نشریه علمی تخصصی شباک
سال پنجم، شماره ۵۱، اسفند ۱۳۹۸
ISSN: 2476-3667

مدیریت زیست‌محیطی پسماند معادن زغال‌سنگ با رویکرد ارزیابی چرخه حیات؛ مطالعه موردی: معادن زغال‌سنگ پروده طبس

نسیم هاشمی[۱]، غلامرضا نبی بیدهندی*[۲]، احمدرضا یاوری[۳]

چکـیده

اجرای سیستم‌های مدیریت محیطزیست، با عملیاتی کردن استراتژی‌های توسعه پایدار، موجب بهینه‌سازی مصرف منابع، کاهش اثرات زیست‌محیطی، و در نتیجه افزایش پایداری سیستم می‌شود. یکی از الزامات اصلی مدیریت محیطزیستی، ارزیابی اثرات محیطزیستی و یک روش مناسب جهت ارزیابی اثرات محیطزیستی، ارزیابی چرخه حیات است. این روش با تجزیه‌وتحلیل یک محصول یا فرآیند در طی تمام مراحل عمر آن اطلاعات جامعی در مورد اثرات محیطزیستی ناشی از مصرف منابع و تولید ضایعات، و گزینه‌های بهبود و بهسازی سیستم مورد مطالعه ارائه می‌کند. توسعه پایدار در معادن مستلزم به حداقل رساندن مصرف منابع، تولیدات ضایعات و اثرات زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها می‌باشد. در این پژوهش معادن زغال‌سنگ پروده طبس، به‌عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شده است. به‌طورکلی، مهم‌ترین عوامل زیست‌محیطی در معادن زغال‌سنگ شامل تولید باطله معدنی، پساب معدنکاری و انتشار گاز زغال می‌باشد. برای بهبود کارایی چرخه تولید و کاهش بار زیست‌محیطی معادن، برنامه‌ریزی در راستای افزایش نرخ بازیافت باطله‌ها، بازچرخش پساب معدنکاری و استحصال گاز متان ضروری به‌نظر می‌رسد. نتایج این ارزیابی، می‌تواند توسط تصمیم‌گیران در برنامه‌ریزی استراتژیک توسعه صنعت معدنکاری، ارزیابی اثرات معدنکاری زغال‌سنگ بر شاخص‌های توسعه پایدار کشور و مدیریت مؤثر منابع تجدیدناپذیر مورد استفاده قرار گرفته، و در نهایت تبدیل به استراتژی‌ها و اقدامات مدیریتی توسعه پایدار گردد.

واژگـان کلـیدی: توسعه پایدار، مدیریت محیطزیست، معادن زغال‌سنگ، ارزیابی چرخه حیات

۱- دانشجوی دکتری برنامه ریزی محیطزیست
۲- استاد گروه مهندسی محیطزیست (مسئول مکاتبات) *ghhendi@ut.ac.ir*
۳- دانشیار گروه برنامه ریزی محیطزیست

www.SID.ir

۱- مقدمه

زغال‌سنگ ماده‌ای استراتژیک در توسعه صنعتی و اقتصادی جهان است. با وجود برخورداری ایران از ذخایر عظیم نفت و گاز، توسعه و بهره‌برداری از معادن زغال‌سنگ دارای اهمیت استراتژیک فوق‌العاده‌ای برای کشور است. در سند چشم‌انداز توسعه کشور، صنعت فولاد به‌عنوان اصلی‌ترین چرخه فعالیت صنعتی و تأمین‌کننده نیاز اولیه کلیه صنایع کشور و لازمه هر نوع فعالیت عمرانی محسوب گردیده است. با توجه به وابستگی شدید صنعت فولاد به زغال‌سنگ و محدود بودن عمر این منابع، اهمیت استراتژیک این ماده معدنی آشکار می‌شود. صنعت زغال‌سنگ، جزو صنایعی است که بالاترین میزان مصرف منابع و تولید ضایعات را دارد(Feng et.al,2010)، لذا بهره‌برداری از معادن زغال‌سنگ موجب شکنندگی و ناپایداری محیطزیست می‌شود. تحقیقات جهانی در زمینه توسعه پایدار بر کاهش حداکثری اثرات محیطزیستی فعالیت‌های صنعتی تأکید دارد. گزارش توسعه پایدار معدنکاری و مواد معدنی (MMSD) در سال ۲۰۰۰ بیان کرد که "هدف از توسعه پایدار در معدنکاری، حداکثر کردن رفاه نسل کنونی است، به‌طوری‌که منافع و هزینه‌های آن عادلانه توزیع شود بدون اینکه پتانسیل آن برای برآورده کردن نیازهای نسل آینده کاهش یابد(IIED & WBCSD, 2002). اجرای سیستم‌های مدیریت محیطزیست و پیروی از الزامات و قوانین مرتبط با محیطزیست، با هدف پیش‌گیری از اثرات محیطزیستی در معادن زغال‌سنگ از اهمیت بالایی برخوردار است. اجرای سیستم‌های مدیریت محیطزیست در معادن زغال‌سنگ، با عملیاتی کردن استراتژی‌های توسعه پایدار، موجب کاهش اثرات زیست‌محیطی، استفاده معقولانه از مواد در طول چرخه حیات آن‌ها و در نتیجه افزایش پایداری سیستم می‌شود(Burchart-Korol et al., 2014). یک رویکرد مؤثر در مدیریت محیطزیست، ارزیابی چرخه حیات است. ارزیابی چرخه حیات در تولید محصولات، فرایندها و خدمات طی چرخه کامل حیات یعنی از مرحله استخراج مواد خام تا توزیع، مصرف، بازیافت و دفع ضایعات را شامل می‌شود(Suh and Rousseaux, 2002). این رویکرد با به حداقل رساندن مصرف مواد خام و انرژی و نیز اثر تمامی ضایعات از نظر کمی و کیفی، ابزاری برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار فراهم می‌کند. در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی چرخه حیات معدنکاری زغال‌سنگ انجام شده است. در تاریخچه تحقیق تا سال۲۰۱۵ نتایج ارزیابی چرخه حیات معدنکاری زغال‌سنگ، به‌عنوان بخشی از زنجیره تولید انرژی و بدون مشخص کردن عوامل تعیین‌کننده ارزیابی زیست‌محیطی، بیان می‌شد و هیچ نتیجه‌ای در مورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و خسارات مربوط به عملیات استخراج زغال‌سنگ وجود نداشت. بعلاوه هیچ روشی برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی معادن وجود نداشت که تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم فرایندهای تولیدی معادن بر محیطزیست را بررسی نماید(Zuwała, 2012; Sahle & Potting, 2013). در سال۲۰۱۵روش نوینی برای ارزیابی بهره‌وری محیطزیستی فرآیندهای تولید در معادن (Czaplicka-Kolarz et.al,2015) و در سال۲۰۱۶ الگوریتمی برای ارزیابی تمام جنبه‌های توسعه پایدار با استفاده از رویکرد ارزیابی چرخه حیات در معادن زغال‌سنگ ارائه شد(Burchart-Korol et.al,2016). ارزیابی چرخه حیات، پتانسیل بالایی در شناسایی گزینه‌های بهبود و بهسازی صنعت معدنکاری دارد، و در سال‌های اخیر، به‌عنوان یکی از ابزارهای کارآمد ارزیابی محیطزیستی و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در ارتباط با تحلیل‌های استراتژیک جنبه‌های مختلف عملکرد و بهره‌وری چندجانبه سیستم صنعتی، مورد توجه محققین قرار گرفته است. (Mangena & Brent, 2006) با استفاده از ارزیابی اثرات چرخه حیات، عملکرد محیطزیستی را با ارزش‌های اقتصادی معادن زغال‌سنگ افریقای جنوبی مقایسه کردند. آن‌ها ارزیابی چرخه حیات را روشی کاربردی جهت مقایسه عملکرد زیست‌محیطی با ارزش‌های اقتصادی دانستند و دریافتند که روش‌های مختلف استخراج معادن تأثیرات محیطزیستی متفاوتی دارند. (Ditsele, 2010) اثرات محیطزیستی استخراج معادن روباز زغال‌سنگ امریکا را با ارزیابی چرخه حیات، برآورد نمود. او بیان کرد که جهت تدوین استراتژی‌ها و سیاست‌های بهره‌برداری پایدار از معادن زغال‌سنگ، ایجاد پایگاه داده‌های چرخه حیات زغال‌سنگ از اهمیت زیادی برخوردار است. او استراتژی‌های استحصال گاز متان و احیای زمین را با هدف کاهش اثرات تغییر اقلیم و افزایش بهره‌وری انرژی در معادن پیشنهاد نمود. در تحقیق دیگری (Ditsele & Awuah-Offei, 2012) تأثیر خصوصیات معدن بر اثرات چرخه حیات معادن زغال‌سنگ روباز در آمریکا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که معیارهای اقتصادی تأثیر قابل‌توجهی بر کاربری زمین، مصرف منابع و تغییر اقلیم دارد و معدنکاری در مقیاس بزرگ، موجب افزایش بهره‌وری انرژی و زمین می‌شود. (Roychoudhury & Khanda, 2016) در مطالعه خود به‌منظور بررسی کاربرد ارزیابی چرخه حیات در معدنکاری زغال‌سنگ دریافتند که عامل کلیدی پیاده‌سازی مدیریت محیطزیستی، بهبود مستمر است که با تفکر چرخه حیات قابل‌دستیابی است و ارزیابی چرخه حیات می‌تواند برای کمک به تصمیم‌گیری در مورد مسائل محیطزیستی توسط جامعه، دولت و شرکت‌ها بکار گرفته شود. در مطالعه دیگری Burchart-Korol et al., 2016)) مدل ارزیابی چرخه حیات معدنکاری زغال‌سنگ را ارائه دادند. آن‌ها دریافتند که مهم‌ترین اثرات محیطزیستی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای، و به علت استفاده از سوخت‌های فسیلی، انتشار گاز متان، مصرف برق و تولید حرارت در صنایع فولاد روی می‌دهد. آن‌ها برای کاهش اثرات محیطزیستی، روش‌های جلوگیری از آلودگی و استفاده از سوخت‌های جایگزین را پیشنهاد دادند. (Adiansyah et al., 2017) در پژوهشی، استراتژی‌های مدیریت پسماند معادن زغال‌سنگ استرالیا را با استفاده از ارزیابی

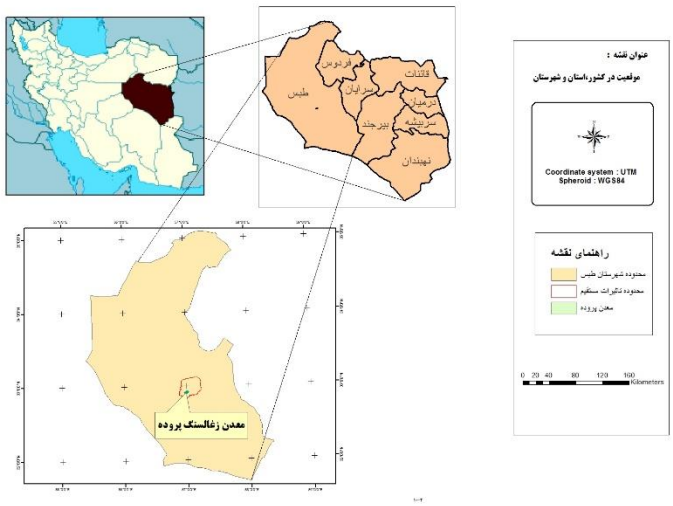
www.SID.ir

چرخه حیات، مقایسه کردند. آن‌ها انرژی الکتریکی مصرفی در معادن زغال‌سنگ را مهم‌ترین عامل انتشار آلاینده‌ها عنوان کردند و مدیریت باطله‌های معدن زغال‌سنگ را به‌عنوان راهکاری جهت کاهش تنش‌های محیطزیستی پیشنهاد دادند. در تحقیق دیگری در چین (Zhang et al., 2018) چرخه حیات معادن زغال‌سنگ رو باز را ارزیابی نمودند. آن‌ها دریافتند که ذرات گرد و غبار مؤثرترین عامل اسیدی شدن و گرمایش جهانی است و ارتقای تکنولوژی معدنکاری با افزایش کارایی تجهیزات و حمل‌ونقل، تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش اثرات محیطزیستی خواهد داشت. در پژوهش اخیری که در برزیل انجام شد(da Silva et al., 2018) اثرات گازهای گلخانه‌ای معادن زغال‌سنگ روباز با استفاده از ارزیابی چرخه حیات برآورد شد. نتایج نشان داد که سوخت دیزل مهم‌ترین عامل انتشار دی‌اکسید کربن، متان و آمونیاک است و ارزیابی چرخه حیات معدنکاری زغال‌سنگ می‌تواند نقش مهمی در اجرای اقدامات مربوط به کاهش اثرات داشته باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

حوضه زغال دار طبس شامل چهار ناحیه پرورده، مزینو، نایبند وآبدوغی، با وسعتی بالغبر ۳۰۰۰۰ کیلومترمربع و ذخایر اکتشافی بیش از ۶ میلیارد تن زغال‌سنگ کک شو و حرارتی، غنی‌ترین و بزرگ‌ترین ناحیه زغالی ایران محسوب می‌گردد که حدود ۷۶ درصد ذخایر زغالی کشور را در خود جای داده است و تولید زغال‌سنگ این حوضه به میزان حدود ۲ میلیون تن در سال با کل تولید زغال از سایر معادن ایران برابری می‌کند (نجویدی و همکاران، ۱۳۹۳). ناحیه زغال دار پرورده با وسعت ۱۲۰۰ کیلومترمربع و ذخیره زمین‌شناسی ۱,۵ میلیارد تن زغال‌سنگ کک شو، یکی از چهار ناحیه حوزه زغالی طبس و بزرگ‌ترین حوضه زغال‌سنگ کک شو ایران است که در غرب استان خراسان جنوبی و در فاصله ۷۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر طبس در محدوده عرض‌های جغرافیایی ´ ۵۰ °۳۲ تا ´ ۰۵ °۳۳ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی ´ ۴۵ °۵۶ تا ´ ۱۵ °۵۷ درجه شرقی واقع شده است. شکل(۲) موقعیت معدن زغال‌سنگ پرورده را در کشور، استان و شهرستان نشان می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت معدن زغال‌سنگ پرورده طبس

این ناحیه به وسیله چند گسل بزرگ، به ۵ بلوک معدنی کوچک تر تقسیم شده است. اطلاعات مربوط به هر بلوک معدنی در جدول(۱) ارائه شده است.

جدول۱- مشخصات ناحیه زغال دار پرورده

بلوک معدنی	وسعت (km^2)	ذخیره زمین شناسی(میلین تن)
پرورده I	۵۰	۸۰
پرورده II	۶۰	۹۲
پرورده III و IV	۶۵۰	۷۷۹
پرورده شرقی	۱۰۰	۵۸۰

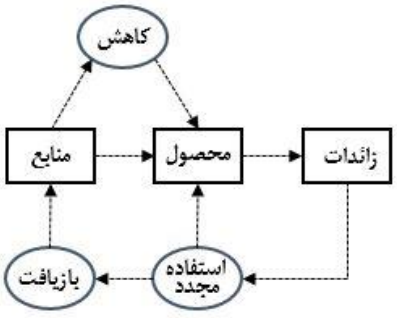
www.SID.ir

سالانه مجموعا ۱٫۶ میلیون تن زغال‌سنگ از معادن پروده طبس استخراج می‌شود، که ۹۰۰هزارتن آن به صورت مکانیزه و ۷۰۰هزارتن به روش سنتی، بهره‌برداری می‌شود. زغال‌سنگ خام استخراج شده جهت فراوری و کاهش خاکستر، به کارخانه زغالشویی پروده که در فاصله یک کیلومتری از معدن قرار دارد انتقال می یابد. این کارخانه، اولین کارخانه زغال شویی تمام مکانیزه ایران است و با تولید سالانه ۶۰۰هزارتن زغال‌سنگ فرآوری شده(کنسانتره)، بزرگ‌ترین واحد زغالشویی کشور محسوب می‌شود. به‌طور کلی محصولات کارخانه زغالشویی شامل: کنسانتره (۱۰٫۵ درصد خاکستر)، زغال میانی(۲۵ تا ۳۰ درصد خاکستر) و باطله(۷۰ تا۷۵ درصد خاکستر) می‌باشد. باطله حاصل از کارخانه به دو شکل دانه درشت و ریزدانه به ترتیب در سد باطله و سد رسوبگیر انباشته می شوند. باطله‌های درشت به محلی در ۲ کیلومتری کارخانه زغال شویی منتقل و انبار و باطله‌های ریز در فضای پشت کارخانه زغال شویی رها می شوند. کنسانتره برای تولید کک متالورژی به کارخانه کک سازی طبس در مجاورت معادن پروده فرستاده می‌شود و کک نیز برای تولید فولاد به روش کوره بلند به ذوب آهن اصفهان منتقل می‌شود. در مجاورت کارخانه کک سازی نیروگاه بازیافت حرارتی قرار دارد. علاوه بر این نیروگاه طبس نیز به‌عنوان اولین نیروگاه زغال‌سنگ سوز، در حال راه اندازی است.

۲-۲- کاربرد ارزیابی چرخه حیات در مدیریت زیست محیطی معادن زغال‌سنگ

یکی از الزامات اصلی مدیریت محیط‌زیست، ارزیابی اثرات محیط‌زیستی می‌باشد(Staš et.al,2015). ارزیابی چرخه حیات به‌عنوان یک روش مناسب جهت ارزیابی اثرات محیط‌زیستی یک محصول، فرایند یا خدمات، تمام مراحل عمر آن شامل استخراج مواد خام، تولید، توزیع، مصرف، بازیافت، استفاده مجدد و دفع نهایی را دربر می گیرد(Roy et al.,2009؛ Finkbeiner,2006).

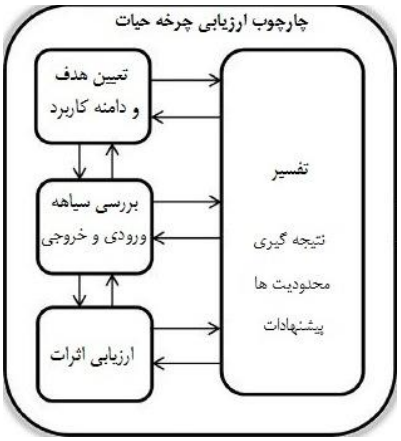
این رویکرد قادر است تا علاوه بر در نظرگرفتن عواملی که مستقیما محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار می دهند، اثرات غیرمستقیم مرتبط با تولید مواد خام و انرژی مورد استفاده را نیز ارزیابی نماید(Burchart-Korol et al., 2014). در روش های سنتی، منابع پس از استخراج، جهت تولید محصول در صنعت استفاده شده و در نهایت به‌عنوان پسماند در محیط رها می شوند. در مقابل در روش مدیریت پسماند با رویکرد چرخه حیات، ابتدا سعی بر این است که زائدات کمتری تولید گردد و بعد از تولید، با اعمال پردازش هایی، حداکثر استفاده از آن‌ها می‌شود. با اجرای سه اصل مهم مدیریت زیست محیطی شامل: کاهش، استفاده مجدد و بازیافت در معادن، منافع زیست محیطی و اقتصادی- اجتماعی زیادی حاصل می‌شود(شکل۱). کاهش از مبدأ مؤثرترین فاکتور می‌باشد که مربوط به جریان ورودی و خروجی از سیستم و با هدف کاهش مصرف ماده و انرژی، و کاهش تولید ضایعات در طی فرایندهای استخراج، پردازش و بهره‌برداری از معادن است. استفاده مجدد مربوط به رویه است و زائدات و مواد استفاده شده با هدف افزایش زمان کارایی، به‌عنوان منابع مواد اولیه مورد استفاده مجدد قرار می گیرند. بازیافت مربوط به نحوه خروج مواد از سیستم است. از طریق عملیاتی کردن استراتژی‌های بازیافت، خروج مواد از سیستم به‌عنوان پسماند، تا حد ممکن کاهش یافته و منابع مجددا در دسترس قرار می گیرند.



شکل۱- مدیریت پسماند با رویکرد چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات عمدتاً به‌عنوان ابزار حمایتی جهت مقایسه گزینه های مختلف تصمیم‌گیری و انتخاب بهترین گزینه برای حفظ محیط زیست بکار می رود(Hellweg et al., 2004; Sikdar, 2003). کمیته فنی ایزو در سال ۲۰۰۶، با ارائه دو استاندارد مدیریت محیط‌زیست در مورد اصول و الزامات ارزیابی چرخه حیات، چارچوب اجرای آن را در ۴مرحله شامل ۱-تعیین هدف و دامنه تحلیل، ۲- جمع آوری و تحلیل داده‌های مربوط به پارامترهای ورودی و خروجی (سیاهه)، ۳-ارزیابی اثرات، ۴- تفسیر نتایج، تبیین نمود(Durucan,et.al,2006). مراحل ارزیابی چرخه حیات در شکل(۲) نشان داده شده است(International Organization for Standardisation, 2006).

www.SID.ir



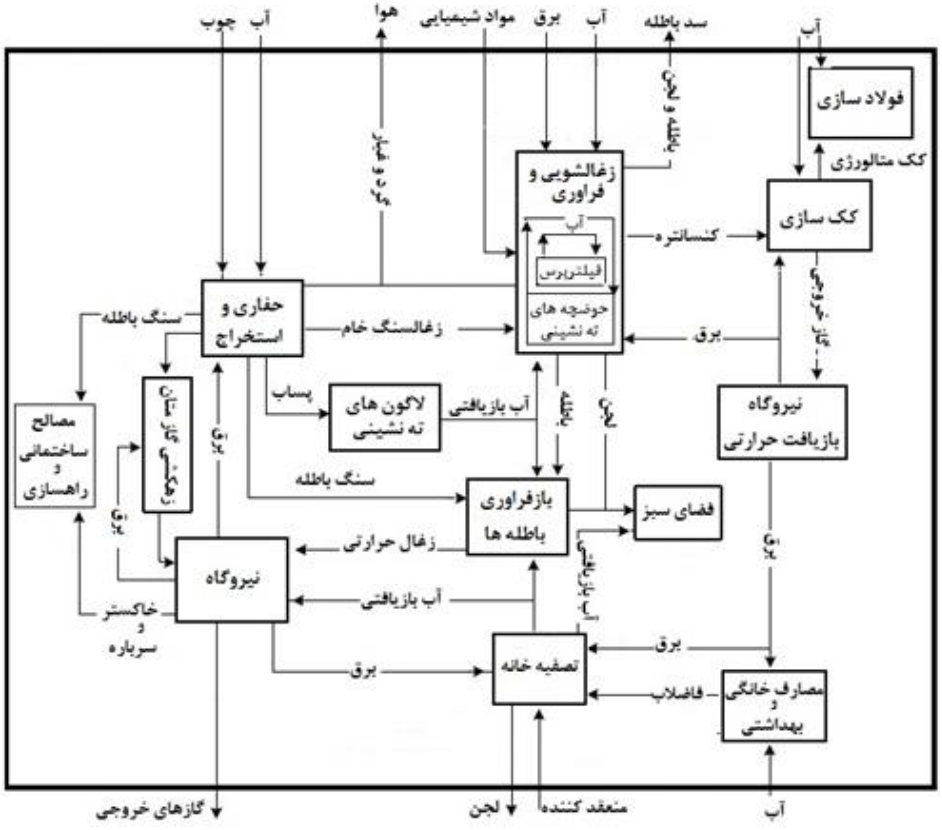
شکل۲: چارچوب مراحل ارزیابی چرخه حیات [۲۱]

۲-۳- ارزیابی چرخه حیات در محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش، چرخه حیات زغال‌سنگ، جهت مدیریت محیط‌زیستی معادن زغال‌سنگ پروده مورد ارزیابی قرار گرفته است. به این منظور مولفه های کلیدی ارزیابی چرخه حیات شامل: مرز سیستم، بار محیط‌زیستی شامل منابع مصرف شده و پسماندهای تخلیه شده به محیط زیست، اثرات محیط‌زیستی، و روش‌های بهبود و اصلاح وضعیت موجود، بررسی می شوند.

۲-۳-۱-تعیین مرز سیستم و دامنه ارزیابی

اولین مرحله شامل تعیین هدف و مشخص کردن مرز سیستم مورد مطالعه است که با مرور نتایج تحقیقات مرتبط با فرآیندهای بهره‌برداری از زغال‌سنگ و بررسی ویژگی‌های معادن، تعیین می‌شود. مرز سیستم شامل تمام فرآیندهای واحد در محدوده سیستم معدن زغال‌سنگ است. دامنه فرایندهای ارزیابی چرخه حیات در معادن زغال‌سنگ پروده در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل۳: دامنه فرایندها و جریان‌ها در چرخه حیات زغال‌سنگ

www.SID.ir

۲-۳-۲- تجزیه‌وتحلیل سیاهه چرخه حیات

در این مرحله داده های لازم برای مطابقت با اهداف تعریف شده مطالعه، جمع آوری می‌شود که شامل شناسایی پارامترهای ورودی(منابع مورد استفاده) و خروجی(ضایعات تولید شده) سیستم مورد مطالعه است. زغال‌سنگ به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با بسیاری از فرآیندهای صنعتی در ارتباط است. این ارتباطات، اطلاعات جامعی از سیاهه چرخه حیات زغال‌سنگ بدست می‌دهد. مراحل تولید محصول نهایی در معادن زغال‌سنگ، در طی چهار فرایند اصلی انجام می‌شود: فرایندهای مقدماتی(حفاری و آماده‌سازی)، فرایندهای بنیادی(استخراج و فرآوری)، فرایندهای کمکی(تهویه، زهکشی متان، حمل و نقل) و فرایندهای همراه(مصرف منابع و تولیدضایعات)، که هر کدام از آن‌ها، به فرآیندهای واحدی با داده‌های ورودی و خروجی مشخص تقسیم می شوند. عناصر ورودی و خروجی بر اساس تجزیه‌وتحلیل تمام فرایندهای تولیدی در معدن زغال‌سنگ، انتخاب می شوند و شامل مواردی هستند که حداقل در یکی از فرآیندها وجود داشته باشد، و قابل اندازه گیری یا حداقل قابل پیشبینی با احتمال بالا باشد. عناصر ورودی و خروجی فرآیندهای واحد معادن زغال‌سنگ به ازای تولید یک تن زغال‌سنگ خام در جدول(۳) محاسبه شده است.

جدول۳: منابع ورودی و خروجی سیستم معادن زغال‌سنگ پروده

جریان	عناصر	واحد	فرایندها				جمع
			مقدماتی	بنیادی	کمکی	همراه	
ورودی	زغال‌سنگ	Ton		✓			۱
	آب	L		✓	✓	✓	۵۳۰
	برق	kWh	✓	✓	✓		۳۱
	گازوئیل	L	✓	✓	✓		۹,۸
	الوار چوب	kg		✓			۲۹
خروجی	انتشار متان	m^3		✓	✓		۶,۷۲
	گرد و غبار	kg	✓	✓	✓	✓	۰,۶۱
	باطله	Ton		✓			۰,۴۳
	لجن	Ton		✓			۰,۱۸
	بار اسیدی پساب (Cl+SO4)	kg		✓	✓	✓	۰,۶۴
محصول	کنسانتره	Ton		✓			۰,۳۸

۲-۳-۳- ارزیابی اثرات محیط‌زیستی معدنکاری زغال‌سنگ

فعالیت های معدنی می‌تواند باعث تخریب منابع طبیعی، بر هم خوردن تعادل اکولوژیک و گسترش آلودگی محیط‌زیست شود(Hilson & Basu,2003). با در نظر گرفتن اینکه محیط‌زیست یکی از مهم‌ترین ارکان توسعه پایدار می‌باشد، لذا باید تأثیرات این فعالیت ها شناسایی و راهکارهایی جهت برطرف کردن یا کاهش آن‌ها ارائه شود. زغال خام استخراج شده از معادن جهت فرآوری و حذف خاکستر (ترکیبات معدنی و آلی)، تحت عملیات زغالشویی قرار گرفته، و زغال‌سنگ پردازش شده به محل مصرف، انتقال می یابد. در طی تمامی این فرایندها اعم از استخراج، فراوری، حمل و نقل و مصرف زغال‌سنگ، مقادیر زیادی ضایعات آلاینده بر جای می مانند. به‌طورکلی، مهم‌ترین عوامل زیست‌محیطی در معادن زغال‌سنگ شامل تولید باطله معدنی، فاضلاب و پساب معدنکاری و انتشار گاز زغال می‌باشد(Mangena and Brent,2006, Durucan,2006). مدیریت ضایعات و آلاینده‌ها نیازمند در نظر گرفتن موارد متعددی همراه با جنبه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی است(Jonek-Kowalska,2014). اگر این عوامل به درستی مدیریت نشود، تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و عامل محدود کننده ای برای پیشرفت این صنعت خواهد بود(Wang, 2010).

الف- اثرات باطله‌ها: ایران به‌عنوان یک کشور درحال توسعه، ناگزیر به توسعه معادن و بهره‌برداری روزافزون از این بخش است. از این رو حجم باطله‌های تولید شده نیز بسیار زیاد خواهد بود. باطله یکی از مهم‌ترین محصولات جانبی در فرآیند معدنکاری زغال‌سنگ است و انباشت آن اثرات محیط‌زیستی جدی بر جای می گذارد. باطله‌های معدنی از منابع تولید زهاب اسیدی هستند. پیریت و پیروتیت از فراوانترین کانی های سولفیدی موجود در باطله‌های معدنی هستند، که در نتیجه اکسیداسیون، موجب انتقال و رهاسازی فلزات سمی و یون های سولفاته به جریان آب های سطحی و زیرزمینی و محیط اطراف می شوند(Blowes, 1997).

www.SID.ir

تجزیهٔ باطله‌های زغال‌سنگ می‌تواند موجب افزایش گرما و احتراق خود به خودی شود(Skarzynska, 1995) و با انتشار گازهای سمی مانند دی اکسید گوگرد، مونوکسید کربن، فلوئور، کلر و آرسنیک در هوا، مانع رشد گیاه، تشدید اثر گلخانه‌ای، و تخریب لایه اوزن شود(Chen et al.,1998). در معادن زغال‌سنگ پروده سالانه یک میلیون تن باطله تولید می‌شود که ۷۰۰هزارتن آن باطله خشک و ۳۰۰هزارتن نیز به صورت پسماند لجن می‌باشد. انباشت باطله‌های زغال‌سنگ در مدت زمان طولانی علاوه بر بوجود آوردن مشکلات محیطزیستی، فضای زیادی را اشغال می‌کند به‌طوریکه هر۱۰۰۰ مترمکعب از باطله زغال‌سنگ به ۴۰مترمربع فضا نیاز دارد(Haibin & Zhenling,2010).

ب- اثرات فاضلاب و پساب: یک جنبه دیگر مهم محیطزیستی در معدنکاری زغال‌سنگ، تولید میزان زیادی پساب است،که علاوه بر پساب خروجی از داخل تونل استخراج، شامل پساب صنعتی کارخانه زغالشویی و فاضلاب بهداشتی است(Dulewski et.al,2010). پساب زهکش شده از مناطق معدنی به علت خاصیت اسیدی، موجب آلودگی منابع آب و اختلال در مناطق وسیعی از سرزمین و زیستگاه‌های وابسته به آن می‌شود(Jonek-Kowalska & Turek, 2013). پساب زغالشویی نیز که در طی مراحل فرآوری زغال‌سنگ تولید می‌شود غالبا ماهیت اسیدی داشته و حاوی یون های منیزیم، پتاسیم، سدیم، کلسیم، منگنز، آلومینیم، آهن و سولفات است. زهاب اسیدی معدن یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی معادن زغال‌سنگ به شمار می آید که آب های سطحی و زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. زهاب‌های اسیدی به وسیله اکسیداسیون و هیدرولیز سولفیدهای فلزی (بویژه پیریت)، در لایه‌های نفوذ پذیر آب و یا در باطله‌های انباشت شده برروی سطح زمین، تشکیل می‌شود که موجب تشکیل انواعی از سولفات های آهن آبدار، ایجاد خاصیت اسیدی و متعاقبا شستشوی بیشتر فلزات می‌شود.

ج- انتشار گاز زغال: در حال حاضر اغلب عملیات استخراج معادن زغال‌سنگ در زون گاز دار صورت می گیرد. گاز زغال حاوی مقدار قابل توجهی متان و مقدار کمی هیدروکربن های سنگین تر از متان و غیره است. از آنجا که درصد بالایی از آن را گاز متان تشکیل داده، لذا آن را گاز متان می نامند(Mazzotti et al., 2009). گاز خروجی از معادن پروده شامل ۸۶,۲ درصد گاز متان است. معادن زغال‌سنگ پروده جزو معادن بشدت گاز دار هستند و مناطق متان خیز در مرکز و جنوب غربی کانسار در اعماق بین۵۰تا۶۵۰ متر قرار دارند (Molayemat & Mohammad Torab, 2017). با توسعه معادن و عمیق تر شدن آن، میزان گازخیزی و یه تبع مسائل و مشکلات ناشی از آن در معادن زغال‌سنگ افزایش می یابد(Bryner,2005). دبی خروجی گاز متان از یک توده سنگ اشباع شده در معدن پروده، حدود ۱۶,۵ مترمکعب بر دقیقه است که در حال حاضر توسط مکنده به سطح منتقل شده و در هوا انتشار می یابد. انتشار گاز متان یکی از بزرگ‌ترین خطرات طبیعی در طی عملیات معدنکاری زغال‌سنگ است(Krause & Krzemień,2013; Ju et.al,2016). با توجه به اینکه اثر گلخانه‌ای گاز متان ۲۵ برابر بیشتر از دی اکسید کربن است(Jiang et al., 2018)، لذا جمع آوری این گاز جهت جلوگیری از انتشار به اتمسفر و استفاده بهینه از آن ضروری می‌باشد.

۲-۳-۴- تفسیر

ارتقای فرایندهای متابولیک صنعتی و بهبود کارایی چرخه تولید و کاهش بار زیست‌محیطی، نیازمند برنامه‌ریزی و تدوین استراتژی‌هایی است. توسعه زنجیره‌های صنعتی با ارزش افزوده بالا، موجب صرفه جویی در مصرف منابع طبیعی، آب و انرژی، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری و پایداری صنایع تولیدی خواهد شد. برای دستیابی به این اهداف در معادن زغال‌سنگ، افزایش نرخ بازیافت باطله‌ها، بازچرخش پساب معدنکاری و استحصال گاز متان ضروری به‌نظر می‌رسد.

الف- بازفراوری باطله‌ها: با توجه به کیفیت زغال‌سنگ و کاربردهای محدود آن، مقدار زیادی باطله در طول آماده‌سازی و استفاده از آن تولید می‌شود. به‌طور متوسط ۶۲,۵ درصد از کل زغال‌سنگ استخراج شده از معادن پروده، از طریق زغال شویی اولیه، به‌عنوان باطله به هدر می رود و مورد استفاده قرار نمی گیرد. این میانگین بالای تولید باطله، عمدتا به علت وجود خاکستر و گوگرد در لایه‌های زغال‌سنگ است. علاوه بر آن لایه‌های شیل، ماسه سنگ و آهک که معمولاً با زغال‌سنگ استخراج می‌شوند نیز بر ایجاد ناخالصی تاثیرگذارند. به‌منظور افزایش بهره‌وری، می توان از باطله‌ها در موارد متعددی از جمله: پوشاندن سد باطله، خنثی سازی زهکش اسیدی معدن، ترمیم فرونشست زمین، تولید کودهای ارگانیک، تولید سوخت، تولید مصالح ساختمانی و زیرسازی جاده ها، استفاده نمود. در حال حاضر، تنها حدود ۳۰درصد از باطله‌های زغالشویی، بازفرآوری شده و به زغال‌سنگ حرارتی تبدیل می‌شود. ارزش حرارتی باطله مربوط به ماسرال های آن (هیدروژن، کربن، نیتروژن و سولفور) می‌باشد که حدود ۳۰ درصد آن را تشکیل می‌دهد(قائدی حیدری و همکاران،۱۳۸۹). ارزش حرارتی زغال حرارتی بازفراوری شده از باطله، حدود ۹مگاژول/کیلوگرم، معادل یک سوم انرژی حاصل از سوخت زغال خام می‌باشد. لجن حاصل از زغالشویی نیز ارزش حرارتی بالایی معادل۳,۶ مگاژول/کیلوگرم دارد، به‌طوریکه اگر تمام لجن تولید شده به‌عنوان سوخت نیروگاه سوزانده شود، سالانه انرژی معادل ۳۰۰ میلیون کیلووات ساعت برق تولید می‌شود.

www.SID.ir

ب- تصفیه و بازچرخش پساب: به‌منظور استفاده مجدد از منابع آب، باید جریان پساب خروجی معادن را کنترل، تصفیه و به سیستم بازگردانیم. روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در تصفیه فاضلاب وجود دارد. اصل اساسی در تمامی روش ها، جداسازی مواد مضر یا تبدیل آن به مواد بی ضرر است. هزینه استفاده از آب حاصل از تصفیه، حدود۵۰درصد کمتر از آب خام است(Du & Hua,2010) که نه تنها موجب صرفه جویی در هزینه ها و کاهش برداشت آب از منابع زیرزمینی می‌شود بلکه میزان تخلیه فاضلاب به محیط را در حد استاندارد نگه داشته و از بروز آلودگی محیطزیست پیشگیری می‌کند. شرکت زغال‌سنگ پروده طبس با اجرای طرح بازیابی آب، به نتایج مطلوبی در بهینه‌سازی مصرف آب دست یافته است. در حال حاضر جریان پساب معدنی، جهت تصفیه وارد لاگون های بتونی ته نشینی ۱۰۰۰ مترمکعبی می‌شود و روزانه ۳۵۰مترمکعب پساب تصفیه شده از فرآیند معدنکاری، وارد کارخانه زغالشویی می‌شود. فرایند تولید کنسانتره در کارخانه فرآوری زغال‌سنگ به مقدار آب زیادی نیاز دارد به‌طوریکه جهت شستشوی هر تن زغال خام حدود ۱۹۰ لیتر آب مصرف می‌شود. میزان آب مصرفی در کارخانه زغالشویی حدود ۳۵۰هزار مترمکعب در سال است. برای جداسازی آب از دستگاه فیلترپرس استفاده می‌شود و لجن حاصله، جهت جداسازی آب از مواد جامد به حوضچه های ته نشینی با ظرفیت ۴۵ هزارمتر مکعب منتقل می‌شود. آب به مدار مصرف کارخانه زغالشویی بر می‌گردد و مواد جامد ته نشین شده، در ضلع شمال غربی کارخانه انباشته می‌شود. در حال حاضر حدود ۹۲درصد پساب زغالشویی به میزان ۱۲۰هزارمترمکعب در سال بازیابی می شوند. واحد تصفیه خانه، فاضلاب بهداشتی با ظرفیت ۳۰۰ متر مکعب در روز، حدودا ۷۰درصد فاضلاب های بهداشتی را تصفیه می‌کند. پساب تصفیه شده، در فرایندهای استخراج و فراوری زغال‌سنگ، اطفای حریق، آبیاری فضای سبز، اجرای سیستم مه پاش روی محل های انباشت زغال‌سنگ جهت کاهش گرد و غبار در منطقه قابل استفاده است.

ج- استحصال گاز متان: استخراج متان راهکاری منطقی جهت افزایش بهره‌وری انرژی حرارتی و کاهش آلودگی است(Su et al., 2005). زهکشی گاز متان که گاززدایی زغال‌سنگ نیز نامیده می‌شود به عمل انتقال و بیرون کشیدن گاز موجود در لایه های غال¬سنگ و لایه های متصل به آن گفته می‌شود. نظر به اینکه کشور لهستان یکی از کشورهای پیشرو و دارای سابقه طولانی در امر معدنکاری بخصوص معادن زغال‌سنگ می‌باشد، لذا شرکت‌های لهستانی zok II و PGM عهده دار پروژه زهکشی متان در شرکت زغال‌سنگ پروده طبس شدند. با اجرای طرح گاز کشی متان از معدن زغال‌سنگ طبس که بیشترین حجم ذخیره زغال در ایران را داراست، تنها در یک کارگاه استخراج حدود ۱۶٫۸ میلیون متر مکعب گاز قابل استحصال خواهد بود. عملیات معدنکاری زغال‌سنگ، فرایندی بسیار انرژی بر است. به‌طوریکه برای راه اندازی تجهیزات از جمله ماشین آلات استخراج، تسمه نقاله، کارخانه زغالشویی و فن های تهویه به انرژی الکتریکی زیادی نیاز دارد. با استفاده از تجهیزات فناوری تولید برق از متان زهکشی شده از معادن زغال‌سنگ، مانند موتورها و توربین های گازی، و سلول های سوختی، می توان از این گاز جهت تولید انرژی الکتریکی استفاده نمود. در صورت توسعه این پروژه، می توان از گاز استحصال شده، علاوه بر مصرف در سایت معدن(کوره های خشک کن زغال، گرمایش، برق مصرفی و غیره)، برای فروش گاز به خط لوله سراسری، نیروگاه و صنایع شیمیایی استفاده نمود. اجرای این پروژه و استخراج به موقع گاز متان، باعث ایجاد محیط معدنکاری ایمن گردیده و انتشار گازهای گلخانه‌ای و انرژی مصرفی در طی فرایندها را کاهش می‌دهد (Somers & Schultz, 2010).

مولفه های کلیدی ارزیابی چرخه حیات شامل عناصر ورودی و خروجی از سیستم، اثرات محیطزیستی ناشی از آن‌ها و اقدامات کنترلی در هر مرحله از چرخه حیات زغال‌سنگ در جدول(۳) ارائه شده است.

۳- محدودیت های ارزیابی چرخه حیات

این رویکرد، با در نظر گرفتن ملاحظات مربوط به شرایط محلی و منطقه ای، می‌تواند در ارزیابی اثرات محیطزیستی صنایع مختلف کاربرد داشته باشد(Potting & Hauschild, 1997; Moriguchi & Terazono, 2000). با این حال محدودیت‌های این ابزار نیز باید در نظر گرفته شوند. کمبود داده‌ها به‌عنوان یک محدودیت قابل توجه در کاربرد ارزیابی چرخه حیات صنایع مطرح است(González et al., 2002; Durucan et al., 2006). این وضعیت برای معادن زغال‌سنگ نیز صادق است. کمبود اطلاعات در اتباط با مواد منتشر شده از استخراج زغال‌سنگ، مصرف انرژی، فرآیندهای معدنی، انواع تجهیزات و سوخت و همچنین عدم تمایل عمومی در به اشتراک گذاری داده ها و اطلاعات، و همچنین تفکر محدود در زمینه چرخه حیات صنایع معدنی می‌تواند به‌عنوان دلایل اصلی عقب ماندن کاربرد های ارزیابی چرخه حیات در معدن زغال‌سنگ باشد(Awuah-Offei & Adekpedjou,2011). آزمایشگاه ملی انرژی های تجدید پذیر۵ پایگاه داده ای برای ارزیابی چرخه حیات محصولات مختلف دارد. این پایگاه داده، اطلاعات جامعی در مورد کاربرد زغال‌سنگ در تولید برق دارد اما داده‌های مربوط به فرآورده های معدن زغال‌سنگ و جریان‌های مهم محیطزیستی محدود است. مطالعات ارزیابی چرخه حیات در زمینه معدنکاری زغال‌سنگ می‌تواند به پر کردن شکاف داده ای سیاهه چرخه حیات و کاهش اثرات محیطزیستی کمک نماید. در حال حاضر، هیچ پایگاه داده ای در مورد

www.SID.ir

سیاهه چرخه حیات محصولات زغال‌سنگ وجود ندارد(Burchart-Korol et al.,2016). عواملی نظیر عدم قطعیت نتایج ناشی از اثرات تجمعی (Lindeijer, 2005)، نبود استاندارد مشخص در انتخاب واحدهای اندازه گیری(Olsen et al, 2001)، نبود استاندارد واحد در تعیین مرزهای سیستم (Stewart,2005)، آگاهی محدود در مورد روش شناسی ارزیابی چرخه حیات معادن (Middleton & McKean, 2005) و کمبود متخصصین و منابع مالی محدود (Hoskins,2005) از جمله محدودیت های استفاده از این ابزار در معادن می باشند.

جدول۳- چرخه حیات زغال‌سنگ

مرحله چرخه عمر	فعالیت ها	عناصر ورودی	عناصر خروجی	جنبه‌های محیط‌زیستی	اقدامات کنترلی
معدنکاری و استخراج زغال‌سنگ	حفاری و آتش باری	زمین، چوب، سیمان، آب، برق، هوای فشرده، مواد منفجره، الوار چوب	سنگ باطله، پساب، گرد و غبار، گاز متان، سر و صدا زغال‌سنگ خام	تغییر مورفولوژی و نشست زمین، تولید گرد و غبار و پساب معدنی، رهاشدن گل حفاری(حاوی موادی پلیمری)	زهکشی پساب از تونل ها، ساخت حوضچه‌های ته نشینی پساب معدنی، استفاده از سیستم های تصفیه گل حفاری
	نگهداری			متصاعد شدن گاز متان	زهکشی گاز متان و برنامه‌ریزی جهت استفاده از آن
	بارگیری			انتشار گرد و غبار	آبپاشی مسیرها، نصب آبپاش بر روی زغال ریزها
	باربری			ریختن و پخش شدن روغنها	جمع‌آوری، استفاده مجدد و فروش روغن‌های ضایعاتی
	دپوسازی			آلودگی آب، انتشار گرد و غبار	انتخاب محل دپوی باطله‌ها با در نظر گرفتن فاصله کافی از جریان‌های آب‌های سطحی منطقه
فراوری زغال‌سنگ	حمل و انتقال مواد	سوخت، زغال‌سنگ خام، آب، برق، هوای فشرده، فلوکولانت ها و مواد شیمیایی مختلف	باطله، لجن، فاضلاب، موادشیمیایی کنسانتره، فلزات سنگین، سر و صدا.	منابع رادیواکتیو، فلوتاسیون، تیکنر	نصب تابلو هشدار دهنده- بستن چشمه رادیواکتیو در هنگام تعمیرات- حفاظ سربی
	دانه بندی و آماده سازی			دفع پساب	ساخت حوضچه‌های رسوب‌گذاری و بهره‌برداری مناسب آن‌ها
	شستشو و کانه آرایی			تولید باطله‌های زغال‌سنگ	باز فرآوری باطله‌های زغال‌سنگ
	آبگیری و خشک کردن			مصرف بالای آب، تولید پساب اسیدی	بازیابی آب از طریق فیلترپرس و حوضچه های ته نشینی
	دپوی باطله			تولید زهاب اسیدی، گرد و غبار، اشغال زمین	بازفراوری بطله ها، ایمن سازی سدهای باطله
	بارگیری کنسانتره			استفاده از کلکتور در اسکرین هوس	مصرف در حد نیاز
حمل و نقل	حمل ریلی و جاده ای	برق، سوخت	گرد و غبار	آلودگی هوا	پاشیدن مقداری آب
مصرف	کک سازی	کنسانتره، آب، برق، سوخت، گاز کوره	کک متالورژی، پساب، برق	انتشار گازهای سمی و آلودگی هوا	بازیافت حرارتی و تولید برق، تولید محصولات جانبی
	صنایع فولاد	کک متالورژی، سنگ‌آهن،آهک، آب، برق،سوخت	سرباره کوره، ذرات و گازهای آلاینده،	گازهای خروجی از کوره های قوس الکتریکی حاوی مونواکسید کربن و ذرات معلق،	سیستم های جذب دوده و غبار
	نیروگاه	زغال حرارتی بازیافتی(سوخت)	سرباره و خاکستر، گازهای سمی،	انتشار آلاینده‌های هوا، تولید پسماند	نصب سیستم گوگردزدایی از گاز خروجی، استفاده از سرباره و خاکستر در تولید مصالح ساختمانی و راهسازی
رها سازی منطقه	سدهای باطله ناپایدار، رها شدن تجهیزات	زمین، وسائل نقلیه، سوخت، مصالح پرکننده	گاز، فاضلاب، آلاینده‌های خاک	فروشویی باطله‌ها،تولید زهاب اسیدی و انحلال فلزات سنگین، سوختن خود به خودی باطله‌ها	احیا و بازسازی زمین تخریب‌شده در اثر معدن‌کاری و مدیریت انباشت های باطله

www.SID.ir

۴- نتیجه‌گیری

معادن و صنایع معدنی از پویاترین بخش های صنعتی در جهان به شمار می روند و در عین حال، با تخریب و تخلیه منابع طبیعی، موجب بر هم خوردن تعادل اکولوژیک و ناپایداری محیطزیست می‌گردد. با توجه به اینکه ایران برای پیشرفت خود ناچار به توسعه معادن است، لذا برای توسعه پایدار صنعت معدن کشور لازم است تا جنبه‌های محیطزیستی معدنکاری مورد ارزیابی قرار گیرد. ارزیابی چرخه حیات، روش جامعی برای ارزیابی فعالیت‌های معدنکاری است و می‌تواند جهت ارزیابی اثرات معدنکاری بر شاخص‌های توسعه پایدار و مدیریت مؤثر منابع تجدیدناپذیر، از منظر برنامه‌ریزی استراتژیک توسعه صنعت معدنکاری مورد استفاده قرار گیرد. این روش با استفاده از مؤلفه های میزان مصرف منابع، تولید ضایعات و انتشار آلاینده‌ها به محیطزیست، اطلاعات جامعی جهت شناخت اثرات نامطلوب زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. نتایج این ارزیابی، می‌تواند به‌عنوان یک گام کلیدی در تدوین معیارهای مدیریت محیطزیست معادن زغال‌سنگ برای تعیین اولویت‌ها و تصمیم‌گیری در مورد استراتژی‌های پیش‌گیری از آلودگی، حفاظت از منابع و کمینه‌سازی ضایعات به کار روند. در این تحقیق، چرخه حیات معادن زغال‌سنگ پروده طبس مورد ارزیابی قرار گرفت. بهره‌برداری از معادن زغال‌سنگ در مراحل مختلف اثرات مخرب زیادی بر محیطزیست وارد می‌کند. شناسایی اثرات محیطزیستی و ارائه و راه حل ها و اقدامات مناسب جهت مدیریت مؤثر و بهبود وضعیت محیطزیست، بسیار مهم است. به این منظور مولفه های کلیدی چرخه حیات زغال‌سنگ مورد ارزیابی قرار گرفتند. بطورکلی، مهم‌ترین اثرات زیست‌محیطی در معادن زغال‌سنگ، ناشی از تولید مقادیر زیادی باطله و فاضلاب، و انتشار گاز گلخانه‌ای متان به اتمسفر، می‌باشد. به‌منظور افزایش بهره‌وری و پایداری فعالیت‌های معدنکاری، تدوین برنامه هایی جهت افزایش نرخ بازفراوری باطله‌ها، بازچرخش پساب معدنکاری، استحصال گاز متان و احیای زمین منطقه، ضروری می‌باشد. این اقدامات نه تنها موجب صرفه جویی در هزینه ها و کاهش مصرف منابع ماده و انرژی می‌شود، بلکه میزان ورود آلاینده‌ها به محیط را در حد استاندارد نگه داشته و از بروز آلودگی محیطزیست پیشگیری می‌کند.

مراجع

۱. نجویدی، ا. ؛ قنبری،ک. ؛ عطایی، م. ؛ خالوکاکیی، ر. ؛ توکلی محمدی، م. ، ۱۳۹۳. ارزیابی اثرات زیست محیطی معادن زغال‌سنگ شرکت البرز شرقی، دومین کنگره ملی زغال‌سنگ ایران.

۲. قائدی حیدری, م؛ صرافی،ا و کاکویی نژاد،ا، ۱۳۸۹، امکان سنجی مصرف پسماندهای کارخانه زغال شویی زرند در فرایند تولید سیمان به‌عنوان سوخت و مواد اولیه جایگزین، همایش ملی انرژی و محیطزیست کرمان، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

3. Adiansyah, J. S., Haque, N., Rosano, M., & Biswas, W. (2017). Application of a life cycle assessment to compare environmental performance in coal mine tailings management. Journal of environmental management, 199, 181-191.
4. Awuah-Offei, K., Adekpedjou, A., 2011. Application of life cycle assessment in the mining industry. Int. J. Life Cycle Assess. 16, 82–89.
5. Blowes, D.W., 1997. The environmental effects of mine wastes. Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, 887-892.
6. Bryner. G, 2005. coalbed methane development in the intermountain west, Natural Resources Law center ,university of Colorado school of law , pp.2-14.
7. Burchart-Korol, D., Fugiel, A., Czaplicka-Kolarz, K., & Turek, M. (2016). Model of environmental life cycle assessment for coal mining operations. Science of The Total Environment, 562, 61-72.
8. Burchart-Korol, D., Krawczyk, P., Czaplicka-Kolarz, K., Turek, M., & Borkowski, W. (2014). Development of sustainability assessment method of coal mines. Journal of Sustainable Mining, 13(4), 5-11.
9. Chen, H., Zheng, C., Zhu, Y., 1998. Phosphorus: A limiting factor for restoration of soil fertility in a newly reclaimed coal mined site in Xuzhou, China. Land Degradation and Development, 9(2): 115-121.
10. Czaplicka-Kolarz, K., Burchart-Korol, D., Turek, M., Borkowski,W., 2015. Eco efficiency assessment model of production processes of mining. Arch. Min. Sci. 60 (2), 477–486.
11. da Silva, M. G., Muniz, A. R. C., Hoffmann, R., & Lisbôa, A. C. L. (2018). Impact of greenhouse gases on surface coal mining in Brazil. Journal of cleaner production, 193, 206-216.

www.SID.ir

12. Ditsele, O., & Awuah-Offei, K. 2012. Effect of mine characteristics on life cycle impacts of US surface coal mining. The International Journal of Life Cycle Assessment, 17(3), 287-294.
13. Ditsele,O ., 2010, Application of life cycle assessment to estimate environmental impacts of surface coal mining. Masters Theses.Missouri University of Science & Technology.
14. Du SR, Hua M. 2010.A review of mining circular economy in China. China Mining Magazine; 16: 13-6.
15. Dulewski, J., Madej, B., Uzarowicz, R.,Walter, A., 2010. Mining influence on selected environment elements from last decade prospect. Polish Mining Review66 (10), 126–133.
16. Durucan, S., Korre, A., Munoz-Melendez, G., 2006. Mining life cycle modelling: a cradleto- gate approach to environmental management in the minerals industry. Journal of Cleaner Production 14 (12), 1057-1070.
17. Feng, Y., Zhongxue, L., & Cuiping, L. (2010). Analysis of and Countermeasures for Coal Circular Economy Developing Model in China. In 2010 International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering (Vol. 2, pp. 154-157). IEEE.
18. Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R., Christiansen, K. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. The international journal of life cycle assessment, 11(2), 80-85.
19. González, B., Adenso-Díaz, B. and González-Torre, P.L. 2002, A Fuzzy Logic Approach for the Impact Assessment in LCA. Resources, Conservation and Recycling, Elsevier Science B.V., pp. 61-79.
20. Haibin. L and Zhenling, L. 2010, Recycling utilization patterns of coal mining waste in China, Resources, Conservation and Recycling 54, 1331–1340.
21. Hellweg, S.; Fischer, U.; Scheringer, M.; & Hungerbühler, K. 2004. Environmental assessment of chemicals:methods and application to a case study of organic solvents. Green Chemistry. 6(8): 418-427.
22. Hilson G, Basu AJ., 2003, Devising indicators of sustainable development for the mining and minerals industry: an analysis of critical background issues. International Journal of Sustainable Development and World Ecology;10(4):319e32.
23. Hoskins, W. 2005. UNEP's Role as Facilitator in the UNEP/SETAC Life-Cycle Initiative to Enhance the Use of LCA. In: Dubreuil, A. (Ed.), Life-Cycle Assessment of metals: Issues and Research Direction. Proceedings of the International Workshop on Life-Cycle Assessment And Metals, April 2002,SETAC, Raleigh, North Carolina, USA, pp.5-8.
24. IIED and WBCSD, 2002, "Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development" Final Report on the Mining, Minerals and Sustainable Development Project (MMSD). Publ by Earthscan for the International Inst for Environment and Development (IIED) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), London.
25. International Organization for Standardisation, 2006. ISO 1440 Environmental Management-life Cycle Assessment-principles and Framework. London Br.Stand. Inst.
26. Jiang, X., Mira, D., & Cluff, D. L. (2018). The combustion mitigation of methane as a non-CO2 greenhouse gas. Progress in Energy and Combustion Science, 66, 176-199.
27. Jonek-Kowalska, I., 2014. Risk management in the hard coal mining industry: social and environmental aspects of collieries' liquidation. Res. Policy 41, 124–134.
28. Jonek-Kowalska, I., Turek, M., 2013. Cost rationalization of maintaining post industrial regions.Pol. J. Environ. Stud. 22 (3), 727–740.
29. Ju, Y., Sun, Y., Sa, Z., Pan, J.,Wang, J., Hou, Q., Li, Q., Yan, Z., Liu, J., 2016. A new approach to estimate fugitive methane emissions from coal mining in China. Sci. Total Environ.543, 514–523
30. Krause, E., Krzemień, K., 2013. Methane risk assessment in underground mines by means of a survey by the panel of experts (SOPE). J. Sust. Min. 13 (2), 6–13.
31. Lindeijer, E. 2005. How Far Should We Improve Impact Assessment Methodology For Metal Mining? Illustrated With a Biodiversity LCIA Method. In: Dubreuil, A Life-Cycle Assessment of metals: Issues and Research Direction, Proceedings of the International Workshop on Life-Cycle Assessment And Metals, North Carolina, USA, pp.123-131.

www.SID.ir

32. Mangena, S.J., Brent, A.C., 2006. Application of a life cycle impact assessment framework to evaluate and compare environmental performances with economic values of supplied coal products. J. Clean. Prod. 14 (12–13), 1071–1084.
33. Mazzotti, M., Pini, R., & Storti, G. (2009). Enhanced coalbed methane recovery. The Journal of Supercritical Fluids, 47(3), 619-627.
34. Middleton, J. and McKean B.A. 2005. LCA of Nickel Products: Experience of the Industry. In: Dubreuil, A. (Ed.), Life-Cycle Assessment of metals: Issues and Research Direction, Proceedings of the International Workshop on Life-Cycle Assessment And Metals, April 2002, SETAC, Raleigh, North Carolina, USA, pp.47-51.
35. Molayemat, H., & Mohammad Torab, F. 2017. Evaluation of coalbed methane potential in Parvadeh IV coal deposit in central Iran using a combination of MARS modeling and Kriging. Journal of Mining and Environment, 8(2), 305-319.
36. Moriguchi, Y., & Terazono, A. (2000). A simplified model for spatially differentiated impact assessment of air emissions. The international journal of life cycle assessment,5(5),281-286.
37. Olsen, S.I., Christensen, F.M., Hauschild, M., Pedersen, F. Larsen, H.F. and Tørsløv, J.,2001, Life Cycle Impact Assessment and Risk Assessment of Chemicals – A methodological Comparison. Environmental Impact Assessment Review, Elsevier Science Ltd, pp.385-404.
38. Potting, J., & Hauschild, M. (1997). Part II: spatial differentiation in life-cycle assessment via the site-dependent characterisation of environmental impact from emissions. The international journal of life cycle assessment, 2(4), 209-216.
39. Roy P., Nei D., Orikasa T., Xu Q., and Okadome H. 2009. A review of cycle assessment (LCA) on some food products. Journal of Food Engineering, 90: 1-10.
40. Roychoudhury, S., & Khanda, D. K.2016. APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) IN COAL MINING.
41. Sahle, A., Potting, J., 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation Sci. Total Environ. 443, 163–172.
42. Sikdar, S. K. 2003. Journey towards sustainable development: a role for chemical engineers. Environmental Progress. 22(4): 227-232.
43. Skarzynska, K.M., 1995. Reuse of coal mining wastes in civil engineering – part 1: properties of minestone. Waste Management, 15(1): 3-42.
44. Somers, J. M., & Schultz, H. L. 2010. Coal mine ventilation air emissions: project development planning and mitigation technologies. In 13th United States/North American Mine Ventilation Symposium. Sudbury.
45. Staš, D., Lenort, R., Wicher, P., Holman, D., 2015. Green transport balanced score card model with analytic network process support. Sustainability 7, 15243–15261.
46. Stewart, M.,2005, Application of LCA to Mining, Minerals, and Metals: outcomes of the MMSD Multi-stakeholder LCA Workshop. In: Dubreuil, A. (Ed.), Life-Cycle Assessment of metals: Issues and Research Direction. Proceedings of the International Workshop on Life-Cycle Assessment And Metals, April 2002, SETAC, Raleigh, North Carolina, USA, pp.12-14.
47. Su, S., Beath, A., Guo, H., Mallett, C., 2005. An assessment of mine methane mitigation and utilisation technologies. Progress in Energy and Combustion Science 31(2), 123-170.
48. Suh, Y.J. and Rousseaux, P. 2002. An LCA of alternative wastewater sludge treatment scenarios. Resources, Conservation and Recycling, 35(3): 191-200.
49. Tajvidi Asr, E., K .Ghanbari, M .Ataei and R. Khalukakai. 2014. Environmental Impact Assessment of Coal Mines in Alborz Sharqi, Second National Congress of Coal, Iran.(In Persian).
50. Wang, G. F. (2010). Innovation and development of completed set equipment and technology for high efficient coal mining face in underground mine. Coal Sci Technol, 38(1), 63-68.
51. Zhang, L., Wang, J., & Feng, Y. (2018). Life cycle assessment of opencast coal mine production: a case study in Yimin mining area in China. Environmental Science and Pollution Research, 25(9), 8475-8486.
52. Zuwała, J., 2012. Life cycle approach for energy and environmental analysis of biomass and coal co-firing in CHP plant with backpressure turbine. J. Clean. Prod. 35, 164–175.

www.SID.ir