



"مقاله مروری"

مروری بر راهکارهای معدن‌کاری سبز به منظور حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار

سمیه بهارلویی یانچشمه

استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: somayehbaharlouie@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳)

چکیده

با توسعه و بهره‌برداری از معادن، مشکلات زیست محیطی و پدیده‌های مربوط به آن به تدریج نمایان گردیده که برخی از آن‌ها منجر به نتایج بسیار آسیب‌زا برای جوامع انسانی و طبیعی شده است. بنابراین رابطه متوازن سه فاکتور «استخراج منابع - حفاظت از محیط زیست - توسعه پایدار مناطق معدنی»، موضوع بسیار مهمی است که در توسعه منابع کشورها در قرن بیست و یکم به آن، معدن‌کاری سبز می‌گویند. معدن‌کاری سبز به دنبال کاهش تأثیرات زیست محیطی استخراج معادن با استفاده از فناوری‌های کارآمدتر و کاهش ضایعات است. این رویکرد بر استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، بازیافت و توسعه راه‌حل‌های نوآورانه تأکید دارد. معدن‌کاری سبز امکان بازیابی تمامی مواد معدنی مفید و به حداقل رساندن پسماندهای معدنی را فراهم می‌سازد. در حقیقت هدف این مفهوم، اطمینان از دسترسی به منابع معدنی برای نسل‌های آینده است که نیازمند سرمایه‌گذاری بلند مدت در اکتشاف مواد معدنی با حمایت دولت، تحقیق در سیستم‌های معدنی و توسعه تکنیک‌های اکتشافی است. جوامع، دولت‌ها و سرمایه‌گذاران نباید در آینده به شرکت‌های معدنی غیرپایدار اجازه فعالیت بدهند و صنعت و شرکت‌های معدنی باید با بکارگیری مفاهیم جامع مانند مفهوم معدن سبز، به حل مشکلات اجتماعی، اکولوژیکی و فنی بپردازند تا بتوانند مجوز اجتماعی فعالیت خود را کسب کنند.

واژه‌های کلیدی: معدن‌کاری سبز، محیط زیست، توسعه پایدار

مقدمه

معدن کاری سبز، فناوری تازه‌ای است که شرکت های معدنی زیادی در جهان تلاش می کنند تا با استفاده از آن آسیب های زیست محیطی معدن کاری را کاهش دهند. این فناوری عملکردی کارآمد برای صرفه جویی در بهره برداری از منابع با در نظر گرفتن چشم اندازهای اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی می باشد. به دلیل افزایش توجه به جهت بالا بردن کیفیت محیط زیست و استفاده از تکنیک های معدنکاری سبز طی چند دهه اخیر، در جوامع توسعه یافته، مقررات مربوط به حفاظت از محیط زیست تصویب شده است. در این مقررات تصریح شده است که سطوح اصلی زمین، هوا و آب باید در طول تولید معادن حفظ شود و معادن پس از اتمام فعالیت باید در وضعیت اولیه خود باقی بمانند و به دلیل الزامات سخت گیرانه در زمینه حفاظت از محیط زیست، صنعت معدنکاری سالانه میلیاردها دلار برای رعایت قوانین استاندارد بازیابی محیط زیست هزینه می کند، از جمله بهبود کیفیت هوا، آب و احیای زمین (۱). در گذشته به دلیل بهره برداری خشن نسبت به محیط زیست، عقب ماندگی در زیرساخت ها، توجه به کسب سود کوتاه مدت و بی توجهی به توسعه پایدار، توسعه معدنکاری عملاً منجر به تخریب محیط زیست طبیعی در اکثریت قریب به اتفاق معادن می شد. بر اساس تحقیقات انجام شده، بیش از ۳۰ ایالت در امریکا، زغال سنگ استخراج می کنند که طی آن به ۷ میلیون جریب زمین خسارت وارد می شود (۲) طبق گزارش ها تا سال ۲۰۰۲، بیش از ۳۵۰۰ سد از پسماندهای معدنی ایجاد گردیده که نهایتاً با ریزش این سدها، بسیاری مواد مضر و آسیب به محیط زیست وارد می شود. در آوریل ۱۹۹۸ یکی از

همین سدهای باطله فرو ریخت که طی آن ۵۲۸ میلیون گالن باطله پیریت و یک میلیارد گالن فلزات سنگین به رودخانه ریخته شد و بسیاری مناطق اطراف رودخانه آلوده شدند، بیش از ۷۰۰۰ هکتار زمین آسیب دید و خسارتی بالغ بر ۲۲۵ میلیون دلار تحمیل شد (۳). در کشور ایران نیز، همچون برخی کشورهای در حال توسعه، روند روبه رشد فعالیت های صنعتی و معدنی از یک سو و عدم رعایت الزامات زیست محیطی از سوی دیگر، موجب شده است تا مقادیر هنگفتی از آلاینده های این صنایع به واسطه عواملی چون دفع غیر اصولی ضایعات مراکز صنعتی، عدم استفاده از فناوری های جدید و غیره از طریق پساب ها به محیط زیست وارد شوند. پساب های اسیدی معادن از جمله بدترین مشکلات زیست محیطی ناشی از عملیات معدنکاری و سدهای باطله هستند که اثرات زیان باری بر روی کیفیت آب های سطحی و زیرزمینی دارند. بر طبق مطالعه انجام شده توسط سلحشور و همکاران در سال ۱۳۹۷ (۴)، معدن مس سونگون در استان آذربایجان شرقی، با ظرفیت استخراج سالانه ۱۴ میلیون تن و همچنین با در نظر گرفتن باطله حاصل از فرایند فلوتاسیون که برای فراوری کانسنگ استخراجی به کار برده می شود، سالانه بالغ بر ۳۰ میلیون مترمکعب پساب تولید می کند که این پساب تولیدی حاوی فلزات سنگین و گوگرد است و خطرات زیان باری به اکوسیستم منطقه وارد می کند. بنابراین گرچه منابع معدنی و معدنکاری به عنوان یک فرصت برای پیشرفت و توسعه کشور محسوب می شوند اما عدم توجه به آثار مخرب زیست محیطی آنها، اثرات جبران ناپذیری در پی خواهد داشت. در برخی کشورها همچون کانادا در راستای اجرای سیاست های معدن

تغییرات در اکوسیستم‌ها، سلامت انسان‌ها و فرایندهای طبیعی اثر منفی برجا می‌گذارند. با دنبال کردن مسیر معکوس این عوامل مخرب محیط زیست می‌توان نیروهای محرک آن‌ها را مشخص و سپس با اصلاح این شاخص‌ها می‌توان از تخریب محیط زیست جلوگیری نمود. در این مقاله، با رویکرد مرور نظام مند ادبیات پژوهشی، ابتدا به مطالعه موردی آسیب‌های زیست محیطی ناشی از معدن‌کاری در دو معدن طلای آق دره و سنگ آهن سنگان خواف در ایران می‌پردازیم سپس راه‌کارهایی که امروزه در دنیا خصوصاً در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته در جهت جمع‌آوری اطلاعات توصیفی و کمی‌سازی آن‌ها، و نهایتاً ارائه برنامه‌ای جامع بر مبنای فناوری معدن‌کاری سبز به کار گرفته می‌شود را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهیم.

بحث و بررسی

استفاده از تکنیک معدن‌کاری سبز در یک منطقه معدنی، تنها راه رشد ایمن و سالم صنعت معدن است. این فرایند می‌تواند به جلوگیری یا کاهش تأثیرات منفی زیست محیطی معادن تا حد ممکن کمک کند. در معدن‌کاری سبز به دنبال تحقق اهداف ذکر شده هستیم: ایجاد فناوری نوآورانه در معدن‌کاری پایدار، افزایش بهره‌وری مواد، آب و انرژی به منظور کاهش پیامدهای زیست محیطی، بازیابی حداکثر مقدار مواد معدنی مفید و روشی برای به حداقل رساندن پسماندهای معدنی، دسترسی به منابع معدنی برای نسل‌های آینده، ایجاد روشی برای کاهش پیامدهای زیست محیطی و اجتماعی در تمام مراحل معدن‌کاری، سازماندهی عملیات معدن‌کاری به جهت دستیابی به ایمنی بیش‌تر برای کارکنان، ارائه مدلی برای بازسازی

کاری سبز، شرکت‌های معدنی موظف شده‌اند به بازسازی مناطق معدنی، راه اندازی سیستم‌های ارزیابی محیط زیستی، پیاده‌سازی نوآوری و بهبود مستمر در مدیریت پسماند، مدیریت ریسک‌های اکوسیستم تا هنگام بسته شدن معادن.. شرکت‌های معدنی در استرالیا نیز مطابق قانون، موظف به ارائه یک برنامه جامع برای حفاظت از محیط زیست هستند که می‌بایست توسط دولت تأیید شود. همچنین این کشور صندوقی تحت عنوان «صندوق بسته شدن معدن» راه اندازی کرده که عمدتاً از پرداخت‌های شرکت‌های معدنی برای بازسازی اکولوژیکی تأمین می‌شود و در نهایت اگر شرکت کارهای مربوط به اتمام فرایند معدن‌کاری و بسته شدن تونل را مطابق با استانداردها انجام دهد، وجوه پرداختی بازگردانده خواهد شد (۵). در این مقاله معدن‌کاری سبز به عنوان استراتژی مهمی برای دستیابی به توسعه پایدار و رویکردی به منظور حل مشکلات صنعت معدن و محیط زیست معرفی و تمهیدات اجرایی آن ارائه می‌گردد. CSD یا توسعه پایدار شرکتی، به مفهوم "تعادلی از توسعه اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی که نیازهای حال را برآورده می‌سازد و مانع از تأمین نیازهای نسل‌های آینده نمی‌شود" تعریف می‌شود (۶). از آن جایی که صنعت معدن‌کاری نیز تأثیرات زیست محیطی و اجتماعی بسیار زیادی دارد؛ بنابراین، توجه به حفظ اصول توسعه پایدار می‌تواند این صنعت را در زمینه کاهش انتشار آلاینده‌ها، بهبود کارایی منابع و ایجاد اعتماد در جوامع محلی یاری نماید.

مواد و روش‌ها

معمولاً فعالیت‌های اقتصادی، صنعتی و انسانی به طور مستقیم سبب تخریب محیط زیست می‌شوند. این

سایت‌های معدنی پس از رهاسازی معادن و صنایع معدنی. در جدول ۱، اجزای مؤثر بر معدنکاری سبز به تفصیل آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پیشرفت‌های اقتصادی و اجتماعی، توسعه فناوری و قوانین و مقررات بین‌المللی بر معدنکاری سبز و اجرای آن تأثیر می‌گذارند. آموزش نیز یکی از پارامترهایی است که با توسعه فرهنگ آموزشی و استفاده از کارکنان ماهر می‌تواند نقش مهمی در عملکرد سیستم معدنکاری سبز ایفا کند.

جدول (۱): اجزاء مؤثر بر معدنکاری سبز (۷)

زمینه اثر	اجزاء مؤثر
جامعه و اجتماع	ایجاد شغل، معیشت پایدار، افزایش آگاهی، حضور مردم، ساخت فرهنگ جامعه، مشارکت مدنی و گزارش‌دهی به عموم مردم، تقاضاهای جامعه، سازمان‌های جامعه مدنی (CSOs)
اقتصاد	اقتصاد مبتنی بر دانش، تحرک اقتصادی منطقه‌ای و رشد، توسعه اقتصادی روستایی، رانت‌جویی انحصاری، شرکت‌های معدنی، شفافیت اقتصادی، دیدگاه جزئی‌نگر، فرصت‌های سرمایه‌گذاری، مجوزها و استعلامات
آموزش و توسعه فرهنگی	باورهای آموزشی، پارک‌های تحقیق و توسعه، تعاریف جدید، شفافیت در کار، فرهنگ آموزشی، فضای آموزشی، کارشناس توانمند، تخصص به روز، کارگاه‌های معدنی، نقشه راه علمی، همبستگی و همدلی، بازاریابی، اراده عملی
قوانین و سیاست‌گذاری‌ها	شفافیت قوانین، قانون جامع محیط زیست، سیاست‌گذاری روزانه و استراتژی‌های اجرای مقررات
جامعه بین‌الملل	استانداردهای بین‌المللی و بازار جهانی
مهارت‌ها و دانش تخصصی	آخرین فناوری‌ها

پایش قرار گیرند. با مطالعه دقیق منطقه، نمونه‌برداری، تحلیل نمونه‌ها و تفسیرهای لازم، وضعیت این منابع و میزان آلودگی در هریک از آن‌ها و منبع این آلودگی‌ها به طور کامل تعیین خواهد شد که در نهایت برنامه ریزی‌های آینده می‌تواند بر اساس این نتایج انجام شود. با توجه به حساسیت محیطی نسبتاً بالاتر منطقه معدنی و تأثیرات منفی فعالیت‌های معدنی و صنایع مرتبط بر اکوسیستم منطقه، لازم است که یک مطالعه جامع از تمام مسائل زیست محیطی در منطقه انجام شود و در نهایت، تمامی جنبه‌ها و اطلاعات موجود برای ارزیابی تأثیرات زیست محیطی منطقه مورد توجه قرار گیرد. این نکته مهم است که توجه داشته باشیم ارزیابی نهایی تأثیرات زیست محیطی نشان خواهد داد که چه اقداماتی باید برای کاهش و جلوگیری از

معدنکاری سبز مساله‌ای چند وجهی است. بنابراین نیاز است که تمام جنبه‌های آن مورد مطالعه قرار گیرد و در صورت نادیده گرفتن برخی از مؤلفه‌ها ممکن است آسیب‌های جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست وارد شود و اقدامات اصلاحی را بسیار پیچیده و چالش برانگیز نماید. یکی از الزامات اساسی معدنکاری سبز، ارزیابی تأثیرات زیست محیطی پروژه‌های معدنی است. از جمله منابع زیستی که باید در برنامه کاری سبز به عنوان مطالعات اولیه در نظر گرفته شوند شامل: منابع آب، خاک، گونه‌های گیاهی و جانوری در منطقه، سلامت کارمندان مجتمع‌های معدنی و صنایع مرتبط و همچنین سلامت جوامع بومی و محلی نزدیک به محل معدن هستند. این منابع زیستی همیشه در معرض خطر آلودگی محیطی قرار دارند و باید به طور مداوم مورد

دفع نادرست باطله‌ها و مهندسی نبودن سدهای باطله و در نتیجه نشی آب، آب های منطقه آلوده می‌شود. به عنوان نمونه در شکل ۱، موقعیت قرارگیری کارخانه‌های فرآوری طلا (پویا زرکان و پارس کانی) نسبت به رودخانه آق دره، ۳۲ کیلومتری شمال شهر تکاب و تأثیر آن بر آلودگی انشعاب‌های حوضه آبخیز نشان داده شده است. در این منطقه، تشکیل حجم عظیم باطله‌های حاصل از فعالیت‌های معدنی، آلودگی‌های ناشی از زهاب اسیدی و آزاد شدن عناصری چون آرسنیک، جیوه، کادمیم، سرب و روی و نفوذ آن‌ها به آب‌های زیرزمینی و سطحی و آلودگی هوا باعث از بین رفتن اراضی و منابع طبیعی و تخریب محیط زیست گردیده است (۹). چنین اثراتی جزء لاینفک آثار معدن کاری است. بنابراین در این راستا در کشورهای توسعه یافته، استانداردهایی برای فعالیت‌های معدن کاری و تعیین حدود آلودگی‌های مختلف در نظر گرفته شده است. شناسایی تأثیرات و ارزیابی معدن کاری، اولین مرحله از کنترل عوامل زیست-محیطی معدن کاری است.



شکل (۱): موقعیت قرارگیری کارخانه‌های فرآوری طلا با رودخانه آق دره، شمال تکاب (۹)

ارزیابی آثار زیست‌محیطی (EIA) ابزاری است که می‌تواند برای ارزیابی همه مسائل مربوط به توسعه پایدار مورد استفاده قرار گیرد. تحولات اخیر و بهبود

آلودگی محیط‌زیست در معدن و صنایع مرتبط انجام شود تا عملیات معدنی با هدف معدن کاری سبز انجام گیرد و تأثیرات منفی زیست محیطی و اجتماعی در تمام مراحل عملیات به حداقل برسد. پس از انجام مطالعات ضروری، همچنین لازم است که یک طرح جامع بازسازی به کار گرفته شود که استانداردهای مورد نیاز را برآورده سازد.

مطالعه موردی کمی‌سازی آسیب‌های زیست‌محیطی معادن در ایران

امروزه با توجه به افزایش جمعیت و شدت فشارهای وارده بر منابع طبیعی، بحران‌های زیست محیطی در بخش وسیعی از جهان، از جمله کشور ایران پدیدار گردیده است. اگرچه برخی از این مشکلات، منشأ طبیعی دارند لیکن بسیاری از آن‌ها، ناشی از آگاهی نداشتن از رابطه انسان و محیط و روش‌های نادرست بهره‌برداری از منابع محیطی است (۸). وضعیت معدن کاری ایران در مؤلفه‌های مختلف توسعه پایدار در مقایسه با سایر کشورهای معدنی وضعیت مناسبی ندارد و برخی اقدامات در خصوص شیوه برداشت و مدیریت منابع طبیعی و حفاظت از محیط زیست، باعث تضادها و کشمکش‌های برخاسته از کمبود منابع طبیعی، فروسایبی محیطی، آلودگی‌های آب، منابع طبیعی، منابع زیرزمین و هوا گردیده و زمینه‌های ناامنی را فراهم کرده است. اساساً فعالیت‌های معدنی بر این اصل بنا شده است که ماده معدنی از یک معدن استخراج و پس از جداسازی کانی‌های با ارزش، باطله‌ها و پسماندهای حاصل از فرآوری در جای دیگری انباشته می‌شوند که در نتیجه این عمل، منطقه استخراج معادن باعث آلودگی‌هایی بر محیط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌گردد. گاهی به دلیل

در روش‌های EIA، ارزیابی‌های کمی‌تری را برای تعیین آثار عملیات معدن‌کاری فراهم کرده است. اغلب تفاسیر توسعه پایدار بر اساس ارزیابی‌های ذهنی انجام می‌گیرد. از این رو، فیلیپس (۱۰)، با ارائه یک مدل ریاضی به تعریف اصول توسعه پایدار پرداخته است. این مدل، شاخص‌های توسعه پایدار را به صورت کمی بیان می‌دارد. در مدل ارائه شده به منظور تعیین سطح و ماهیت توسعه پایدار در پروژه‌ها و عملیات‌ها از نتایج EIA به عنوان ورودی مدل استفاده می‌شود (۱۱ و ۱۰). در این روش به منظور کمی کردن مطالعات، اطلاعاتی همچون؛ زمین شناسی، ژئوتکنیک، هیدرولوژی، آب و هوا و ... از منطقه جمع‌آوری می‌شود سپس جهت بررسی تأثیر فعالیت‌های معدنی، فاکتورهای مؤثر و مؤلفه‌های زیست‌محیطی تعیین می‌گردند. فاکتورهای مؤثر شامل آن دسته از عواملی هستند که در طول معدن‌کاری می‌توانند شرایط زیست‌محیطی از پیش موجود را تغییر دهند. به طور مثال ایلخانی و همکاران در سال ۱۳۹۵ (۱۲)، در معدن سنگ آهن سنگان خواف، استان خراسان رضوی، به منظور ارزیابی آثار زیست محیطی، ۱۹ فاکتور مؤثر در منطقه را بررسی و در قالب جدولی ارائه نمودند از جمله؛ تغییر در کاربری منطقه، تداخل با آب‌های سطحی و زیرزمینی، انتشار گرد و غبار، روش تخلیه مواد باطله، پساب‌های خروجی از کارخانه فرآوری و غیره. در این جدول امتیاز اکثر این فاکتورها بین ۰ و ۱۰ تغییر می‌کند که صفر به معنی بدون تأثیر و ۱۰ نشان دهنده وضعیت بحرانی است. برخی فاکتورها مانند مسائل اقتصادی و فرهنگی دارای مقداری بین ۱۰- و ۱۰+ می‌باشند و علامت منفی، اثر مثبت فاکتور را نشان می‌دهد. در مقابل، مؤلفه‌های زیست محیطی

معدن‌کاری نیز بخش‌هایی از محیط زیست هستند که تحت تأثیر فاکتورهای مؤثر قرار می‌گیرند و بیش‌ترین تأثیر را بر تولید ناشی از استخراج دارند. این مؤلفه‌ها به دو گروه؛ مؤلفه‌های محیطی و مؤلفه‌های انسانی تقسیم‌بندی می‌شوند. مؤلفه‌های محیطی عبارتند از: اتمسفر (کیفیت هوا، آرامش صوتی)، بیوسفر (اکولوژی)، هیدروسفر (آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی)، لیتوسفر (کاربری منطقه، تأسیسات سطحی، تأسیسات زیرزمینی، چشم‌انداز و خاک منطقه). مؤلفه‌های انسانی عبارتند از: سلامتی و ایمنی انسان، مسائل اجتماعی و مسائل اقتصادی. نهایتاً به منظور امتیازدهی فاکتورهای مؤثر سناریوها و جدول‌هایی برای هر یک از فاکتورها تهیه می‌شود و جهت امتیازدهی در اختیار کارشناسان و افراد خبره قرار می‌گیرد. در مرحله بعد، تأثیر فاکتورهای مؤثر بر مؤلفه‌های زیست‌محیطی با استفاده از روش ماتریس صورت می‌پذیرد که در آن یک بعد ماتریس، امتیازات مربوط به فاکتورهای مؤثر و بعد دیگر مربوط به مؤلفه‌های زیست‌محیطی است. تأثیر هر فاکتور مؤثر بر هر مؤلفه زیست‌محیطی توسط شش عبارت؛ بی تأثیر، بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد به ترتیب با مقادیر کمی، ۰، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ بیان می‌شود. هنگام محاسبه به منظور نرمال‌سازی ماتریس مقادیر وزنی، عناصر بردار ستونی با هم جمع و هریک از این عناصر بر این مجموع تقسیم می‌شود و با توجه به بازه در نظر گرفته شده برای محدوده امتیاز فاکتورهای مؤثر در عدد ۱۰ ضرب می‌شود. برای به دست آوردن امتیاز تأثیر هر مؤلفه زیست محیطی، باید مقدار به دست آمده برای هر فاکتور مؤثر را در ردیف مربوط به آن در ماتریس مقادیر وزنی ضرب کرد. بدین ترتیب تأثیر هر فاکتور مؤثر بر هر یک از

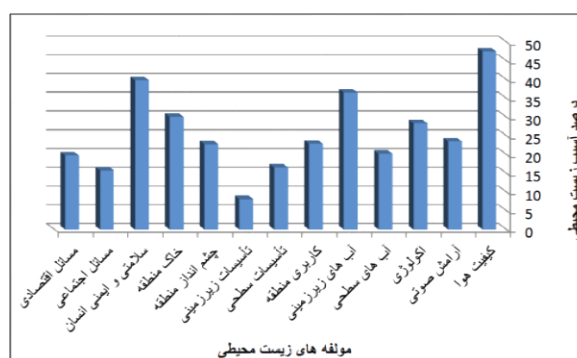
مؤلفه‌های زیست محیطی به دست می‌آید. در ماتریس به دست آمده مجموع اعداد هر ستون آن بیانگر درصد آسیب زیست محیطی برای هر مؤلفه زیست محیطی خواهد بود. همانگونه که در جدول ۲ و شکل ۲ مشاهده می‌شود در معدن سنگ آهن سنگان خواف (۱۲)، مؤلفه‌های کیفیت هوا، سلامتی و ایمنی انسان و

آب‌های زیرزمینی به ترتیب با امتیازهای ۴۷/۵۲، ۳۹/۹۲ و ۳۶/۵۵ درصد، بیش از سایر مؤلفه‌ها دچار آسیب شده‌اند. در نهایت می‌توان با توجه به نتایج ارزیابی آثار زیست محیطی، پایداری در معدن را با مدل‌های ریاضی تعیین نمود (که موضوع مورد بحث ما در این مطالعه نمی‌باشد).

جدول (۲): تأثیرات کلی فاکتورهای مؤثر بر مؤلفه‌های زیست محیطی در معدن سنگ آهن خواف (۱۲)

مؤلفه‌های انسانی (H _{NI})			مؤلفه‌های محیطی (E)									مؤلفه‌های زیست محیطی	فاکتورهای مؤثر
			لیتوسفر					هیدروسفر		بیوسفر	اتمسفر		
مسائل اقتصادی	مسائل اجتماعی	سلامتی و ایمنی انسان	خاک منطقه	چشم انداز منطقه	تأسیسات زیرزمینی	تأسیسات سطحی	کاربری منطقه	آب‌های زیرزمینی	آب‌های سطحی	اکولوژی	آرانش صوتی	کیفیت هوا	
H _{NI3}	H _{NI2}	H _{NI1}	L ₅	L ₄	L ₃	L ₂	L ₁	H ₂	H ₁	B ₁	A ₂	A ₁	
۰	۱/۹۴	۰/۵۴	۲/۸	۲/۷۱	۰	۱	۲/۱۳	۲/۴۹	۳/۷۳	۲/۸	۱/۶۵	۱/۶۵	۱. تغییر در کاربری منطقه
۰	۰	۰	۰	۱/۶۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲. وضعیت رؤیت محدوده معدنی
۰	۰	۱/۱۷	۲/۰۵	۱/۴۷	۰	۰	۱/۱۷	۴/۰۸	۱۲/۲۳	۲/۰۵	۰	۰	۳. تداخل با آب‌های سطحی
۲/۹۳	۲/۵۵	۳/۱۴	۳/۶۶	۰	۲/۹۳	۱/۹۶	۲/۰۸	۴/۸۹	۰	۳/۶۶	۰	۰	۴. تداخل با آب‌های زیرزمینی
۰	۰	۷/۱	۱۲/۵	۰	۰	۰	۰	۱۲/۵	۰	۶/۳	۰	۰	۵. پساب‌های خروجی کارخانه
۳/۷۷	۳/۲۴	۸/۰۶	۰	۳/۳۹	۰	۰	۵/۳۵	۰	۰	۰	۸/۳۶	۱۳/۹۳	۶. افزایش در ترافیک منطقه
۷/۱۷	۴/۱۶	۶/۸۴	۰	۶/۵	۰	۹/۵۶	۵/۱۱	۰	۰	۵/۹۸	۰	۸/۸۴	۷. انتشار گرد و غبار
۰	۰	۷/۱	۰	۰	۰	۰	۳/۶	۸/۳	۰	۰	۰	۱۸/۵	۸. انتشار آلاینده‌های سمی در هوا
۰	۰	۱/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲/۸	۹/۸۶	۰	۹. آلودگی صوتی
۰	۰	۰	۰/۶۳	۰/۹۱	۳	۰/۶۷	۰	۰	۰	۰/۶۳	۰	۰	۱۰. لرزش زمین
۰	۰	۰	۰	۰/۹۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱. پرتاب سنگ
۰	۰	۲/۱۳	۵/۶۴	۰	۰	۰	۱/۰۸	۳/۷۵	۳/۷۵	۳/۷۵	۰	۲/۲۲	۱۲. مواد موجود در باطله
۰	۰	۰	۲/۴۵	۱/۷۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۴۴	۱۳. روش تخلیه مواد باطله
۳/۵۲	۳/۰۶	۰/۶۳	۰	۰	۰	۲/۳۴	۱/۲۵	۰	۰	۰	۲/۹۴	۰	۱۴. میزان اشتغال‌زایی بومی
۰/۸	۰/۹۲	۰/۳۸	۰	۰	۰	۱/۰۶	۰/۵۷	۰/۴۴	۰	۰	۰/۵۹	۰/۷۸	۱۵. کنترل جمعیت
۰/۳	۰/۳۵	۰/۱۴	۰	۰	۰	۰/۲۷	۰/۱۴	۰/۰۸	۰	۰	۰/۲۲	۰	۱۶. توسعه فرهنگی و اجتماعی
۰	۰	۰	۰	۰/۲۴	۱/۶۲	۰	۰/۳۸	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷. ناپایداری فضاهای ایجاد شده
۰/۳۳	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۴۱	۰/۴	۰/۶۶	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۱۸	۰/۵۵	۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۱۶	۱۸. تمهیدات زیست محیطی
۱/۵۸	۰	۱/۱۳	۰	۲/۸۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۹. روشنایی
۱۹/۸	۱۵/۸۱	۳۹/۹۲	۳۰/۱۴	۲۲/۸۲	۸/۲۱	۱۶/۶۱	۲۲/۹۷	۳۶/۵۵	۲۰/۳۶	۲۸/۳۸	۲۳/۵۵	۴۷/۵۲	مجموع

صنایع معدنی، ارزیابی اثرات زیست محیطی و محاسبه شاخص پایداری، ارزیابی چرخه زندگی (LCA) برای تمام محصولات و سیستم‌های تولید، تحلیل داده‌ها، ادغام یافته‌ها، تهیه گزارش پایه و نهایتاً ارائه مدل توسعه پایدار می‌باشد که در زیر هریک از موارد مورد بررسی قرار می‌گیرند.



شکل (۲): ارزیابی درصد آسیب مؤلفه‌های زیست محیطی در معدن سنگ آهن خواف (۱۲)

بررسی‌های مقدماتی و جمع‌آوری اطلاعات

مراحل مطالعات معدنکاری سبز از نظر ملاحظات زیست محیطی و ارزیابی تأثیرات در یک منطقه معدنی شامل مراحل هم‌چون؛ جمع‌آوری، کنترل و بررسی داده‌ها، مطالعات اقلیمی و هواشناسی، مطالعه حوضه آبخیز منطقه، مطالعات سنجش از دور و تهیه نقشه‌های مورد نیاز، مطالعات زمین‌شناسی زیرسطحی مرتبط با آب و محیط‌زیست، بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منابع آب در منطقه مورد مطالعه، بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مطالعه تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری و اکوسیستم منطقه، مطالعه پتانسیل تولید زهاب اسیدی معادن، بررسی وضعیت اجتماعی- اقتصادی و جوامع انسانی بومی در مناطق تحت بررسی، تهیه پایگاه داده اطلاعات کیفیت آب و محیط زیست مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه‌برداری از خطرات زیست محیطی و انتخاب محل برای ساخت محل‌های دفن پسماند و سدهای باطله، تحقیقات در مورد تشکیل آلاینده‌ها در کارخانه‌های کنسانتره، گندله، ذوب و تصفیه بر اساس مدل‌های مهندسی فرایند، تحقیقات در مورد نسبت پوشش سبز (فضای سبز باز) در محدوده معادن و

جمع‌آوری، کنترل و بررسی داده‌ها

این مرحله شامل جمع‌آوری تمامی اطلاعات مربوط به ژئولوژی، هواشناسی، تکنیک، لیتولوژی زیرسطحی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، خطرات زیست محیطی و اثرات بهداشتی در محل یک معدن است.

شرایط اقلیمی و هواشناسی

عملیات معدنکاری به طور مستقیم می‌تواند بر تغییرات اقلیمی منطقه اثر بگذارد. این آثار می‌تواند شامل تخریب اکوسیستم، اثرات منفی بر تنوع زیستی، آزادسازی فلزات سنگین، مواد سمی و ذرات معلق از طریق فرایندهای استخراج و فرآوری باشد که در کنار این‌ها استفاده چشم‌گیر از منابع آبی نیز قابل تأمل است. انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs) در طی فرایندهای ذوب و دیگر فرایندهای بهره‌برداری از آثار منفی معدنکاری است. صنعت معدن به تنهایی مسئول ۴ تا ۷ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی است (۱۳). البته بسیاری از شرکت‌های معدنی در حال کاهش آثار کربنی خود از طریق استفاده بهینه‌تر از سوخت و دیگر منابع انرژی، برقی‌کردن وسایل نقلیه و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر هستند (۱۴). به منظور مطالعات اقلیمی منطقه نیاز است که دما، میزان تبخیر و بارش‌های بلند مدت منطقه، میانگین بارش

مطالعات سنجش از دور

طی عملیات معدن‌کاری به دلیل رهاسازی مقادیر زیادی از پسماندهای جامد (پسماندهای معدنی) و شیرابه‌ها با غلظت‌های زیادی از عناصر سمی بالقوه، اکوسیستم‌های بی‌شماری آسیب می‌بینند. سنگ‌های محلی حاوی طلا اغلب با عناصری همچون آرسنیک، کادمیم، مس، آنتیموان، سرب و روی همراهند و یکی از مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با پسماندهای معدنی، مربوط به پخش و گسترش این عناصر در محیط است. پراکندگی آلاینده‌ها می‌تواند به وسیله روش‌های فیزیکی همچون؛ فرسایش و حمل و نقل توسط باد و باران و یا از طریق تغییرات آن‌ها، تحرکات شیمیایی، حل شدن و حمل و نقل در یک محیط آبی اتفاق بیافتد (۲۲، ۲۱، ۲۰، ۱۹) با وجود رابطه بین بازتابندگی در مطالعات سنجش از دور و نوع خاک از جمله باطله‌های معدنی و وجود عناصر سمی، این امکان را برای ما ایجاد می‌کند تا در حد زیادی هزینه-هزینه، ریسک نمونه‌برداری و زمان بررسی را کاهش دهیم (۲۳). در واقع سنجش از دور امکان پایش تغییرات محیطی ناشی از فعالیت‌های معدنی را برای ما فراهم می‌کند. آلودگی به فلزات سنگین در رسوبات رودها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی (Hyper Spectral) قابل ردیابی و تبدیل به نقشه است و به خوبی می‌توان ارتباط میان ساختار پوشش گیاهی و درجه آلودگی آن به فلزات سنگین را مورد بررسی قرار داد. به طور مثال؛ شاخص‌هایی مانند NDVI (شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی) و یا سایر شاخص-های مرتبط با بازتابندگی خاک همچون SAVI و ARVI کمک می‌کنند تا اثرات آلودگی بر سلامت گیاهان اطراف مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین با

ماهانه و سالانه، فصل‌های بحرانی سال از نظر بارش تعیین گردد و بر اساس آن الگوهای آب و هوایی آینده منطقه و وضعیت زیست‌محیطی آن با توجه به اقلیم پیش‌بینی گردد.

حوضه آبخیز منطقه

حوضه‌های آبخیز عمدتاً تحت فعالیت‌های معدن کاری، بواسطه فلزات کمیاب و متالوئیدها آلوده می‌شوند و این معضل گاهی حتی تا سال‌ها پس از پایان فعالیت معدن ادامه دارد. نرخ بالای پراکندگی فلزات از طریق جریان‌های آبی می‌تواند بر زندگی انسان و اکوسیستم منطقه اثرات منفی داشته باشد (۷۵ و ۱۶ و ۱۵). همچنین به نظر می‌رسد که سرعت جابجایی فلزات با تغییر شرایط اقلیمی افزایش می‌یابد و این امر بر نیاز به درک بهتر و دقیق‌تر سیستم‌های آبی پیچیده تأکید می‌کند (۱۸). به دلیل پیچیدگی کنترل‌های آلودگی فلزات کمیاب، شاخص‌های آلودگی که به طور معمول استفاده می‌شوند، احتمالاً تصویر کاملی از توزیع آلاینده‌ها در یک سیستم حوضه آبخیز ارائه نمی‌دهند. نهایتاً اینکه با تهیه نقشه‌های مربوط به حوضه آبخیز و زیرحوضه‌های منطقه و تعیین مسیرهای آبی، انجام عملیات فیزیوگرافی و تعیین ورودی و خروجی‌های آب، شناسایی مسیر آبراهه‌ها و رواناب‌های سطحی و ترسیم هیدروگراف برای آن‌ها، تعیین پتانسیل خطر سیلاب، تعیین مرزهای حوضه آبخیز و انجام محاسبات تراز آب و تعیین خطرات و ریسک‌های زیست‌محیطی در مقیاس حوضه آبخیز شاید بتوانیم تا حدودی نسبت به آلودگی حوضه آبخیز در منطقه مطالعاتی درک بهتری داشته باشیم.

بررسی وضعیت کیفی منابع آبی

به منظور تدوین یک برنامه جامع به جهت ارزیابی روش‌های تصفیه آب و فاضلاب و برنامه‌ریزی برای دفع پسماندها، همچنین بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی آب ورودی به معادن و کارخانه‌ها و توسعه استراتژی‌های مناسب برای بازیافت آب و افزایش کارایی آب‌های فرایندی نیاز است قبلاً بررسی پارامترهای کیفیت آب همچون pH، EC، Eh، شوری، دما و اکسیژن محلول، غلظت عناصر ردیاب، آنیون‌ها و کاتیون‌ها، مطالعات هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی صورت پذیرد.

ویژگی خاک منطقه

خاک برای مبارزه با تغییرات اقلیمی، حفاظت از سلامت انسان، حفظ تنوع زیستی و اکوسیستم‌ها و تضمین امنیت غذایی بسیار حیاتی است. آلودگی خاک چه به وسیله مواد آلی چه غیرآلی، به اکوسیستم و سلامت انسان آسیب می‌زند. فلزات سنگین در غلظت‌های مضر بسیار زیان‌آور هستند و فعالیت‌های معدنی یکی از منابع اصلی آلودگی خاک به شمار می‌روند. بر اساس مطالعات انجام شده، برخی از عوامل که بر جذب مواد معدنی از جمله سفر تأثیر می‌گذارند، شامل زمان، pH خاک، ماده آلی خاک و اکسیدهای آهن و آلومینیوم موجود در خاک هستند. از سویی دیگر، خاک به طور بالقوه می‌تواند یک مخزن مؤثر برای حذف یون‌های بالقوه خطرناک از محیط زیست باشد. خاک‌ها می‌توانند این کار را از طریق کاهش قابلیت زیستی آلاینده، یعنی در دسترس بودن عنصر برای جذب توسط گیاهان، انجام دهند و بدین ترتیب از ورود آن به زنجیره غذایی جلوگیری کنند و

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجنده‌ها می‌توان تغییرات آلاینده‌های مختلف را در جو نیز اندازه‌گیری نمود. با پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین مدل ارتفاع دیجیتال (DEM)، آماده‌سازی مدل ارتفاع دیجیتال دقیق با استفاده از فناوری UAV و تهیه تصاویر هوایی، تعیین نوع خاک و نفوذپذیری آن، تعیین نوع و چگالی پوشش گیاهی در منطقه، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و UAV برای تهیه شماره منحنی رواناب (CN) و انجام تحلیل‌های ژئوشیمیایی و بافتی می‌توان به خوبی پسماندهای معدنی و سطح آلودگی در منطقه را مشخص کرد.

زمین‌شناسی زیر سطحی

فرآیند کمی‌سازی ژئوفیزیکی برای ویژگی‌یابی هیدروژئولوژیکی در مطالعات محیط‌زیستی بسیار حائز اهمیت است (۲۴). به طوری‌که با مطالعات زیرسطحی و درک سیستم هیدروژئولوژیکی منطقه امکان کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی در سایت‌های تخلیه باطله و گالری‌ها بهتر فراهم می‌گردد. با استفاده از تکنیک‌هایی همچون انکسار لرزه‌ای و MASW (تجزیه و تحلیل موج سطحی چندگانه) امکان شناسایی بهتر ضخامت نهشته‌های مربوط به پسماند-های معدنی نیز فراهم می‌شود. در کنار آن با ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی، شناسایی شکستگی‌ها و گسل‌ها، تعیین مسیرهای جریان سطحی و زیرزمینی و انتقال آلاینده‌های بالقوه از طریق سیستم جریان آب زیرزمینی در منطقه و الحاق آن به سفره‌های آب زیرزمینی می‌توان به کنترل این آلاینده‌ها و اثر تخریبی آن بر سیستم هیدروژئولوژیکی منطقه کمک کرد.

یا با کاهش تحرک آلاینده از ورود آن به منابع آبی از طریق شستشو جلوگیری کنند. این توانایی خاک به طور مؤثر اساساً به ترکیب معدنی خاک و تأثیر عوامل دیگر بر واکنش‌های فیزیکوشیمیایی بین مواد معدنی خاص خاک و آلاینده‌های خاص بستگی دارد. pH خاک که توسط پهن و کامبراتو به عنوان "متغیر اصلی" در شیمی خاک نامیده شده است، نقش مهمی در این فرایندها ایفا می‌کند (۲۵). لذا به منظور شناسایی اینکه یک خاک خاص تا چه حد می‌تواند در جذب و غیر فعال‌سازی آلاینده‌ها مؤثر باشد و از این طریق آن‌ها را از محیط حذف کند، درک شیمی پایه‌ای خاک که در واکنش‌های معدنی خاک و آلاینده‌ها دخیل است، ضروری است. نهایتاً اینکه با ارزیابی نفوذپذیری واحدهای سنگی مختلف، بررسی رادیومتریکی و نقشه برداری از انتشار مواد رادیواکتیو، نمونه‌برداری و تعیین محتوای عناصر ردیاب، آنیون‌ها و کاتیون‌ها در انواع مختلف خاک می‌توان تأثیرات ناشی از گشایش معادن و انتشار آلاینده‌ها از کارخانه‌های موجود را تا حدودی تخمین زد.

تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری

فعالیت‌های معدنی یکی از علل تخریب محیط زیست گیاهان و جانوران است. این عملیات از نظر توزیع و پخش کربن بر اکوسیستم اثر می‌گذارد و این امر هم مستقیماً بر کیفیت زندگی انسان، غنا، فراوانی و تنوع جوامع زیستی مؤثر خواهد بود (۲۶) از مهم‌ترین تأثیرات حذف سبز، تغییر در دسترسی به غذا، آب و زیستگاه حیات وحش است. تأثیرات عناصر سمی بر رفتار حیوانات ناشی از مکانی است که فلزات سنگین از معادن استخراج می‌شوند. این فلزات سنگین در خاک و آب‌های رودخانه، نزدیک به منطقه معدنی،

رسوب می‌کنند. در خاک، فلزات سنگین سمومی ایجاد می‌کنند که منجر به آلودگی خاک می‌شود. در خاک، این آلاینده‌ها به گیاهان و میکروارگانیسم‌هایی آسیب می‌زنند که نقش مهمی در اکوسیستم ایفا می‌کنند. همچنین حیات وحش تحت تأثیر این سموم، دچار جهش و ناهنجاری در سیستم زیستی خود می‌شود. قابل ذکر است در حالیکه برخی گونه‌ها در برابر این اختلالات انسانی مقاوم هستند، برخی دیگر به طور کامل در منطقه آلوده، ناپدید می‌شوند (۲۷). از سویی دیگر، انفجار مین و آتش‌بار نیز مشکلات جدی برای حیواناتی ایجاد می‌کنند که به صدا حساس هستند و این موضوع بر روند تولیدمثل آن‌ها نیز مؤثر خواهد بود (۲۸) و نتیجه این می‌شود که حیوانات به محیط دیگری مهاجرت می‌کنند و به راحتی در معرض انواع مختلفی از حیوانات شکارچی قرار می‌گیرند (۲۹). از دیگر آثار منفی فرایند معدن‌کاری، تعداد بالای برش‌ها در توده‌های سنگی است، این برش‌ها تأثیرات منفی بر پوشش گیاهی طبیعی ایجاد می‌کنند مانند: pH پایین، تمرکز فلزات سمی، ظرفیت پایین نگهداری آب و سطوح پایین مواد مغذی گیاهی (۳۰). بنابراین شناسایی گونه‌های گیاهی جاذب آلودگی در منطقه، نمونه‌برداری از آن‌ها به جهت تخمین غلظت فلزات سنگین، شناسایی تنوع جانوری و تعیین استراتژی‌های کنترلی به منظور کاهش آسیب به اکوسیستم گیاهی و جانوری، از جمله راه‌کارهایی است که در معدن‌کاری سبز انجام می‌گیرد.

پتانسیل تولید زهاب اسیدی معادن (AMD)

آب زهکشی اسیدی معدن (AMD) زمانی تشکیل می‌شود که مواد معدنی سولفیدی در عمق زمین در طول استخراج معادن و دیگر حفاری‌های بزرگ در

معرض آب و اکسیژن قرار می گیرند. با قرار گرفتن در معرض این عوامل، بیش تر مواد معدنی سولفیدی اکسید شده و منجر به تولید اسید سولفوریک، یون های فلزی و سولفات می شوند که اگر درمان نشوند، به آب های سطحی یا زیرزمینی وارد می شوند (۳۱). pH این آب های اسیدی بین ۲ تا ۸ متغیر است. با ورود AMD به آب های سطحی بدلیل واکنش مواد معدنی سولفیدی، منجر به آزاد شدن اسید سولفوریک و فلزات سنگین در محیط می شود که این ترکیب سمی می تواند به شدت به اکوسیستم ها آسیب برساند به طوریکه این آب برای مصارف انسانی و کشاورزی غیرقابل استفاده شود (۳۲-۳۳). بزرگ ترین منبع ورود آب اسیدی معادن (AMD) به جوی ها و دریاچه ها، زمین های معدنی متروکه ای است که استخراج شده و بدون بازسازی رها شده اند (۳۴). موارد حاوی سولفید در سطح زمین رها شده اند و بدون بازسازی، به تولید اسید معدن (AMD) ادامه می دهند و بدین ترتیب یون های فلزی و اسید سولفوریک را به محیط زیست آزاد می کنند. امروزه برای مقابله با این تخلیه های مشکل ساز، بازسازی و درمان به کار گرفته شده است که در طول ۴۰ سال گذشته به طور قابل توجهی مقدار آب های اسیدی معدن (AMD) را به رودخانه ها کاهش داده است (۳۵-۳۶). نوع درمان به ترکیب AMD و سطح اسیدیته، ترکیب فلزی و غلظت یک منبع AMD مشخص، به نوع و مقدار کانی های سولفیدی (تولیدکننده اسید) و کانی های خنثی کننده اسید (کربناتی) موجود در سنگ های رخنمون یافته بستگی دارد (۳۶،۳۷). محتوای کربنات پوششی زمین تعیین می کند که آیا پتانسیل خنثی سازی یا پایه کافی برای مقابله با اسیدی که از اکسیداسیون سولفید تولید شده

است، وجود دارد یا خیر. از میان انواع مختلف ترکیبات خنثی کننده اسید که در سنگ ها وجود دارند، تنها کربنات ها (و برخی از خاک ها) به مقدار کافی وجود دارند تا به طور مؤثر سنگ های تولیدکننده اسید را خنثی کنند. البته که نرخ واکنش ها یا سینتیک این مواد بسیار مهم است. به عنوان مثال، اکسیداسیون سولفید معمولاً به سرعت انجام می شود در حالی که انحلال سنگ آهک کندتر است و برای واکنش سریع به شرایط اسیدی نیاز دارد. بنابراین ارزیابی ویژگی های فیزیکوشیمیایی واحدهای زمین شناسی و سنگ های باطله و مطالعه پتانسیل تولید اسید در دپوی پسماندها و بکارگیری استراتژی های نظارت و کنترل برای محدود کردن تولید زهاب اسیدی معدن و پیشنهاد رویه های عملیاتی به منظور کاهش آسیب به محیط زیست از جمله ملزومات کنترل آسیب های معدن کاری به محیط زیست است.

وضعیت اجتماعی - اقتصادی و جوامع انسانی بومی

دولت ها و شرکت های معدنی اغلب جنبه های اجتماعی تعطیلی معادن و اهمیت و پیچیدگی آن ها را نسبت به مسائل مالی، زیست محیطی و فنی تعطیلی معادن دست کم می گیرند (۳۸). ابعاد اجتماعی استخراج منابع همواره چالش هایی را برای صنایع استخراجی به همراه داشته است. این ابعاد شامل ملاحظات جنسیتی، حقوق بشر، توسعه انسانی و میراث فرهنگی می باشند. این ریسک ها و چالش ها به ویژه در پایان چرخه عمر معدن شدت بیشتری پیدا می کنند، زمانی که چالش های متعددی همزمان می شوند. تأثیرات اجتماعی تعطیلی معادن معمولاً به سطح وابستگی محلی به استخراج منابع مرتبط است

ترین مدل را برای هر معدن با ویژگی‌های خاص خود ارائه نمود.

انتخاب مناسب محل دفن پسماند و سدهای باطله

زهکشی معادن از اصلی‌ترین پسماندهای مایع هستند. از آنجا که معمولاً از آب برای فرآوری سنگ معدن استفاده می‌شود، پسماندهای مایع و جامد اغلب در برنامه‌ریزی دفع پسماند به‌طور مشترک در نظر گرفته می‌شوند. آلاینده‌های زیست‌محیطی در هر دو نوع پسماند جامد و مایع ممکن است شامل فلزات سنگین و نمک‌های فلزی، مواد شیمیایی فرآیندی که برای بازیابی مواد معدنی استفاده می‌شوند (مانند سیانید یا جیوه) و سایر آلودگی‌ها در سنگ معدن (مانند آرسنیک و سلنیوم) باشد. غالباً تجمعات باطله ممکن است به آلودگی از طریق سرریز آب‌های آلوده به آبراه‌های اطراف کمک کنند. در برخی موارد، شکست فاجعه‌بار سدهای باطله موجب مسدود شدن جویبارها و پوشاندن سواحل آن‌ها با سیلابی از مواد ریز آسیاب شده است و در بدترین حالت، فروریختن سدهای باطله باعث آسیب‌های گسترده‌ای به زمین‌ها و همچنین مرگ و میر انسان‌ها شده است. ذرات معلق در هوا که از توده‌های سرباره و برکه‌های باطله به هوا می‌روند نیز از دیگر مواد مضر است که باعث آلودگی اکوسیستم می‌گردد. در متن ۱۹۳۴ "تکنیک‌ها و تمدن"، لوئیس مامفورد ارتباطی بین معدن‌کاری و استعمار تاریخی طبیعت و انسان برقرار می‌کند. برای مامفورد، جستجوی مواد معدنی نمایان‌گر ترک محیط ارگانیک به نفع قلمرو غیر ارگانیک و زیرزمینی است؛ در نتیجه، پسماندهای ناشی از معدن‌کاری و متالورژی، جهان طبیعی در سطح را نابود می‌کند. به عنوان مثال، در معدن اوک تیدی در پاپوا گینه نو، دفع غیرقابل

(۳۹) و ذینفعان انتظار دارند که شرکت‌های معدنی به‌طور پیشگیرانه به این تأثیرات اجتماعی رسیدگی کنند. متأسفانه، صنعت معدن هنوز نتوانسته است قابلیت‌های لازم برای عملکرد خوب اجتماعی را به منظور کاهش مداوم ریسک‌های اجتماعی ایجاد کند. در نتیجه، تأثیرات اجتماعی تعطیلی معادن می‌تواند منجر به بی‌تفاوتی، بیگانگی و ناپایداری اجتماعی شود. برای مثال، بسیاری از معدنچیان زغال‌سنگ در بریتانیا زمانی که معادن تعطیل شدند، احساس شدیدی از انزوا و از دست دادن هویت را تجربه کردند و این از دست دادن هویت به این دلیل بود که محل کار آن‌ها ساختارهای اجتماعی را فراهم کرده بود که به عنوان مرکزی برای روابط خانوادگی، محلی و طبقاتی عمل می‌کرد (۴۰). هر چند احتمال آن کم است که افراد و گروه‌های اجتماعی در دوره‌های انتقال، سختی‌های اقتصادی-اجتماعی یکسانی را تجربه کنند ولیکن به طور کلی هنوز توجه کمی به اثرات اقتصادی-اجتماعی تعطیلی معادن صورت می‌گیرد. نهایتاً اینکه به جهت انجام فرایند معدن‌کاری سبز می‌بایست ارزیابی وضعیت اجتماعی - اقتصادی جوامع انسانی محلی، جمع‌آوری اطلاعات لازم درباره مشاغل، توزیع جمعیت، درآمد نسبی و معیشت جوامع محلی و برنامه‌ریزی و ارائه راه‌حلی برای تعامل سازنده بین جوامع محلی و مجتمع‌های صنعتی و معدنی را جزء اولویت‌ها قرار داد.

تهیه پایگاه داده مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی

در این مرحله لازم است که تمام لایه‌های داده مورد نیاز برای برنامه جامع معدن‌کاری سبز جمع‌آوری، دیجیتایز و به نرم افزار GIS انتقال داده شود. تا در زمان لازم با مدیریت پایگاه داده بتوان بهترین و مناسب

کنترل باطله‌ها و تزریق آن به رودخانه اوک تیدی اکوسیستم محلی و معیشت ساکنان بومی منطقه را نابود کرد و باعث اعتراضات محلی و بین‌المللی و همچنین پرونده‌های قضایی بعدی شد. در شرایطی که برخی معادن به دلایل مختلف از جمله مسائل مالی تعطیل و رها می‌شوند، مواد زائد انباشته شده همچنان خطرات زیست محیطی را به دنبال دارد و برآورد می‌شود که میلیون‌ها سایت معدن رها و متروکه در سراسر جهان، به عنوان یک خطر بالقوه زیست محیطی وجود دارند. لازم به ذکر است همیشه معادن بزرگ معضل زیست محیطی نبوده بلکه در کشورهای در حال توسعه، میلیون‌ها معدنچی غیرمجاز درگیر استخراج‌های کوچک و سنتی هستند که هریک سهم قابل توجهی در آلودگی آب دارند. با انجام مطالعات یکپارچه به منظور شناسایی مکان‌های آلوده و دیگر مناطق با ریسک بالا، همچنین نقشه برداری از مناطق آسیب پذیر و با استفاده از تحلیل فضایی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌توان محل مناسبی را برای ساخت جایگاه‌های دفن پسماند جدید و مکان‌های دفن باطله و کارخانه‌ها در آینده ارائه داد.

آلاینده‌های مربوط به کارخانه‌های کنسانتره، گندله، ذوب و تصفیه

فلزات سنگین اصطلاحی است که معمولاً در کنار لغات آلودگی و پتانسیل سمی یا اکوتوکسیک بکار می‌رود و به گروه خاصی از عناصر با خاصیت فلزی، نیمه فلزی اطلاق می‌گردد. از جمله این فلزات و نیمه فلزات با اهمیت زیست محیطی می‌توان به آزبست، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr)، مس (Cu)، سرب (Pb)، جیوه (Hg)، نیکل (Ni)، سلنیوم (Se)، مولیبدن (Mo)،

روی (Zn)، تلوریم (Tl)، آنتیموان (Sb) اشاره داشت (۴۱). فرایند مدرنیزاسیون سریع در چین منجر به نگرانی‌های قابل توجهی در مورد مسمومیت زمین‌های کشاورزی به وسیله فلزات سنگین (HMs) شده است. در چین، درصد قابل توجهی از خاک‌های آلوده کشاورزی، که حدود ۸۲ درصد تخمین زده می‌شود، شامل آلاینده‌های معدنی سمی مانند سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr) و آرسنیک (As) هستند (۲۴و۴۳). دره شیانگ‌جیانگ (Xiangjiang Valley)

منطقه‌ای مهم در استان هونان چین است که نقش حیاتی در استخراج، فرآوری و تصفیه فلزات غیرآهنی و نادر ایفا می‌کند. این منطقه همچنین یک قطب حیاتی برای فعالیت‌های مختلفی مانند کشاورزی، تأمین آب برای مصارف خانگی و آبیاری، حمل و نقل و ماهی‌گیری به شمار می‌رود (۴۴). با این حال، آب نزدیک به کوره ذوب دارای آلودگی قابل توجهی است که سطوح بالایی از فلزات سنگین (HMs) را در خود نشان می‌دهد. علاوه بر این، آب چاه‌های تأثیرپذیر در منطقه نیز ممکن است آلوده شده باشند. بنابراین با نمونه‌برداری از نقاط مختلف سیستم فرآوری کنسانتره و گندله، ذوب و تصفیه و بررسی وضعیت سیستم‌های تولید پسماند و روش‌های دفع پسماند و ارزیابی وضعیت سلامت کارکنان در کارخانه‌ها در مناطق با ریسک بالا می‌توان در مسیر شناخت شاخص‌های آلودگی در معدنکاری سبز گام برداشت.

گسترش فضای سبز در محدوده معادن

شیمی خاک، بافت خاک و دسترسی به جوامع میکروبی مرتبط با گیاهان که به تحمل، نگهداری و انتقال فلزات (یا شبه فلزات) توسط گیاهان کمک می کنند (۴۷، ۴۸). در این راستا، انتخاب مناسب ترین گونه ها و استفاده از گیاهان بومی به دلیل قابلیت سازگاری بالا و حفظ مجموعه گیاهی طبیعی مناطق، ترجیح داده می شود. نتیجتاً اینکه، آگاهی از دینامیک پوشش گیاهی در محیط های معدنی می تواند اطلاعات ضروری برای برنامه ریزی طرح های بهسازی کارآمد و مؤثری را فراهم کند.

ارزیابی اثرات زیست محیطی برای تحقق توسعه پایدار

ارزیابی اثرات زیست محیطی (EIA) روشی است که در آن اثرات ناشی از اجرای یک پروژه یا عملیات بر محیط زیست بررسی و پیش بینی می شود تا در هنگام اجرای پروژه، با توجه به شناخت وضعیت موجود و نوع اثرات، عملیات به صورتی انجام گیرد که کم ترین اثر مخرب را بر محیط زیست وارد کند؛ به عبارت دیگر، بررسی، تجزیه و تحلیل و ارزیابی فعالیت های برنامه ریزی شده برای اطمینان از صحت زیست محیطی و توسعه پایدار در هر منطقه، ارزیابی آثار زیست محیطی (EIA) نامیده می شود. در واقع، EIA ابزار اصلی دستیابی به هدف «معدن کاری پایدار» است (۴۹) و به دلیل توانایی آن در ارزیابی شاخص های محیطی، اجتماعی و اقتصادی از دیدگاه محققان مختلف (۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳) ابزار مناسبی برای تحقق «توسعه پایدار» به شمار می رود. EIA شامل روش هایی مانند چک لیست، ماتریس، شبکه همپوشی، ارزیابی سریع و ... است. از میان روش های مختلفی که در

با توجه به اینکه سایت های معدنی اغلب در نزدیکی شهرها و روستاها قرار دارند، سیاست گذاری های مدیریت زمین می بایست طراحی گردد تا سلامت کاکنان به عنوان یک مسئله اولویت دار حفظ شود. همچنین این موضوع می بایست در راستای توافق نامه سبز اروپا و استراتژی تنوع زیستی اتحادیه اروپا برای سال ۲۰۳۰ انجام گیرد (۴۵). این توافق نامه اروپایی در زمینه جنگل کاری، احیای جنگل و کاشت درختان به منظور حمایت از تنوع زیستی، شامل اصول و روش هایی است که هدف آن ارتقاء سلامت و کارایی جنگل ها در راستای حفظ تنوع زیستی و افزایش ظرفیت جذب کربن است. این راهنماها به ویژه بر روی ترکیب فعالیت های جنگل کاری با کشاورزی و مدیریت پایدار جنگل ها تمرکز دارند تا به بهبود وضعیت اکوسیستم ها و افزایش مزایای اجتماعی-اقتصادی کمک کنند (۴۶). بنابراین، در چارچوب اقتصاد سبز-گردشی، احیای سایت های معدنی امروزه به خوبی مورد حمایت جامعه علمی قرار دارد و در بیست سال گذشته، تلاش های مهمی در منطقه مدیترانه انجام شده است (۴۷). برای تحقق این امر و روشن تر شدن تعاملات پیچیده بین گیاهان و مواد خاک/پسماندها، نیاز به یک رویکرد چندرشته ای است که شامل ژئوشیمی، بیوشیمی، ژئوبوتانی، مهندسی محیط زیست، کانی شناسی و میکروبیولوژی می باشد. به عنوان مثال، حتی اگر بسیاری از گیاهان بتوانند فلزات (لوید) بسیار سمی را جذب کنند، تنها گیاهان خاصی قادر به جذب غلظت های بالایی از آن ها و انتقال آن ها از ریشه به آوندها و سپس به سلول های برگ هستند. با این حال، دسترسی زیستی فلزات (یا شبه فلزات) به عوامل متعددی بستگی دارد، از جمله

جدول (۳): معیارهای ارزیابی RIAM (۵۶)

معیارها	مقیاس	توصیف
A ₁	۴	اهمیت ملی و بین المللی
	۳	اهمیت منطقه ای و محلی
	۲	اهمیت برای مناطق حاشیه محل
	۱	فقط دارای اهمیت برای شرایط محلی
	۰	بدون اهمیت
A ₂	۳	اثر بسیار زیاد
	۲	اثر معنی دار مثبت
	۱	اثر مثبت
	۰	بی اثر
	-۱	اثر منفی
	-۲	اثر معنی دار منفی
	-۳	اثر بسیار منفی
	۱	بدون تغییر
	۲	موقتی
	۳	دائمی
B ₁	۱	بدون تغییر
	۲	برگشت پذیری
	۳	برگشت ناپذیر
B ₂	۱	بدون اثر
	۲	اثر غیرتجمعی (مفرد)
	۳	اثرات تجمعی و تشدید شونده

جدول (۴): تبدیل امتیازات محیط زیستی به دامنه‌ها (۵۶)

توصیف محدوده	محدوده تغییرات	امتیاز محیط زیستی
اثرات بسیار مثبت	+E	+۷۲ تا +۱۰۸
اثرات مثبت معنی دار	+D	+۳۶ تا +۷۱
اثرات مثبت متوسط	+C	+۱۹ تا +۳۵
اثرات مثبت	+B	+۱۰ تا +۱۸
اثرات مثبت اندک	+A	+۱ تا +۹
بدون تغییر	N	۰
اثرات منفی اندک	-A	-۱ تا -۹
اثرات منفی	-B	-۱۰ تا -۱۸
اثرات منفی متوسط	-C	-۱۹ تا -۳۵
اثرات منفی معنی دار	-D	-۳۶ تا -۷۱
اثرات بسیار منفی	-E	-۷۲ تا -۱۰۸

زمینه ارزیابی اثرات محیط زیستی پروژه‌های گوناگون پیشنهاد و در مطالعات مختلف از آن استفاده شده، روش موسوم به «ارزیابی سریع اثرات (RIAM)» یا به اختصار «ماتریس سریع» است که در آثار بسیاری از محققان مختلف (۵۴ و ۵۵) مشاهده می‌شود (جدول ۳). نهایتاً اینکه برای تعیین وضعیت کلی پروژه از لحاظ سهم اثرات مثبت و منفی و تعیین وضعیت نهایی پایداری و ناپایداری آن، از روشی به نام «مدل ریاضی فیلیپس (۴۹)» استفاده می‌گردد. در بین روش‌های گوناگون ارزیابی پیامدهای محیط زیستی (۵۵)، ماتریس سریع ارزیابی پیامد (RIAM) که به ماتریس سریع پاستاکیا نیز معروف است (۵۶)، می‌تواند به صورت عینی و مفهومی به ارزیابی و مقایسه گزینه‌های موجود در طرح‌ها و پروژه‌ها بپردازد و نتایج را به صورت شفاف و گویا در قالب جدول و نمودار نمایش دهد (۵۶ و ۵۵). در روش RIAM، آثار زیست محیطی معدن بر هر یک از محیط‌های چهارگانه شاخص‌های فیزیکی- شیمیایی، بیولوژیکی- اکولوژیکی، اجتماعی- فرهنگی و اقتصادی- فنی ارزش‌گذاری می‌شوند. برای هر یک از اجزای محیط زیست، یک نمره با استفاده از روش ماتریس سریع منظور می‌گردد. پس از انجام ارزیابی بر اساس معیارهای این ماتریس، دامنه و اهمیت اثرات مشخص می‌شود (۵۷). جدول ۳ و ۴ به ترتیب بیانگر معیارهای ارزیابی RIAM و تبدیل امتیازات محیط زیستی به دامنه‌ها در روش پاستاکیا (۵۶) می‌باشد.

ارزیابی چرخه حیات (LCA)

ارزیابی چرخه حیات (LCA) یک رویکرد جامع است که تمام تأثیرات محیطی بالقوه‌ای را که توسط یک فعالیت ایجاد می‌شود، در نظر می‌گیرد و می‌تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند در جهت ارزیابی و کاهش اثرات زیست‌محیطی محصولات یا فرایندها در طول کل چرخه حیات آن‌ها عمل نماید و نهایتاً این روش می‌تواند به کنترل آلودگی محیط زیست ناشی از فرایند معدن‌کاری کمک کند. با شناسایی نقاط بحرانی، بهینه سازی فرایندها، انتخاب مواد اولیه پایدارتر و مدیریت پسماند بهتر و کارآمدتر با استفاده از نتایج LCA می‌توان انتشار آلاینده‌ها را کاهش داد. این تکنیک اگرچه در ابتدا بر روی محصولات و خدمات متمرکز بود، دامنه کاربرد آن به تازگی به سازمان‌ها، از جمله سایت‌های خاص گسترش یافته است (۵۸). در ارزیابی چرخه حیات، پارامترهای مختلفی برای کنترل و کاهش آلودگی محیط زیست مورد بررسی قرار می‌گیرند از جمله: میزان انرژی مصرفی در تولید، استفاده و دفع یک محصول، میزان آب مصرف شده، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، میزان انتشار آلاینده‌های مختلف هوا، آب و خاک (ذرات معلق، نیتروژن، گوگرد، مواد سمی)، میزان تولید پسماندهای خطرناک و میزان استفاده از منابع تجدید ناپذیر. در ارزیابی چرخه حیات (LCA) به تمام تأثیرات بالقوه، چه مستقیم و چه غیرمستقیم، محلی یا جهانی، توجه می‌گردد. اگرچه که تا به امروز، استفاده از LCA در تحلیل آثار زیست‌محیطی (EIA) رایج نبوده است و این استفاده محدود از ارزیابی چرخه حیات (LCA) شاید تا حد زیادی به دلیل دشواری در کمی‌سازی ورودی و خروجی اطلاعات بوده باشد (۵۹، ۶۰). نهایتاً اینکه

با انجام بازدیدهای میدانی، انجام نمونه‌برداری و دیجیتالیز کردن داده‌ها در نرم‌افزارهای LCA مانند نرم-افزار پیشرفته Sima Pro، می‌توان تأثیرات محیطی محصولات معدنی را از زمین تا مصرف، مدل‌سازی و ارزیابی کرد.

توسعه برنامه‌های جامع مدیریت سبز در معادن و صنایع معدنی

در بخش بالا، تا حدودی به شناسایی وضعیت کنونی، موانع و مشکلات پیش‌رو در طراحی فناوری معدن‌کاری سبز پرداخته شد. در این قسمت به ارائه برنامه‌ای جامع بر مبنای فناوری معدن‌کاری سبز می‌پردازیم.

یکی از این راه‌کارها؛ - توسعه برنامه جامع آب است. شناسایی آب‌های فرایندی در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی، ارزیابی روش‌های تصفیه آب و فاضلاب و برنامه‌ریزی برای دفع پسماندها، نمونه-برداری مستمر و تعیین ویژگی‌های کمی و کیفی آب ورودی به معادن و کارخانه‌ها، توسعه استراتژی‌های مناسب برای بازیافت آب و افزایش کارایی آب‌های فرایندی، محاسبه مقدار آب مجاز مورد استفاده و طراحی یک استراتژی جامع برای مصرف آب و بازیافت در آینده از جمله راهکارهایی است که می‌توان در راستای مدیریت آب رقم زد. مورد دیگر؛ - توسعه یک برنامه جامع برای مدیریت پسماند است که در این بخش نیز می‌توان با تعیین دقیق ویژگی‌های کمی و کیفی پسماندهای تولید شده و روش‌های دفع پساب‌های صنعتی و انتخاب محل برای باطله‌ها و پسماندهای معدنی، همچنین توسعه سناریوهای ممکن برای مقابله با اثرات بالقوه بهداشتی پسماندها و برنامه-های جامع بازیافت به این مهم دست یافت. مورد سوم؛

- تهیه برنامه‌ای جامع برای مدیریت فضاهاى سبز است. بررسی استراتژی‌های بهبود فضاهاى سبز موجود بر اساس استانداردهای سازمان محیط زیست و شناسایی انواع گیاهان مناسب برای رشد در توسعه فضاهاى سبز می‌تواند به طور قابل توجهی در خنثی- سازی آثار منفی فعالیت‌های معدنی و توسعه پایدار نقش داشته باشد. ارائه برنامه جامع مدیریت کیفیت هوا، از دیگر راهکارهای معدنکاری سبز است که به ارزیابی شرایط هواشناسی، ارزیابی ویژگی‌های توپوگرافی، ارزیابی گازهای منتشر شده، ذرات و ترکیبات آن‌ها در جو و مقایسه با مقادیر استاندارد، ارزیابی تجمع آلاینده‌ها و تعیین شعاع تأثیر آن‌ها در اطراف مجتمع‌های معدنی، پیش‌بینی خطرات ناشی از آلاینده‌های هوای سمی بر کارکنان معدن و جوامع نزدیک و نهایتاً مقایسه نتایج پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های Aermid و Calpuff و اندازه‌گیری میدانی و ارائه نقشه‌های زون بندی آلودگی در مجتمع‌های معدنی، می‌پردازد. مورد پنجم؛ طرح جامع بازسازی معادن است. در این طرح با برآورد هزینه‌های بازسازی زمین‌های معدنی پس از فعالیت‌های معدنی به ارائه یک طرح جامع در مورد چگونگی انجام عملیات بازسازی و بررسی ایمنی ژئومکانیکی و پایداری محل نگهداری باطله‌ها و سدهای باطله معدنی به تفصیل برای تمامی معادن و صنایع مرتبط پرداخته می‌شود. مورد دیگر؛ تهیه برنامه جامع مدیریت کربن است که در آن مقدار و نوع گازهای تولید شده در بخش‌های مختلف معدن، کارخانه‌های فرآوری و کارخانه‌های شست‌وشوی تعیین می‌گردد، در گام بعد، مدل‌سازی توزیع دی اکسید کربن در محیط و تعیین غلظت‌های آن و ارائه راهکارهایی برای تبدیل دی اکسید کربن به

کربنات‌های معدنی پایدار و کاربردی کردن آن در صنعت خواهد بود. مورد هفتم شامل تهیه برنامه جامع نظارت است که در این برنامه مشاوره‌های لازم در خصوص نصب و راه‌اندازی یک سیستم نظارتی در مجتمع‌های معدنی و کارخانجات فرآوری داده خواهد شد. طراحی یک سیستم کنترل مرکزی به عنوان سیستم کنترل مدیریت نیز در اجرای درست برنامه‌ها بسیار راه‌گشا خواهد بود و مورد آخر؛ توسعه یک چارچوب مفهومی در راستای مطالعات انجام شده به منظور محقق شدن سیستم معدنکاری سبز خواهد بود. چارچوبی که به ترویج و پیگیری معدنکاری پایدار با ادغام عوامل اجتماعی - اقتصادی، بهداشتی و زیست محیطی می‌پردازد.

نتیجه‌گیری

معدنکاری سبز مساله‌ای چند بعدی و چند وجهی است و بنابراین لازم است تمام جنبه‌های آن مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد تا با اقدامات اصلاحی بتوان در مسیر کاهش پیامدهای زیست محیطی و اجتماعی در تمام مراحل معدنکاری و سازماندهی به جهت دستیابی به ایمنی بیش‌تر برای کارکنان و ارائه مدلی برای بازسازی سایت‌های معدنی پس از رهاسازی معادن و صنایع معدنی دست یافت. طی چند دهه اخیر کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته‌ای همچون، چین، آمریکا، کانادا و استرالیا گام‌های خوبی در این مسیر برداشته‌اند و امید است با همکاری شرکت‌های معدنی و دولت‌ها این فرایند در سایر کشورهای دنیا برخوردار از موهبت منابع طبیعی جایگزین روش‌های سنتی و قدیمی معدنکاری و استخراج منابع فلزی و غیرفلزی گردد. در تکنیک معدنکاری سبز با در نظر

- [5] Duane, A., Smith. Mining America., 1993, The Industry and the Environment 1800-1980[M]. Niwot: University of Colorado, 1993
- [6] Baumgartner, R. J., and Rauter, R., 2017, Strategic perspectives of corporate sustainability management to develop a sustainable organization. J. Clean. Prod., 140, 81-92. , doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.146
- [7] Doulati Ardejani F., Maghsoudy S., Shahhosseini M., Jodeiri Shokri B., Doulati Ardejani Sh., Shafaei F., Amirkhani Shiraz F., and Rajaei A., 2022, Developing a Conceptual Framework of Green Mining Strategy in Coal Mines: Integrating Socio-economic, Health, and Environmental Factors, Journal of Mining and Environment (JME), Vol. 13, No. 1 , 101-115.
- [۸] رحم بزی، خ.، ۱۳۸۹، تأملی بر محیط زیست و پایداری آن در جهان اسلام، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام.
- [۹] محرابی، ع.، عباسیان، ق.، نیک منش، س.، ۱۴۰۰، تأثیر مخاطرات زیست محیطی معدنکاری طلای آق دره از منظر ژئوپلیتیکی با تأکید بر امنیت کشور، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۶۹.
- [10] Phillips, J., 2013, "The application of a mathematical model of sustainability to the results of a semi quantitative Environmental Impact Assessment of two iron ore opencast mines in Iran", Applied Mathematical Modelling, 7839-7854.
- [11] Phillips, J., 2011, "The conceptual development of a geocybernetic relationship between sustainable development and Environmental Impact Assessment", Applied Geography, 969-979.
- [۱۲] ایلخانی، ع.، عطایی، م.، خالوکاکایی. ر.، ۱۳۹۵، ارزیابی اثرات زیست محیطی در معدن روباز سنگ آهن سنگان خواف، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن، شماره ۳۳، ص ۸۱-۹۳
- [13] Goodbody A., 2022, The role of mining in mitigating the effects of climate change
- [14] Odella, S. , Bebbington, A. , Freya, K., 2018, Mining and climate change: A review and framework for analysis, The Extractive Industries and Society, Volume 5, Issue 1, January 2018, Pages 201-214

قرار دادن شرایط اقلیمی و هواشناسی، حوضه آبخیز منطقه، مطالعات سنجش از دور، زمین شناسی زیر سطحی، کیفیت منابع آبی و خاکی، تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری، بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی معادن، انتخاب محل مناسب دفن پسماندهای معدنی و سدهای باطله، در نظر گرفتن آلاینده‌های مربوط به کارخانه‌های کنسانتره، گندله، ذوب و تصفیه، توجه به گسترش فضای سبز پیرامون معادن، می‌توان رویکردهای خوبی در مسیر حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار ارائه نمود. نهایتاً اینکه اگرچه تا به امروز استفاده از چرخه حیات (LCA) در تحلیل و ارزیابی اثرات زیست محیطی معدنکاری رایج نبوده است اما با انجام بازدیدهای میدانی، انجام نمونه‌برداری و دیجیتایز کردن داده‌ها در نرم افزارهای LCA پیشرفته و مدل‌سازی تأثیرات محیطی فعالیت‌های معدنی می‌توان به ارائه راه کارهای مناسب پرداخت.

منابع

- [1] Timothy L., 2009. The Men and Giant Mines That Wired America and Scarred the Planet. New Brunswick, NJ: Rutgers University.
- [2] David K., 1994, Ingram, Overview of Mine Subsidence Insurance Programs in the United States, International Land Reclamation and Mine Drainage Conference and the Third International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Pittsburgh, PA, April 24-29.
- [3] David, M., Chamber, S., 2017, Long-term Risk of Tailings Dam Failure, Alaska Park Science - Volume 13 Issue 2: Mineral and Energy Development
- [۴] سلحشور، ع.، بهرامی، ع.، عبدالمهی شریف، ج.، ۱۳۹۷، طراحی بهره برداری معادن روباز با نگرش کاهش اثرات زیست محیطی در معدن مس سونگون، نشریه مهندسی منابع معدنی، شماره ۳، ص ۵۵-۴۳.

- [26] Sonter, L.J., Ali, S.H., and Watson, J.E.M., 2018, Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. *Proceedings of the Royal Society B*, vol. 285, pp. 20181926.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1926>.
- [27] Tregubova, P., Koptsik, G. and Stebanov, A., 2019, Remediation of degraded soils: effect of organic additives on soil properties and heavy metals' bioavailability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 368, no. 1, pp. 012054. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/368/1/012054>.
- [28] Huffman, J.A., Poschl, U., Martins, S.T., Sinha, B., Chen, Q., Gunthe, S.S., Borrmann, S., Farmer, D.K., Garland, R.M., Helas, G. and Jimenez, J.L., 2010, Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon. *Science*, vol. 329, no. 5998, pp. 1513-1516.
- [29] Garcia, L.P.F., Lehmann, J., DE Carvalho, A.C.P.L.F. and Lorena, A.C., 2019, New label noise injection methods for the evaluation of noise filters. *Knowledge-Based Systems*, vol. 163, pp. 693-704.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2018.09.031>.
- [30] Nouri, M. and Haddioui, A., 2016, Human and animal health risk assessment of metal contamination in soil and plants from Ait Ammar abandoned iron mine, Morocco. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 188, no. 1, pp. 6-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-5012-6>. PMID:26631396.
- [31] Akcil, A., Koldas, K., 2006, Acid mine drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *J. Cleaner Prod.* 14:1139-1146. DOI: 10.1016/j.jclepro.2004.09.006
- [32] DeNicola, D., Stapleton, M., 2002, Impact of acid mine drainage on benthic communities in streams: the relative roles of substratum vs. aqueous effects. *Env. Poll.* 119:303-315. DOI: 10.1016/S0269-7491(02)00106-9
- [33] Evans, D., Zipper, C., Hester, E., Schoenholtz, S., 2015, Hydrologic effects of surface coal mining in Appalachia (US). *J. Amer. Water Res. Assoc.* 51:1436-1452. DOI: 10.1111/1752-1688.12322
- [34] Skousen, J., Sexstone, A., Ziemkiewicz, P., 2000, Acid mine drainage control and treatment. p. 131-168. In: *Reclamation of*
- [15] Engleman C.J. et al., 1996, Accumulation of aluminum and iron by bryophytes in streams affected by acid-mine drainage *Environ. Pollut.*
- [16] Singh, J. and Kalamdhad, A.S., 2011, Effects of Heavy Metals on Soil, Plants, Human Health and Aquatic Life. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 1, 15-21.
- [17] Liu J., Liu W., Zhang Y., Chen Ch., W u W., Zhang T., 2021, Microbial communities in rare earth mining soil after in-situ leaching mining
- [18] Jarsjö J., et al., 2020. Projecting impacts of climate change on metal mobilization at contaminated sites: controls by the groundwater level *Sci. Total Environment*.
- [19] Poissant L., et al., 1994, Trace inorganic elements in rainfall in the Montreal Island *Atmos. Environ.*
- [20] Fu et al., 2016, Comparison of arsenic and antimony geochemical behavior in water, soil and tailing from Xikuangshan, *Sci. Total Environ. China*.
- [21] Magdaleno F., Martinez R., 2014, Evaluating the quality of riparian forest vegetation: The Riparian Forest Evaluation (RFV) index, *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) Forest Systems*, 23(2): 259-272.
- [22] Armienta M.A., et al., 2012, Geochemical processes and mobilization of toxic metals and metalloids in an As-rich base metal waste pile in Zimapán, Central México, *Appl. Geochem.*
- [23] Emel J., et al., 2014, Monitoring geomorphic and hydrologic change at mine sites using satellite imagery: the Geita Gold Mine in Tanzania, *Appl. Geogr.*
- [24] Reynolds, J.M., 2011, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2011.15. Fontoura, M.; Moura, R.; Dias, A. A Geologia e a Geofísica na avaliação da contaminação associada a Vazadouros Controlados-ocaso do VC de Matosinhos no Norte de Portugal. *Comun. Geol.* 98, 83–92.
- [25] Penn, C.J.; Camberato, J.J., 2019, A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture*, 9, 120. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]

- <https://doi.org/10.1126/science.344.6185.691-a>.
- [44] Chai, L., Wang, Z., Wang, Y., Yang, Z., Wang, H., Wu, X., 2010, Ingestion risks of metals in groundwater based on TIN model and dose-response assessment—A case study in the Xiangjiang watershed, central-south China. *Sci. Total. Environ.* 408 (16), 3118–3124. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.030>
- [45] European Commission., 2020, EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing Nature Back into Our Lives; Communication from the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions; EC: Brussels, Belgium.
- [46] European Commission., 2023, Guidelines on Biodiversity-Friendly Afforestation, Reforestation and Tree Planting; Commission Staff Working Document; EC: Brussels, Belgium.
- [47] Shah, V.; Daverey, A., 2020, Phytoremediation: A Multidisciplinary Approach to Clean up Heavy Metal Contaminated Soil. *Environ. Technol. Innov.* 2020, 18, 100774.
- [48] Tamburini, E.; Sergi, S.; Serreli, L.; Bacchetta, G.; Milia, S.; Cappai, G.; Carucci, A., 2016, Bioaugmentation-assisted phytostabilization of abandoned mine sites in south west Sardinia. *Bull.*
- [49] Phillips, J., 2012, “Applying a mathematical model of sustainability to the Rapid Impact Assessment Matrix evaluation of the coal mining tailings dumps in the Jiului Valley, Romania”, *Resources, Conservation and Recycling* 63, 17– 25.
- [50] Glasson J., Therivel R., 2019, Introduction to Environmental Impact Assessment, Book, London, Routledge, 5th Edition, 2019, 394P., <https://doi.org/10.4324/9780429470738>
- [51] Dalal-Clayton, B. and Sadler, B., 1999, Strategic Environmental Assessment: A Rapidly Evolving Approach. *Environmental Planning*, 18.
- [52] Abdul-Wahab S., et al., 2004, Total suspended dust and heavy metals levels emitted from a workplace compared with nearby residential houses *Atmospheric Environment*.
- [53] Lawrence R.w. and Scheske M., 1997. A method to calculate the neutralization potential Drastically Disturbed Lands. 2nd Ed. American Society of Agronomy. Madison, WI. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.488.6818&rep=rep1&type=pdf>
- [35] Faulkner, B., Skousen, J., 1995, Effects of land reclamation and passive treatment systems on improving water quality. *Green Lands* 25:34-40.
- [36] Skousen, J., 2017, A methodology for geologic testing for land disturbance: acid-base accounting for surface mines. *Geoderma* 308:302-311. DOI 10.1016/j.geoderma.2017.07.038.
- [37] Perry, E., Brady, K., 1995, Influence of neutralization potential on surface mine drainage quality in Pennsylvania. In: Proceedings, 16th West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium, West Virginia University, Morgantown, WV. <https://wvmdtaskforce.files.wordpress.com/2015/12/95-perry.pdf>
- [38] Stacey, J., Naude, A., Hermans, M. & Frankel, D., 2010, The Socio-Economic Aspects of Mine Closure & Sustainable Development. Johannesburg: University of the Witwatersrand.
- [39] Bainton, N. & Holcombe, S., 2018, The Social Aspects of Mine Closure. Australia: The University of Queensland.
- [40] Strambo, C., Burton, J. & Atteridge, A., 2019, The end of coal? Planning “a just transition” in South Africa. Stockholm: Stockholm Environment Institute.
- [41] Li, Y., Chiu, Y.-h., and Lin, T.-Y., 2019, Coal production efficiency and land destruction in China’s coal mining industry. *Resour. Policy* 63, 101449. doi:10.1016/j.resourpol.2019.101449.
- [42] Adnan, M., Xiao, B., Xiao, P., Zhao, P., Bibi, S., 2022a, Heavy metal, waste, COVID-19, and rapid industrialization in this modern era for sustainable future. *Sustainability* 14 (8), 4746. <https://doi.org/10.3390/su14084746>.
- Adnan, M., Xiao, B., Xiao, P., Zhao, P., Li, R., Bibi, S., 2022b. Research progress on heavy metals pollution in the soil of smelting sites in China. *Toxics* 10 (5), 231. <https://doi.org/10.3390/toxics10050231>.
- [43] Chen, R., De Sherbinin, A., Ye, C., Shi, G., 2014, China’s soil pollution: farms on the frontline, 691-691 *Science* 344 (6185).

of mining wastes, *Environmental Geology*, V. 32, P.100-106.

[54] Rohanizadeh S.S., Bameni Moghadam M., 2009, A Proposed Data Mining Methodology and its Application to Industrial Procedures, *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, Volume:2 Issue: 4, Summer and Autumn.

[55] Jabbarian Amiri, B., 2019, *Environmental Impact Assessment* (2 ed.). Tehran: University of Tehran Press. [in Persian].

[56] Pastakia, C.M., & Jensena, A., 1998, The rapid impact assessment matrix (Riam) for eia. *Environmental Impact Assessment Review*, 18(58), 5-26.

[57] Asadi S., G., & Gholamalifard, M., 2015, Criteria Conformity and Environmental Impact Assessment in Qaemshahr Landfill using Leopold Matrix and RIAM. *Journal of Research in Environmental Health*, 1(3), 193-206. [in Persian].

[58] Madani, A., & Emam, A., 2011, SWIR ASTER band ratios for lithological mapping and mineral exploration: a case study from El Hudi area, South Eastern Desert, Egypt. *Arab J Geosci* 4, 45–52.

[59] LarreyLassalle P., Catel L., Roux Ph., Ro senbaum R., LopezFerber M., Junqua G., Lois eau E., 2017, An innovative implementation of LCA within the EIA procedure: Lessons learned from two Wastewater Treatment Plant case studies, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 63, March 2017, Pages 95-106.

[60] Norgate, T.E., Jahanshahi, S., Rankin W.J., 2007, Assessing the environmental impact of metal production processes, *Journal of Cleaner Production*, Volume 15, Issues 8–9, 2007, Pages 838-848.

“Review article”**Green mining techniques for environmental protection and sustainable development****Somayeh Baharlouei Yancheshmeh**

Assistant Professor, Dept. of Geology, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

*Corresponding author: somayehbaharlouie@gmail.com

(Received: 30 December 2024 , Accepted: 11 February 2025)

Abstract

By development and exploitation of mines, environmental problems and related phenomena have gradually become apparent, some of which have led to very harmful consequences for human and natural communities. therefore, the balanced relationship among the three factors of 'resource extraction, environmental protection, and sustainable development of mining areas' is a very important topic that is referred to as green extraction in the development of countries' resources in the twenty-first century. the green extraction aims to reduce the environmental impacts of mining by utilizing more efficient technologies and minimizing waste. this approach emphasizes the use of renewable energy sources, recycling, and the development of innovative solutions. the green extraction allows for the extraction of all useful minerals while minimizing mineral waste. in fact, the aim of this concept is to ensure access to mineral resources for future generations, which requires long-term investment in mineral exploration supported by the government, research in mineral systems, and the development of exploration techniques. Communities, governments, and investors should not allow unsustainable mining companies to operate in the future. the mining industry and companies must address social, ecological, and technical issues by employing comprehensive concepts such as the green mining concept in order to obtain their social license to operate.

Conflict of interest: None declared.**Keywords:** Green mining, Environment, Sustainable development