

در بسیاری از پروژه‌ها، مرز عملیاتی میان شناسایی و پی‌جویی یا میان پی‌جویی و اکتشاف عمومی روشن نیست. ممکن است یک پروژه با انجام مطالعات زمین‌شناسی تفصیلی، ژئوفیزیک زمینی و حتی چند گمانه شناسایی همچنان در مرحله پی‌جویی تلقی شود، درحالی‌که پروژه‌ای دیگر با سطح مشابهی از شناخت، در قالب اکتشاف عمومی تعریف شده باشد. این ابهام نشان می‌دهد که عناوین موجود بیش از آنکه بیانگر بلوغ فنی پروژه و کیفیت شناخت زمین‌شناسی باشند، متأثر از نحوه تنظیم برنامه، مقیاس عملیات و رویه‌های اداری هستند.

تقسیم‌بندی چهارمرحله‌ای همچنین تصویری نسبتاً خطی از اکتشاف ارائه می‌کند، گویی هر پروژه باید به‌ترتیب از شناسایی به پی‌جویی، سپس به اکتشاف عمومی و در نهایت به اکتشاف تفصیلی منتقل شود. در عمل، اکتشاف فرایندی تکرارشونده و مبتنی بر اصلاح مستمر مدل‌ها و فرضیه‌هاست. نتایج یک بررسی ژئوفیزیکی یا یک گمانه اکتشافی ممکن است به تغییر مدل زمین‌شناسی، تعریف هدف جدید، بازگشت به مطالعات ژئوشیمیایی، اصلاح موقعیت حفاری یا کنار گذاشتن فرضیه اولیه منجر شود. ازاین‌رو، حفاری را نباید صرفاً نشانه ورود به مرحله‌ای بالاتر دانست؛ حفاری ابزاری برای آزمون یک فرضیه است و نتیجه آن می‌تواند تأیید، رد یا بازنگری آن فرضیه باشد.

انطباق پیشنهاد با تجارب جهانی

پیشنهاد اصلاح نظام تصمیم‌گیری اکتشافی و جایگزینی منطق عملیات‌محور با منطق هدف‌محور و تصمیم‌محور، با تجارب جهانی و ادبیات معتبر بین‌المللی اکتشاف مطابقت دارد. این انطباق به معنای وجود یک تقسیم‌بندی الزام‌آور و کاملاً یکسان در همه کشورها نیست، بلکه به این معناست که چارچوب‌های معتبر جهانی، اکتشاف را بر مبنای تولید هدف، آزمون مستقیم، ارزیابی کشف و افزایش تدریجی سطح شناخت و اطمینان مدیریت می‌کنند، نه صرفاً براساس فهرستی ثابت از روش‌ها و مقیاس‌های عملیاتی.

هیرونسکی و گروور در مقاله «علم هدف‌یابی» فرایند اکتشاف را شامل تدوین راهبرد کسب‌وکار، ایجاد و به‌کارگیری مدل هدف‌یابی و سپس پیگیری اهداف اولویت‌دار از طریق آشکارسازی مستقیم می‌دانند. در این چارچوب، بخش اصلی فعالیت فنی اکتشاف از دو حوزه مرتبط، شامل پیش‌بینی و هدف‌یابی از یک سو و آشکارسازی مستقیم از سوی دیگر تشکیل می‌شود. این نگاه با تفکیک پیشنهادی میان تولید هدف و آزمون هدف سازگاری مستقیم دارد.

مک‌کویگ، برسفورد و هیرونسکی نیز در چارچوب سیستم‌های کانه‌زایی نشان می‌دهند که شناخت فرایندهای بحرانی تشکیل کانسار باید به عناصر هدف‌یابی و سپس به معیارهای قابل‌شناسایی در داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی ترجمه شود. بر این مبنای، هدف‌یابی فعالیتی صرفاً مبتنی بر هم‌پوشانی آنومالی‌ها نیست، بلکه فرایندی برای تبدیل مدل مفهومی سیستم کانه‌زایی به فرضیه‌های مکانی و قابل‌آزمون است.

کارانزا نیز در چارچوب مدل‌سازی پیش‌بینی اهداف اکتشافی، فرایند اکتشاف را به انتخاب ناحیه، تولید هدف، ارزیابی منبع و تعریف ذخیره تقسیم می‌کند. در این مدل، تولید هدف از مقیاس ناحیه‌ای تا مقیاس محلی ادامه می‌یابد و پس از کشف، ماهیت کار از جست‌وجو و هدف‌یابی به ارزیابی منبع تغییر می‌کند. این تفکیک مؤید آن است که «هدف اکتشافی» و «کانسار کشف‌شده» دو موضوع متفاوت برای مدیریت و تصمیم‌گیری هستند.

استانداردهای بین‌المللی گزارش‌دهی نیز، هرچند برای تعیین مراحل اجرایی اکتشاف تدوین نشده‌اند، میان هدف اکتشافی، نتایج اکتشافی، منبع معدنی و ذخیره معدنی تمایز صریح قائل می‌شوند. قالب بین‌المللی CRIRSCO حداقل استانداردهای پذیرفته‌شده در نظام‌های ملی و منطقه‌ای عضو را در زمینه گزارش‌دهی اهداف اکتشافی، نتایج اکتشافی، منابع معدنی و ذخایر معدنی یکپارچه کرده است. این ساختار نشان می‌دهد که هدف، نتیجه اکتشافی، منبع و ذخیره، وضعیت‌های متفاوتی از شناخت، اطمینان و بلوغ پروژه هستند و نباید در یک عنوان کلی ادغام شوند.

کد JORC استرالیا نیز حداقل استانداردهای گزارش‌دهی نتایج اکتشافی، منابع معدنی و ذخایر معدنی را تعیین کرده و تعاریف خود را با چارچوب CRIRSCO هماهنگ ساخته است. استاندارد PERC اروپا نیز میان نتایج اکتشافی، هدف اکتشافی، منبع و ذخیره تمایز قائل می‌شود و هدف اکتشافی را حالتی می‌داند که پتانسیل یک کانی‌سازی به‌صورت دامنه تناژ و عیار بیان شده، اما اطلاعات هنوز برای برآورد منبع معدنی کافی نیست.

راهنمای بهترین رویه‌های اکتشاف مؤسسه معدن، متالورژی و نفت کانادا نیز به‌جای تحمیل یک توالی ثابت از مراحل عملیاتی، بر طراحی، برنامه‌ریزی، نظارت و اجرای باکیفیت برنامه‌های اکتشافی تأکید می‌کند. در این رویکرد، روش اکتشافی باید متناسب با هدف برنامه، شرایط زمین‌شناسی، کیفیت داده‌های موجود و مسئله‌ای باشد که قرار است حل شود.

بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که چارچوب پیشنهادی از نظر جهت‌گیری و منطق تصمیم‌گیری با تجارب حرفه‌ای جهانی مطابقت دارد، اگرچه ممکن است عناوین و تعداد مراحل در منابع و شرکت‌های مختلف متفاوت باشد. وجه مشترک این تجارب، حرکت از تقسیم‌بندی صرفاً عملیات‌محور به سوی مدیریت مبتنی بر مدل مفهومی، هدف اکتشافی، آزمون مستقیم، کاهش عدم قطعیت و تعریف تدریجی منبع است.

چارچوب پیشنهادی

چارچوب پیشنهادی به‌ترتیب شامل تولید و اولویت‌بندی هدف، آزمون هدف و کشف و نهایتاً ارزیابی کانسار و تعریف منبع می‌شود. مرز میان این سه فرایند بر اساس تغییر ماهیت پرسش اکتشافی، نوع عدم قطعیت و تصمیم موردنیاز تعیین می‌شود، نه صرفاً براساس افزایش حجم عملیات یا تغییر مقیاس مطالعات.

در فرایند تولید و اولویت‌بندی هدف، داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، سنجش‌ازدوری و سایر اطلاعات موجود در چارچوب مدل سیستم کانه‌زایی تلفیق می‌شوند تا نواحی مستعد و اهداف قابل‌آزمون شناسایی و رتبه‌بندی شوند. این فرایند از تعیین راهبرد کالایی (نوع ماده معدنی) و جغرافیایی آغاز می‌شود و انتخاب تیپ کانساری، تحلیل اجزای سیستم کانه‌زایی، ارزیابی داده‌ها، تعیین نواحی مستعد، مقایسه فرضیه‌های جایگزین و طراحی آزمون مستقیم را دربر می‌گیرد.

خروجی این فرایند باید هدفی حفاری‌پذیر باشد که موقعیت، عمق، هندسه احتمالی، مدل زمین‌شناسی، شواهد پشتیبان، داده‌های مخالف، روش آزمون و معیارهای موفقیت و شکست آن به‌طور روشن تعریف شده باشد. صرف وجود یک آنومالی ژئوشیمیایی یا ژئوفیزیکی برای تعریف هدف حفاری‌پذیر کافی نیست، بلکه باید رابطه میان آنومالی، مدل سیستم کانه‌زایی و محل احتمالی تمرکز ماده معدنی توضیح داده شود.

پس از تعریف و اولویت‌بندی هدف، فرایند آزمون هدف و کشف آغاز می‌شود. در این فرایند، فرضیه زمین‌شناسی با استفاده از روش‌های مستقیم، به‌ویژه حفاری، ترانشه‌زنی، نمونه‌برداری و در صورت لزوم ژئوفیزیک درون‌چاهی مورد آزمون قرار می‌گیرد. نتیجه آزمون باید به یکی از تصمیم‌های مشخص شامل رد هدف، تعلیق آن، بازطراحی مدل، انجام آزمون مجدد، ادامه حفاری پیگیری یا اعلام کشف منجر شود.

برخورد با کانی‌سازی در یک گمانه، به‌تنهایی برای اعلام کشف کافی نیست. زمانی می‌توان یک هدف را به کشف ارتقا داد که شواهد موجود از وجود یک پیکره کانی‌دار با ابعاد، عیار، تداوم و موقعیت بالقوه مناسب حمایت کنند و صرف منابع بیشتر برای تعیین ویژگی‌های آن توجیه‌پذیر باشد.

پس از تأیید کشف، فرایند ارزیابی کانسار و تعریف منبع آغاز می‌شود. در این مرحله، پرسش اصلی از وجود یا فقدان کانی‌سازی به تعیین اندازه، هندسه، عیار، تداوم، تغییرپذیری و قابلیت بالقوه بهره‌برداری از پیکره کانی‌دار تغییر می‌کند. حفاری تعیین حدود و پرکننده، مدل‌سازی دامنه‌های زمین‌شناسی و عیاری، تعیین چگالی، مطالعات کانی‌شناسی و متالورژیکی، مطالعات اولیه ژئوتکنیکی و هیدروژئولوژیکی، کنترل کیفیت داده‌ها و برآورد منبع معدنی در این فرایند قرار می‌گیرند.

استقرار نظام دروازه‌های تصمیم

اجرای چارچوب پیشنهادی مستلزم تعریف دروازه‌های رسمی تصمیم میان فرایندهای مختلف است. در نخستین دروازه، تناسب فرصت اکتشافی با راهبرد سازمان، کالای هدف، تیپ کانساری و شرایط عمومی سرمایه‌گذاری ارزیابی می‌شود. در دروازه بعدی، وجود یک فرضیه مشخص و آزمون‌پذیر بررسی می‌شود و پس از آن، آمادگی هدف برای حفاری از نظر موقعیت، عمق، هندسه، کیفیت شواهد و طراحی آزمون مورد تأیید قرار می‌گیرد. پس از اجرای آزمون مستقیم، نتایج برای تأیید یا رد کشف ارزیابی می‌شوند و در صورت اثبات کانی‌سازی معنادار، درباره ورود به ارزیابی کانسار تصمیم‌گیری می‌شود. نهایتاً، کفایت کیفیت، تراکم و قابلیت اتکای داده‌ها برای برآورد و اعلام منبع معدنی مورد بررسی قرار می‌گیرد. عبور از هر دروازه باید مستلزم تهیه گزارش رسمی تصمیم باشد. این گزارش باید فرضیه اصلی، شواهد موافق و مخالف، مدل‌های جایگزین، عدم قطعیت‌های باقی‌مانده، هزینه مرحله بعد، ارزش اطلاعات مورد انتظار، معیارهای توقف و پیشنهاد نهایی را به‌طور شفاف بیان کند. در چنین ساختاری، انجام عملیات نه به دلیل قرارگرفتن پروژه در یک مرحله اداری، بلکه بر اساس نقش آن در کاهش عدم قطعیت و بهبود کیفیت تصمیم توجیه می‌شود.

رابطه چارچوب پیشنهادی با مقررات موجود

اجرای این سیاست لزوماً مستلزم حذف فوری عناوین شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف عمومی و اکتشاف تفصیلی نیست. این عناوین می‌توانند برای صدور و تمدید مجوزها، تعیین تعهدات قانونی، ثبت و پذیرش هزینه‌ها، تهیه گزارش‌های رسمی، تعیین صلاحیت اشخاص و شرکت‌ها و اعمال نظارت حاکمیتی حفظ شوند. بااین‌حال، لازم است میان موقعیت حقوقی و اداری پروژه و وضعیت فنی و تصمیم‌گیری آن تفکیک صورت گیرد.

بر این مبنا، پیشنهاد می‌شود نظام اکتشاف کشور در قالب ساختاری دولایه تنظیم شود. در لایه نخست، طبقه‌بندی قانونی شامل شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف عمومی و اکتشاف تفصیلی باقی بماند و در لایه دوم، مدیریت فنی و سرمایه‌گذاری براساس تولید و اولویت‌بندی هدف، آزمون هدف و کشف و ارزیابی کانسار و تعریف منبع انجام شود.

در این ساختار، هر پروژه می‌تواند هم‌زمان دارای یک وضعیت قانونی و یک وضعیت تصمیم‌گیری باشد. برای نمونه، پروژه‌ای ممکن است از نظر قانونی در مرحله اکتشاف عمومی قرار داشته باشد، اما از نظر فنی هنوز در حال آزمون نخستین هدف حفاری باشد؛ درحالی‌که پروژه دیگری با همان عنوان قانونی، در حال تعیین حدود یک کشف و آماده‌سازی اطلاعات لازم برای برآورد منبع باشد. ثبت این دو وضعیت، امکان مقایسه واقعی‌تر پروژه‌ها و تخصیص منطقی‌تر منابع را فراهم می‌کند.

الزامات اجرایی

برای عملیاتی‌شدن سیاست پیشنهادی، تهیه شناسنامه مستقل برای هر هدف اکتشافی ضروری است. این شناسنامه باید مدل کانساری، فرضیه زمین‌شناسی، موقعیت و هندسه هدف، شواهد مستقیم و غیرمستقیم، داده‌های موافق و مخالف، عدم قطعیت‌های اصلی، روش و هزینه آزمون و معیارهای موفقیت و توقف را دربر گیرد. همچنین باید میان محدوده و هدف اکتشافی تفکیک شود، زیرا یک محدوده ممکن است شامل چند هدف مستقل با مدل‌ها، ریسک‌ها و ارزش‌های متفاوت باشد. رد یک هدف نباید لزوماً به توقف کل محدوده منجر شود و موفقیت یک هدف نیز نباید به سایر اهداف همان محدوده تعمیم داده شود.

تخصیص بودجه باید براساس کیفیت و ارزش نسبی اهداف انجام شود، نه صرفاً بر مبنای سابقه هزینه‌کرد، مدت‌زمان فعالیت یا عنوان مرحله قانونی. مطلوبیت زمین‌شناسی، اندازه و عیار بالقوه، عمق و ضخامت پوشش، کیفیت و استقلال شواهد، ریسک فنی، وضعیت حقوقی و دسترسی، هزینه آزمون، ارزش اطلاعاتی عملیات بعدی و تناسب با راهبرد سازمان می‌توانند مبنای رتبه‌بندی اهداف قرار گیرند. معیارهای توقف نیز باید پیش از اجرای عملیات مشخص شوند تا ادامه پروژه تحت تأثیر هزینه‌های گذشته، تعلق سازمانی به پروژه یا تمایل تیم اجرایی به حفظ فعالیت قرار نگیرد. هر تصمیم برای ادامه، توقف، تعلیق یا تغییر مدل باید مستند شود تا امکان ارزیابی کیفیت تصمیم، یادگیری سازمانی و مقایسه عملکرد پروژه‌ها فراهم آید.

پیشنهاد سیاستی

پیشنهاد می‌شود وزارت صنعت، معدن و تجارت و سازمان نظام مهندسی معدن، بدون حذف فوری ساختار قانونی موجود، دستورالعمل مکملی برای مدیریت فنی و تصمیم‌گیری پروژه‌های اکتشافی تدوین کنند. این دستورالعمل باید تعریف هدف اکتشافی، الزامات شناسنامه هدف، معیارهای بلوغ هدف حفاری‌پذیر، الزامات آزمون مستقیم، معیارهای تأیید کشف، ضوابط ورود به تعریف منبع، دروازه‌های تصمیم و شیوه مستندسازی تصمیم‌های ادامه و توقف را مشخص کند. اجرای آزمایشی این چارچوب می‌تواند ابتدا در شرکت‌های بزرگ معدنی، سازمان‌های توسعه‌ای و طرح‌های اکتشافی دارای بودجه عمومی انجام شود. پس از ارزیابی نتایج، چارچوب اصلاح‌شده می‌تواند به تدریج در نظام تهیه و تصویب برنامه‌های اکتشافی، گزارش‌دهی فنی و ارزیابی عملکرد دارندگان مجوز به کار گرفته شود.

جمع‌بندی

تقسیم‌بندی شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف عمومی و اکتشاف تفصیلی همچنان می‌تواند به‌عنوان چارچوب حقوقی و اداری مورد استفاده قرار گیرد، اما این تقسیم‌بندی نباید معادل کامل نظام تصمیم‌گیری فنی اکتشاف تلقی شود. در پارادایم‌های نوین، اکتشاف فرایندی تکرارشونده برای تولید، آزمون و اصلاح فرضیه‌های زمین‌شناسی و کاهش تدریجی عدم قطعیت است.

چارچوب پیشنهادی به‌ترتیب شامل تولید و اولویت‌بندی هدف، آزمون هدف و کشف و نهایتاً ارزیابی کانسار و تعریف منبع می‌شود. این چارچوب از نظر مفهومی و فرایندی با تجارب جهانی، رویکرد سیستم‌های کانه‌زایی، ادبیات هدف‌یابی و ساختار استانداردهای معتبر بین‌المللی همسو است.

تغییر موردنظر صرفاً تغییر عنوان مراحل نیست، بلکه تغییر واحد مدیریت از عملیات و محدوده به هدف اکتشافی، تغییر معیار پیشرفت از حجم فعالیت به میزان کاهش عدم قطعیت و تغییر مبنای تخصیص منابع از مرحله قانونی به کیفیت هدف و ارزش تصمیم بعدی است. چنین تحولی می‌تواند زمینه‌گذار از اکتشاف عملیات‌محور به اکتشاف مدل‌محور، هدف‌محور و تصمیم‌محور را فراهم سازد.

احسان آشوری، کارشناس حوزه اکتشاف معدن شرکت سرمایه‌گذاری توسعه معادن و فلزات